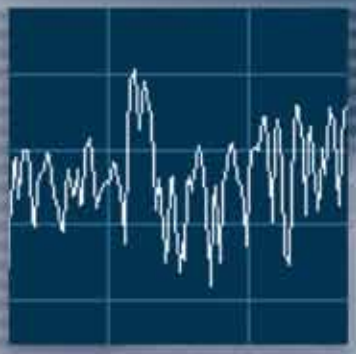
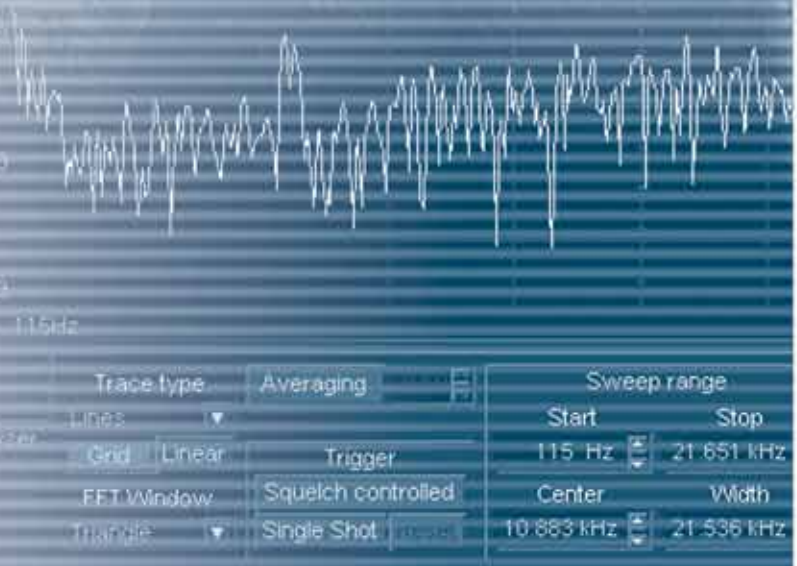
الاتحاد الدولي للاتصالات



كتيب

مراقبة الطيف



مكتب الاتصالات الراديوية

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد لمدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها.

ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياسية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

يرجى الاتصال بالعنوان التالي للحصول على المعلومات المتعلقة بمسائل الاتصالات الراديوية

ITU
Radiocommunication Bureau
Place des Nations
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Telephone:	+41 22 730 5800
Fax:	+41 22 730 5785
E-mail:	brmail@itu.int
Web:	www.itu.int/itu-r

يرجى الاتصال بالعنوان التالي لطلب منشورات الاتحاد الدولي للاتصالات

ويرجى ملاحظة أن الطلبات لا تقبل عن طريق الهاتف، ولذلك ينبغي إرسالها كتابةً إلى العنوان التالي

ITU
Sales and Marketing Service
Place des Nations
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Fax:	**+41 22 730 5194**
E-mail:	**sales@itu.int**

زوروا المكتبة الإلكترونية لمنشورات الاتحاد على الموقع التالي: www.itu.int/publications

© ITU 2013

جميع الحقوق محفوظة. لا يجوز استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي وسيلة كانت إلا بإذن خطي مسبق من الاتحاد الدولي للاتصالات.

كتيـــب

مراقبـــة الطيـــف

طبعة 2011
مكتب الاتصالات الراديوية

تقديـــم

في عام 2006، أقرت لجنة الدراسات 1 للاتصالات الراديوية قرار فرقة العمل 1C بمراجعة بعض أجزاء 'كتيب مراقبة الطيف' (طبعة 2002) آخذة في الحسبان أحدث التطورات في الأنظمة الراديوية الرقمية واحتياجات الهيئات التنظيمية لإدارة الطيف، ولا سيما في البلدان النامية.

واضطلع بهذا العمل فريق أول من الخبراء مما أدى في عام 2008 إلى نشر إضافة إلى 'الكتيب' تشتمل على مراجعة كاملة ومستقلة في حد ذاتها للفصل 3 (تجهيزات المراقبة وعمليات الأتمتة والمراقبة)، والجزء 1.5 من الفصل 5 (مراقبة الإرسال من المركبات الفضائية) والملحق 1 (تخطيط نظام المراقبة والعطاءات) في الكتيب.

وفي عام 2008، أقرت لجنة الدراسات 1 للاتصالات الراديوية قرار فرقة العمل 1C بمراجعة الأجزاء الأخرى من 'الكتيب' وعهدت إلى فرقة العمل 1C بإعداد الطبعة الكاملة التالية شاملة التغييرات اللازمة في الأجزاء المنشورة في الإضافة والموافقة عليها.

وأنشيء فريق خبراء ثان لإعداد هذه الطبعة الخامسة من الكتيب. وهو إذ يشتمل على أحدث المعلومات عن جميع جوانب المراقبة، فإن هذا الكتيب هو دليل مرجعي قيّم لتفيد منه الدوائر الضالعة في إدارة الطيف.

وتصف الفصول الستة المحدّثة والملحق 1 بالتفصيل العناصر الرئيسية في مراقبة الطيف وعلاقتها بإدارة الطيف. وفضلاً عن ذلك، يحتوي الكتيب على الكثير من المراجع التي يمكن استشارتها لمزيد من التفاصيل.

وهذا الكتيب الخاص بمراقبة الطيف مهيأ لكي تستخدمه الإدارات في كل من البلدان النامية والمتقدمة وكذلك مكتب الاتصالات الراديوية في الاتحاد. وهو مفيد أيضاً لمهندسي الاتصالات الراديوية في كل مكان.

فرانسوا رانسي
مدير
مكتب الاتصالات الراديوية

جدول المحتويات

الصفحة

تقديم iii
جدول المحتويات v
تصدير vii
شكر وعرفان ix
مقدمة من المقرر xi
الفصل 1 – مراقبة الطيف باعتبارها وظيفة أساسية في نظام لإدارة الطيف 1
الفصل 2 – التنظيم والبنى المادية والموظفون 27
الفصل 3 – مراقبة التجهيزات وأتمتة عمليات المراقبة 101
الفصل 4 – القياسات 197
الفصل 5 – أنظمة وإجراءات مراقبة محددة 405
الفصل 6 – المبادئ الأساسية والأدوات الداعمة 595
الملحق 1 لهذا الكتيب – تخطيط أنظمة المراقبة وعطاءاتها 685

تصديـــر

في ضوء الطلبات المتزايدة على طيف الترددات الراديوية، من الأهمية بمكان أن تواكب تقنيات مراقبة الطيف خطوات التقدم المحرزة في تكنولوجيا الاتصالات الراديوية والعمل على تعميم هذه المعلومات في شتى أنحاء العالم. ومنذ أن صدرت طبعة عام 2002 من هذا الكتيب، حدثت تحسينات بارزة في تقنيات المراقبة. ومن ثم عهدت لجنة الدراسات 1 للاتصالات الراديوية إلى فرقة العمل 1C بمهمة مراجعة كتيب مراقبة الطيف لفائدة البلدان النامية والمتقدمة على السواء.

إن طيف الترددات الراديوية مورد طبيعي محدود ومن الضرورة الحتمية أن يستخدم بأسلوب يتسم بأعلى درجة من الفعالية والكفاءة من جانب جميع مستعملي الاتصالات الراديوية في العالم أجمع. والأمر كذلك بحيث تستطيع أن تعمل مختلف شبكات الاتصالات الراديوية في بيئة راديوية خالية من التداخل. وتكنولوجيا الاتصالات الراديوية تتقدم بخطى سريعة. وإزاء ظهور التكنولوجيات الجديدة والنمو المذهل في خدمات الاتصالات الراديوية، تتزايد المتطلبات بشأن طيف الترددات الراديوية والمدار الساتلي بمعدل جامح لم يسبق له مثيل. ومن ثم فإن إدارة الطيف على نحو يتسم بالفعالية والكفاءة هي العنصر الرئيسي لضمان تعايش مختلف شبكات الاتصالات الراديوية، دون أن تتسبب بأي تداخل فيما بينها.

ومراقبة الطيف هي واحدة من الأدوات الأساسية في إدارة الطيف. ويتم تطوير تقنيات مراقبة الطيف حرصاً على التمسك بالمعلمات والمعايير التقنية لأنظمة الاتصالات الراديوية. وفضلاً عن ذلك، تساعد مراقبة الطيف في النهوض بالاستخدام الكفء لطيف الترددات الراديوية والمدار الساتلي. وتختلف تقنيات مراقبة الطيف عن تقنيات شبكات الاتصالات الراديوية من حيث إنها تجري في أحوال غير مثالية وفي بيئة مجهولة.

وقد وُضع هذا الكتيب بحيث يشمل كل الملامح الأساسية لتقنيات وأنشطة مراقبة الطيف بما في ذلك إنشاء مرافق المراقبة. ولسوف يكون الكتيب أداة عظيمة الفائدة بيد الإدارات ووكالات مراقبة الطيف. وهو كذلك أداة قيّمة في يد البلدان النامية والبلدان المتقدمة على السواء.

ونحن نتوجه بالتقدير العميق للسيد رالف تراوتمان (ألمانيا)، رئيس مقرري فرقة العمل 1C لما قام به من مراجعة وافية لهذا الكتيب، والسيد آلان جاكيه (فرنسا)، رئيس مقرري فرقة العمل 1C المسؤول عن وضع الإضافة لطبعة 2002 من الكتيب، وكل من ساهم في التنسيق والمساهمة والمشاركة وكل من شارك في وضع هذا الكتيب والذين لولا جهودهم لما رأى هذا الكتيب النور. ونود أن نعرب عن الامتنان الخاص للسيد فيليب أوبينو، مستشار مكتب الاتصالات الراديوية، الذي نهض بدور رئيسي في وضع هذا الكتيب.

ونحن نعقد الأمل على أن يعود هذا الكتيب بنفع عظيم في مجال إدارة الطيف ومراقبة الطيف في سبيل إقامة مرافق المراقبة وتشغيلها. وحري بهذا الكتيب أن يوفر الأدوات الأساسية لإدارة الطيف وأن يعزز أداء شبكات الاتصالات الراديوية في بيئة خالية من التداخل.

روب هاينس
الرئيس، لجنة الدراسات 1
إدارة الطيف

جان فيردوجين
نائب الرئيس، لجنة الدراسات 1
رئيس فرقة العمل 1C
تقنيات مراقبة الطيف

شكر وعرفان

نود أن نعرب عن تقديرنا لجميع الدول الأعضاء في الاتحاد الدولي للاتصالات وأعضاء القطاعات والشركات التي ساندت وضع هذا الكتيب لما قدمته من مساهمات ولمشاركتها في الاجتماعات واستضافتها لها.

ونود أن نعترف بفضل الأفراد الواردة أسماؤهم فيما يلي بالترتيب الهجائي [الإنكليزي] الذين أرسلوا بمساهماتهم في هذه الطبعة الجديدة من كتيب مراقبة الطيف وفي الإضافة إلى طبعة 2002 منه، التي أدرجت في هذه الطبعة الجديدة. وقد وردت أرقام الفصول والأقسام ذات الصلة بين قوسين بعد اسم المؤلف الذي قبل المسؤولية بوصفه مقرر الفصل أو مقرر القسم.

السيد مبارك الصوافي، سلطة عمان (الفصل 5)؛ السيد أوزي بن - ياكوف، Tadiran Electronic Systems (القسم 7.2)؛ السيد روبرت كتلر، Agilent Technologies, Inc؛ السيد فرانسوا دولافو، Thales؛ السيد سعد ديرة، المملكة العربية السعودية (الفصل 1)؛ السيد بيير– جان دوماي، فرنسا؛ السيد تاماس إيغري، هنغاريا؛ السيد توماس هازنبوش، جمهورية ألمانيا الاتحادية (الأقسام 9.4 و3.5 و7.5)؛ السيد رولاند هايستر، جمهورية ألمانيا الاتحادية؛ السيد جيمس هيغنز، الولايات المتحدة الأمريكية (القسمان 4.2 و6.2)؛ السيد آلان جاكيه، فرنسا (الإضافة)؛ السيد سونغمون كيم، جمهورية كوريا؛ السيد فريديريك ليفيسكي، Telekomunikacja Polska؛ السيد زوران ليو، جمهورية الصين الشعبية (القسم 1.5)؛ السيد إيفون ليفران، Thales؛ السيد فابيو سانتوس لوباو، البرازيل (القسمان 2.5 و6.5)؛ السيد حاييم مازار، إسرائيل (الفصل 2 والأقسام 1.6 و2.6 و3.6 و4.6 و11.6)؛ السيد كلاوس ميخير، جمهورية ألمانيا الاتحادية؛ السيد فيليب ميج، Thales؛ السيد ماكوتو ميازونو، اليابان؛ السيدة سون هي بارك، جمهورية كوريا؛ السيد دافيد باسكورو، Thales (القسم 7.4)؛ السيد ألكساندر بافليوك، الاتحاد الروسي (الفصل 6)؛ السيد أوليفييه بيللاي، فرنسا (الفصل 4 والقسم 9.6)؛ السيد أولريخ بينيغ، جمهورية ألمانيا الاتحادية (القسم 10.4)؛ السيد كريستوف روهنر، Rohde & Schwarz؛ السيدة مي – كيونغ سوك، جمهورية كوريا؛ السيد بيتر تومكا، هنغاريا (الملحق 1)؛ السيد إريك فان مانين، مملكة هولندا؛ السيد زيكسين وانغ، جمهورية الصين الشعبية (القسم 5.2)؛ السيد روي ب. وولسي، TCI International, Inc. (الفصل 3).

كما نود أن نشكر العديد من الآخرين الذين ساهموا في وضع الكتيب بمشاركتهم في الاجتماعات وبتقديم النصائح والملاحظات المثمرة.

مقدمـــة

كيف تطورت هذه الطبعة...

نُشرت آخر طبعة من كتيب مراقبة الطيف في عام 2002. وفي ضوء التطورات التي حدثت في تكنولوجيا الاتصالات والمراقبة، قررت فرقة العمل 1C في اجتماعها في أكتوبر 2006 أن تنشئ فريق مقررين برئاسة السيد آلان جاكيه (فرنسا) لمراجعة أجزاء من ذلك الكتيب. وفي اجتماع عقدته فرقة العمل 1C في يونيو 2008، أقرت نصوصاً جديدة للفصل 3 بخصوص تجهيزات المراقبة وأتمتة عمليات المراقبة، وللقسم 1.5 بخصوص مراقبة الإرسالات من المركبات الفضائية، والملحق 1 بخصوص التخطيط لنظام المراقبة والعطاءات، وقد نشرت هذه الأجزاء بوصفها إضافة إلى كتيب مراقبة الطيف، طبعة 2002.

ورغبة في مراجعة الأجزاء المتبقية أيضاً من طبعة الكتيب 2002، أنشأت فرقة العمل 1C فريق مقررين جديداً برئاسة السيد رالف تراوتمان (ألمانيا). وكان الهدف أمام فريق المقررين الجديد هو أن يصدر طبعة جديدة كلياً من الكتيب، بما فيها نص الإضافة، وأن يستكمل أعماله قبل اجتماع فرقة العمل 1C عام 2010، لإقرار الطبعة الجديدة الكاملة من الكتيب في ذلك الاجتماع.

وفي إطار تنظيم الأعمال، عقد فريق المقررين 4 اجتماعات، 25 فبراير إلى 4 مارس 2009 في سيؤول، و16-23 سبتمبر 2009 في جنيف، و1-10 فبراير 2010 في جنيف، و3-9 يونيو 2010 في ماينز.

وأفضى أكثر من 165 وثيقة مساهمة تقدمت بها الدول الأعضاء وأعضاء القطاعات والأعضاء المنتسبة في لجنة الدراسات 1 (ومنها مثلاً الجهات المصنعة للتجهيزات) إلى إدخال تعديلات ومراجعات في الأقسام القائمة وإلى إضافة أقسام جديدة كاملة. وأفضت هذه المساهمات بدورها إلى مقترحات ترمي إلى تعديل وتحسين هيكلية الكتيب. وبفضل عملية التكافل هذه تطورت هيكلية الكتيب على نحو متواصل. ونتيجة لذلك، عمد فريق المقررين إلى تشذيب نصوص الكتيب إلى حد بعيد وارتقى بصفة خاصة بالترابط المنطقي بين مختلف الفصول فيه.

وأقرت فرقة العمل 1C نص هذا الكتيب في اجتماعها في سبتمبر 2010 الذي عقد في أمستردام.

ويتألف الكتيب من الأجزاء التالية مشفوعة بأسماء المقررين المسؤولين عن كل فصل:

الفصل 1	مراقبة الطيف بوصفها وظيفة رئيسية في نظام إدارة الطيف	السيد سعد ديرة (المملكة العربية السعودية)
الفصل 2	التنظيم والهياكل المادية والموظفون	الدكتور حاييم مازار (إسرائيل)
الفصل 3	التجهيزات	الدكتور روي ب. وولسي (TCI International, Inc)
الفصل 4	القياسات	السيد أوليفييه بيللاي (فرنسا)
الفصل 5	أنظمة وإجراءات مراقبة محددة	السيد مبارك الصوافي (سلطنة عُمان)
الفصل 6	المبادئ الأساسية والأدوات الداعمة	الدكتور ألكساندر بافليوك (الاتحاد الروسى)
الملحق 1	تخطيط أنظمة المراقبة وعطاءاتها	السيد بيتر تومكا (هنغاريا)

نظرة تاريخية عابرة...

أصدرت اللجنة الاستشارية الدولية للاتصالات الراديوية (CCIR) الطبعة الأولى من 'كتيب محطات المراقبة' في عام 1968 (وإضافة له في عام 1971). وصدرت الطبعة التالية بعد 20 سنة في عام 1988. وبعد بضع سنوات، في عام 1995، برزت الحاجة إلى إصدار طبعة جديدة تنطوي على مراجعة شاملة لهيكلية الكتيب. ومع ذلك لم يكن هنالك بعد تمييز واضح بين الأقسام المتعلقة بالتجهيزات وتلك المتعلقة بإجراءات القياس. وقد حُسمت هذه المسألة أولاً في طبعة عام 2002. وما زالت هيكلية تلك الطبعة تشكل أساس هيكلية الطبعة الجديدة. وجرى في هذه الطبعة الجديدة تحسين التمييز ما بين مختلف الفصول. وجرى تحديث المواد القديمة وأدخل قدر كبير من المواد الجديدة، من قبيل تقنيات القياس بواسطة الرادار والقياسات التي تتناول تفاضل زمن الوصول.

الغرض من هذا الكتيب...

يكاد الناس أجمع يستخدمون طيف التردد الراديوي. وهنالك تطبيقات كثيرة العدد من قبيل الإنذار بالسطو، وسماعات الرأس والميكروفونات اللاسلكية، وشبكة المنطقة المحلية الراديوية، والمفاتيح عن بعد، والبدالات عن بعد، وغيرها من وسائل التحكم عن بعد في بيئتنا الشخصية. وقد لا يدرك البعض أن هذه الوسائل عبارة عن تطبيقات راديوية، وربما ينظر إلى أي انحطاط في الخدمة في هذه التطبيقات بمثابة خلل بينما هو تداخل راديوي. أما التطبيقات الأخرى، من قبيل الأجهزة الخلوية الراديوية وأجهزة البث اللاسلكي التي تستخدم في أعمال الشرطة والإسعاف وضبط حركة الطيران وفي القوات المسلحة، فسرعان ما ترتبط بديهياً بالترددات الراديوية. ومهما يكن من أمر، فقد بُحثت بإسهاب في محافل أخرى الأهمية الحيوية لطيف التردد الراديوي في المجتمعات المعاصرة، وهي مقبولة ومفهومة على نطاق واسع.

وعلى النقيض من ذلك، تتطلب مراقبة الطيف قدراً أكبر من الشرح والتوضيح. والغرض من مراقبة الطيف هو دعم عملية إدارة الطيف بصفة عامة والعمل على حل مشكلات التداخل. وعلاوة على ذلك، لا بد من القول بكل وضوح إن مراقبة طيف التردد الراديوي لا شأن لها مطلقاً بالرقابة الراديوية. ففي مراقبة الطيف، قد يستعان بمحتوى إرسال ما لتعرف هوية محطة راديوية أو للوقوف على جودة الخدمة. أما الرسالة، بصفتها هذه، فليست موضع أي اهتمام.

والغرض من هذا الكتيب هو أن يوفر المعلومات والإرشادات إلى كل من له ضلع في عملية مراقبة الطيف: من مديرين ومشغلين وموظفي صيانة ومدربين ومديري مشتريات.

من الذي يهتم بكل فصل من الفصول...

الفصل 1 من هذا الكتيب يصف العلاقة ما بين مراقبة الطيف وإدارة الطيف والمشاركة في نظام المراقبة الدولي. والفصل 2 يبحث في مهام خدمة مراقبة الطيف وهيكلها وتنظيمها ويتناول في نهاية المطاف مختلف أنماط محطات المراقبة، بما في ذلك العاملين في التشغيل والصيانة. ولعل هذين الفصلين يتسمان بأكبر قدر من الأهمية بالنسبة لأولئك الضالعين في تصميم وإدارة نظام لمراقبة الطيف.

الفصل 3 يصف التجهيزات اللازمة لأداء القياسات الموصوفة في الفصل 4. ويحظى هذان الفصلان بالدرجة الأولى باهتمام العاملين في المراقبة والموظفين الضالعين في شراء التجهيزات.

الفصل 5 يصف أنظمة وإجراءات مراقبة محددة لا تقوم بها عادة كل محطات مراقبة الطيف. ويحظى هذا الفصل باهتمام خاص في نظر أولئك الضالعين في مجالات مراقبة الإرسالات من المَركبات الفضائية ومراقبة البث الإذاعي ومراقبة الأنظمة الخلوية.

الفصل 6 يحتوي على قدر كبير من المعلومات الإضافية والأساسية عن مسائل شتى من قبيل الخرائط والتشكيل وتحويل فورييه السريع والوثائق المطلوبة. وهذا الفصل مفيد بصفة خاصة لمشغلي المراقبة.

أخيراً وليس آخراً، الملحق 1 يتناول تخطيط نظام المراقبة والعطاءات ويكمل الفصل 3. والملحق 1 ضروري جداً لأولئك الضالعين في عملية شراء التجهيزات.

خلاصة القول...

عندما نأخذ بعين الاعتبار أن ثمة وجهات نظر ومصالح متفاوتة بين مختلف الأطراف الضالعة في أعمال فريق المقررين، فإن صياغة نص الكتيب تجسد درجة عالية من التوسط. وأخيراً فإن نص الكتيب الجديد مناسب لتلبية القراء على امتداد السنوات المقبلة من البلدان النامية والبلدان المتقدمة على السواء، والذين يرغبون في جمع أحدث المعلومات عن تنظيم خدمة لمراقبة التردد الراديوي، وما يتبعها من تجهيزات وتقنيات للقياس.

وهنا أود أن أتقدم بالشكر إلى جميع مقرري الفصول والأقسام وإلى جميع المساهمين والمشاركين في مختلف الاجتماعات وإلى رئيس فرقة العمل 1C لما قدموه من مساهمات وملاحظات ونصائح قيّمة. وأخيراً وليس آخراً، أود أن أتوجه بالشكر إلى السيد فيليب أوبينو، المستشار في لجنة الدراسات 1 للاتصالات الراديوية لما تفضل به من دعم. ولولا دقته المتناهية وسرعته في ملاحظة أي من أوجه التناقض لما صدر هذا الكتيب بهذه السرعة وبهذه الجودة.

رالف تراوتمان
المقرر في فريق المقررين
المعني بمسائل كتيب مراقبة الطيف

الفصـــل 1

مراقبة الطيف باعتبارها وظيفة أساسية في نظام لإدارة الطيف

الصفحة

1.1 إدارة الطيف 3
1.1.1 وصف إدارة الطيف 3
2.1.1 مراقبة الطيف 4
1.2.1.1 الغرض من مراقبة الطيف 4
2.2.1.1 العلاقة بين مراقبة الطيف وإدارة الطيف 4
3.1.1 قواعد البيانات 5
4.1.1 البرمجيات 5
5.1.1 الأساس القانوني والتنظيمي لنظام إدارة الطيف الوطنية 5
6.1.1 تخطيط الطيف وتوزيعه 6
7.1.1 هندسة الطيف 7
8.1.1 القواعد واللوائح والمعايير المصاحبة لها 7
9.1.1 تنسيق الترددات والتبليغ عنها 7
10.1.1 الترخيص والتخصيص والفوترة 8
11.1.1 تفتيش التركيبات الراديوية 8
12.1.1 إنفاذ القوانين 8
2.1 اعتبارات إدارة الطيف 9
1.2.1 كفاءة استعمال الطيف 9
2.2.1 تقاسم الطيف 9
3.2.1 الجوانب الاقتصادية 9
3.1 أهداف المراقبة الوطنية 10
1.3.1 مراقبة الامتثال للقواعد الوطنية 10
1.1.3.1 التحقق من المعلمات التقنية والتشغيلية 11
2.1.3.1 حل التداخل وتحديد هوية المُرسلات غير المرخصة 11
2.3.1 المراقبة لدعم سياسة إدارة الطيف 11
1.2.3.1 بيانات استعمال (شغل) الطيف 12
2.2.3.1 دعم التخصيصات الجديدة 12
3.2.3.1 دعم تطوير نماذج إدارة أفضل 13
4.2.3.1 دعم التعامل مع الشكاوى والاستفسارات 13

الصفحة

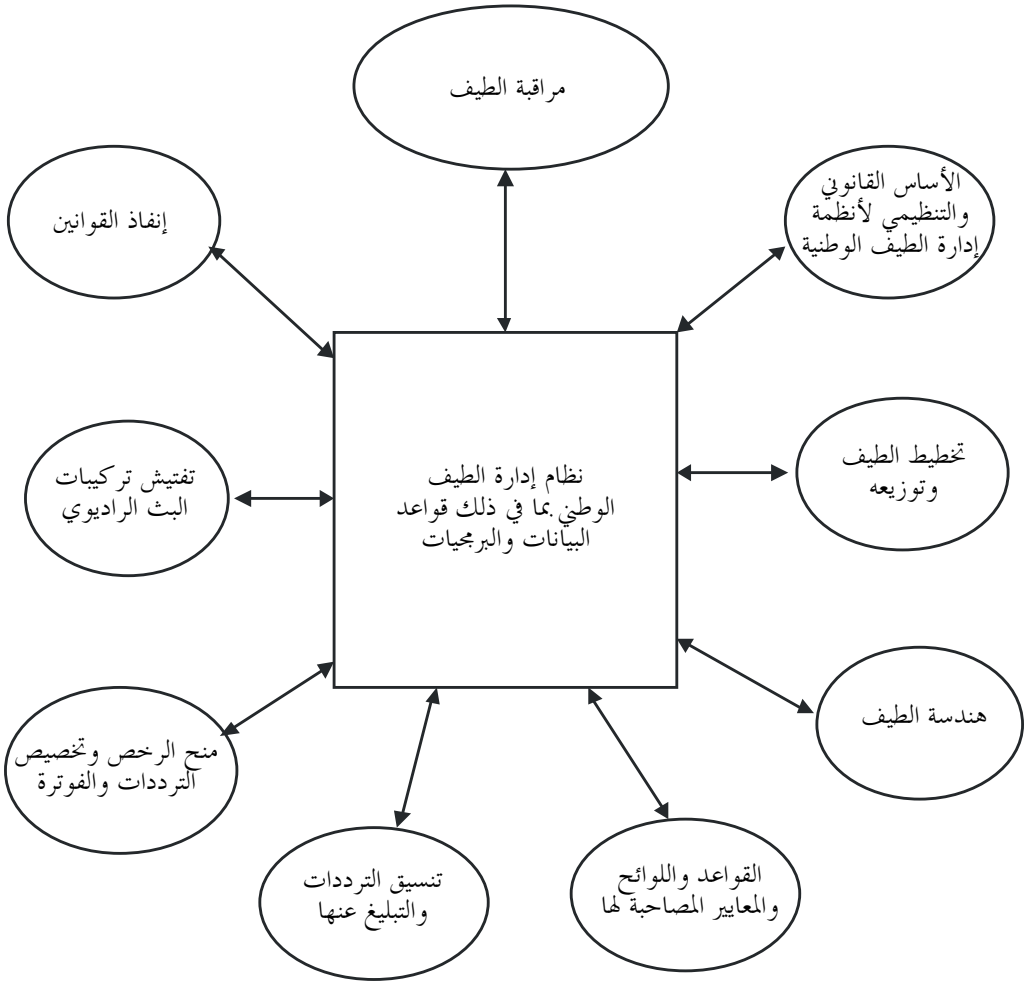
5.2.3.1 دعم تصنيف وتفسير التداخل وآثار الانتشار 13
6.2.3.1 دعم تقاسم الطيف 13
7.2.3.1 وظائف مراقبة الطيف ضمن نظام إدارة الطيف 13
8.2.3.1 تدفق الأنشطة وقاعدة بيانات 14
9.2.3.1 التحقق من صحة قواعد البيانات وتصحيحها 16
4.1 المراقبة الدولية 16
1.4.1 النظام الدولي لمراقبة الطيف 16
2.4.1 الدور التنسيقي لمكتب الاتصالات الراديوية 17
3.4.1 استعمال معلومات المراقبة الدولية من جانب المكتب 17
1.3.4.1 المساعدة في إنهاء العمليات غير المرخص بها أو خارج النطاق 18
2.3.4.1 تقديم المساعدة إلى الإدارات في حالات التداخل الضار 18
3.3.4.1 إرشادات للإدارات في اختيار الترددات 19
4.3.4.1 التحضير لمؤتمرات الاتصالات الراديوية 19
4.4.1 برامج المراقبة الدولية 19
1.4.4.1 البرنامج المنتظم 19
1.4.4.2 البرامج الخاصة 19
5.4.1 تغطية المراقبة العالمية 20
5.1 التعاون بين محطات المراقبة في مختلف البلدان 20
1.5.1 التعاون دون نطاق التردد 30 MHz 20
2.5.1 التعاون فوق نطاق التردد 30 MHz 21
الملحق 1 بالفصل 1 – اتفاق تعاون مباشر بين محطات المراقبة الراديوية 23

1.1 إدارة الطيف

الغرض من هذا القسم هو تقديم استعراض عام موجز لعملية إدارة الطيف ودور مراقبة الطيف باعتبارها وظيفة أساسية في إدارة الطيف. وتأتي المناقشة التالية لأنظمة إدارة الطيف الوطنية بمثابة استعراض عام شامل (انظر الشكل 1.1-1).

الشكل 1.1-1

نظام وطني مبسّط لإدارة الطيف



Spectrum-1.1-01

ولمزيد من المعلومات عن مسائل إدارة الطيف ذات الصلة، يرجى من القارئ الرجوع إلى أدلة الاتحاد الدولي للاتصالات المتعلقة بإدارة الطيف الوطنية (طبعة 2005) والمتعلقة بتقنيات إدارة الطيف بمساعدة الحاسوب (طبعة 2005)، والتقارير ITU-R SM.2012 وITU-R SM.2015 وITU-R SM.2093 وITU-R SM.2130، والقرار 9 لقطاع تنمية الاتصالات (المُراجع في الدوحة، 2006).

1.1.1 وصف إدارة الطيف

إدارة الطيف هي مزيج من الإجراءات الإدارية والعلمية والتقنية اللازمة لضمان كفاءة تشغيل تجهيزات وخدمات الاتصالات الراديوية دون إحداث تداخل. وبكل بساطة، إدارة الطيف هي العملية الشاملة لتنظيم وإدارة استعمال طيف الترددات الراديوية. والهدف من إدارة الطيف هو تعظيم كفاءة الطيف، وتقليل التداخل إلى الحد الأدنى، وإزالة أي استعمال غير

مرخص أو غير ملائم للطيف. وتشكل القواعد واللوائح، القائمة على التشريعات ذات الصلة، الأساس التنظيمي والقانوني لعملية إدارة الطيف. وتوفر قواعد بيانات المعلومات، التي تتضمن تفاصيل عن جميع مستعملي الطيف المخوّلين، الأساس الإداري والتقني للعملية. ويسهم تحليل المعلومات في قواعد البيانات هذه في تيسير عملية إدارة الطيف التي تتمخض عن اتخاذ قرارات بخصوص توزيع الطيف وتخصيص الترددات ومنح الرخص. وتوفر عمليات مراقبة الطيف والفحص وإنفاذ القوانين الوسائل اللازمة للحفاظ على سلامة عملية إدارة الطيف.

2.1.1 مراقبة الطيف

1.2.1.1 الغرض من مراقبة الطيف

مراقبة الطيف هي عين عملية إدارة الطيف وأذنها. وهي ضرورية في الممارسة العملية لأن الاستعمال المرخص للطيف لا يكفل في الواقع استعماله على النحو المنشود. وقد يرجع ذلك إلى الطبيعة المعقدة للتجهيزات، أو تفاعلها مع التجهيزات الأخرى، أو وجود خلل فيها، أو إساءة استعمالها بصورة متعمدة. وتتفاقم هذه المشكلة بسبب تزايد سرعة انتشار الأنظمة اللاسلكية الأرضية والساتلية وانتشار التجهيزات التي يمكن أن تسبب تداخلا، مثل الحواسيب والأجهزة الأخرى التي تصدر إشعاعات غير مقصودة. ويتيح نظام المراقبة طريقة للتحقق وهو بمثابة "الخطوة الأخيرة" في عملية إدارة الطيف.

ويجري استعمال الطيف على مدار الساعة طوال السنة، سواء على المستوى المحلي أم الإقليمي أم العالمي. وكذلك، ينبغي أيضاً أن تجري مراقبة الطيف على أساس متواصل من أجل تحقيق أغراض عملية المراقبة وأهدافها على نحو ملائم.

والغرض من مراقبة الطيف هو دعم عملية إدارة الطيف بوجه عام، بما في ذلك وظيفتي تخصيص الترددات وتخطيط الطيف. وعلى وجه التحديد، تتضمن أهداف عملية المراقبة (غير مرتبة بالضرورة حسب الأولوية) ما يلي:

- المساعدة في حل مسائل تداخل الطيف الكهرمغنطيسي، سواءً على نطاق محلي أم إقليمي أم عالمي، بحيث يمكن للخدمات والمحطات الراديوية أن تتعايش بصورة توافقية، والعمل على خفض الموارد المرتبطة بتركيب وتشغيل خدمات الاتصالات هذه إلى الحد الأدنى، مع تحقيق فائدة اقتصادية للبنية التحتية للبلد من خلال النفاذ إلى خدمات اتصالات خالية من التداخل ويسهل النفاذ إليها؛
- المساعدة في ضمان جودة مقبولة لاستقبال برامج الراديو والتلفزيون لدى الجمهور العام؛
- توفير بيانات مراقبة قيّمة لعملية إدارة الطيف الكهرمغنطيسي التي تجريها الإدارة المعنية بشأن الاستعمال الفعلي للترددات والنطاقات (مثلا، شغل القنوات وازدحام النطاق)، والتحقق من سلامة الخصائص التقنية والتشغيلية للإشارات المرسلة (الامتثال لشروط الترخيص)، والكشف عن المُرسلات غير القانونية وجهات التداخل المحتملة وتحديد هويتها، وإعداد سجلات الترددات والتحقق من سلامتها؛
- توفير معلومات مراقبة قيّمة للبرامج التي ينظمها مكتب الاتصالات الراديوية في الاتحاد، في إعداد التقارير مثلاً لعرضها على مؤتمرات الاتصالات الراديوية، وفي طلب الحصول على مساعدات خاصة من الإدارات لإزالة التداخل الضار وإزالة عمليات البث خارج النطاق أو في مساعدة الإدارات على توفير الترددات المناسبة.

2.2.1.1 العلاقة بين مراقبة الطيف وإدارة الطيف

ثمة علاقة وثيقة بين وظائف مراقبة الطيف وإدارة الطيف. ومن شأن ربط هذه الوظائف من خلال نظام حاسوب متكامل أن يفضي إلى زيادة فعالية التشغيل والتكلفة بصورة كبيرة. ومن الأهمية بمكان، لدى تنفيذ أنظمة إدارة الطيف، أن ينشأ أولاً هيكل للنظام للحفاظ على سلامة العملية وقاعدة بيانات تحتوي على جميع المعلومات ذات الصلة لدعم العملية. وفي حالة عدم ملاءمة قاعدة البيانات، يمكن استعمال المزيج الذي يجمع بين أساليب وإجراءات المراقبة والإنفاذ استعمالاً فعالاً للحصول على معلومات مهمة، ومن ثم المساعدة في تحسين قاعدة البيانات وعملية إدارة الطيف ككل.

وترتبط مراقبة الطيف ارتباطاً وثيقاً بعملية التفتيش والامتثال من حيث إنها تساعد على تحديد وقياس استعمال الطيف ومصادر التداخل والتحقق من سلامة الخصائص التقنية والتشغيلية للإشارات المشعَّة، والكشف عن المرسلات غير القانونية، مما ينتج بيانات عن فعالية سياسات إدارة الطيف.

وتسهم مراقبة الطيف أيضاً في دعم جهود إدارة الطيف بوجه عام عن طريق توفير قياس عام لاستعمال القنوات والنطاق، بما في ذلك إحصاءات عن توفر القنوات ذات الطابع التقني والتشغيلي، مما يساعد على قياس شغل الطيف. وتفيد المراقبة أيضاً في تخطيط الطيف، حيث يمكن أن تساعد مديري الطيف على فهم مستوى استعمال الطيف مقارنة بالتخصيصات التي تسجل على الورق أو في ملفات البيانات. ومن شأن تطبيق نظام للمراقبة والقياس أن يساعد في بعض الحالات حيثما يتطلب الأمر حل مشكلة معينة أكثر من مجرد معرفة الخصائص المرخصة أو المصممة الخاصة بالأنظمة الراديوية. وفضلاً عن ذلك، يعمل نظام المراقبة والقياس على استقاء المعلومات بشأن تشغيل فرادى المحطات، لأغراض التنظيم والإنفاذ والامتثال، كما يمكن استعماله في تحديد موقع وهوية المحطات المسببة للتداخل.

وبوجه عام، تسهم عملية المراقبة في تزويد إدارة الطيف بمعلومات لاحقة عما إذا كان الاستعمال العملي للطيف يتلاءم مع السياسة الوطنية. ويمكن أن تسهم مراقبة الطيف أيضاً في تحديد الحاجة إلى المتطلبات المقبلة الخاصة بالمسؤولين عن إدارة الطيف. وفي هذه الحالة، تزود عملية المراقبة إدارة الطيف بالمعلومات المسبقة.

3.1.1 قواعد البيانات

إن أحد المكونات الجوهرية لإدارة الطيف هي القدرة على تخزين المعلومات المتعلقة بكل من شبكات الاتصالات والحفاظ عليها والنفاذ إليها. ويمكن أن تشكل هذه المعلومات إحدى قواعد بيانات أنظمة إدارة الطيف، وهي عبارة عن وصف لجميع المعلمات ذات الصلة لكل من مرافق الاتصالات الراديوية. وتمكّن قاعدة البيانات هذه الوكالة المسؤولة عن الإدارة من إجراء العديد من التحليلات الهندسية والإدارية لضمان كفاءة الطيف، والامتثال التشغيلي للقواعد واللوائح، والتشغيل الخالي من التداخل بين الأنظمة. ومن شأن القصور في دقة سجلات قواعد البيانات أن ينال من سلامة عملية إدارة الطيف.

وينبغي أن تتمتع خدمة مراقبة الطيف بالنفاذ إلى قاعدة البيانات المركزية الكاملة للمستعملين المخوّلين. ويشكّل ذلك وسيلة للتحقق من شروط الترخيص والتخصيص، وتحديد هوية مستعملي الطيف غير المخوّلين. كما يمكن أن تعمل خدمة المراقبة على إنشاء قواعد بياناتها الخاصة المتعلقة بنشاط الإرسال الخاضع للمراقبة والخصائص المقيسة. ويمكن استعمال هذه المعلومات في سجلات الأحداث وربطها لاحقاً بقواعد البيانات المركزية.

4.1.1 البرمجيات

يمكن أن تحتوي أنظمة إدارة ومراقبة الطيف على قدر كبير من البرمجيات بهدف أتمتة جمع البيانات ومعالجتها وتقييمها ومباشرة مهام تحليل التداخل. ويفضي استعمال البرمجيات، في حفظ نتائج مراقبة الطيف في قواعد البيانات المترابطة وربط هذه المعلومات بقواعد البيانات المركزية للمستعملين المخولّين، إلى تحقيق وفر هائل في الوقت اللازم للبحث مع زيادة الدقة في نفس الوقت.

5.1.1 الأساس القانوني والتنظيمي لنظام إدارة الطيف الوطنية

نظراً للتطور السريع في مجال التكنولوجيا الراديوية والدور المحوري الذي تضطلع به التكنولوجيا في حياة كل بلد، أضحت القوانين التي تتناول موارد الطيف لا تقل أهمية عن القوانين التي تحكم استعمال الأراضي والمياه. وبالتالي، يجب أن تتناول قوانين كل بلد مسائل استعمال الاتصالات الراديوية وتنظيمها. ويشكّل قانون الاتصالات الراديوية الوثيقة الأساسية التي تضع المفاهيم والمرجعيات والغايات العامة والأهداف المحددة والمسؤوليات، غير أنه ينبغي ألا يحيد عن مساره ويغوص في تفاصيل اللوائح والإجراءات. وينبغي أن يعترف هذا القانون بأن الطيف الراديوي يشكل مورداً وطنياً وينبغي التحكم به بما يخدم مصلحة المواطنين كافة. ومن ثم ينبغي أن يعمل القانون على إرساء حق الحكومة الوطنية في تنظيم استعمال الاتصالات الراديوية، بما في ذلك تخويل استعمال وإنفاذ قواعد إدارة الطيف التي يجري التحكم فيها أساساً من خلال عمليتي المراقبة

والتفتيش. وتنفيذاً لهذه الوظائف، ينبغي أن يُمنح مديرو الطيف صلاحية تحديد هوية مصادر التداخل والمطالبة بإغلاقها أو مصادرتها بموجب آلية قانونية ملائمة. وينبغي كذلك تعيين حدود الصلاحية المشار إليها.

كما ينبغي أن ينص قانون الاتصالات الراديوية على حق المواطنين والحكومة على حد سواء في اقتناء معدات الاتصالات الراديوية وتشغيلها. ويمكن أن تتولى الحكومة الوطنية أو الإقليمية أو المحلية تشغيل أنظمة الاتصالات على النحو الأفضل. وهي أنظمة تعمل في الغالب الأعم على دعم المشاريع التي تنهض بها المنظمات الحكومية ذاتها. ومع ذلك، يمكن تلبية الكثير من احتياجات المجتمع عن طريق المشروعات التجارية أو الأفراد، ويمكن أن ترتبط جودة خدمات الاتصالات وتوفرها ارتباطاً وثيقاً بأنواع النشاط الجاري ومستوى الحرية الممنوحة لمقدمي الخدمة.

وتتضمن العناصر التي ينبغي أن يغطيها قانون الاتصالات الراديوية الوطني الاحتياجات المتعلقة بمشاركة الجمهور في عملية صنع القرار في مجال إدارة الطيف وتلك المتعلقة بسرعة تجاوب الحكومة مع مساهمات الجمهور. ويمكن أن يرد في مكان آخر وصف العمليات التي يحدد بها الجمهور احتياجاته من الطيف أو موقفه من قضايا الطيف إلى مدير الطيف، غير أنه يمكن أن ينص القانون على الحق في النفاذ ووضع أي قيود على هذا النفاذ. وبناء على المهمة الأساسية الموكلة للمدير في إدارة استعمال الطيف بما يخدم المصلحة الوطنية، فإن الاستجابة لشواغل الجمهور أمر ضروري. ومن ثم، ينبغي أن ينص قانون الاتصالات الراديوية على أن تتيح هيئة إدارة الطيف معلومات عن قراراتها للجمهور، بما في ذلك تقديم تفسير مكتوب بشأن الأساس الذي اتخذت القرارات بناء عليه. وفضلاً عن ذلك، ينبغي أن ينص القانون على عملية لاستعراض القرارات وإمكانية الطعن فيها وفقاً لمعايير وإجراءات محددة.

والأدوات الأساسية لإدارة الطيف التي تستخدم على أساس يومي هي مجموعة اللوائح والإجراءات المنشورة التي أصدرتها واعتمدتها هيئة تنظيم الطيف الوطنية. وتشكل هذه اللوائح الأساس لمباشرة استعمال الاتصالات الراديوية على أساس يومي وتساعد مستعملي الطيف على فهم الأسلوب الذي يحكم عملياتهم. وتوفر اللوائح التنظيمية طريقة للتفاعل مع هيئة إدارة الطيف. وينبغي أن تشمل هذه اللوائح التنظيمية والإجراءات مجالات مثل إجراءات استصدار الرخص أو تجديدها ومعايير البث وإجراءات الترخيص باستخدام التجهيزات وخطط توزيع القنوات والمتطلبات التشغيلية، فضلاً عن مراقبة الطيف وإجراءات التفتيش والإنفاذ.

6.1.1 تخطيط الطيف وتوزيعه

تجري عملية توزيع الطيف بين مختلف خدمات الاتصالات الراديوية إما على أساس حصري أو تشاركي وإما على أسس أولية أو ثانوية. وعلى المستوى الدولي، تحكم المؤتمرات العالمية للاتصالات الراديوية توزيع نطاقات الترددات، ويرد بيانها في المادة 5 من لوائح الراديو. ويجوز للإدارات، بناءً على الجدول الدولي لتوزيع نطاقات التردد الخاص بها، إعداد جدول وطني لتوزيع النطاقات وتوزيع نطاقات التردد على خدمات الاتصالات الراديوية وتخويل أنظمة محددة.

ولاستعمال الطيف بكفاءة، من الضروري توزيع نطاقات التردد التي تفي بمتطلبات الانتشار للخدمة المعنية. فعلى سبيل المثال، تُوزع على الخدمات التي يشترط عليها عادة توفير تغطية في جميع الاتجاهات لمنطقة واسعة، مثل البث الإذاعي التلفزيوني، نطاقاتُ تردد منخفضة نسبياً في الطيف؛ وتُوزع نطاقات تردد مترية/ديسيمترية (VHF/UHF) على خدمات الراديو المتنقل الخاص وذلك لضمان تغطية مكانية محدودة؛ أما بالنسبة لخدمات الطيران والخدمات البحرية العالمية التي تتطلب تغطية عالمية فيتم توزيع نطاقات تردد بموجات ديكامترية (HF). وتقسم هذه التوزيعات عادة إلى خطط قنوات لضمان تلبية الاحتياجات المحددة المتعلقة بالتحميل وإعادة استعمال القنوات والترددات.

واستجابة لطلبات من مستعملين معينين، ينبغي للإدارات اتباع جداول توزيع التردد هذه لتخصيص ترددات ملائمة للنظام الراديوي المطلوب وإصدار الرخص الملاءمة وإنشاء سجلات ملائمة في قاعدة البيانات. وينبغي أن تسمح الإجراءات التقنية لتخصيصات التردد بإعادة استعمال القنوات والترددات بصورة فعالة، استناداً إلى مفاهيم التداخل المسموح بها أو المعايير الضرورية لفصل التردد أو المسافة بين الشبكات الراديوية.

7.1.1 هندسة الطيف

تتضمن إدارة الطيف القرارات المتعلقة بمجال التكنولوجيا والهندسة المطلوب اتخاذها لتقييم المعلومات والمقدرات والخيارات ذات الشأن بصورة ملائمة. وعلى الرغم من أن ثمة اعتبارات اجتماعية واقتصادية وسياسية تدخل في معظم القرارات، فمن الممكن تحليل الكثير من مسائل إدارة الطيف واتخاذ القرارات المتعلقة بإدارة الطيف استناداً إلى عوامل هندسية وتقنية. ومن ثم، يلزم أن تكون المنظمة متمرسة في تطبيق تقنيات التحليل هذه وعليمة بالتطورات التكنولوجية الجارية من أجل توفير تقييمات غير متحيزة لتلك الجهات في مجموعات السياسات والتخطيط التي يتعين أن تنظر في عوامل أخرى مثل العوامل الاقتصادية والسياسة الوطنية. ويمكنها أن تقوم بتحديد حلول لمشكلات التداخل والتوصية بها وتحديد الخصائص التقنية للتجهيزات اللازمة لضمان المطابقة بين الأنظمة، أو في بعض الحالات التشجيع على استعمال تكنولوجيات بديلة. ويتضمن أحد الجوانب المهمة استعمال نماذج يتم إدخال المعلومات فيها عن طريق قواعد بيانات ملائمة بغية إجراء التحليلات المتعلقة بإدارة الطيف مثل تخصيص الترددات. ويمكن استعمال النماذج في التنبؤ بمدى إمكانية الامتثال للقواعد واللوائح (مثل الحدود المفروضة على كثافة تدفق القدرة الساتلية) ولتقييم إمكانية التقاسم عن طريق تحليل احتمالات التداخل.

8.1.1 القواعد واللوائح والمعايير المصاحبة لها

وضع الاتحاد الدولي للاتصالات قواعد عامة ولوائح تتعلق بتوزيع الطيف وإدارته على الصعيد الدولي. وهي واردة في لوائح الراديو الصادرة عن الاتحاد (http://www.itu.int/publ/R-REG-RR/en). وبمراعاة هذه اللوائح الدولية، يقوم كل بلد عضو بوضع التشريعات الخاصة به والقواعد واللوائح الملائمة لتأمين البنية التحتية الوطنية الاتصالات الراديوية وتحقيق الأهداف الخاصة به. والغرض من هذه القواعد هو توفير الإطار الضروري لتسيير عملية إدارة الطيف وإنفاذها. وينبغي أن تتضمن اللوائح عملية التصريح باستخدام التجهيزات، بما في ذلك المواصفات والمعايير المتعلقة بخصائص المُرسلات.

9.1.1 تنسيق الترددات والتبليغ عنها

لما كان الطيف الراديوي مورداً محدوداً والطلب عليه متزايداً من المستعملين في القطاعين الخاص والحكومي، فمن الضروري استحداث آلية يمكن من خلالها توزيع الترددات على خدمات وأنظمة معينة بحيث يمكن استيعاب أكبر عدد من المستعملين. ويتم ذلك من خلال عملية لتنسيق الترددات.

ويبدأ تنسيق الترددات بعملية اختيار الترددات للأنظمة التي يرجح ألا تسبب تداخل مع الأنظمة القائمة الأخرى. ويمكن بعد ذلك تبادل هذه المعلومات أو "تنسيقها" مع الأطراف المعنية لضمان المطابقة بين الأنظمة. والغرض من هذه العملية هو تعظيم إعادة استعمال الترددات والعمل في الوقت ذاته على تدنية التداخل التشغيلي بين أنظمة الاتصالات.

وهناك عدة عناصر رئيسية ينبغي مراعاتها في عملية تنسيق الترددات. أولاً، يجب على الإدارة المعنية تعريف القواعد واللوائح التي ستشكل الأساس لهذه العملية. وبعد ذلك، يتعين تبادل المعلومات بين الجهة المتقدمة بطلب إدخال خدمة جديدة وبين الجهات المعنية بالتنسيق. ويجب أن تحتوي المعلومات على بيانات تقنية كافية بحيث يمكن للمنسقين إجراء تحليل لضمان أن الخدمة الجديدة لن تسبب تداخلاً ضاراً في الخدمات القائمة، وأن الخدمات الجديدة مطابقة للخدمات القائمة. وترتبط فعالية الترددات ارتباطاً مباشراً بدقة السجلات المدرجة في قواعد البيانات وتحديثها أولاً بأول والقدرة على التنبؤ الدقيق بتشغيل الأنظمة القائمة والمقترحة.

والدراسات المتعلقة بتنسيق الترددات والتوافق بين المرافق الراديوية القائمة والمقترحة هي جوانب ضرورية لأنظمة إدارة الطيف الفعالة، سواء جرى تنفيذ ذلك على المستوى الوطني أم الدولي.

والتنسيق الدولي للترددات إجراء ينبغي تنفيذه قبل منح أي توزيعات تردد لمحطة معينة بما قد يتضارب مع التوزيع الممنوح في بلد آخر. ويخضع إجراء تنسيق الترددات هذا عادة إلى اتفاق خاص بين بلدين أو أكثر على النحو المبين، على سبيل المثال، في التوصية ITU-R SM.1049. ويرد وصف القواعد العامة العالمية لتوزيع الترددات واستعمالها إلى جانب الاتفاقات الخاصة في المواد 4-9 و11 من لوائح الراديو.

10.1.1 الترخيص والتخصيص والفوترة

تحدد الخطوات الإدارية الضرورية المتضمنة في عملية الترخيص وتخصيص الترددات عن طريق القواعد واللوائح المحددة مسبقاً. ويُعهد بوظيفة أو عملية الترخيص عادة إلى إحدى الوكالات الحكومة. وحالما تبت هذه الوكالة في امتثال نظام الاتصالات المقترح لهذه القواعد، يُمنح التخويل عادة من خلال إصدار رخصة أو ما يكافئها. وفي حال أُدخلت أي تغييرات هامة على أحد الأنظمة المرخصة، تنص القواعد عادة على أن يقوم المستعملون بإخطار الوكالة التنظيمية بهذه التغييرات بحيث يمكن إصدار صيغة منقحة من الرخصة. ومن شأن اتباع إجراءات الترخيص المذكورة أن يكفل الحفاظ على سلامة قاعدة بيانات إدارة الطيف عن طريق بيان التغييرات المدخلة على الأنظمة التشغيلية في حينها. ويمكن نقل البيانات المتعلقة بالأنظمة المتوقفة عن العمل إلى قسم خامل في قاعدة البيانات بحيث يرجع إليها في المستقبل على أساس مؤقت، وإزالتها في نهاية الأمر.

وتنطوي وظيفة الترخيص والوظيفة الإدارية لأنظمة إدارة الطيف الفعالة على فوائد تتجاوز مجرد إنشاء قاعدة بيانات للمعلمات التقنية والحفاظ عليها. ويمكن أن تشكل عملية الترخيص هذه مصدراً للإيرادات للإدارة المعنية في شكل رسوم تجبى عند منح الترخيص الأولي ورسوم تجديد الرخص القائمة. ويمكن أيضاً أن تكون مصدراً للإيرادات في شكل غرامات وجزاءات بسبب التشغيل بدون رخصة أو التشغيل خارج المعلمات المرخصة أو التشغيل المخالف للقواعد واللوائح المقررة.

11.1.1 تفتيش التركيبات الراديوية

تفتيش التركيبات الراديوية هي وسيلة فعالة لتنظيم الطيف واستعماله بصورة أكثر كفاءة نظراً لأنها تكفل تركيب المرافق الراديوية وتشغيلها وفقاً لمعلمات التشغيل المخصصة لها. وتنطوي المحطات العاملة خارج نطاق معلمات التشغيل المرخصة الخاصة بها (مثل فرط القدرة أو حدوث خطأ في موقع المُرسل) على احتمالات أكبر لإحداث تداخل، كما أن من شأنها أن تؤثر على التخويلات الجديدة المتعلقة بتقاسم القنوات وبترددات القنوات المجاورة.

ويمكن أن تعتمد الإدارات نُهُجاً مختلفة في وضع خطط لتفتيش المرافق الراديوية وتنفيذها. وتشمل هذه النهج ما يلي:

- تفتيش جميع التركيبات المرخصة حديثاً؛
- عمليات تفتيش مسوغة (من قبيل زيادة عدد التبليغات عن التداخل أو اكتشاف انتهاكات للقواعد)؛
- تفتيش نسبة مئوية من جميع المحطات على أساس عينة عشوائية أو على أي أساس إحصائي آخر.

وثمة مثال على نهج فعال وهو تفتيش نسبة مئوية، أو "عينة"، من المرافق/المُرسلات المرخصة القائمة. ويمكن انتقاء المرافق الواردة في العينة عشوائياً لخدمات مختلفة. ثم تقيم نتائج المعاينة وفقا للوائح والمعايير الوطنية. ويوفر مستوى امتثال العينة مقياسا تقديريا للامتثال للوائح الوطنية ككل. وفي السنوات التالية، يمكن تعديل أحجام العينة وفئات المرافق الخاضعة للتفتيش استناداً إلى نتائج الامتثال في العام الأسبق. بعبارة أخرى، إذا كان مستوى الامتثال مرتفعاً نسبياً في خدمة معينة، يمكن خفض عدد العينات؛ وفي المقابل، إذا كان مستوى الامتثال منخفضاً، فمن الممكن أخذ عينة أكبر.

ويمكن الاطلاع على مناقشة أكثر تفصيلاً بشأن أساليب تخطيط التفتيش وتحديد العينة الإحصائية وتجهيزات التفتيش والإجراءات التفصيلية لعمليات التفتيش، في التقرير ITU-R SM.2130.

12.1.1 إنفاذ القوانين

لا يمكن أن تتحقق فوائد نظام إدارة الطيف ما لم يمتثل المستعملون للرخص الممنوحة لهم وللقواعد واللوائح ذات الصلة. وينبغي أن تتضمن القواعد واللوائح أحكاماً تحدد الإجراءات التي يمكن اتخاذها في حالة عدم امتثال أحد المستعملين. ويمكن أن تتراوح الجزاءات، تبعاً لشدة المخالفة، من توجيه الإنذارات إلى فرض الغرامات وإلغاء الرخص وإنهاء تشغيل الأنظمة، ويمكن أن تصل العقوبة إلى التقاضي أمام المحاكم، وفقاً للتشريع الوطني واستناداً إليه. ومن شأن التقصير في اتخاذ إجراءات إنفاذ فعالة أن ينال من سلامة عملية إدارة الطيف. وتتوقف قدرة الإدارات على إنفاذ القواعد واللوائح القائمة التي تتعلق بتشغيل أنظمة الاتصالات الراديوية دون شك على فعالية نظام إدارة الطيف وفعالية نظام المراقبة والتفتيش على حد سواء.

وعند تلقي شكوى من حدوث تداخل معين، يمكن مراقبة الإشارة المتداخلة لتحديد موقعها ونوع الإرسال والمعلمات التقنية الأخرى التي قد تساعد في تحديد هوية وموقع مصدر التداخل وبعد ذلك يمكن مواصلة التحريات. ويمكن البحث في قاعدة بيانات إدارة الطيف لتحديد ما إذا كان مصدر التداخل مُرسلاً مرخصاً يعمل خارج نطاق معلماته التقنية المرخصة، أم أنه ناشئ عن مشغّل غير قانوني.

2.1 اعتبارات إدارة الطيف

1.2.1 كفاءة استعمال الطيف

يمكن أن يؤدي النمو السريع في الطلب على خدمات الاتصالات على صعيد العالم، مدفوعاً بالتحرك نحو إقامة مجتمع قائم على المعلومات، إلى نقص حاد في الطيف المتاح، ما لم تتخذ تدابير لإدارة الطيف بفعالية على المستويات الوطنية والإقليمية والدولية. ولما كان طيف الترددات مورداً محدوداً، فيجب تحقيق النمو المطلوب من خلال كفاءة استعمال الطيف المتاح.

وتتحقق كفاءة الاستعمال عن طريق توزيع حصص الطيف توزيعاً استراتيجياً لتلبية احتياجات المستعملين دون إحداث أي هدر للطيف. ومن شأن المحافظة على الطيف أن تسمح بتحقيق النمو في المستقبل وظهور تكنولوجيات لاسلكية جديدة.

2.2.1 تقاسم الطيف

إن قدرة واحد أو أكثر من المستعملين أو الخدمات على تقاسم جزء من الطيف دون إحداث تداخل هي اعتبار مهم في إدارة الطيف. ويزيد تقاسم الطيف بصورة فعالة من مقدار الطيف المتاح لطائفة واسعة متنوعة من الخدمات. ويمكن تيسير التقاسم من خلال التحكم في القدرة والمباعدة الجغرافية بين المستعملين ومباعدة أنماط الإشعاع، والمباعدة الزمنية للمستعملين ومن خلال السماح ببعض التداخل الذي يمكن تحمله دون أن يصبح تداخلاً ضاراً، أو استعمال التكنولوجيات الأحدث التي تسمح بتعايش العديد من الإرسالات على نفس التردد. ومع ذلك، تقتضي كفاءة التقاسم حسن التنسيق بين الأجهزة الوطنية التي تدير استخدام الطيف، وقد تقتضي أيضاً التنسيق بين الإدارات على المستوى الدولي بالقرب من حدود البلدان. ويستفيد توزيع الطيف على المستعملين بوضع قيود جغرافية من القيود المتعلقة بانتشار الإشارات. وأبسط مثال عن القيود الجغرافية هو الاختلافات في توزيعات التردد بين مناطق الاتحاد الدولي للاتصالات. وعلى مقياس أصغر، تمثل المباعدة الجغرافية أيضاً الأساس لتخطيط الترددات للأنظمة الخلوية، الذي يسمح بإعادة استعمال الترددات بعد تحقيق مباعدة مادية ملائمة بين الخلايا وبين أنماط البث.

والمباعدة الزمنية أيضاً طريقة فعالة لتيسير التقاسم من خلال استعمال تكنولوجيات رشيقة زمنياً وأنظمة لتقاسم القنوات. وفي هذه الأنظمة، يمكن تقاسم قناة أو أكثر لها متطلبات زمنية محددة للإرسال بين كثير من المستعملين. ويمكن أن يتعايش الكثير من الأنظمة في نفس الجزء الزمني والمكاني للطيف، وذلك يتوقف على التشكيل المحدد والمستوى الحدي للتداخل أو أسلوب النفاذ المتعدد لكل نظام (مثل النفاذ المتعدد بتقسيم شفري (CDMA)). فعلى سبيل المثال، تتمثل إحدى المزايا الرئيسية لتكنولوجيا نشر الطيف في زيادة مقاومتها للتداخل. وتسمح هذه الخاصية لإرسالات متعددة بشغل نفس الطيف في نفس الوقت دون حدوث انقطاع، وذلك بطبيعة الحال في إطار قيود النظام.

3.2.1 الجوانب الاقتصادية

أضحت الاتصالات الراديوية تشكل جانباً متزايد الأهمية الحيوية في البنية التحتية للاتصالات وفي اقتصاد البلدان، وباتت النُهُج الاقتصادية إزاء إدارة الطيف على المستوى الوطني عنصراً أساسياً. وتعمل هذه النُهُج على تعزيز الكفاءة الاقتصادية والتقنية والإدارية وتساعد على ضمان قدرة الخدمات الراديوية على العمل على أساس عدم التداخل. ولتحقيق فعالية الاتصالات الراديوية يتعين أن يكون لدى البلد المعني نظام فعال لإدارة الطيف.

ونقطة البداية لتطبيق نظام فعال لإدارة الطيف هي تأمين الموارد المالية الكافية. ويمكن الحصول على هذه الموارد من الإدارات المعنية أو من الرسوم المحصلة من استعمال الطيف الراديوي. ويتفاوت تحصيل الرسوم من فرض رسوم على معالجة ترخيص

البث الراديوي إلى طرح جزء من الطيف الراديوي للبيع في المزاد. ويمكن أن تسهم الرسوم في تعزيز كفاءة استعمال الطيف شريطة أن تتضمن الحوافز الاقتصادية الصحيحة وألا تكون بالغة الانخفاض لدرجة أن يراها مستعملو الطيف مهملة، ولا بالغة الارتفاع بحيث تتعدى المعدلات المحددة في السوق، وفي هذه الحالة يمكن أن يتعرض الطيف للركود ولا يحقق أي فوائد.

ويمكن أن تكون المزادات ملائمة للغاية عندما يتنافس مقدمو الطلبات على نفس تخصيص التردد. وقد تتخطى إيرادات المزادات تكاليف إدارة الطيف بكثير ولكن نهج المزادات ينطوي على إمكانية التعبير بدقة عن قيمة الطيف. وقد لا تكون المزادات ملائمة في الخدمات التي تتسم بقلة المنافسة على تخصيصات الطيف وللخدمات الضرورية اجتماعياً مثل خدمات السلامة والدفاع الوطني ولبعض الخدمات المحددة الأخرى، مثل الخدمات الساتلية الدولية. ونظراً لأن المزادات الحديثة وضعت قيماً هائلة على الطيف، وصلت أحياناً إلى مليارات الدولارات، يتعين على الإدارات ضمان قابلية نطاق الطيف المعروض للمزاد للاستعمال، سواء عن طريق نقل المستعملين الحاليين أو من خلال تنفيذ شروط التقاسم. ومن شأن مراقبة هذه النطاقات في مناطق التغطية المناسبة أن تدعم هذا النشاط.

وقدم عدد من الإدارات أشكال دعم متعددة لمديري الطيف الوطنيين. بما في ذلك:

- مجموعات الاتصالات التي لها اهتمام مباشر بالطيف مثل اللجان الاستشارية والرابطات التجارية والمنظمات المهنية والرابطات شبه الحكومية؛
- منسقو الترددات ومديرو الطيف المعينون؛
- استشاريو إدارة الطيف، ومقاولو الدعم.

وتنطوي هذه الطرائق الداعمة على إمكانية تحقيق الوفورات في الموارد المالية والبشرية الحكومية وزيادة كفاءة استعمال الطيف وتحسين كفاءة تخصيص الترددات وتنسيقها وتعزيز خبرات مدير الطيف الوطني.

وللاطلاع على التفاصيل المتعلقة باقتصاديات الطيف، انظر التقرير ITU-R SM.2012.

3.1 أهداف المراقبة الوطنية

الغرض من مراقبة الطيف، كما ورد بيانه من قبل، هو المساعدة في حل حالات التداخل وضمان جودة مقبولة لاستقبال برامج الراديو والتلفزيون وتوفير معلومات مراقبة الترددات لإدارة الطيف.

ومن المنظور التاريخي، كان لتزايد كثافة استعمال الترددات العالية للوصلات الدولية أن اجتمعت البلدان لإرساء قواعد لتوزيع الترددات والإجراءات المتعلقة بالتعامل مع التداخل. وتصف المادة 16 من لوائح الراديو الإجراء والمرافق المزمع استعمالها لأغراض المراقبة الدولية على النحو المشار إليه في الفقرة 4.1 أدناه. ولتنفيذ أحكام المادة 16 من لوائح الراديو، يُوصى بأن تقوم البلدان بإنشاء مكتب مركزي ومحطة (محطات) لمراقبة الترددات الديكامترية (HF).

واليوم، وعلى الرغم من استمرار ضرورة مراقبة الموجات الديكامترية (HF) بدأت الحاجة تتزايد إلحاحاً إلى إيلاء مزيد من الاهتمام لمراقبة الموجات المترية/الديسيمترية/السنتيمترية (VHF/UHF/SHF). وتُستعمل هذه الترددات على نحو متزايد في شبكات الاتصالات الراديوية التي يقتصر نطاقها عموماً، بحكم طبيعتها الخاصة، على خط البصر، أو ما يعادل 100 كم تقريباً، تبعاً للتردد والقدرة وظروف الانتشار وارتفاع الهوائي (المُرسل والمُستقبل).

ويتناول الفصل الثاني في هذا الكتيب أفضل طريقة لاختيار مواقع محطات المراقبة، في ضوء المدى المحدود للمُرسلات المقرر مراقبتها. ويرد أدناه وصف استعمال هذه المرافق على المستوى الوطني، بينما تتناول الفقرة 4.1 استعمال هذه المرافق على المستوى الدولي.

1.3.1 مراقبة الامتثال للقواعد الوطنية

الغرض من مراقبة الطيف هو تحديد هوية الإرسالات التي لا تطابق المتطلبات إما لأنها غير مرخصة أو بسبب شكل من عدم امتثال الإرسال تقنياً للقواعد واللوائح الوطنية.

وهناك عدد من الأسباب الداعية لهذا النوع من العمل:

- يؤدي أي إرسال غير مرخص أو معيب إلى إضعاف الخدمة لدى المستعملين الآخرين من خلال التداخل؛
- تمثل الإرسالات غير المرخصة خسارة في الدخل المتحقق للإدارة من الترخيص وحافزاً سلبياً للمستعملين الآخرين الذين يسعون لاستصدار الرخص، كما تؤدي إلى تعقيد حل مشكلات التداخل؛
- لا يتحقق التخطيط على نحو فعال إلا في ظل بيئة مستقرة ومنسقة؛
- من حق الجمهور أن يحصل على مستوى مقبول من خدمات الإذاعة والخدمة الراديوية المتنقلة وخدمة الاستدعاء الراديوي.

1.1.3.1 التحقق من المعلمات التقنية والتشغيلية

تستعمل مراقبة الطيف للحصول على معلومات تفصيلية بشأن الخصائص التقنية و/أو التشغيلية للأنظمة الراديوية. وقد يتضمن ذلك عادة إجراء قياس تفصيلي للطيف المنبعث من المرسلات و/أو مخططات هوائياتها. ويمكن إجراء هذه القياسات لتوفير المعلومات اللازمة لتحليل التوافق الكهرمغنطيسي (EMC) أو التحقق من المطابقة مع الخصائص المرخصة في سجل معين لتخصيصات التردد أو ضمن عملية قبول النمط للتأكد من تشغيل نوع معين من التجهيزات بطريقة مطابقة للتجهيزات الأخرى في نطاق التردد. وأخيراً، قد تُجرى القياسات للتيقن من تشغيل المُرسل في إطار حدود معينة.

وعلى الرغم من إمكانية قياس الكثير من أنماط المعلمات التقنية، لعل أهمها هي معلمة الطيف المنبعث من المُرسل. ويتعين اختيار تقنية قياس من شأنها أن تسمح بإجراء قياس كمي لأنماط مختلفة من تشكيل الإشارات بطريقة مفيدة. ومن ثم، ينبغي أن ينطوي أي نظام للقياس على طائفة من عروض النطاق والمراشيح والموهنات وغيرها من المعلمات التي يمكن اختيارها إفرادياً للإشارة التي يجري قياسها. وينبغي أن تتوفر في بعض هذه القياسات مقدرات تحليل إشارة المتجهات.

2.1.3.1 حل التداخل وتحديد هوية المُرسلات غير المرخصة

تفيد بيانات مراقبة الطيف في تحديد سبب التداخل في المرسلات المرخصة وحله. وقد تسهم هذه القياسات في الكشف عن وجود مُرسلات غير مرخصة تسبب التداخل، أو في الكشف مثلاً عن حدوث تداخل في التشكيلات البينية ناجم عن اجتماع بث المُرسلات والبث الهامشي غير المقصود. ورغم الحاجة إلى طائفة واسعة من التوليفات الخاصة بقياسات الطيف وإلى إجراء تحليلات هندسية لحل بعض أنماط التداخل، غالباً ما تسهم بيانات مراقبة الطيف بدور رئيسي في هذه العملية. وغالباً ما تفيد المراقبة السمعية في تعرف هوية المُرسلات الضالعة في التداخل.

وقد يُشتبه في المرسلات غير المرخصة باعتبارها سبباً للتداخل. ولهذا السبب، غالباً ما يكون هناك ارتباط وثيق بين القدرة على حل مشكلات التداخل والقدرة على الكشف عن المُرسلات غير المرخصة وتحديد هويتها. وتكمن إحدى المشكلات الكبرى للكشف عن المرسلات غير المرخصة في صعوبة فصل الإشارات القانونية عن الإشارات غير المرخصة في أغلب الأحيان. ويزداد هذا الأمر صعوبة في النطاقات المزدحمة التي تتقاسم فيها المرسلات المرخصة وغير المرخصة نفس النطاق وتتمتع بخصائص تشكيل متشابهة.

ويمكن في بعض الأحيان الكشف عن الإشارات غير المرخصة عن طريق المراقبة السمعية للترددات التي قام مستعملون مرخصون بتقديم شكوى من حدوث تداخل فيها أو حيثما لا تحتوي سجلات تخصيصات التردد على أي مستعملين مخصصين قانونياً. وتساعد تقنيات تحديد الاتجاه وعربات التعقب المتنقلة والمعلومات المستقاة من المراقبة السمعية في تحديد هوية جميع المرسلات غير القانونية وتحديد موقعها بعد الكشف عن تشغيلها.

2.3.1 المراقبة لدعم سياسة إدارة الطيف

لا يمكن النهوض بالإدارة السليمة للطيف على نحو مرض إلا إذا تم إطلاع جهات تخطيط الطيف بشكل وافٍ على الاستعمال الحالي للطيف والاتجاهات السائدة في الطلب عليه. وبينما يتم جمع الكثير من البيانات من المستعملين المحتملين بشأن

استمارات طلب استصدار الرخص أو تجديدها، فنادراً ما تكون ملائمة تماماً لأغراض إدارة الطيف. وتشير هذه السجلات فقط إلى أن استعمال التردد مصرح به ولكنها قد لا توفر معلومات كافية بشأن مدى وكيفية استعمال الترددات فعلياً. ولذلك، فإن نطاق التردد الذي يبدو مزدحماً على أساس سجلات تخصيصات التردد قد يكون أو قد لا يكون في الواقع مزدحماً. وحالياً، يشترط العديد من البلدان، لدى توريد النظم الأوتوماتية الجديدة لإدارة الطيف، وجود صلة مباشرة أيضاً بنظام المراقبة وذلك بهدف تخزين مراقبة النتائج في قاعدة البيانات المركزية. وبعد ذلك، تتم إتاحة بيانات المراقبة بشكل مباشر لمخططي الترددات وتمنح الشركات القائمة بالمراقبة نفاذاً إلكترونياً إلى قاعدة بيانات الرخص. وقد يفضي ذلك إلى تحقيق الكفاءة في آلية تسيير الأعمال.

1.2.3.1 بيانات استعمال (شغل) الطيف

تشير بيانات الاستعمال أو شغل القنوات إلى الوقت الذي كان فيه لتردد معين إشارة معينة خلال فاصل مراقبة معين. ويمكن الجمع بين قياسات التردد الواحد لتوضيح كيفية تفاوت الاستعمال على مدار يوم كامل (بما في ذلك ساعات العمل المزدحمة وساعات الذروة ومتوسط الاستعمال وحده الأدنى). ويمكن توليف البيانات من الكثير من الترددات لبيان متوسط الاستعمال لجميع الترددات في نطاق ما أو لمجموعة مختارة من المستعملين.

وتشكل معلومات شغل القنوات وازدحام النطاقات أداة قيّمة لعدد من وظائف إدارة الطيف. ويمكن استعمال هذه المعلومات في تحديد القنوات الشاغرة في نطاق ما، كما يمكن استعمالها لحظر إضافة مزيد من التخصيصات إلى القنوات الكثيفة الاستعمال. ويمكن أيضاً استعمال هذه البيانات لحفز إجراء تحقيق، سواء عند وجود إشارات على القنوات غير المخصصة، وفقاً لسجلات إدارة الترددات، أو عندما لا يتم رصد أي استعمال على الترددات التي لها تخصيصات. ويمكن أن تكشف التغيرات في إحصاءات زمن الشغل، في نفس النطاق وفي نفس المنطقة الجغرافية، عن الاتجاهات السائدة. وأخيراً، يمكن استعمال هذا النوع من المعلومات للمساعدة في استباق توزيع النطاقات الإضافية والتخطيط لها عندما تشهد النطاقات القائمة ازدحاماً مفرطاً.

ولقياسات استعمال الطيف فائدة خاصة في النطاقات الراديوية المتنقلة البرية أو نطاقات الاتصالات التي تستخدم قنوات مماثلة. ويمكن أن تكون النطاقات المتنقلة الأخرى أيضاً ملائمة لقياسات الاستعمال. كما يمكن أن تضع عملية إدارة الطيف معايير استعمال للرجوع إليها في كل خدمة من الخدمات الضالعة في الأمر.

والعلاقة بين معلومات المراقبة وسجلات إدارة الطيف ليست مباشرة دوماً. فمعلومات شغل القنوات لا تفيد سوى بأن تردداً معيناً جاري استعماله. ولا تبين ما هو المرسل الذي يصدر الإشارة. ولا يعني وجود تخصيص ما على تردد معين ووجود إشارة ما على ذلك التردد بالضرورة أن الإشارة المقيسة تم إرسالها من المُرسل المُخصّص. وقد يلزم إجراء مراقبة سمعية للرموز الدليلية للنداء أو المعلومات المماثلة لتحديد هوية المُرسل من أجل إزالة أي لبس. وعوضاً عن ذلك، تمكّن أجهزة تحديد الاتجاه من حساب قياسات الشغل على أساس كل مُرسل على حدة، حيث يعتمد تحديد الهوية على معلومات التحديد الجغرافية. غير أن غياب الإشارة خلال وقت القياس لا يدل بالضرورة على غياب تخصيص التردد أو عدم استعمال التردد. وربما لا يكون قد تم استعمال مُرسل مخصّص خلال فترة المراقبة.

2.2.3.1 دعم التخصيصات الجديدة

يتفاوت مستوى الاستعمال حسب كل صاحب رخصة وفقاً لمجال العمل الذي يمارسه ووقت الاستعمال أثناء النهار وأيام الأسبوع. ويمكن استعمال المعلومات المتعلقة بمنح الرخص في التنبؤ بمستويات الاستعمال بدرجة نجاح معينة اعتماداً على مدى تطور نموذج التنبؤ ودقة البيانات. وبتزايد الازدحام، قد يصبح النموذج أقل ملاءمة بصورة مطردة في تحديد أقل القنوات استعمالاً. ويمكن أن تكون معلومات المراقبة المستقاة من المنطقة الجغرافية للتخصيص المقترح بالغة القيمة في تحديد أنسب تردد للغرض المنشود.

3.2.3.1 دعم تطوير نماذج إدارة أفضل

قد ينطوي جمع وتحليل بيانات المراقبة على تكلفة مرتفعة. ومن ثم، ليس من العملي استخدام بيانات المراقبة لجميع التخصيصات، وإن كانت المراقبة أداة قيمة. ويمكن تغطية المناطق قليلة الاستعمال في البلد بصورة ملائمة عن طريق النمذجة على أساس بيانات الرخص المتاحة. ويمكن مقارنة بيانات المراقبة في المناطق الأكثر ازدحاماً بالمستويات المتنبأ بها في النموذج إلى جانب استخدام النتائج في تحديد بيانات الرخص المشكوك فيها، ثم تحسين النموذج بحيث يناسب الصورة العامة على أفضل وجه. وبهذه الوسيلة، يمكن التحقق من سلامة النموذج ثم تنفيذه بصورة أفضل. وبناء على ذلك، يمكن تحسين توجيه المراقبة إلى المناطق الأشد احتياجاً للمساعدة.

4.2.3.1 دعم التعامل مع الشكاوى والاستفسارات

إزاء تزايد الازدحام، سينخفض مستوى رضاء المستعملين عن الخدمة المتاحة. وبفضل القدرة على المراقبة في المجالات التي تستقطب كميات مفرطة من الشكاوى يمكن التثبت من الطبيعة الحقيقية للمشكلة والخروج بأفضل إجراء تصحيحي. وسيكون من الممكن أيضاً إقامة الدليل على المزاعم المتعلقة بجودة الخدمة المتصورة أو دحضها.

5.2.3.1 دعم تصنيف وتفسير التداخل وآثار الانتشار

إن نطاقات الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF) ليست محصنة إزاء آثار الانتشار الشاذ. وقد تكون النتيجة حدوث تداخل من الخدمات البعيدة التي تعتبر عادة بالغة البعد ومن ثم لا تستلزم تنسيق جهود كبيرة.

ولا تستمر هذه الآثار لفترة طويلة، ورغم توفر بيانات إحصائية عنها فلا يمكن تقييم الآثار تقييماً دقيقاً على خدمات بعينها إلا من خلال عملية المراقبة. وربما يكون هناك عدد محدود من المُرسلات البعيدة التي تؤثر على عدد قليل من الخدمات. وقد يختلف العلاج الملائم حسب كل حالة على حدة. ومن شأن توفر بيانات مراقبة جيدة أن يساعد في تحديد أسباب المشكلة.

6.2.3.1 دعم تقاسم الطيف

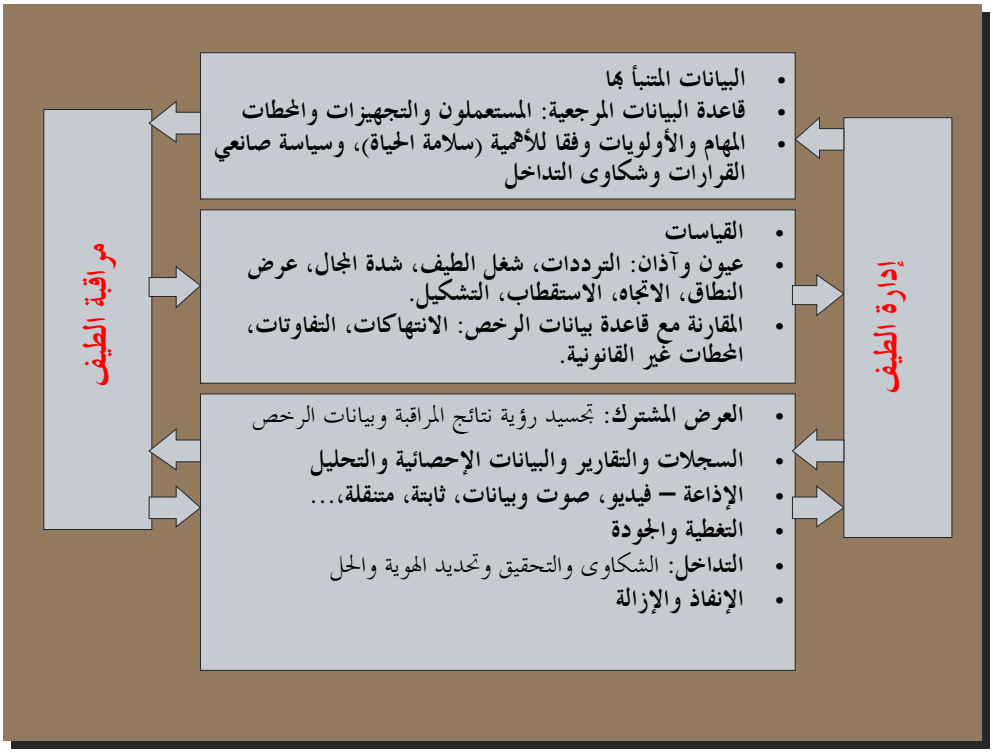
ارتفع الطلب الحالي على الطيف بحيث أصبح من المنتظر أن تتقاسمه مختلف الخدمات. ومن الواضح أن بعض الخدمات غير متوافقة، ولكن هذه المسألة غالباً ما تكون هامشية. ومن الممكن إجراء تجارب لتحديد درجة التوافق. ومن شأن مراقبة عملية التجربة توفير معلومات من قبيل سويات الإشارة النسبية التي من شأنها دعم تحليل أداء النظام.

7.2.3.1 وظائف مراقبة الطيف ضمن نظام إدارة الطيف

يبين الشكل 3.1-1 العلاقة بين إدارة الطيف ومراقبته. وتوفر بيانات الإدارة البيانات المتنبأ بها وقاعدة البيانات المرجعية للمستعملين (أصحاب الرخص) والتجهيزات (التردد الراديوي، القدرة) والمحطات (الإحداثيات وتحديد الهوية والارتفاع فوق مستوى سطح البحر والارتفاع فوق مستوى الأرض وكسب الهوائي وزاويتا السمت والارتفاع). وتعرض المهام والأولويات وفقاً لأهميتها (مثل سلامة الحياة) وسياسات صانعي القرارات والشكاوى من التداخل. وتتيح القياسات، وهي عين إدارة الطيف وأذنها، بيانات عن الترددات وشغل النطاق وشدة المجال وعرض النطاق والاتجاه والاستقطاب والتشكيل. وتشير مقارنة القياسات بالرخص إلى الانتهاكات وأوجه التفاوت والمحطات غير القانونية. ويمكن أن يسهم العرض المشترك في تجسيد رؤية نتائج المراقبة وبيانات الرخص، أي السجلات والتقارير والبيانات الإحصائية وتحليل الخدمات، مثل الإذاعة المتنقلة والثابتة على حد سواء؛ ويمكن وصف تغطيتها وجودة خدمتها، بما في ذلك وضع خرائط رقمية للتضاريس الأرضية. وتصبح حالة التداخل – الشكاوى والتحقيق وتحديد الهوية والحل – مرئية؛ ويصبح الإنفاذ والإزالة في حالة المحطات غير المرخصة إلزامياً.

الشكل 1-3.1

العلاقة بين وظائف إدارة الطيف ومراقبته



Spectrum-1.3-01

8.2.3.1 تدفق الأنشطة وقاعدة بيانات

رغبة في تحقيق التعاون الأمثل بين أنشطة إدارة الطيف ومراقبته، يُقترح أن يتاح لعمليات مراقبة الطيف نفاذاً فورياً مباشراً إلى قاعدة بيانات إدارة الطيف. وتقع مسؤولية صيانة قاعدة البيانات على عاتق هيئة إدارة الطيف. ومع ذلك، ورغبة في تمكين دائرة مراقبة الطيف بصورة أكثر فعالية من خلال تزويدها بمعلومات في الوقت الفعلي، يمكن تزويد دائرة المراقبة بنفاذ على الخط 'قراءة فقط' إلى جداول محددة في قاعدة البيانات، وذلك لتمكينها من تخطيط أنشطة المراقبة وتقييم النتائج.

وكذلك يُقترح إتاحة نفاذ إدارة الطيف إلى قاعدة بيانات مراقبة الطيف (نتائج المراقبة تحديداً).

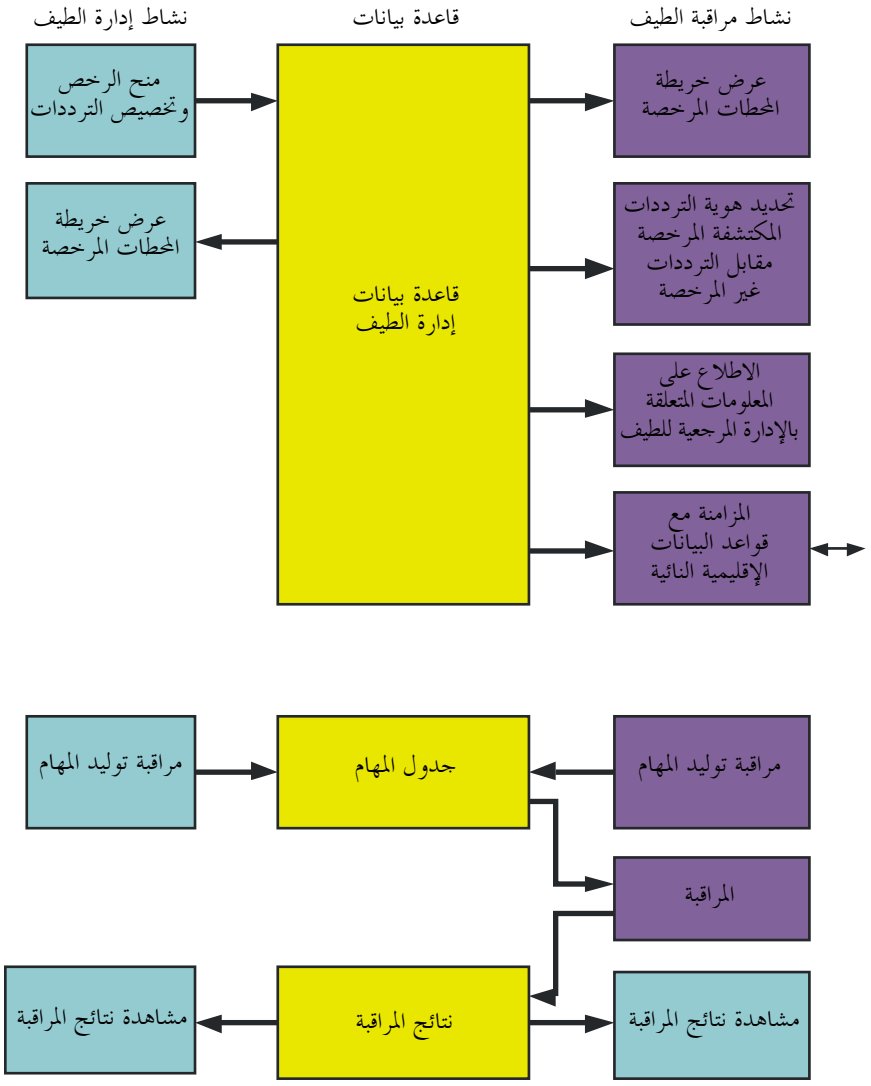
وقد يخفض ذلك من عدد الرسائل بين عمليتي إدارة الطيف ومراقبته، كما أن من شأنه دعم الاستعمال المستمر للمعلومات من كلا التطبيقين، بغض النظر عن الجهة التي تصدر المعلومات، انظر الشكل 2-3.1.

ويمكن أن تتضمن قاعدة بيانات إدارة الطيف التي يتاح لخدمة المراقبة النفاذ إليها ما يلي:

- بيانات (رخص) المحطات والشبكات؛
- معلومات تخصيص التردد؛
- بيانات التجهيزات؛
- بيانات أخرى.

الشكل 1.3-2

تدفق التعاون بين إدارة الطيف ومراقبته



Spectrum-1.3-02

وباستخدام هذه المعلومات تتمكن دائرة المراقبة من القيام بما يلي:

- عرض مجموعة فرعية من المحطات المرخصة على أساس خريطة تصف موقع كل محطة بيانياً؛
- تحديد هوية المحطات المرخصة مقابل المحطات غير المرخصة ونشاط الإرسال؛
- تحليل انتهاكات الترخيص؛
- مشاهدة البيانات المرجعية، مثل مواصفات التجهيزات أو تفاصيل المستعمل.

مهام وأعمال المراقبة

- من الممكن لنظام إدارة الطيف إعداد مهام وأعمال المراقبة من أجل تنفيذها من جانب نظام المراقبة. ويتم تخزين المهام والأعمال المطلوبة في قاعدة البيانات.

- من المقترح وضع سويات قصوى/حدود سماح على المعلمات المقرر قياسها (أي عرض النطاق) عند تحديد المهام والأعمال. وتستعمل هذه السويات القصوى/حدود السماح لتنبيه المشغلين عند حدوث أي انحرافات عن القيمة المتوقعة (المرخصة).
- تستعمل خدمة المراقبة هذه التعليمات لوضع جدول زمني للأنشطة الأوتوماتية (إلى جانب الشروع في العمليات التفاعلية) وحفظ النتائج في قاعدة البيانات.
- تتاح البيانات المحفوظة لأغراض التحليل وإعداد التقارير من جانب الموظفين المعنيين بإدارة الطيف و/أو مراقبته.

ويجري تنفيذ قاعدة البيانات المتقاسمة الواردة في هذه الوثيقة على مستوى دائرة مراقبة الطيف، على النحو الوارد في الفصل 3 من دليل الإدارة الوطنية للطيف الصادر عن الاتحاد، طبعة 2005. ويتعلق هذا الفصل بمكونات قاعدة البيانات ذات الصلة بإدارة مراقبة الطيف، بغية دعم تكامل نظام مراقبة الطيف مع نظام إدارة الطيف، كما ورد بيانه في التوصية ITU-R SM.1537.

ويلاحظ أن مسؤولية توزيع المعلومات ذات الصلة على محطات المراقبة النائية (أي إطلاع محطات المراقبة المتنقلة على قائمة محدثة بالمحطات المرخصة والترددات المخصصة في منطقة معينة قبل أن تبدأ محطة المراقبة المتنقلة هذه دورة العمل في تلك المنطقة)، وتقع إحالة نتائج القياس من المحطات النائية إلى المركز الوطني على عاتق خدمة مراقبة الطيف.

9.2.3.1 التحقق من صحة قواعد البيانات وتصحيحها

يتطلب الحفاظ على سلامة قواعد البيانات إجراء تحديثات وعمليات تحقق منتظمة. ويمكن الاستفادة من بيانات المراقبة في المساعدة على التحقق من سلامة قواعد بيانات إدارة الطيف وتحديثها، وذلك من خلال إجراءات يدوية. وفضلاً عن ذلك، تساعد قدرات المراقبة المتعلقة بالتحقق من البيانات في زيادة الحوافز لتحسين صيانة قاعدة البيانات.

4.1 المراقبة الدولية

1.4.1 النظام الدولي لمراقبة الطيف

يتضح من مطالعة مختلف فصول هذا الكتيب أن مراقبة البث مكون أساسي في نظام إدارة الطيف. وينبغي لكل بلد تشغيل مرافق المراقبة باعتبارها أدوات أساسية لضمان الإدارة الفعالة للطيف على المستوى الوطني. ومن جهة أخرى، ونظراً لأن أهداف الاتحاد تشمل ضمان الكفاءة والاقتصاد في استعمال الطيف والمساعدة في إزالة التداخل الضار بسرعة، فقد قررت الإدارات التعاون في وضع وتشغيل نظام دولي لمراقبة الطيف، واعتمدت أحكاماً تنظيمية ملائمة تحقيقاً لهذه الغاية.

وتتضمن المادة 16 من لوائح الراديو النصوص التي تحكم إنشاء وتشغيل النظام الدولي لمراقبة الطيف.

ويقتصر النظام الدولي لمراقبة الطيف على محطات المراقبة التي تحددها الإدارات بهذه الصفة. ويجوز أن تتولى تشغيل هذه المحطات إحدى الإدارات أو إحدى الهيئات العامة أو الخاصة أو إحدى خدمات مراقبة الطيف التي يشارك في إنشائها عدد من البلدان أو إحدى المنظمات الدولية. وتحدد الإدارات المسؤولة مدى توافق المعايير التقنية التي تلتزم بها المحطات مع توصيات قطاع الاتصالات الراديوية وتبلغ هذه المعلومات إلى الاتحاد. وجدير بالملاحظة في هذا الصدد أنه يجوز للإدارات تخويل مشاركة المحطات التي تلتزم بمعايير تقنية أدنى بغية تلبية بعض الاحتياجات المحددة المتعلقة ببيانات المراقبة.

ويتعين تحديد مكتب مركزي من قبل كل إدارة، أو من قبل مجموعة من الإدارات في الحالات التي تنشأ فيها خدمة مراقبة مشتركة، أو من قبل إحدى المنظمات الدولية المشاركة في الجهود الدولية لمراقبة الطيف. ويجب إرسال طلبات الحصول على معلومات المراقبة إلى المكتب المركزي الذي يقوم بعد ذلك بتجميع نتائج المراقبة من أجل إحالتها إلى مكتب الاتصالات الراديوية أو المكاتب المركزية الأخرى. وتنص المادة 20 من لوائح الراديو على أن يتولى الاتحاد نشر المعلومات المتعلقة بهذه المحطات في قائمة بمحطات المراقبة الدولية (تعرف أيضا باسم القائمة VIII) إلى جانب اسم المكتب المركزي.

وإضافة إلى ذلك تشمل القائمة VIII معلومات عن الوظائف المختلفة التي يمكن لكل محطة مراقبة أداءها، سواء في مجال خدمات الاتصالات الراديوية للأرض أم الفضائية.

والقائمة VIII وثيقة لا غنى عنها للتشغيل في النظام الدولي لمراقبة الطيف، نظراً لأن المعلومات التي تحتويها تمكّن الاتصال السريع بين المكاتب المركزية، لا سيما في حالة التداخل الضار. ومن ثم، من المهم أن تقوم الإدارات بتحديث المعلومات الواردة في القائمة VIII بعناية (بناء على طلب دوري من مكتب الاتصالات الراديوية) وإخطار المكتب مباشرة بأي تغيير ذي شأن. وتنشر الإضافات إلى القائمة VIII على أساس منتظم، كما تنشر المعلومات، التي يتلقاها الاتحاد بين فترات إصدار الإضافات، في 'النشرة التشغيلية للاتحاد' وكذلك على شبكة الويب في العنوان التالي: (http://www.itu.int/ITU-R/go/terrestrial-monitoring-listVIII/index.html).

2.4.1 الدور التنسيقي لمكتب الاتصالات الراديوية

النظام الدولي لمراقبة الطيف وسيلة لتنسيق أنشطة المراقبة من أجل تلبية الاحتياجات الدولية المتعلقة بجمع المعلومات وتبادلها ونشرها. وتجرى أنشطة المراقبة داخل النظام استجابة لطلب مقدم من الإدارات أو من مكتب الاتصالات الراديوية. ويضطلع المكتب بدور أساسي في تشغيل النظام عن طريق تنسيق تنظيم برامج خاصة للمراقبة تجرى على أساس منتظم وتوليف ودراسة النتائج وإجراء الترتيبات اللازمة لإبلاغ هذه المعلومات للإدارات. ويقوم المكتب، منذ عام 1999، بنشر التقارير المتعلقة بمعلومات المراقبة التي يتلقاها من الإدارات على موقع الاتحاد على الشبكة (http://www.itu.int/ITU-R/go/terrestrial-monitoring/en)، ويمكن تنزيل الملفات الإلكترونية لهذه المعلومات مجاناً.

وينظّم المكتب أنواعاً مختلفة من برامج المراقبة على أساس عالمي وإقليمي، إضافة إلى عدد محدود من البرامج التي تقتصر تغطيتها على منطقة أصغر حجماً أو على عدد محدود من الإدارات.

3.4.1 استعمال معلومات المراقبة الدولية من جانب المكتب

يحتاج مكتب الاتصالات الراديوية لبيانات المراقبة لأداء المهام التالية:

- المساعدة في إزالة عمليات البث غير المرخصة أو خارج النطاق؛
- تقديم المساعدة إلى الإدارات في حالات التداخل الضار؛
- توفير توجيهات للإدارات لدى اختيار الترددات؛
- التحضير لمؤتمرات الاتصالات الراديوية، لا سيما المؤتمرات المسؤولة عن توزيع نطاقات التردد، عن طريق توفير تقارير بشأن شغل الطيف.

ونظراً لاختلاف خصائص الانتشار في أجزاء مختلفة من الطيف، فإن بيانات المراقبة التي يستعملها المكتب تتعلق بوجه عام بالخدمات للأرض في نطاقات التردد دون MHz 28 أو نطاقات التردد المستخدمة في الاتصالات الراديوية الفضائية. غير أنه في بعض الحالات الخاصة، وتحديداً عند التدخل في حالات التداخل، يجب أن يكون المكتب قادراً على الحصول على البيانات المتعلقة بأي نطاق تردد.

وفي هذا الصدد، ينبغي التأكيد على أنه مع تزايد استعمال نطاق التردد من جانب خدمات الاتصالات الراديوية الفضائية، تتزايد الحاجة إلى معلومات المراقبة بشأن النطاقات التي تستعملها هذه الخدمات. وتدعو التوصية (WRC-97) 36 قطاع الاتصالات الراديوية إلى إجراء دراسة وتقديم توصيات بشأن التسهيلات المطلوبة لتوفير تغطية ملائمة للعالم بغية ضمان كفاءة استعمال الموارد، وتدعو الإدارات الجديدة إلى القيام بما يلي:

- بذل قصارى جهدها لتوفير مرافق للمراقبة على النحو المتوخى في المادة 16 من لوائح الراديو؛
- إعلام قطاع الاتصالات الراديوية بمدى استعدادها للتعاون في برامج المراقبة هذه بناء على طلب القطاع؛
- النظر في الجوانب المختلفة لمراقبة البث الناشئ عن المحطات الفضائية للمساعدة في تطبيق المادتين 21 و22 من لوائح الراديو.

ومن الضروري أيضاً أن تشارك هذه الإدارات التي لديها بالفعل مرافق مراقبة فضائية في النظام الدولي لمراقبة الطيف، وأن تخطر لهذه الغاية مكتب الاتصالات الراديوية بتفاصيل محطات المراقبة التابعة لها لإدراجها في القائمة VIII (القسم III).

1.3.4.1 المساعدة في إنهاء العمليات غير المرخص بها أو خارج النطاق

ينظم المكتب، من وقت إلى آخر، حملات مراقبة خاصة بغرض تحديد عمليات البث غير المرخص بها أو خارج النطاق وتشجيع الإدارات على اتخاذ الإجراءات الضرورية لإزالة الإرسالات المعنية.

وتكون نطاقات التردد التي تنظم من أجلها هذه الحملات هي عادة النطاقات الموزعة على خدمات السلامة. وأثناء هذه الحملات، يطلب المكتب من الإدارات مراقبة النطاقات المعنية عن كثب خلال فترة زمنية محدودة (لمدة أسبوع واحد عموماً). ويرد تفسير نوع البيانات المطلوبة في رسالة معممة تصدر عن مكتب الاتصالات الراديوية. ويعمل المكتب على تلخيص التقارير الواردة لتيسير إجراء المزيد من التحليل. وإذا تمكّن المكتب من التثبت بدرجة يقين معقولة من أن محطة التشغيل غير المرخصة أو خارج النطاق تندرج تحت سلطة إدارة محددة، فسيُلفت انتباه هذه الإدارة إلى التشغيل المبلّغ عنه وإلى التداخل المحتمل لهذا البث على خدمات السلامة.

وفي بعض الأحيان، تعزى الإرسالات المتداخِلة إما إلى بث هامشي ناجم عن سوء ضبط أحد المُرسلات العاملة في نطاق آخر أو إلى محطات مسجلة في 'السجل الأساسي الدولي للترددات' على أنها تعمل على "أساس عدم التداخل" على النحو الوارد في الرقم 4.4 من لوائح الراديو. ومن ثم، تتمكن الإدارات بوجه عام من إزالة التداخل الناتج.

وعلى سبيل المثال، ثمة حملة خاصة جارية منذ عام 1987، عملاً بالقرار 205 (المراجع في المؤتمر الإداري العالمي للراديو، الخدمات المتنقلة، 1987)، في النطاق MHz 406,1-406 الموزع حصرياً على المنارات الراديوية الساتلية لتحديد مواقع الطوارئ. وقد حققت هذه الحملة نتائج إيجابية للغاية. وتُنشر الإحصاءات المتعلقة بعدد الإرسالات المتداخلة التي تم الكشف عنها ومنعها في التقارير السنوية الصادرة عن مكتب الاتصالات الراديوية وكذلك في التقارير المتاحة على الموقع الإلكتروني التالي (http://www.itu.int/ITU-R/go/resolution-205/en).

2.3.4.1 تقديم المساعدة إلى الإدارات في حالات التداخل الضار

عملاً بالمادة 15 من لوائح الراديو، يجوز للإدارات التماس مساعدة مكتب الاتصالات الراديوية في حل حالات التداخل الضار. وغالباً ما يستعمل المكتب في دراساته التي يجريها لهذا الغرض المعلومات التي تتوفر من خلال المراقبة الدولية، والتي غالباً ما يتم الحصول عليها عن طريق تنظيم برامج خاصة لا تشمل سوى عدة محطات مراقبة.

ويجوز أن يطلب المكتب نوعين من المعلومات في حالات التداخل الضار:

- أولهما يتعلق بتحديد هوية المصدر المحتمل للتداخل الضار وتحديد موقعه. وفي هذه الحالة، يطلب المكتب من الإدارات التي لديها محطات مراقبة تحتوي على تجهيزات مناسبة ولها موقع مناسب بإجراء الرصدات والقياسات اللازمة.

- ويقوم المكتب بتقييم نتائج القياسات التي يتم الحصول عليها لتحديد موقع المحطات المتداخلة ومن ثم تحديد الإدارة التي يبدو أن هذه الإدارات تعمل في ولايتها القضائية. ويجري الاتصال بالإدارة المسؤولة لتأمين إزالة التداخل على وجه السرعة.

- والاستعمال الثاني لمعلومات المراقبة فيما يتعلق بحالات التداخل الضار هو قياس شدة مجال المحطة المتداخلة. وقد يكون ذلك ضرورياً عندما يكون هناك نوع من عدم اليقين بشأن درجة التداخل الضار، أو عند انطباق بعض المعايير الواردة في لوائح الراديو أو في إحدى توصيات قطاع الاتصالات الراديوية. ويطلب المكتب، في هذه الحالات، مساعدة الإدارات التي تقع محطات المراقبة التابعة لها في أماكن مناسبة وتحتوي على تجهيزات ملائمة لإجراء القياسات المطلوبة.

3.3.4.1 إرشادات للإدارات في اختيار الترددات

يقوم المكتب، بناء على طلب أي إدارة وفقاً للرقم 6.7 من لوائح الراديو، لا سيما إدارة أحد البلدان التي تحتاج لمساعدة خاصة، باستعمال المعلومات المدونة في السجل الأساسي، إلى جانب معلومات المراقبة المستقاة في سياق برامج المراقبة العادية أو الخاصة بغية تحديد الترددات المحتملة التي يمكن تخصيصها لمحطاتها في الخدمتين الثابتة أو المتنقلة.

وينبغي إيلاء اهتمام خاص للحالات التي تكون فيها ثمة حاجة لتوفير ترددات بديلة للتشغيل المنتظم للمحطات في الخدمة المتنقلة للطيران أو الخدمة المتنقلة البحرية بسبب وجود حالات تداخل ضار لم تحل.

4.3.4.1 التحضير لمؤتمرات الاتصالات الراديوية

يجوز للمكتب، في إطار التحضيرات لمؤتمر الاتصالات الراديوية، وخاصة إذا كان منوط بالمؤتمر اتخاذ قرارات بشأن إجراء تغييرات في جدول توزيع نطاقات التردد، تنظيم حملات مراقبة خاصة تهدف إلى تكميل البيانات الواردة في السجل الأساسي. ويجرى إبلاغ النتائج إلى المؤتمر في شكل تقرير بحيث يمكن تقييم أثر التغييرات المقترحة في استعمال الطيف.

وإضافةً إلى ذلك، يجوز أن يطلب مؤتمر الاتصالات الراديوية من المكتب تنظيم حملات مراقبة خاصة لا تقتصر على توفير معلومات بشأن استعمال جزء محدد من الطيف فحسب وإنما تشمل أيضاً دعم الدراسات المتعلقة بالتداخل الناجم عن اتصالات السلامة لإخضاعها لمزيد من التحليل في مؤتمر لاحق.

4.4.1 برامج المراقبة الدولية

1.4.4.1 البرنامج المنتظم

يحافظ الاتحاد، منذ استحداث 'جدول توزيع نطاقات التردد' التي اعتمدها مؤتمر الراديو في أتلانتك سيتي في عام 1947، على برنامج منتظم لمراقبة الطيف في نطاقات التردد الديكامترية (HF) ما بين 2 850 kHz و28 000 kHz. وقد ظهر الإصدار الأول من "موجز معلومات المراقبة" في عام 1953 وتُنشر هذه الموجزات منذ ذلك الحين على أساس منتظم. والأهداف الرئيسية لبرامج المراقبة المنتظمة التابعة للنظام الدولي لمراقبة الطيف هي:

- جمع المعلومات عن استخدام الطيف في موقع محطات المراقبة واشتقاق مؤشر كيفية استعمال الطيف منها؛
- تحديد هوية المحطات التي لا تتوافق إرسالاتها مع الرقم 8.16 من لوائح الراديو؛
- جمع المعلومات، إذا طلب أحد مؤتمرات الاتصالات الراديوية ذلك، عن استعمال النطاقات بشكل حصري في خدمات محددة (أي الإذاعة والخدمة البحرية وخدمة الملاحة الجوية للطيران) لكي تنظر فيها مؤتمرات الاتصالات الراديوية الملائمة في المستقبل؛
- توفير المعلومات للإدارات، التي ليس لديها مرافق مراقبة، لأغراض إدارة الترددات.

وتساهم عدة إدارات عادة في تقديم تقارير إلى المكتب تسهم في إعداد التقارير الموجزة للمراقبة المنتظمة. ويعمل المكتب على التحقق من سلامة المعلومات الواردة وإعداد قاعدة بيانات مجمعة في شكل ملفات ربع سنوية، يجري تحديثها باستمرار ونشرها على الموقع الإلكتروني للاتحاد (http://www.itu.int/ITU-R/go/terrestrial-monitoring/en).

2.4.4.1 البرامج الخاصة

يقوم المكتب، من وقت إلى آخر، بتنظيم برامج مراقبة خاصة تغطي بعض نطاقات التردد والفواصل الزمنية. وتنظم هذه البرامج على مدى أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع، يعقد كل منها في وقت قريب من حدوث اعتدال واحد أو انقلابين شمسيين على الأقل.

ويُعلن عن كل من هذه البرامج الخاصة في رسالة معممة إلى جميع الإدارات، بحيث تدعى إلى إجراء جميع الترتيبات اللازمة قبل المشاركة الفعلية في الحملة بوقت كاف. وتحتوي الرسالة المعممة أيضاً على قائمة بالمعلمات المختلفة التي تُدعى محطات المراقبة إلى جمعها، وتشير إلى النسق الذي ينبغي استخدامه لتبليغ البيانات إلى المكتب.

5.4.1 تغطية المراقبة العالمية

إن أحد الشروط الأساسية لنجاح تشغيل النظام الدولي لمراقبة الطيف هو تحقيق تغطية موحدة لجميع أجزاء العالم من خلال محطات المراقبة التي تضم تجهيزات كافية والتي تشارك بنشاط في برامج المراقبة هذه التابعة للاتحاد. وفي الوقت الحالي، يلاحظ أن هذه التغطية غير منتظمة، لا سيما في بعض مناطق العالم التي غالباً ما يكون جمع معلومات المراقبة منها مطلباً أساسياً.

وأشار القرار ITU-R 23 إلى الحاجة إلى توسيع نطاق نظام المراقبة الدولية للإرسالات على المستوى العالمي، وقرر تحديداً ما يلي:

- ينبغي حث جميع الإدارات التي تشارك حالياً في النظام الدولي لمراقبة الطيف، بما في ذلك لأغراض مراقبة سويات إرسال المحطات الفضائية، على مواصلة القيام بذلك إلى أقصى حد ممكن وتوفير البيانات إلى المكتب من أجل إعداد موجز للمراقبة تطبيقاً للمادة 16 من لوائح الراديو؛
- وينبغي حث الإدارات، التي لا تشارك حالياً في النظام الدولي لمراقبة الطيف، على إتاحة مرافق المراقبة لذلك النظام، وفقاً للمادة 16 من لوائح الراديو باستخدام المعلومات الواردة في هذا الكتيب؛
- وينبغي تشجيع التعاون بين محطات المراقبة التابعة للإدارات المختلفة وتحسينه بغية تبادل معلومات المراقبة المتعلقة بإرسالات المحطات الأرضية والفضائية، وتسوية حالات التداخل الضار التي تسببها المحطات المرسلة والتي يصعب أو يتعذر تحديد هويتها؛
- وينبغي حث الإدارات، التي تقع في مناطق من العالم تفتقر إلى مرافق مراقبة ملائمة، على تشجيع إنشاء محطات مراقبة لاستعمالها الخاص وإتاحتها لأغراض المراقبة الدولية، وفقاً للمادة 16 من لوائح الراديو؛
- ويجوز لمكتب الاتصالات الراديوية استعمال البيانات التي تقدمها محطات المراقبة المشاركة في النظام الدولي لمراقبة الطيف في إعداد الملخصات المتعلقة ببيانات المراقبة المهمة تطبيقاً للمادة 16 من لوائح الراديو؛
- وينبغي حث الإدارات التي لديها أنظمة مراقبة للأرض وفضائية متقدمة على الموافقة على استقبال موظفين من إدارات أخرى لتدريب موظفيها على أساليب المراقبة وتحديد الاتجاه وتحديد المواقع. ويجوز الاتصال بصورة أولية بالمكاتب المركزية المختصة المدرجة في القائمة VIII للاتفاق على التدريب.

5.1 التعاون بين محطات المراقبة في مختلف البلدان

إن أحد الأهداف المحددة في القرار ITU-R 23 الصادر عن جمعية الاتصالات الراديوية، كما ورد أعلاه، هو التعاون بين محطات المراقبة التابعة للإدارات المختلفة. وهذا التعاون بالغ الأهمية في المناطق التي تكون فيها محطات المراقبة قريبة نسبياً بعضها من بعض. ويمكن توخي أشكالاً مختلفة من التعاون بينها. ويرد مثالان لهذا التعاون في الفقرتين 1.5.1 و2.5.1.

1.5.1 التعاون دون نطاق التردد 30 MHz

يمكن تنظيم التعاون الوثيق بين محطات المراقبة بحيث يمكن أن تشارك بدورها في برنامج مراقبة محدد، وذلك لتجنب التداخل بين الأنشطة التي تجريها هذه المحطات التي تغطي نفس المنطقة. ولهذا الغرض، يمكن تقسيم جزء من الطيف المزمع مراقبته إلى نطاقات فرعية بحيث تقوم كل محطة مراقبة مشاركة في البرنامج بعمليات استكشاف وفقاً لجدول زمني محدد سلفاً، مرة في الأسبوع مثلاً. ويتعين تعريف بعض القواعد التشغيلية المشتركة بحيث تتبع طريقة موحدة في جميع العمليات، بما في ذلك تقييم جودة استقبال الإشارات. ومن المستصوب أن تضطلع إحدى محطات المراقبة المشاركة في تنسيق جميع هذه العمليات.

ويمكن تنفيذ هذه الترتيبات إما لأغراض محددة أثناء برامج المراقبة الخاصة التي ينظمها مكتب الاتصالات الراديوية على سبيل المثال، أو ربما تستمر لفترات أطول.

وثمة مجال آخر قد يلزم فيه إجراء تنسيق وثيق بين محطات المراقبة وهو تحديد موقع المُرسل وتحديد هويته، لا سيما في حالة حدوث تداخل ضار. وفي هذه الحالة، يكون من أهم العوامل السرعة والدقة في التدخل. ومن ثم، من الضروري إتمام الترتيبات الإدارية والتشغيلية، على أساس مسبق، بين إدارات البلدان التي تقع فيها محطات المراقبة. وحالما تدعو الحاجة، يمكن أن تنشئ هذه المحطات اتصالاً مباشراً فيما بينها بغية إجراء قياسات متزامنة لنفس الإرسالات، بما في ذلك - حسب الاقتضاء - ما يتعلق بالمُرسل المعني.

ومرة أخرى، ينبغي أن تضطلع إحدى محطات المراقبة بدور قيادي في العملية، وإن لم يكن ضرورياً بطبيعة الحال أن يُعتمد على نفس المحطة في جميع الحالات. ومن المعتاد أن تضطلع المحطة التي تطلب إجراء التحقيقات بالدور القيادي.

2.5.1 التعاون فوق نطاق التردد 30 MHz

تسعى البلدان المتجاورة على نحو متزايد إلى توفير اتصالات راديوية منسقة لتيسير عمليات التشغيل عبر الحدود باعتماد مواصفات مشتركة. وهذه الظاهرة ملحوظة، في أوروبا على الأقل، وينبغي أن تشجع البلدان المعنية على إنشاء مرافق مراقبة منسقة بل ومتكاملة عن طريق اعتماد إجراءات متماثلة وإنشاء بنية تحتية مشتركة في ظل ظروف معينة. ومن شأن ذلك أن يزيد من كفاءة خدمات المراقبة وأن يؤدي إلى انخفاض الاستثمارات المالية المتعلقة بمراقبة البنية التحتية ومن ثم زيادة مقبوليتها.

ومن شأن التعاون بين التقنيين في البلدان المختلفة على صعيد تحديد وتصميم نظام تشغيل مشترك أن يترك أثراً إيجابياً كبيراً على الابتكار التقني وجودة العلاقات الشخصية والدولية ذات الصلة.

وتشير الفقرة 6.2 في هذا الكتيب إلى حاجة البلدان إلى استحداث محطات مراقبة تعمل في نطاق الترددات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF) يتم اختيار مواقعها بعناية، مع مراعاة النطاق الاعتيادي المحدود للمُرسلات في هذه النطاقات.

وربما يشار على البلدان المتجاورة بإبرام ترتيبات خاصة فيما بينها على أساس المادة 16 من لوائح الراديو بغية الوصول بإجراءات المراقبة إلى المستوى الأمثل واستحداث مرافق في المنطقة (المناطق) الحدودية. ويمكن تصنيف هذه الترتيبات الثنائية أو حتى المتعددة الأطراف في ثلاث فئات.

وتعتبر الفئة الأولى الخطوة الأولية بينما تمثل الفئتان الثانية والثالثة أهدافاً طويلة الأجل. والمسائل الرئيسية التي ينبغي التصدي لها هي:

الفئة الأولى:

- الحالات التي يؤذن فيها للسلطات الإقليمية على جانبي الحدود بالتواصل بشكل مباشر، على سبيل المثال، فقط عندما تقع الترددات المعنية في نطاق المسؤولية المباشرة للمركز الإقليمي (ترددات يتعين تحديدها)، على أساس الرقم 3.16 من لوائح الراديو؛
- وفي هذه الحالات ثمة أساليب لإعلام المكاتب المركزية (الرقم 3.16 من لوائح الراديو)؛
- تبادل قائمة الإجراءات التي تسمح بها السلطات الإقليمية، مثل:
  - إجراء قياسات من الإقليم الخاص بها عن المرسلات القائمة في البلد المجاور، بناء على طلبها، وإحالة النتائج إليها؛
  - تخويل فريق متنقل من البلد المجاور بالقدوم وأخذ القياسات بنفسه؛
  - المساعدة المتبادلة في كلتا الحالتين.

الفئة الثانية:

- المشاركة في وضع خطة لتوزيع محطات المراقبة في المناطق الحدودية؛
- تحديد السطوح البينية لتمكين كل بلد من أخذ قياسات المُرسلات القائمة في إقليمه من أي محطة في المنطقة الحدودية؛
- وضع جدول زمني لتركيب مرافق مراقبة منسقة.

الفئة الثالثة:

- تبادل قوائم الشبكات المرخصة في المناطق الحدودية لكل بلد على حدة، إلى جانب خصائصها التقنية، بحيث لا يستمر اعتبار المرسلات "الأجنبية" مجهولة الهوية؛
- تبادل هذه القوائم باستعمال إجراءات الإرسال الأوتوماتي للبيانات عن بعد.

وتقام ترتيبات من هذا النوع في العديد من أجزاء العالم، لا سيما في المناطق المزدحمة بالسكان. وتمثل الترتيبات الطويلة الأمد القائمة بين كندا والمكسيك والولايات المتحدة مثالاً نموذجياً لهذا التعاون.

وثمة حاجة أيضا لإجراء هذا التعاون في المنطقة الأوروبية، حيث أبرمت فرنسا وألمانيا وسويسرا، على سبيل المثال، اتفاقاً من الفئة الأولى في عام 1993. ويرد وصف تفصيلي لهذا الاتفاق في الملحق 1 بهذا الفصل.

وهدفت فرنسا، لدى تصميم نظامها الوطني لمراقبة الطيف، على وجه التحديد إلى تسهيل النفاذ إلى نظامها وتشغيله أوتوماتياً، من جانب كل من المستعملين الوطنيين المخولين والمستعملين من البلدان المشاركة في الاتفاق.

الملحـــق 1 بالفصـــل 1

اتفاق تعاون مباشر بين محطات المراقبة الراديوية

اتفاق بين إدارات فرنسا وألمانيا وسويسرا
بشأن التعاون المباشر بين محطات المراقبة الراديوية

اتفاق

بين الإدارات الموقعة على التعاون المباشر بين محطات المراقبة الراديوية

حددت الإدارات الموقعة النقاط التالية في إطار مسؤولياتها المحددة بموجب المواد[1] 20 و22 و24 من لوائح الراديو لتسوية مشكلات التداخل الضار أو الإرسالات غير المرخصة.

1 إذا اعتبر التماس المساعدة من بلد آخر أمراً ضرورياً، يتوجه المكتب المركزي للبلد المعني بطلب إلى المكتب المركزي للبلد الآخر وفقاً للوائح الراديو (الرقم 1875 من لوائح الراديو).

2 تحدد الجهات المسؤولة عن مراقبة الراديو محطات المراقبة الراديوية التي يمكن أن تنشئ اتصالاً مباشراً فيما بينها، متى اعتبر ذلك ملائماً (الرقمان 1946 و1956 من لوائح الراديو).

3 توافق الإدارات على عبور تجهيزات المراقبة المتنقلة لمحطات المراقبة الراديوية المشار إليها في الرقم 2 الحدود المشتركة لبلدانها تنفيذاً لمهام المراقبة الراديوية.

ويتعين الحصول على الموافقة من البلد الآخر في كل حالة.

ويمكن أن تستعمل المحطات تجهيزات المراقبة الخاصة بها.

ولا يغطي هذا الاتفاق استعمال وسائل الاتصالات.

4 لا يجوز اتخاذ أي إجراءات رسمية مباشرة تجاه المواطنين في إقليم البلد الآخر.

5 تتبادل محطات مراقبة الراديو الدعم تطبيقاً لهذا الاتفاق.

6 تضع الجهات المسؤولة عن مراقبة الراديو الشروط المتعلقة بتطبيق هذا الاتفاق في بروتوكول.

الملاحظة 1 – حلت محلها المواد 16 و15 و18 على التوالي.

باريس، 16 سبتمبر 1993

عن الوزير المسؤول عن الاتصالات في فرنسا:
مدير المديرية العامة للتنظيم:

برن، 15 أكتوبر 1993

عن الإدارة العامة لشركات التشغيل التابعة لهيئة البريد والبرق والهاتف السويسرية:
مدير إدارة الراديو والتلفزيون:

بون، 9 نوفمبر 1993

عن الوزير الفيدرالي للبريد والاتصالات:

بروتوكـــول

بشأن الاتفاق المبرم في عام 1993 بين إدارات ألمانيا وسويسرا وفرنسا بشأن التعاون المباشر بين محطات المراقبة الراديوية

1 الجهات المشاركة في التعاون

- عن ألمانيا: محطات المراقبة الراديوية في مدينتي كونستانس ودارمشتادت؛
- عن فرنسا: *الخدمات الإقليمية للاتصالات الراديوية* في ليون – سان آندريه دو كورسي ونانسي، والمركز الدولي للمراقبة الراديوية في رامبوييه؛
- عن سويسرا: محطات المراقبة الراديوية في بازل وبرن وشاتوني وجنيف وسان غالين وزيورخ.

2 شكل التعاون

ينص التعاون المباشر على الإمكانيات التالية للبلدان المشاركة في الاتفاق:

- إجراء قياسات باستعمال تجهيزات المراقبة الثابتة والمتنقلة بناء على طلب إحدى البلدان المجاورة على إقليمها؛
- إجراء قياسات باستعمال تجهيزات المراقبة المتنقلة الخاصة بها خارج إقليمها؛
- تبادل نتائج القياسات.

3 إجراءات التعاون

يُرسل طلب إجراء القياسات بين محطات المراقبة بالهاتف أو الفاكس أو التلكس. فإذا كان من اللازم إجراء القياسات باستعمال تجهيزات المراقبة المتنقلة على إقليم أجنبي، فلا يجوز تجاوز منطقة التغطية البالغة 50 كيلومتراً من الحدود.

4 حدود التعاون

ينتهي التعاون المباشر بين محطات المراقبة عندما لا يمكن التعامل مع الطلب على أساس أن المسألة تقع خارج اختصاص محطة المراقبة.

وينتهي أيضاً:

- عندما يُتوقع أن تستغرق القياسات باستعمال تجهيزات المراقبة الثابتة أكثر من ثلاث ساعات؛
- عندما يُتوقع أن تستغرق القياسات باستعمال تجهيزات المراقبة المتنقلة أكثر من تسع ساعات أو تستلزم أكثر من مركبة مراقبة.

وفي كلتا الحالتين، ينبغي توجيه الطلبات إلى المكتب المركزي.

باريس، 16 سبتمبر 1993	برن، 15 أكتوبر 1993	ماينز، 29 نوفمبر 1993
عن المديرية العامة للتنظيم؛ الهيئة الوطنية للاتصالات الراديوية:	عن الإدارة العامة لشركات التشغيل التابعة لهيئة البريد والبرق والهاتف السويسرية؛ إدارة احتكار الدولة للاتصالات الراديوية التابعة لمديرية الراديو والتلفزيون:	عن المكتب الفيدرالي للبريد والاتصالات؛ المكتب المركزي لخدمة المراقبة الراديوية:

ملاحظة – تغيرت أسماء الهيئات الموقعة نظراً لإعادة تنظيم هيئات الاتصالات. ومع ذلك، يبقى الاتفاق سارياً.

المراجـــع

نصوص قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد:

ملاحظة – ينبغي في كل حالة استعمال الإصدار الأخير من التقرير.

دليل الإدارة الوطنية للطيف الصادر عن قطاع الاتصالات الراديوية [2005].

كتيب تقنيات إدارة الطيف بالاستعانة بالحاسوب الصادر عن قطاع الاتصالات الراديوية [2005].

التوصية ITU-R SM.1049 – أسلوب لإدارة الطيف مزمع استعماله لدعم تخصيص الترددات لخدمات الأرض في المناطق الحدودية.

التقرير ITU-R SM.2012 – الجوانب الاقتصادية لإدارة الطيف.

التقرير ITU-R SM.2015 – طرائق لتحديد استراتيجيات وطنية طويلة الأمد لاستخدام الطيف.

التقرير ITU-R SM.2093 – توجيه بشأن الإطار التنظيمي للإدارة الوطنية للطيف.

التقرير ITU-R SM.2130 – التفتيش على المحطات الراديوية.

القرار ITU-R 23-1 – توسيع نطاق نظام المراقبة الدولية للإرسالات على المستوى العالمي.

القرار 9 لقطاع تنمية الاتصالات (المُراجع في الدوحة، 2006) - مشاركة البلدان، لا سيما البلدان النامية، في إدارة الطيف الترددي.

الفصـــل 2

التنظيم والبنى المادية والموظفون

الصفحة

1.2 مهام وتنظيم خدمة المراقبة 32
1.1.2 مهام خدمة المراقبة 32
1.1.1.2 المهام المشتقة من لوائح الراديو 32
2.1.1.2 المهام المضطلَع بها على الصعيد الوطني 32
3.1.1.2 المهام المخصصة عادة لخدمة التفتيش الراديوي 33
4.1.1.2 تعاون خدمتي المراقبة الراديوية والتفتيش الراديوي 33
5.1.1.2 التعاون مع هيئات أخرى 34
2.1.2 مهام القياس والتجهيزات الأساسية 34
3.1.2 بنية نظام المراقبة 35
1.3.1.2 المكتب المركزي والتعاون الدولي 35
2.3.1.2 الهيكل التنظيمي 35
3.3.1.2 التشكيلة الجغرافية لمحطات المراقبة 36
1.3.3.1.2 مدى الترددات الديكامترية (HF) 36
2.3.3.1.2 مدى الترددات المترية/ الديسيمترية (VHF/UHF) 37
3.3.3.1.2 الإشارات الساتلية 37
2.2 التشغيل 37
1.2.2 التعليمات والاستمارات المتعلقة بالعمل 37
2.2.2 جداول العمل 38
3.2.2 الإجراء النمطي الذي يُطبَّق في حالات الشكاوى من التداخل 38
1.3.2.2 الإبلاغ عن التداخل 39
2.3.2.2 التشخيص التمهيدي 39
3.3.2.2 تحديد موقع المصدر بالوسائل المتنقلة 39
4.3.2.2 عمليات قياس الإرسالات ومصادر التداخل الممكنة 39
5.3.2.2 تقييم القياسات والإجراء اللازم 40
6.3.2.2 التداخلات الناجمة عن محطات أجنبية أو عسكرية 40
7.3.2.2 التحقق النهائي 40
4.2.2 تعرّف هوية المحطات الراديوية غير القانونية وفك توصيلها 40
5.2.2 توثيق الحالات 41

الصفحة

3.2 نظام معلومات الإدارة 42
1.3.2 قاعدة البيانات 42
2.3.2 نظام الإبلاغ والتحليلات الإحصائية 43
3.3.2 خطة العمل 43
4.3.2 تخطيط الموارد 44
4.2 أنماط محطات المراقبة 44
1.4.2 محطات المراقبة الثابتة 44
2.4.2 محطات المراقبة المتنقلة 45
1.2.4.2 أنظمة الملاحة وتحديد المواقع 46
2.2.4.2 المركَبَات 46
1.2.2.4.2 اعتبارات عامة 46
2.2.2.4.2 هوائيات محطات المراقبة المتنقلة 47
3.2.2.4.2 متطلَّبات يتعين الوفاء بها في المركبة 49
4.2.2.4.2 التزويد بالطاقة 50
5.2.2.4.2 مثال لمفهوم المركبة 53
3.2.4.2 محطات المراقبة المحمولة جواً 55
1.3.2.4.2 عمليات محطات المراقبة المحمولة جواً 56
الإجراءات التشغيلية 56
2.3.2.4.2 التطبيقات – أمثلة 57
3.3.2.4.2 متطلبات تشغيل المركبة الجوية 57
4.3.2.4.2 المتطلبات التقنية في المركبة الجوية 57
5.3.2.4.2 الهوائيات 58
6.3.2.4.2 المتطلبات العامة للأنظمة على متن المركبة 58
7.3.2.4.2 معايير تشكيلة محطة مراقبة راديوية على متن مركبة جوية 59
4.2.4.2 محطات المراقبة البحرية 59
3.4.2 محطات المراقبة القابلة للنقل 60
4.4.2 تجهيزات الدعم الإضافية 60
5.2 التحكم عن بعد في تجهيزات المراقبة 61
1.5.2 أساليب التشغيل وتبادل المعلومات عن بعد 61
2.5.2 معمارية الشبكة وخطوط الاتصال 61
1.2.5.2 توصيل التجهيزات فيما بينها محلياً 62
2.2.5.2 شبكة اتصالات المسافات البعيدة 63
1.2.2.5.2 الشبكة الثابتة للاتصالات 63

الصفحة

الشبكة الهاتفية العمومية التبديلية التماثلية 63
الخطوط المستأجرة التماثلية 63
الخطوط المستأجرة الرقمية 63
الشبكة الرقمية المتكاملة الخدمات 63
الشبكة العمومية لنقل الرزم X25 63
شبكة ترحيل الأرتال 64
تكنولوجيا خط المشترك الرقمي (اللاتناظري والعالي السرعة جداً) 64
شبكة أسلوب النقل غير المتزامن (ATM) 64
2.2.2.5.2 شبكات الاتصالات الراديوية 64
الوصلات الراديوية المتنقلة العمومية بمعيار 2G 64
الوصلات الراديوية المتنقلة العمومية بمعيار 3G 64
الوصلات الراديوية العمومية بمعيار 3,9G و4G 64
الشبكة المحلية اللاسلكية (WLAN) (IEEE 802.11) 64
3.2.2.5.2 الشبكات الساتلية 65
شبكات المطاريف ذات الفتحات الصغيرة جداً 65
3.5.2 تدفق البيانات وما يمكن تحقيقه 65
4.5.2 نصائح بشأن البروتوكول والبرمجيات 66
5.5.2 أمن الأنظمة وطريقة النفاذ 66
6.2 المواقع والمباني والمرافق 67
1.6.2 مواقع محطات المراقبة 67
1.1.6.2 اعتبارات عامة 67
2.1.6.2 المعايير الدنيا المرغوب أن يفي بها موقع المحطة 67
3.1.6.2 معايير إضافية مرغوبة في مواقع المحطات المجهزة بمحدِّدات الاتجاه 69
4.1.6.2 الحماية من المجالات الشديدة التي تُحدثها المرسِلات 71
5.1.6.2 الحماية من أنظمة حاسوبية محلية 72
6.1.6.2 متطلبات مساحة الأرض 72
7.1.6.2 الطرق 73
8.1.6.2 التسييج 73
2.6.2 المباني والمرافق المساعدة 73
1.2.6.2 المباني 73
1.1.2.6.2 مباني المراقبة المخصصة لمواقع المراقبة المأهولة 73
2.1.2.6.2 توزيع الأمكنة 74
3.1.2.6.2 العزل الصوتي 76
4.1.2.6.2 الغرف المدرَّعة 76

الصفحة

5.1.2.6.2 مجاري الكبلات 76
6.1.2.6.2 مبنى أو قاعة مولِّدات طاقة من أجل الطوارئ 77
7.1.2.6.2 ورشة الميكانيك ومُستودَع المركبات 77
2.2.6.2 غرف حماية من أجل عمليات المراقبة عن بعد غير المأهولة 77
3.2.6.2 الخدمات ومصادر الطاقة وغيرها من المنشآت 78
1.3.2.6.2 الطاقة الكهربائية 78
2.3.2.6.2 نظام تزويد بالطاقة لا ينقطع 78
3.3.2.6.2 الإضاءة الاحتياطية 78
4.3.2.6.2 دارات الهاتف والبيانات 79
5.3.2.6.2 التدفئة وتكييف الهواء 79
6.3.2.6.2 الإنذار بالحريق ونظام الإطفاء 79
4.2.6.2 الحماية من الصواعق 79
1.4.2.6.2 تأثير الصاعقة 79
2.4.2.6.2 الحماية من الصعق المباشر 80
3.4.2.6.2 الحماية من الصاعقة المستحَثَّة 81
4.4.2.6.2 تدابير الحماية 81
5.4.2.6.2 التأريض والحجب 82
6.4.2.6.2 حماية الهوائيات 82
7.4.2.6.2 صيانة نظام الحماية من الصواعق 83
3.6.2 مصادر التداخل المؤثِّرة على تشغيل محطات المراقبة 83
1.3.6.2 مبادئ عامة 83
2.3.6.2 مصادر التداخل 83
3.3.6.2 التدابير العلاجية 84
4.6.2 الدراسة الاستقصائية للموقع 84
7.2 الصيانة والمعايرة والتصليح 89
1.7.2 اعتبارات عامة 89
2.7.2 الاختبارات الوظيفية 90
1.2.7.2 اعتبارات أساسية 90
2.2.7.2 مَقدِرة الاختبار المبيّت 90
3.7.2 الاختبارات الوظيفية المعززة 91
4.7.2 الصيانة المجَدْولة 91
5.7.2 المعايرة 91
6.7.2 التصليحات 92
7.7.2 قطع التبديل 93

الصفحة

8.7.2 صيانة البرمجيات 93
إدارة صيانة النظام 93
8.2 الموظفون 93
1.8.2 اعتبارات عامة 93
2.8.2 فئات الموظفين 94
1.2.8.2 الإدارة 94
2.2.8.2 المشغِّلون 94
3.2.8.2 الخدمة التقنية/الصيانة 94
4.2.8.2 موظفو المكاتب 94
3.8.2 التدريب 95
1.3.8.2 مقدمة 95
1.2.3.8.2 تحديد المتطلبات وتخطيط الدورات التدريبية 95
2.2.3.8.2 استعراض الدورة وتقييمها 96
3.2.3.8.2 التدابير التصويبية 96
3.3.8.2 طرائق التدريب وتنفيذه 96
4.3.8.2 المهارات المطلوبة من موظفي مراقبة الطيف 96
5.3.8.2 المرافق المتيسّرة في العالم للتدريب على المراقبة الراديوية 97
1.5.3.8.2 مرافق تدريبية في الولايات المتحدة الأمريكية 97
2.5.3.8.2 برنامج التدريب الدولي في اليابان على مراقبة الطيف 98
3.5.3.8.2 برامج التدريب الدولي في كوريا على المراقبة الراديوية 98
جوانب تنظيمية وعامة 99
الأطر التنظيمية 99
إدارة الطيف 99
النظرية الراديوية الأساسية 99
إجراءات القياس 100
جوانب عملية 100

1.2 مهام وتنظيم خدمة المراقبة

1.1.2 مهام خدمة المراقبة

1.1.1.2 المهام المستمدة من لوائح الراديو

تستمد المهام التالية بشأن خدمة المراقبة من لوائح الراديو:

- مراقبة عمليات البث للتحقق من امتثالها لشروط تخصيص الترددات؛
- رصد نطاقات التردد وقياس شغل قنوات التردد؛
- تقصي حالات التداخل؛
- تحديد الإرسالات غير المرخَّصة ووقفها.

وتهدف مراقبة الإرسالات الوطنية مراقبة منتظمة بغرض التحقق من امتثالها لشروط التخصيص وإزالة أي شكل من عدم الامتثال، إلى درء التداخل الراديوي. ومما تلزم مراقبته المعلمات التقنية كالتردد وعرض النطاق وانحراف التردد وصنف البث، وفي حالة بعض خدمات الاتصالات الراديوية – محتوى الاتصالات. فعلى سبيل المثال، ينبغي أن تتوخى مراقبة اتصالات الهواة الراديوية بوجه خاص ضمان استعمال الرموز الدليلية للنداء بانتظام والامتناع عن استعمال أي شكل إذاعي.

وتهدف عمليات رصد نطاقات التردد إلى تعرّف ما يُستعمَل مِن ترددات/قنوات ومَن يستعملها وكيف تُستعمل. وبالمقابل، يهدف قياس شَغل القنوات إلى تحديد درجة استعمال الترددات ومتى يكون هذا الاستعمال – ومن ثَمّ معرفة الترددات غير المستعملة – ويشتمل ذلك على تحديد الإرسالات وخصائصها الأساسية. إذ إنه من الأمور الأساسية لإدارة طيف الترددات معرفة الاستعمال الفعلي للطيف، بغية ضمان استعماله استعمالاً فعالاً، خالياً من التداخل، والبت فيما إذا كان بالإمكان تخصيص بعض الترددات لمستعملين إضافيين. ثم إن هذه البيانات تشكِّل أساساً للتنسيق بين الترددات الوطنية والدولية.

وبفعل الدور المتنامي الذي تؤديه التطبيقات الراديوية في جميع مجالات الحياة، صارت مهمة البحث بسرعة وفعالية عن التداخلات الراديوية وإزالتها تتسم بأهمية اقتصادية. ولذا يجب إيلاء أولوية خاصة لإزالة التداخل عن خدمات السلامة، مثل خدمات الطيران والشرطة والإطفاء.

فالعمل على كفّ عمليات البث غير المرخَّصة يهدف بالدرجة الأولى إلى درء التداخل، لكنه يهدف أيضاً إلى ضمان الإيرادات، على اعتبار أن الرسوم لا يدفعها إلا مستعملو الترددات المرخَّصة.

2.1.1.2 المهام المضطلَع بها على الصعيد الوطني

كثيراً ما تُكلَّف خدمة المراقبة، إضافة إلى المهام المذكورة في الفقرة 1.1.1.2، بالاضطلاع بالمهام التالية غير المستمدة مباشرة من لوائح الراديو:

- المساعدة في مناسبات خاصة مثل الأحداث الرياضية الكبرى والزيارات الرسمية؛
- قياسات التغطية الراديوية؛
- دراسات المطابقة الراديوية والتوافق الكهرمغنطيسي؛
- دراسات تقنية وعلمية.

ففي الزيارات الرسمية والمناسبات الرياضية مثل سباق Formula One، وغير ذلك من الأحداث الكبرى، يُستعمَل عدد كبير من التجهيزات الراديوية ضمن مساحة محدودة. وكثيراً ما يكون المستعملون غير مدركين أنه يلزمهم تخصيص تردد، وأنهم قد لا يستطيعون استعمال نفس الترددات في كل بلد. فمما يفي بغرض خدمة المراقبة، توخّياً لدرء التداخل والتصرف فوراً في حال حصوله، أن تكون في الموقع من أجل مراقبة استعمال الطيف والعمل سريعاً على اكتشاف أي تداخل وإزالته. ومن الأمور الحاسمة لصالح النجاح هو التنسيق في الوقت المناسب بين منظمي الأحداث والموظفين المسؤولين عن تخصيص الترددات، الذين يتعين أيضاً أن يكونوا في عين المكان لكي يخصصوا ترددات في غضون مهل قصيرة إذا لزم الأمر.

وتَعتبر إدارات كثيرة قياسات التغطية الراديوية من مهام خدمة المراقبة. ويدخل في هذه المهمة قياس شدة المجال، ويشمل في بعض الحالات مَعْلَمَات الجودة، مثل معدل الخطأ في البتات (BER) وقدرة القناة المجاورة. غير أن إدارات أخرى تعتبر هذه القياسات من مهام مشغِّلي الشبكات الراديوية، لا من مهام خدمة المراقبة، على اعتبار أن السوق تضمن جودة كافية للتغطية الراديوية.

ولا بد، قبل تخصيص الترددات لتطبيق راديوي جديد، من ضمان التوافق مع الأنظمة الراديوية الموجودة. بيد أن دراسات التوافق الراديوي النظرية المحض لا تفي بالغرض. ولذا فكثيراً ما يُطلَب من خدمة المراقبة أن تساعد بما يلزم من دراسات عملية، إذا توفرت لديها تجهيزات القياس والخبرة. وقد يُطلَب منها كذلك أن تساعد في إجراء دراسات علمية، مثل عمليات الرصد طويل الأجل لشروط الانتشار.

3.1.1.2 المهام المخصصة عادة لخدمة التفتيش الراديوي

تُخصص المهام التالية عادة لخدمة التفتيش الراديوي وليس لخدمة المراقبة:

- تفتيش التجهيزات الراديوية في الموقع؛
- قياس التجهيزات الراديوية من أجل إزالة الأخطار الصحية الناجمة عن الإشعاع الكهرمغنطيسي؛
- معالجة حالات التوافق الكهرمغنطيسي (EMC) بخصوص التجهيزات غير الراديوية؛
- أنشطة مراقبة السوق حين تُدخَل إليها تجهيزات راديوية أو غيرها من التجهيزات الإلكترونية.

وفيما يخص مراقبة السوق، يشترط في التجهيزات الراديوية وتجهيزات الاتصالات المستخدمة على نطاق العالم أن تفي بالمتطلبات الإقليمية أو الوطنية ضماناً لامتثال هذه التجهيزات لأحكام اللوائح أو التقييدات التقنية ذات الصلة (نطاق التردد، سويات القدرة، وغير ذلك).

إذ إن عدم الوفاء بهذه اللوائح والتقييدات يجعل التجهيزات سبباً لحدوث تداخل ضارّ. ومن ثَمّ يدخل في مهام الإدارات أن تضبط المنتجات عن طريق "مراقبة السوق". ولهذا الغرض، يمكن عموماً الحصول على عيّنات عشوائية من المنتجات في مخازن البيع بالتجزئة، ثم اختبارها في مختبرات الإدارة المعنية أو في مختبر مستقل من القطاع الخاص متعاقد مع الإدارة المعنية.

4.1.1.2 تعاون خدمتي المراقبة الراديوية والتفتيش الراديوي

ينبغي أن يقوم تعاون وثيق بين خدمتي المراقبة الراديوية والتفتيش الراديوي، وأن يتيسّر لهما، إذا أمكن، النفاذ إلى قاعدة بيانات مشتركة. إذ إنه مما يساعد خدمة المراقبة، في حالة البحث عن مصادر التداخل الضار مثلاً، أن يكون لديها تفاصيل عن التجهيزات الراديوية التي تكون خدمة التفتيش وجدتها غير وافية بالمعايير. وبالمقابل، يكون في مقدور خدمة المراقبة أن تُطلق عمليات تفتيش، بفضل تسجيل نفس المعلمات التي تكون خدمة التفتيش قد سجلتها أثناء عملياتها. ويمكن استعمال نتائج المراقبة المستقاة بهذه الطريقة لاختيار مواقع مرشحة من أجل تفتيش في عين المكان. ويكون من شأن هذا الأمر بدوره أن يخفض كثيراً مقدار عمليات التفتيش الموقعي اللازمة.

ومن شأن المراقبة أن تساند خدمة التفتيش الراديوي أيضاً بأن تتأكد من إصلاح محطة معطوبة أم لا، دون أن يتعيّن على خدمة التفتيش إعادة تفتيش التجهيزات في الموقع.

ويقع على عاتق خدمة المراقبة تكاليف بسبب تجهيزات القياس أكبر مما يترتب على خدمة التفتيش. ولذا فإن إدارات كثيرة تقيم خدمة المراقبة التابعة لها في مواضع أقل عدداً من نقاط خدمة التفتيش. وبما أن خدمة التفتيش تكون عادة أقرب إلى الزبائن فإن في استطاعتها القيام بالتحقيق النهائي في حالات التداخل التي تكون قد أُجريَ استقصاء عنها أولاً باستخدام محددات الاتجاه الثابتة.

فلا حاجة لفصل تام بين الخدمتين. لا بل من الأرشد لأسباب مالية، على الخصوص في البلدان الصغيرة، عدم الفصل إطلاقاً بين خدمتي المراقبة الراديوية والتفتيش الراديوي. وفي الواقع، من شأن تكامل أو دمج هاتين الخدمتين في هيئة واحدة تبسيط التنظيم الإجمالي.

5.1.1.2 التعاون مع هيئات أخرى

ليس لخدمات المراقبة في معظم البلدان أي سلطة إكراهية. ولذا فإن من الضروري جداً التعاون مع الشرطة والمحاكم لكي تصادَر المرسِلات غير القانونية وتُفرَض عقوبات على المخالفين. وقد بيّنت الخبرة السابقة أن من المفيد إشراك الشرطة والمحاكم مسبقاً، وتعريفهم بالأحكام الرئيسية من قانون الاتصالات.

ومن المسلَّم به أن لا ضرورة هنا للحديث بالتفصيل عن الحاجة إلى تعاون وثيق بين إدارة الترددات وخدمة المراقبة.

2.1.2 مهام القياس والتجهيزات الأساسية

يجب أن تكون محطات المراقبة، لكي تضطلع بالمهام المذكورة في الفقرة 1.1.2، قادرة على تعرّف هوية البث وتحديد مواقعه وقياس خصائصه الأساسية.

وأهم أعمال القياس التي يُفترَض على الأقل في محطة مراقبة أن تكون قادرة على أدائها، هي:

- قياس الترددات؛
- قياس شدة المجال وكثافة تدفق القدرة في نقاط محددة؛
- قياس عرض النطاق؛
- قياس التشكيل؛
- قياس شَغْل الطيف؛
- تحديد الاتجاه.

ولذا يُقترح أن تكون تجهيزات القياس اللازمة لمحطة المراقبة وافية بوظائف التجهيزات التالية:

- الهوائيات الشاملة للاتجاهات؛
- الهوائيات الاتجاهية؛
- المستقبِلات؛
- محددات الاتجاه؛
- تجهيزات قياس التردد؛
- مقياس شدة المجال؛
- تجهيزات قياس عرض النطاق؛
- تجهيزات قياس شغل القناة؛
- تجهيزات تسجيل طيف الترددات؛
- محلل الطيف؛
- محلل إشارة المتجه أو محلل التشكيل؛
- مفكك التشفير؛
- مولِّد الإشارات؛
- تجهيزات التسجيل.

وينبغي الملاحظة أن تجهيزات القياس الحديثة كثيراً ما تؤدي أكثر من وظيفة، ما يستتبع تخفيض عدد الخزائن. ثم إن وظائف كثيرة يمكن أيضاً تأديتها بواسطة برمجيات.

وعلى وجه العموم، ينبغي أن يغطي جهاز القياس مدى الترددات 9 kHz-3 GHz. أما إذا كانت محطات المراقبة مصممة على أساس الفصل بين الترددات الديكامترية (HF) والترددات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF) فيجوز في هذه الحالة أن يُقسم

مدى الترددات مثلاً إلى المدى 9 kHz-30 MHz لمحطات مراقبة الترددات الديكامترية (HF)، والمدى 20 MHz-30 GHz لمحطات مراقبة الترددات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF).

وقد يكون مطلوباً مزيد من تجهيزات القياس، بما فيها تجهيزات من أجل ترددات أعلى، وذلك تبعاً للمهام الإضافية أو لمهام أكثر تحديداً قد تناط بخدمة المراقبة، مثل:

- قياس شدة المجال على امتداد مسير؛
- مراقبة تكنولوجيات النطاق العريض العاملة بترددات تفوق 3 GHz، مثل بعض أنظمة Wi-Fi وWiMAX وWLAN/RLAN؛
- قياس التلفزيون على أساس الإشارات الفيديوية (كالتّصوع والتلوّن، مثلاً)؛
- قياس بارامترات معينة للشبكات الرقمية؛
- مراقبة بث الوصلات الثابتة؛
- قياس الإشارات الساتلية.

وتحتوي الفصول 3 و4 و5 على معلومات مفصَّلة عن طرائق وتجهيزات القياس.

3.1.2 بنية نظام المراقبة

1.3.1.2 المكتب المركزي والتعاون الدولي

وفقاً لما نصت عليه المادتان 15 و16 من لوائح الراديو، يجب على كل إدارة أو خدمة مراقبة مشتركة يُنشئها بلدان أو أكثر من البلدان، أو كل منظمة دولية تشارك في نظام المراقبة الدولية، تعيين "مكتب مركزي" توجَّه إليه جميع الطلبات المقدمة للحصول على معلومات المراقبة، وتُرسَل عن طريقه معلومات المراقبة إلى مكتب الاتصالات الراديوية في الاتحاد أو إلى المكاتب المركزية التابعة لإدارات أخرى. ومن الضروري جداً أن تبدي الدول الأعضاء أقصى حد من حسن النية والتعاون المتبادل في سبيل تسوية مشاكل التداخل الضار.

وبناءً على ذلك، يتعين على موظفي المكتب المركزي الوفاء بعدد من المتطلبات الأساسية. ويجب تخويلهم إصدار تعليمات مباشرة إلى محطات المراقبة، ويجب أن يكونوا تحت التصرف على مدار الساعة، ومتمرِّسين في إجراءات العمل الأساسية لمحطة المراقبة والمرافق التقنية.

ومتى تم الوفاء بهذه المتطلبات، لا فرق أن يكون المكتب المركزي تابعاً لوزارة أو لتنظيم آخر أو أن يكون جزءاً من محطة المراقبة.

ويجوز أن تعالَج حالات التداخل الضار مباشرة على أيدي محطات المراقبة المعيَّنة خصيصاً لذلك، كلما تيسَّر العمل ووُجِد اتفاق بين الإدارات المعنية. وثمة إدارات أوروبية كثيرة تؤيد التعاون المباشر بين محطات المراقبة.

ويرد في الملحق 1 للفصل 1 مثال على اتفاق يسمح لمحطات المراقبة بأن تطلب من محطات المراقبة الأجنبية إجراء قياسات لا في حالات التداخل فحسب وإنما أن تستعمل مركباتها أيضاً في البلد الآخر.

ويستند التعاون والدعم إلى مبدأ المعاملة بالمثل، فهما من ثَمّ يقدَّمان مجّاناً.

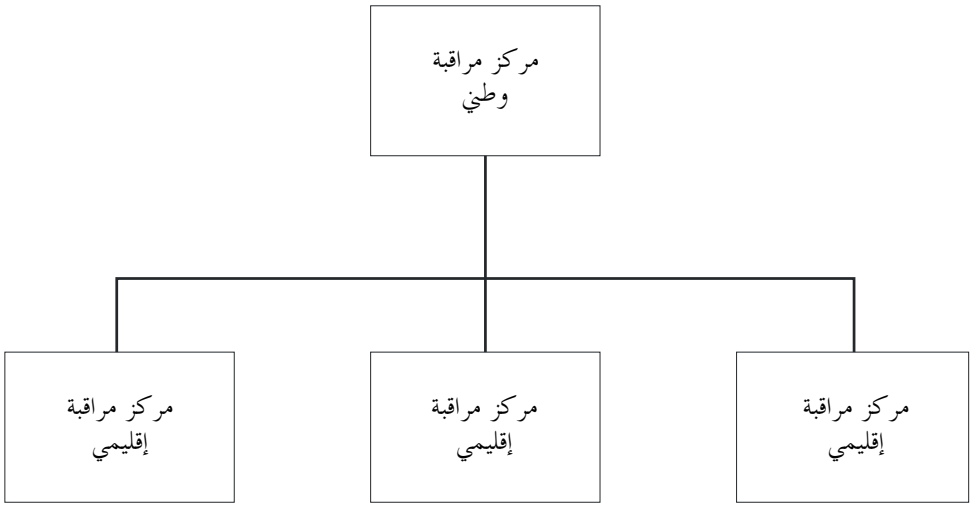
ولكنّ لدى إدارات معيَّنة مرافق خاصة باهظة للغاية، مثل محطات المراقبة الساتلية. إذ من الممكن إبرام اتفاق يمكّن إدارات أخرى من استعمال هذه المرافق، مقابل دفع التكاليف.

2.3.1.2 الهيكل التنظيمي

يمكن بناء نظام مراقبة على أوجه مختلفة، وإن يكن مدى الإمكانات القابلة للتحقيق في كل حالة مقيَّداً بعدد محطات المراقبة وشكل الإدارات التنظيمي (انظر الشكل 1.2-1).

الشكل 1-1.2

الهيكل التنظيمي



Spectrum-2.1-01

يتناول هذا القسم حصراً محطات المراقبة المأهولة والمفترَض أيضاً أن يكون لها نفاذ إلى المرافق المتنقلة والخاضعة للتحكم عن بعد. ومن الممكن كذلك التحكم عن بعد في محطات فرعية للمراقبة.

وفي قمة الهرم إدارة خدمة المراقبة بأكملها (وتسمّى أحياناً مركز المراقبة الوطني) تضطلع بتعيين مهام محطات المراقبة وتوفير الموارد لها. وفي بعض البلدان تكون مراكز المراقبة الإقليمية مسؤولة عن منطقة بعينها. وقد تشتمل مواردها على محطات مراقبة مأهولة ومحطات خاضعة للتحكم عن بعد ومحطات متنقلة. وينبغي أن يكون مركز المراقبة الإقليمي في موضع مشترك مع محطة مراقبة مأهولة. وكثيراً ما لا يكون هنالك سوى محطة مراقبة للترددات الديكامترية (HF) فتكون بالطبع هي المسؤولة عن أراضي البلد كلها. ويمكن أن تناط مهام خاصة أخرى مماثلة على نطاق بلد ما بمركز تحكم إقليمي واحد.

ويجوز أن تناط وظيفة المكتب المركزي إما بمركز المراقبة الوطني وإما بأحد مراكز المراقبة الإقليمية. ويمكن أن تكون خدمة التفتيش تنظيما منفصلاً، ومع ذلك ثَبت أن من التدابير الناجعة الجمعُ في مكان واحد بين خدمتي المراقبة والتفتيش. وإضافة إلى ذلك، يمكن أن يكون المكتب المركزي أو حتى خدمة المراقبة بأكملها جزءاً من مكتب إدارة الترددات.

3.3.1.2 التشكيلة الجغرافية لمحطات المراقبة

يتوقف عدد محطات المراقبة في بلد ما على المهام والجغرافيا، ناهيك عن أهمية الموارد المالية. والوضع المثالي هو أن يغطي كل نقطة من البلد ما لا يقل عن جهازين لتحديد الاتجاه، بحيث يمكن تحديد موقع كل إرسال. لكن ذلك متعذر بسبب ما يستتبعه عدد المحطات وأجهزة تحديد المواقع من تكاليف تتجاوز حدود المقدور، ولذا لا بد من قبول تنازلات. وتنطوي الأقسام التالية على أفكار إضافية تراعي مختلف أمداء الترددات. وتتناول الفقرة 8.6 موضوع تخطيط واستمثال شبكات مراقبة الطيف باستخدام أدوات برمجية.

1.3.3.1.2 مدى الترددات الديكامترية (HF)

إذا وُجد أكثر من محطة مراقبة لمدى الترددات الديكامترية، يمكن لكل محطة، تبعاً لنطاق التردد وظروف الانتشار، أن توفر أحيانا تغطية شاملة.

2.3.3.1.2 مدى الترددات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF)

نظراً لأن مدى الموجات VHF/UHF لا يتجاوز عادة بضع عشرات من الكيلومترات، ينبغي أن توضع محطات المراقبة على مقربة من المكان حيث يكون العمل أشد كثافة. وينبغي تكميل المحطات المأهولة بأجهزة لتحديد الاتجاه يُتحكَّم بها عن بعد من أجل تحديد مواقع المرسلات.

ينبغي لكل محطة مراقبة مأهولة ومزوَّدة بتجهيزات ثابتة ومتنقلة أن تغطي مساحة عمل يبلغ نصف قطرها حوالي 150 إلى 200 كيلومتر تقريباً، لكي تتمكّن أفرقة العمل الذين يتعيّن تدخلهم عند حدود هذه المساحة من إنجاز تحركاتهم في يوم واحد. ويكيَّف طول نصف القطر هذا تبعاً لوسائل النقل المتيسِّرة والتضاريس الجغرافية وأحوال شبكة الطرق وكثافة حركة السير على طرق بعض النواحي وفي المناطق الحضرية.

وكل مساحة لا تغطيها أجهزة ثابتة لتحديد الاتجاه يجب تغطيتها بمركبات مجهزة لتحديد الاتجاه. وينبغي تزويد الأفرقة المتنقلة بالوسائل الملائمة لكي تتمكن من إجراء البحث عن التداخل والتوافق وقياسات التنسيق عند الحدود.

3.3.3.1.2 الإشارات الساتلية

من وجهة نظر تقنية، من شأن محطة مراقبة ساتلية أن توفّر تغطية واسعة لكلا نوعي السواتل المستقرة وغير المستقرة بالنسبة إلى الأرض، تبعاً للمساحة التي يغطيها الساتل على الأرض، بحيث تغطي أحياناً أراضي عدة بلدان، ولذا يوصى بالتعاون بين الإدارات الوطنية.

2.2 التشغيل

يتناول هذا القسم عمليات محطة المراقبة ذات الصلة بالخدمات للأرض، ويشمل ذلك المهام المذكورة في الفقرة 1.2 التي يدخل فيها تجهيزات القياس المستقرة والخاضعة للتحكم عن بعد والمتنقلة. وبالنظر إلى المقدار الكبير من المال الذي تتطلبه أنظمة المراقبة الراديوية، وباعتبار أن خدمات المراقبة الراديوية تموَّل عادة من الضرائب والرسوم التي يدفعها أصحاب الرُخَص، فالحاجة قائمة إلى تنظيم عملها بحيث يكون فعّالاً وممكناً تتبعه. ومن ثَمّ ينبغي أن توثِّق الإدارة استراتيجياتها وأنظمتها وبرامجها وإجراءاتها وتعليماتها، بقدر ما يلزم لضمان استمرار جودة نظام المراقبة بكامله. وينبغي أن يكون ذلك معلوماً ومفهوماً وفي متناول الموظفين المعنيين.

1.2.2 التعليمات والاستمارات المتعلقة بالعمل

فيما يخص المهام الروتينية يُستحسَن وضع تعليمات تصف تدفق العمل وحقوق الموظفين وواجباتهم ذات الصلة بالإجراءات الاعتيادية. وذلك لأن تعليمات العمل هذه تقوم بمثابة مرجع مادي لكلا فئتي الموظفين، الجدد والمتمرِّسين. فينبغي، عند إعداد هذه التعليميات، اعتماد نهج براغماتي يأتي بمبادئ توجيهية لا لبس فيها، سهلة الفهم، تحفز الموظفين بإعطائهم قدراً من الحرية في اتخاذ القرارات. وغني عن البيان أن درجة التفصيل تتوقف على تأهيل الموظفين والمتطلبات التنظيمية في كل بلد. وينبغي تجميع تعليمات منفصلة بخصوص حالات معيَّنة والمهام غير الروتينية التي لم توصف في تعليمات العمل.

وتؤدي الاستمارات وظيفة وسائل مساعِدة تظهر فائدتها عند معالجة مسائل منتظمة إلى حد ما بطبيعتها، إذ تحقق الاتساق والوضوح فيما بينها. ولذا يُفترَض أن تُبنى بنيانا منطقياً، وتتيح فسحات كافية للملاحظات التي تُكتب يدوياً. مثلاً، يُفترَض في استمارة تسجيل شكاوى التداخل التي تُستَلَم هاتفياً أن تُمكّن الموظف من السؤال عن جميع التفاصيل اللازمة. وهنا أيضاً قد تطرأ حالات استثنائية لا تغطيها الاستمارة. ولذا فمن المهم أن يُترك فيها فسحة لتدوين مزيد من المعلومات.

وينبغي أن تحتوي تعليماتُ العمل إحالة مرجعية إلى ما ينطبق على المقام من لوائح السلامة أو أن تورِد اقتباساً منها. إذ إن رعاية صحة الموظفين وسلامتهم مسألة هامة في إدارة شؤونهم.

2.2.2 جداول العمل

يمكن أن تُقسَم المهام إلى عمليات قياس ثابتة وأخرى متنقلة. فيلزم التمييز في جداول العمل بين الأمور التالية:

- جداول المهام غير الممكن تأجيلها؛
- جداول المهام الممكن تأجيلها؛
- مهام غير متوقّعَة ممكنة التأجيل؛
- مهام غير متوقّعَة تتطلب التصرّف فوراً.

وتشمل الفئة الأولى مهام، مثل قياس شدة المجال، تحتاج إليها إدارة الترددات في تاريخ معيَّن من أجل الترخيص أو لأغراض التنسيق على المستوى الدولي. والقياسات الروتينية، كالقياسات العامة التي يُتحقق بها من التقيّد بشروط التخصيص، لا تكون محكومة بموعد نهائي فيمكن تأجيلها. ويدخل في الفئة الثالثة الإفادات عن تداخلات غير حرجة، مثل تداخل في نطاق إذاعة المواطن (CB) أو تداخل في نطاق خدمة الهواة. أما في حالة تشويش الخدمات المرتبطة بالسلامة، مثل النظام الدولي للبحث والإنقاذ (COSPAS/SARSAT) أو الاتصالات الراديوية الخاصة بالشرطة، فإن المطلوب هو استجابة فورية.

ثم إنه يتعيّن تقييم وتنسيق الموارد البشرية والتقنية اللازمة للاضطلاع بالمهام. وعليه، ينبغي إعداد جدول العمل ونشره في أبكر وقت ممكن، لكي يكون الموظفون مستعدين الاستعداد الوافي. وفي حالة الإفادة عن تداخل خطير، يتعين تعديل الجدول سريعاً. وهذا ينطبق على حالات المرض أو تعطل التجهيزات.

ويجب عند إعداد الخطة إيلاء الانتباه لما يلي:

- إذا لزم تغطية مساحات كبيرة، يكون من التدبير الناجع بخصوص أفرقة القياس المتنقلة أن تبقى ضمن المساحة المقصودة بالتغطية، وأن تنزل في فندق بدلاً من العودة يومياً، تجنباً لهدر الوقت في التنقل على الطريق دون طائل.
- يجب ضمان تيسر خدمة المراقبة على مدار الساعة، باعتبار أن التداخل يمكن حصوله في الليل. ولذا فإن محطات المراقبة في بعض البلدان يوفَّر فيها حضور الموظفين على مدار 24 ساعة يومياً، وفي بلدان أخرى تُؤمَّن الخدمة إما بحضور موظفين على مدار الساعة في محطة مراقبة واحدة، وإما بإعادة تسيير النداء أوتوماتياً إلى الموظفين في بيوتهم. إلا أن تيسّر الخدمة لا ينطوي فقط على إمكان الاتصال بالموظف هاتفياً: إذ لا يكفي تزويد خدمة مراقبة بشخص واحد فقط لا يستطيع القيام بعمل ميداني طارئ، وإلا فتبقى المحطة خالية من أي موظف.
- يتعين صيانة المركبات والتجهيزات بصورة منتظمة، وإلا قد تحتاج إلى إصلاحات غير متوقعة، ما يعني أن تُسحَب عندئذ من الخدمة بصورة مؤقتة.
- من الضروري عقد اجتماعات دورية للموظفين من أجل اطْلاعهم على أي تغيير تنظيمي أو ما يطرأ من تغيير وتطور في الخدمات وتخصيص الترددات أو في الشؤون التنظيمية. وتتيح هذه الاجتماعات أيضاً فرصة لتدريب الموظفين على استعمال التكنولوجيات الراديوية الجديدة وما يصاحبها من الرُخَص وتجهيزات المراقبة (فيما إذا لم تكن ترتيبات تدريبية أخرى موضوعة في الحسبان، من جانب المصنّع، مثلاً).

والاعتبارات المتقدم ذكرها تصلح أيضاً في حال اشتملت المسؤوليات المنوطة بفريق المراقبة على مهمة إجراء تفتيش في الموقع؛ ولذا يُستحسن تخطيط أعمال المراقبة والتفتيش معاً، لكي يُضطَلع بها أثناء الزيارة الواحدة. وينبغي أن يكون جدول الأعمال معروضاً بصيغة تمكّن كل موظَّف فوراً من أن يعرف من الذي سيضطلع بالمهمة المعيّنة وأين، والمركبة التي ستُستعمَل، وكيفية مداومة الاتصال راديوياً. ويمكن استعمال نظام حاسوبي يحتوي جدول الأعمال ويُتاح لجميع الموظفين النفاذ إليه. إلا أن لوحة إعلان بسيطة أو لوحاً من طراز قديم يمكن أن يكون بديلاً أرخص لا يقل جودة في تسيير العمل.

3.2.2 الإجراء النمطي الذي يُطبَّق في حالات الشكاوى من التداخل

ليست معالجة التداخل المهمة الأهم وحسب، بل إنها أيضاً مهمة معقدة جداً، تستدعي وصفاً مفصلاً لما تنطوي عليه من إجراءات.

1.3.2.2 الإبلاغ عن التداخل

يجري عادة التبليغ عن التداخل بالهاتف أو بالفاكس أو بالبريد الإلكتروني. وعندئذ يتعيّن على المشغِّل الاستعلام عن التفاصيل. والبنود الرئيسية للمعلومات اللازمة هي:

- اسم الجهة التي تشكو من التداخل والعنوان ورقم الهاتف وعنوان البريد الإلكتروني؛
- البيانات عن الجهاز المعرض للتداخل: التردد، النمط، الإحداثيات، الموقع، رقم الرخصة، وغير ذلك من البيانات ذات الصلة؛
- بيانات عن حدوث التداخل (متى لوحظ أول مرة، وفي أي وقت، وهل هو منتظم أم متقطِّع)؛
- وصف التداخل (أزيز أم صفير أم غير ذلك)؛
- مصدر التداخل المشتبه به؛
- هل هي حالة تداخل تستلزم معالجة من جانب خدمة المراقبة أم هي مجرد عطل في التجهيز موضع التداخل؟ وفي هذه الحالة يجب استدعاء مشغِّل الجهاز أو خدمة إصلاح.

2.3.2.2 التشخيص التمهيدي

تتوقف الأولوية الممنوحة للحالة على الخدمة المعرضة للتداخل وعلى عدد الأجهزة المعرضة للتداخل. فوصف التداخل يستعمل لإقرار مختلف المراحل والقياسات المطلوبة لإزالة التداخل. ويمكن الاستفسار من مشغِّلي نفس التردد الراديوي آخرين في المنطقة المحاذية عما إذا كان التداخل يحصل عندهم أم لا.

ويميل كثير من مشغِّلي خدمات مختلفة (من ساتلية وإذاعية ومتنقلة وثابتة) إلى اقتناء تجهيزات مراقبة خاصة بهم، يستعملونها لتقييم جودة الخدمة. فيمكن أن تستعمل الإدارة هذه البنية التحتية وتحسّن المراقبة الذاتية، في سبيل مساعدة الطرف المتضرر من التداخل: ويجوز أن يُتَّخذ موضع التداخل الموقعَ الأنسب لمراقبة التداخل؛ بفضل وضعه جغرافياً، وارتفاع الهوائي عن الأرض وعن سطح البحر واستعادة التشكيل.

وينبغي كقاعدة عامة أن تُستعمَل تجهيزات القياس الثابتة والمحكومة عن بعد للتأكد مما إذا كان التداخل يمكن سماعه أيضاً في محطة المراقبة. وبفضل وسائل تحديد الاتجاه، يُفترَض أن يكون ممكناً تحديد موقع مصدر التداخل تقريباً. إذ يكفي عادة الاستعانة بالموقع وعناصر أخرى، مثل التشكيل وعرض النطاق، لتقليص عدد المصادر الممكنة إلى قلّة نسبية، بفضل قواعد البيانات المتعلقة بتخصيص الترددات. ومتى تم ذلك، يُجرى اتصال مع مشغِّلي مصادر التداخل المشتبه بها، ويُستعلَم منهم عما يكون حصل من تغيير في أنشطتهم، ويطلب منهم أن يوقفوا تشغيل المرسلات بعض الوقت. ويكرر هذا الإجراء إلى أن يتسنّى، من خلال تغيّر في التداخل أو الطيف، تحديد المصدر الفعلي للتداخل. وهذه الطريقة هي الأقل تكلفة والأسرع لإزالة التداخل.

3.3.2.2 تحديد موقع المصدر بالوسائل المتنقلة

إذا تعذّر تحديد مصدر التداخل بالطريقة المتقدم وصفها، يتعيّن نشر المركبات. وقد يتبيّن أن جهود تحديد الموقع تستهلك وقتاً طويلاً، على الخصوص في حالة التداخل غير المنتظم أو التداخل في شبكات مشغِّلي الأجهزة الخلوية.

4.3.2.2 عمليات قياس البث ومصادر التداخل الممكنة

متى تم تحديد موقع وهوية البث المتداخِل، وجب قياس الخصائص التقنية المسببة للتداخل من أجل معرفة طبيعة التداخل، أي ما إذا كانت الحالة هي تداخل في نفس القناة أو تداخل قناة مجاورة أو تشكيل بيني في المستقبل أو تشبّع المستقبل أو تداخل بالإيصال عند دخل الشبكة الكهربائية. وأثناء عمليات القياس هذه يجب تسجيل التجهيزات المستعملة وحالة ضبطها تسجيلاً دقيقاً، لكي يمكن التحقق في المرحلة التالية مما إذا كان النظام أو الجهاز المتداخل يُشغَّل تشغيلاً مخالفاً لشروط تخصيص الترددات أم يتجاوز قيم العتبة. وتحتوي المعايير والتوصيات مواصفات تفصيلية لإجراءات القياس بخصوص طائفة واسعة من المعلمات.

5.3.2.2 تقييم القياسات والإجراء اللازم

يجب في المرحلة اللاحقة مقارنة نتائج القياسات مع ترخيص التردد أو شروط التخصيص أو المعايير ذات الصلة. وتبعاً لنتيجة المقارنة، ربما يتعين إما منع تشغيل النظام أو الجهاز المسبب للتداخل نهائياً أو تعديل تشغيله، وإما تقويم النظام أو الجهاز وإما القبول بوجود التداخل. وفي كثير من البلدان تشير النتيجة إلى ما قد يترتب من دفع غرامة أو عقوبة أخرى.

وتحدد اللوائح الوطنية، التي تختلف من بلد إلى آخر، ما إذا كان فريق القياس هو المنوط به اتخاذ الإجراءات اللاحقة مثل إنفاذ القانون أو كيان آخر داخل الإدارة. ولا يكفي أن تكون الإجراءات اللازم اتخاذها موافقة للقانون فحسب بل أن تكون أيضاً في حدود المعقول. فمثلاً، إذا تبيّن في نهاية المطاف أن مفتاح التلامس والقطع في نظام تدفئة هو المسبب، لانطوائه على خللٍ ما، في حدوث تداخل خفيف، يكون من غير الملائم أن يُطلَب في فصل الشتاء إيقاف تشغيل نظام التدفئة على الفور، بل ينبغي بدلاً من ذلك تحديد فترة معقولة لإصلاح الخلل.

6.3.2.2 التداخلات الناجمة عن محطات أجنبية أو عسكرية

هناك أحكام خاصة تنطبق على حالات التداخل ذات الصلة بمحطات أجنبية. وفي هذا الصدد يُحال إلى لوائح الراديو، المادة 15 (التداخلات)، والرقم 3.16 من اللوائح، والتذييل 10 (التبليغ عن التداخل الضار) من اللوائح. وقد يكون من ناجع التدبير أيضاً تحديد إجراءات معينة تُعتَمد في حالات تتعلق بمحطات عسكرية.

7.3.2.2 التحقق النهائي

في كثير من الحالات تستطيع خدمة المراقبة التحقق مما إذا اتُّخِذ إجراء علاجي بخصوص التداخل أم لا، باستعمالها تجهيزات ثابتة أو محكومة عن بعد. وإذا تعذّر ذلك يكون من الضروري إجراء تفتيش في الموقع. وأبسط الطرائق في تدبر هذا الأمر هي الاستعلام من الطرف المتضرر عما إذا توقف التداخل أم لا.

4.2.2 تعرّف هوية المحطات الراديوية غير القانونية وفك توصيلها

إن المرسِلات المشغَّلة دون الترخيص المطلوب أو على غير التردد المخصص هي مصادر ممكنة للتداخل، ويجب من ثَمّ سحبها من الخدمة. ويمكن المبادرة إلى تحديد مواقع هذه المرسلات على إثر أي من الإفادات التالية:

- ملاحظة خدمة المراقبة وجود المرسِل، أثناء تنفيذها عمليات القياس الروتينية؛
- شكاوى من التداخلات؛
- دلالات أخرى.

والتدابير الأولى التي تتخذ في هذا الصدد هي نفس التدابير المذكورة لمعالجة التداخلات. قبل كل شيء، يجب تجميع أكبر قدر ممكن من المعلومات عن المرسِل، من خلال تقييم نتائج القياس. وبما أن مشغِّلي المحطات الراديوية غير المرخَّصة يدركون عادة أنهم منتهكون للقانون، فلن يوفّروا أي جهد للحيلولة دون كشفهم. فقد يلجأون إلى الأساليب التالية:

- بيانات غير صحيحة ومضللة عن موقع المرسل بما في ذلك التمويه؛
- تشغيل المرسل عن بعد؛
- المواربة والتضليل؛
- البث المتفرِّق وغير المنتظم؛
- استعمال ترددات مختلفة؛
- تغيير الموقع.

ومقارنة بحالات التداخل "العادية"، تجعل هذه الأساليب مهمة تحديد موقع المرسِل وتعرف هويته أصعب بكثير. فعلى خدمة المراقبة أن تتكيّف مع الظروف وتتخذ التدابير الملائمة، مثل التقييم الدقيق لمحتوى الرسائل. إذ إن التفاصيل، وإن بدَت لا صلة لها بالموضوع لأول وهلة، تساعد في تعرف هوية المحطة غير القانونية، فتمكّن من ملاحقة المخالف قضائياً.

وثمة فرق آخر هو أن مشغِّل المحطة المسببة للتداخل يسعى عادة إلى إزالة التداخل، ولذا فسيكون مستعداً للمساعدة في حل المشكلة. وأما مشغِّلو المحطات الراديوية المخالفة فهم أبعد ما يكون عن الاستعداد للتعاون، بالنظر إلى تبعة سلوكهم (العقوبة ومصادرة التجهيزات). وبناء على ذلك من المهم، بالنسبة إلى خدمة المراقبة، تكوين دليل لا لبس فيه يمكن استعماله في المحكمة بيِّنة تؤيِّد الدعوى أن إرسالات غير قانونية أجراها المدعى عليه. وغني عن البيان أن ضبط تجهيز أثناء بث فعلي يشكل دليلاً لا يُدحَض على الاستعمال المخالف للقانون. لكن مثل هذا الفعل يتوقف على تنسيق وثيق مع الشرطة.

ثم إن فرص النجاح في مكافحة تشغيل محطات قرصنة راديوية مرهونة كليّا بالأطر القانونية الموجودة في كل بلد، ويُفترَض في هذه الأطر القانونية أن تُقدِّم أساسا لمقاضاة مشغِّلي هذه المرسِلات ومصادرة تجهيزاتهم.

5.2.2 توثيق الحالات

يرى كثير من المهندسين والتقنيين في عمليات القياس واجبهم الأول وفي التوثيق المصاحب له عملاً ذا أهمية ثانوية. وعليه فمن الضروري التشديد مراراً على القيمة العالية التي يتسم بها التوثيق، بوصفه جزءاً جوهرياً من مسؤولية الموظفين. إذ إنه، لو أثيرت شكوك في أي وقت من الأوقات حول موثوقية قيم القياس، فلن يكون ممكنا تبديد هذه الشكوك إلا بتقديم مجموعة كاملة من الوثائق المثبتة لصحة هذه القيم.

مثال: لا طائل من قيمة قدرة الدخل المَقيْسة المكمّاة إذا لم يُعرَف أيضاً معها ارتفاع الهوائي ومعالم التَّضَاريس الأرضية والمدى بين المرسل ومستقبل المراقبة وعرض النطاق ونمط المكشاف ومكان القياس والهوائي المستعمَل ومعامله "k" وضوابط أي موهِّنات مصاحبة.

فالوثائق مفيدة كمراجع عن عمليات القياس السابقة، وتقدّم دروساً لدرء التداخلات مستقبلاً وتمدّ بالبيانات المحدثة اللازمة لقاعدة البيانات القائمة بمثابة نظام معلومات للإدارة (انظر الفقرة 3.2).

وينتج عما تقدم أنه يجب في التوثيق أن يشتمل على العناصر التالية:

- رقم المهمة؛
- محتوى المهمة؛
- الكيان طالب المهمة أو مصدر شكوى التداخل؛
- تعريف الموظفين القائمين بالمهمة؛
- تاريخ ووقت تنفيذ المهمة؛
- تحديد مواقع القياسات بالضبط (إعطاء الإحداثيات، مثلاً)؛
- معلومات عن التجهيزات والهوائيات المستعملة (ذكر رقم التسلسل أو رقم الجرد، لكي يمكن معرفة ما إذا كان الجهاز معايَراً وقت استعماله)؛
- معلومات عن الضوابط المختارة (تنشيط الموهِّن، مثلاً)؛
- معلومات عن ضوابط القياس (مخطط بياني، رسم تخطيطي)؛
- القيم المَقيسة (مع ذكر وحدة القياس!) للتردد وعرض النطاق، وكثافة تدفق القدرة (أو شدة المجال)، والاتجاهات الزوايّة وما إلى ذلك، والملاحظات، كالرموز الدليلية للنداء والانتهاكات، مثلاً؛
- بروتوكولات القياس، ومخططات محلل الطيف، وملفات البيانات، وغير ذلك؛
- الظروف البيئية التي ربما تؤثر على دقة القياسات؛
- المركبة (المركبات) المستعملة؛
- السجَّلات من فيديوية أو سمعية أو فوتوغرافية.

وينبغي أن يؤكّد مؤدّي المهمّة صحة البيانات الواردة في تقرير العمل، بأن يمهره بتوقيعه أو بالأحرف الأولى من اسمه. وتبعاً لنوع المهمة، ينبغي أن يشتمل التوثيق أيضاً على موجز للاستنتاجات والقرارات والإجراء المتخذ لاحقاً والتقارير المرتبطة بذلك.

3.2 نظام معلومات الإدارة

يوفر نظام معلومات الإدارة المستخدم لأغراض المراقبة معلومات لها دور رئيسي في التوجيه وصنع القرار على صعيد الإدارة. ويمكن اعتبار عملية الإدارة، إما بنيةَ تغذيةٍ راجعة وإما عمليةً ثنائيةَ الاتجاه صعوداً ونزولاً. ومن شأن نظام معلومات إدارة، مكوَّن من قاعدة بيانات ونظام الإبلاغ المصاحب لها، أن يقدّم المعلومات المناسبة في الوقت المناسب. ويمكن، على أساس هذه المعلومات، إعداد خطة عمل تشكل نظرياً الأساس لخطة موارد. إلا أنه، بسبب عدم كفاية المعلومات والميزانية، ربما من الأصوب وضع خطة الموارد أولا، ثم الانطلاق منها إلى خطة العمل. بيد أن الخبرة العملية أثبتت أن طريق النجاح وسط بين الاثنين.

1.3.2 قاعدة البيانات

توخياً لتكوين فكرة عامة عن حجم المهام الإجمالي والوقت المطلوب لأدائها وتوزيعها إقليمياً، تُخزَّن في قاعدة البيانات الخاصة بالمراقبة المعلومات التالية:

- رقم مهمة فريد؛
- رمز لنمط المهمة (مثل التبليغ عن تداخل، وقياسات شغل الطيف)؛
- تاريخ استلام المهمة وإنجازها؛
- الكيان طالب المهمة أو مصدر التبليغ عن التداخل، مع ذكر العنوان ورقم الهاتف ورقم الفاكس والعنوان الإلكتروني؛
- تحديد موقع التداخل أو قياسه بالاسم والرمز الرقمي، كالرمز البريدي أو الإحداثيات؛
- وصف المهمة أو محتوى التبليغ عن التداخل؛
- الخدمة المتأثرة أو التطبيق المتأثر؛
- التردد أو الترددات؛
- الرمز الدليلي للنداء؛
- رقم ترخيص التردد، إذا كان التخصيص إفرادياً؛
- صنف المحطة (ثابتة أم متنقلة مثلاً)؛
- في حالة التداخل، سببه ومصدره.

ويحسن إدخال بيانات أخرى مثل اسم المصنِّع والنمط ورقم التسلسل للجهاز المسبِّب للتداخل أو الجهاز المعرّض له، وكل بلد أجنبي أو موقع عسكري متأثر بالتداخل، والتدابير المتخذة (كالغرامات المفروضة، مثلاً)، ومقصد التقرير النهائي، وأسماء الموظفين المكلَّفين بإجراء القياسات، وما إلى ذلك.

وينبغي ضمان تحليل البيانات تحليلاً منتظِماً لا لبس فيه، يجري في مراحل تراتبية، يُتناول فيها أولا نمط المهمة، فالخدمة المعنية، ثم مصدر التداخل وسببه، كما هو مبيَّن في المثال التالي:

الطبقة 1		الطبقة 2		الطبقة 3	
1	الخدمات للأرض	1-1	خدمة ثابتة	...	
		2-1	خدمات متنقلة	1-2-1	خدمة متنقلة برية
				2-2-1	خدمة متنقلة للطيران
				3-2-1	...
		3-1	خدمة إذاعية	...	
2	خدمات فضائية	4-1	...		

وتسجَّل ساعات العمل، مقسومة بين ساعات عمل في المقر وساعات عمل في الميدان، وكذلك مقدار المسافة المقطوعة لأداء كل مهمة بمفردها. وقد يلزم، تبعاً لنمط التحليل المطلوب من أجله البيانات، ذكر التجهيزات المستعملة.

وبما أن البيانات المذكورة في هذا القسم تشكِّل الأساس لتحليلات نظام معلومات الإدارة، يُغفَل في هذا السياق ما عداها من البيانات، مثل شدد المجالات ومعدلات شغل الطيف وغير ذلك من نتائج القياس. لكن البيانات المذكورة في الفقرة 5.2.2 تُخزَّن في قاعدة البيانات نفسها (قاعدة بيانات المراقبة) بحيث يمكن بفضلها إجراء تحليلات لحالات فردية وتحليلات إحصائية.

2.3.2 نظام الإبلاغ والتحليلات الإحصائية

متى تم إدخال البيانات المتقدم ذكرها في قاعدة البيانات، صار بالإمكان إجراء تحليلات من أنماط مختلفة. ولأغراض التخطيط، من المهم تكوين فكرة عن الوقت اللازم للمهام المختلفة. فالرسوم البيانية التي تشمل عدة سنوات تدل بوضوح على الاتجاهات النمطية. مثلاً، إذا انخفضت ساعات العمل المخصصة لقياسات شغل الطيف، بسبب انخفاض الطلب الإداري على هذه القيم أو بسبب التوسّع في استعمال تجهيزات محكومة عن بعد، يستطيع العاملون التحول إلى مهام أخرى.

وإذا لم تتزود الإدارة بهذه المعلومات مسبقاً بوقت كاف، فقد يؤدي ذلك إلى اتخاذ قرارات خاطئة، باعتبار أن الإدارة قد لا تكون على علم بتفاصيل إجراءات وتقنيات المراقبة. ثم إن الإدارات صارت تطلب بصورة متزايدة بيانات دقيقة عن العدد الكلي للمهام المؤدّاة وعن الموارد المستعملة، ومن ثَمّ عن التكاليف من أجل تحديد الرسوم التي يدفعها مختلف فئات مستعملي الترددات، واستعمالها بيِّنة تُقدّم للمحكمة، عند الاقتضاء.

وينبغي توصيف نسق التقارير والإحصاءات المعيارية، ضماناً لتجميع البيانات بصورة منتظمة وقابلة للمقارنة. لكنّ هذا لا يعني أنه ينبغي توزيع المعلومات على جميع الأطراف المعنية في نسق واحد. إذ إن متطلبات المعلومات عند رئيس محطة المراقبة تكون عادة مختلفة جداً عن متطلبات رئيسه (رئيس الإدارة). وعليه، فإن نسق البيانات يجب أن يكون مطوَّعا لاحتياجات كل جهة تتلقاها.

وكثيراً ما يؤدي تحليل البيانات الإحصائية إلى طرح أسئلة أخرى. فيجب من ثَمّ أن يكون من الممكن استجواب قاعدة البيانات بشكل إفرادي غير مقيَّس دون الحاجة إلى برمجة إضافية.

مثلاً، عند تحديد الخدمة الأكثر تعرضاً للتداخل، ينطرح تلقائياً السؤال عن المصدر الأولي للتداخل، وهذا السؤال يقود إلى السؤال عن الآلية التي تسببه فعلاً. ويمكن أن تكون الإجابات عن هذه الأسئلة هامة حقاً في سياق عمليات تفتيش التجهيزات الراديوية ووضع المعايير ومراقبة السوق. وفوق كل شيء، من شأنها أن تدل على ما إذا كان يلزم اتخاذ تدابير علاجية بخصوص التجهيزات المعرضة للتداخل أو التجهيزات المسببة للتداخل.

وعند تصميم نظام إبلاغ، ينبغي أن تؤخذ في الاعتبار تقنيات لغة توسيم النصوص الترابطية (HTML). إذ إن الميزة الرئيسية للغة HTML هي قدرتها على معالجة أنماط مختلفة من البيانات، كالنصوص والصور والرسوم البيانية، وعلى تقديمها في نسق موحَّد باستعمال برنامج تصفّح بسيط.

3.3.2 خطة العمل

عند إعداد خطة عمل يجب التمييز بين المهام التي يمكن والتي لا يمكن تخطيطها. إذ بينما يمكن عادة توقع عدد عمليات قياس شغل الترددات التي تُجرى لصالح مكتب إدارة الطيف وتقدير الوقت اللازم لتنفيذها، ليس بالإمكان أن يُتوقَّع بدقة عدد ما قد يرِد من التبليغات عن التداخلات، ولا الوقت المطلوب لإزالة كل تداخل.

ويستند التخطيط إلى خطة عمل السنة السابقة، مع مراعاة أي زيادة و/أو نقصان ذي شأن في المهام. ومن الضروري التشاور في وقت مبكر مع الكيانات التي تطلب هذه المهام، لكي يكون هنالك متسع من الوقت لإدخال التعديلات الملائمة. ويلزم أن يؤخذ في الاعتبار أيضاً ما يحصل في الإطار التنظيمي من تغيرات تؤثر على الاتصالات.

ويلزم لإعداد خطة العمل أن تكون جميع المهام مدونة في قاعدة بيانات، لكي يمكن إجراء تحليل إحصائي لحجم المهام والوقت الذي يستغرقه تنفيذها. وعلى أي حال، يجب في خطة العمل أن تترك فسحة للطلبات غير الممكن توقعها، وقد يلزم إعادة النظر فيها خلال السنة.

4.3.2 تخطيط الموارد

تشكل خطة العمل الأساس لتخطيط الموارد الذي هو مهمة أخرى معقدة تنطوي على عدد من العلاقات الوظيفية المتبادلة. ويُستدَّل من المقارنة بخطة عمل السنة السابقة على أي زيادة أو نقصان في الطلب على الموظفين والتدريب والمركبات وتجهيزات القياس.

ومن شأن أتمتة القياسات في النماذج الأحدث، ودمج عدة وظائف في جهاز واحد، أن تؤدي إلى انخفاض في عدد الموظفين المطلوبين وإلى استعمال مركبات أصغر. ولكن ينبغي ألا يغيب عن البال أن هذه التطورات تستدعي تدريباً إضافياً لتحسين مؤهلات المشغِّلين والعاملين في مجال الصيانة.

ومما يزيد المسألة تعقيداً أن التغيّرات في مجال الاتصالات ومتطلبات القياس التقنية تظهر بسرعة مفاجئة، بحيث لا يمكن دائماً مراعاتها حق المراعاة في تخطيط الميزانية لأجل متوسط (3-5 سنوات).

وقد أثبتت الخبرة العملية سداد النصيحة التالية: عند استبدال التجهيزات، يجب إيلاء انتباه خاص لمكونات التجهيزات التي لم يعد متيسِّرا لها قطع تبديل. وكل جهاز يوضع خارج الخدمة ينبغي إزالته مادياً من محطة المراقبة، تجنباً لتكاليف إضافية جراء الصيانة وسعة التخزين المستعملة.

4.2 أنماط محطات المراقبة

تُعرّف الأنماط الثلاثة التالية لمحطات المراقبة:

- محطات المراقبة الثابتة؛
- محطات المراقبة المتنقلة؛
- محطات المراقبة الممكن نقلها.

1.4.2 محطات المراقبة الثابتة

المحطات الثابتة للمراقبة هي العنصر المركزي لنظام المراقبة. فهي تمكّن عادة، ضمن مساحة تغطيتها، من تنفيذ جميع عمليات القياس دون أي تقييد من قبيل عدم كفاية فسحة العمل وإمكانات تنصيب الهوائيات ومحدودية التغذية بالطاقة.

وهناك نهجان لتعيين موقع محطة ثابتة للمراقبة. إذ يمكن إقامتها إما حيث يتوقَّع حدوث أقل تداخل ممكن بسبب الضوضاء الاصطناعية والبث الراديوي، وإما في المناطق الكثيفة بالسكان حيث يمكن استقبال كثير من البث، بما فيها البث المنخفض القدرة. والنهج الأول ملائم على وجه الخصوص لمحطات مراقبة الترددات الديكامترية (HF) لأنها شديدة التأثر بالتداخل، وظروف الانتشار تسمح لها بأن تقام بعيداً عن مواقع الإرسال. ويختار النهج الآخر لتعيين مواقع محطات مراقبة الترددات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF) لأن ظروف الانتشار لا تسمح لهذه المحطات بأن تقام بعيداً عن المرسِلات. ولكن يجب بذل كل العناية الممكنة لتجنيب المستقبلات فرط الحمولة بسبب الإشارات القوية الصادرة مثلاً عن المرسلات الإذاعية، وتجنب إحداث نواتج تشكيل بيني. وفي المَمارسة العملية ثمة متطلبات مختلفة تجعل من الضروري التوصل إلى حل وسط.

ويأتي في الفقرة 6.2 الكلام بالتفصيل عن المباني والممتلكات. وبخصوص المتطلبات الخاصة لإقامة محطات المراقبة الساتلية انظر الفقرة 1.5.

والعيب الرئيسي في محطات المراقبة المأهولة الثابتة هو بالضبط أنها ثابتة، ولأسباب مالية لا يمكن إقامتها بأعداد كافية. ولذا كثيراً ما تُستكمَل هذه المحطات بمحطات مراقبة محكومة عن بعد، تُجهَّز بمستقبلات قياس و/أو بمحددات الاتجاه، تبعاً للغرض المنشود منها. فالتجهيزات المتطورة لا تمكّن من تشغيل المحطات على يد مشغِّلَ بعيد فحسب بل تمكن أيضاً من تنفيذ برامج

قياس أوتوماتياً، ثم تُرسَل النتائج إلى محطة المراقبة المأهولة في وقت لاحق أو ينطلق إنذار عند تجاوز حدود معيَّنة. ويأتي وصف اكثر تفصيلاً للتجهيزات المحكومة عن بعد ولأتمتة المراقبة في الفقرتين 5.2 و6.3.

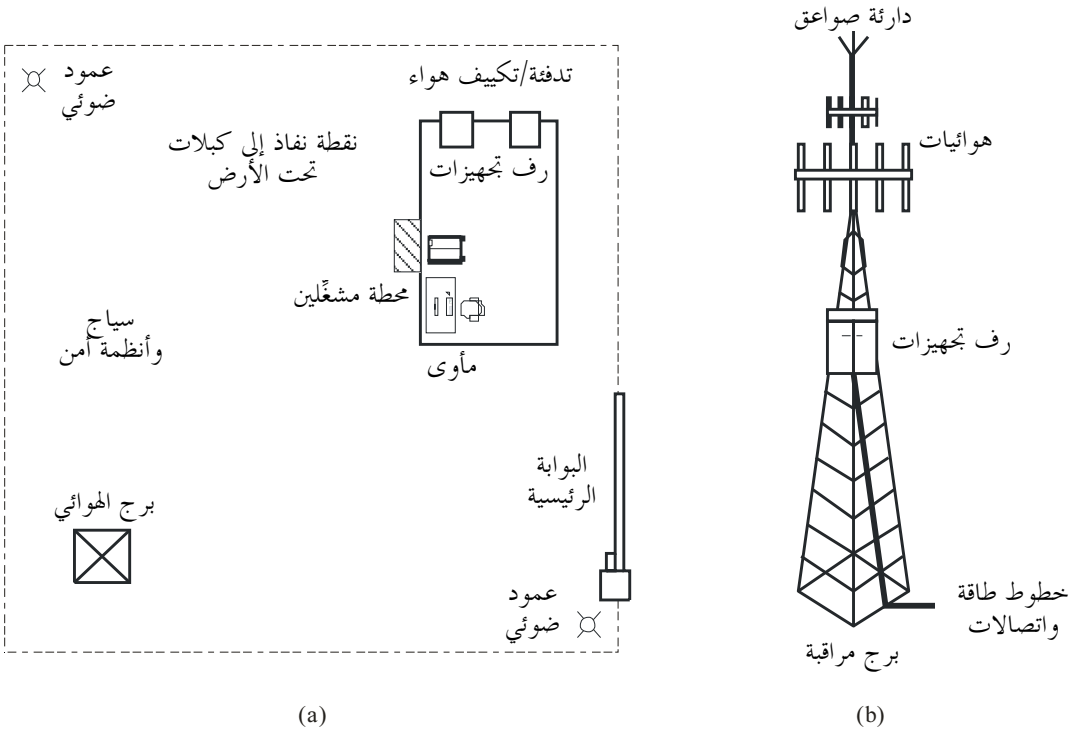
ويعرض الشكل 1-4.2 مخططيْن إجماليين للمحطات الثابتة النائية، واحد لمحطة تتمتع بمساحة أكبر تسمح بتشغيل محلي مؤقت، والآخر لمحطة ليس لها هذه المساحة، تسمح فقط بالتشغيل المحكوم عن بُعد.

وإضافة إلى ذلك، قد يكون في بعض الحالات من الصعب على الإدارات أن تجد مواقع ملائمة لإقامة محطات ثابتة، فيصير من الضروري إيجاد حلول تسمح بأدنى قدر ممكن من البنية التحتية.

فيمكن، مثلاً، أن تطلب الإدارات حلولاً تسمح بإنشاء بسيط لمحطة ثابتة على سطح مبنى ملكيته خاصة، بقليل من أعمال البنية التحتية وأدنى قدر ممكن من الإزعاج للسكان.

الشكل 1-4.2

مخططان إجماليان لمحطات ثابتة للمراقبة: (a) لمحطة واسعة الموقع تشتمل على مأوى للتشغيل المحلي، (b) لمحطة صغيرة الموقع جميع تجهيزاتها مثبتة على البرج



Spectrum-2.4-01

تتسم هذه المحطات الثابتة بالخصائص التالية:

- محكومة عن بعد؛
- لا تحتاج إلى مبنى ولا إلى مأوى كبير بجوار الصاري؛
- استهلاك للطاقة منخفّض في مجمل المحطة الثابتة.

2.4.2 محطات المراقبة المتنقلة

يُناط بالمحطات المتنقلة للمراقبة وظيفة تنفيذ جميع عمليات المراقبة حيثما تعذّر على المحطات الثابتة إجراء القياسات بسبب انخفاض قدرة المرسلات وارتفاع اتجاهية الهوائيات وخصائص الانتشار المعينة.

يتناول هذا القسم الجوانب المعيَّنة لمهام المراقبة التي تتصف بها التطبيقات المتنقلة فقط، لأن الاعتبارات العامة المشتركة لجميع المشكلات المقترنة باختيار المواقع والقياسات وتوصيل الشبكات ومعالجة البيانات وما إلى ذلك تعالَج في الفصول ذات الصلة.

وأما تصميم محطات المراقبة المتنقلة فيختلف كبير الاختلاف تبعاً للغرض المنشود منها ونطاق عملها وظروف تشغيلها. ثم إن تعقيد التجهيزات وشروط تشغيلها على النحو الملائم إضافة إلى المشكلات الملازمة من وزن واستهلاك للطاقة، كل ذلك يستلزم عادة مركبة مجهَّزة تجهيزاً معيّناً قادرة على التحرك بسرعة. وفي بعض الحالات، يجب على الوحدة المتنقلة أن تتزوّد بتجهيزات إضافية ممكن حملها، من أجل إجراء قياسات متخصصة في مواقع يصعب وصول المركبة إليها.

1.2.4.2 أنظمة الملاحة وتحديد المواقع

خلافاً لمحطات المراقبة الثابتة التي لا تتغير مواقعها، ينبغي تجهيز كل محطة من المحطات المتنقلة بنظام ملاحة لكي يمكن تحديد موقعها بالضبط حيثما وجدت وفي كل وقت. وهذا يضمن إمكان تحديد موقع نظام الاختبار لحظة تسجيل البيانات. وفضلاً عن ذلك، إذا كانت المحطة المتنقلة مجهزة بهوائيات اتجاهية و/أو محددات الاتجاه، يصير من الضروري معرفة اتجاه المركبة (الزاوي).

وتتفاوت دقة معلومات تحديد الموقع تبعاً لأهداف القياس ونمط النظام الجاري قياسه. مثلاً، قد تكفي الدقة بحدود 100 متر من أجل تحديد خط الكفاف لتغطية محطة تلفزيون أو محطة إذاعة راديوية. وأما عملية تحديد تغطية الإشارات وجودة نظام "خلوي صغري" فتستدعي دقة بحدود بضعة أمتار.

ولا تتطلب أنظمة الملاحة، مثل النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS) والنظام العالمي للملاحة الساتلية (GLONASS)، تفاعلاً من جانب المشغِّل ويمكن استعمالها في المركبات والسفن والطائرات. ولكن ينبغي أن يؤخذ في الحسبان أن هذه الأنظمة تعتمد على قابلية رؤية الساتل، فهي من ثَمّ لا تستطيع تحديد موقع المركبة أثناء وجودها في نفق، مثلاً.

وللتغلب على فقدان إشارات الملاحة الساتلية، يُستعان بأنظمة متيسِّرة تجارياً تعتمد على بوصلة جيروسكوبية ومحوِّل طاقة دوّار، تُقرَن بآلية تحريك المركبة، فتمكّن من تحديد موقع المركبة. وقد يكون من الملائم استعمال مجموعة أنظمة مختلفة.

وينبغي تجهيز جميع الأنظمة المنقولة لتحديد المواقع بسطح بيني للاتصالات، لكي يمكن تخزين بيانات تحديد المواقع مع بيانات القياس في جهاز مراقبٍ للعمليات، مثل تسجيل قيم شدة المجال مشفوعة بالإحداثيات والزمن.

ويأتي في الفقرة 1.6 مزيد من التفاصيل عن مختلف أنظمة الملاحة وتحديد المواقع.

2.2.4.2 المركَبات

1.2.2.4.2 اعتبارات عامة

ينبغي قبل اختيار المركبة تحديد المهام التي يراد استعمال المركبة لها وظروف الاستعمال.

ومن محاسن استعمال المركبة العامة الأغراض لمهام القياس أنها طيّعة لاستعمالات شتى. إلا أن هنالك دائماً عمليات قياس محددة لا يمكن تنفيذها بواسطة المركبة العامة الأغراض. وكذلك يسهل تكييف تجهيزات القياس المركّبة على حوامل، بشرط توفّر المكان داخل المركبة، للوفاء بشروط مهمة معيّنة. والمأخذ الرئيسي على المركبة العامة الأغراض هو كبر حجمها المطلوب لإيواء ما يلزم من أجهزة وهوائيات، وما يسفر عن هذا الحجم من صعوبة مناورتها في المدن وخارج الطرق المعبَّدة.

وأما المركبات المتخصصة فإنها تتصف بميزة تجهيزها بأجهزة ملائمة تماماً لمهمة القياس المطلوب أداؤها، وبكونها في الكثير من الأحيان أصغر حجماً من غيرها. ولكنها، نظراً لانحصار استعمالها في وظائف خاصة، كثيراً ما تظل في حظيرة السيارات عاطلة عن العمل.

وفي حال استعمال المركبة لمهام تستغرق بضعة أيام، يجب النظر في موضوع مبيت الموظفين واغتسالهم. وحيث لا يتيسّر النزول في فندق، يتعيّن أن تفي المركبة بمتطلبات إضافية، مما يزيد كثيراً من حجمها وثمنها.

وعلى العموم، يتألف طاقم المركبة من شخصين: مشغِّل وسائق/مساعد يكفي أن تكون عنده معرفة بأساسيات الهندسة الراديوية. أما إذا أريد ألا يكون في المركبة سوى شخص واحد، فإنه يترتب عليه في آن واحد أن يقود المركبة وأن يشغِّل تجهيزات القياس، وهذا ما ينبغي تجنبه لاعتبارات السلامة. وفضلاً عن ذلك، ثبت من المفيد وجود شخص ثانٍ كشاهد. لا بل قد يحصل أن يوجد على متن المركبة ثلاثة أشخاص، كما في حالة تدريب زميل جديد، مثلاً. وهذا الأمر لا يزيد في متطلبات تكوين المركبة، لأن أغلبية أنماط المركبات فيها ثلاثة مقاعد على الأقل.

2.2.2.4.2 هوائيات محطات المراقبة المتنقلة

فيما يتعلق بهوائيات المراقبة وخصائصها، يُرجى الرجوع إلى الفصل 3. أما هذا القسم فيقتصر بالوصف على التحديدات والملحقات المساعدة، مع مراعاة الخصائص النوعية لهوائيات المحطات المتنقلة للمراقبة.

فأنماط الهوائيات المستعملة في مركبات المراقبة المتنقلة تختلف تبعاً للتردد وطبيعة القياسات التي تنفَّذ. ويجب فيها أيضاً أن تكون مطوَّعة لظروف حركة السير ومتطلبات التركيب.

والتقييد بخصوص هوائيات محطات المراقبة المتنقلة ينصبّ على الحجم والعدد. فبسبب النقص المكاني الذي لا مفر منه، يتعيّن أن تكون الهوائيات صغيرة الحجم، إلا إذا استُعمِلت هوائيات قابلة للطي، يمكن نصبها على الأرض قريباً من مكان وقوف المركبة، كما يحصل أحياناً.

ويجب أن يؤخذ في الاعتبار أثناء إجراء القياسات أن المركبة نفسها لها تأثير تشويهي على خصائص الهوائي. إذ إن مخططاً "صافيا" (دون تغيير) لإشعاع الهوائي لا يمكن الحصول عليه إلا على مسافة كافية من المركبة، أو على ارتفاع كاف فوق سطحها في حال تمديد صاري الهوائي. وتنطرح نفس المسألة بصدد الاستقطاب أيضاً.

ويمكن أن تُستعمَل الهوائيات الشاملة للاتجاهات، وهي ملائمة بصورة خاصة لإجراء مسح عام للطيف. ويمكن استعمال الهوائيات الاتجاهية من أجل تحسين الاتجاهية ونسبة الإشارة إلى الضوضاء أو لزيادة الكسب، وبالتالي خفض التداخل في قياسات شدة المجال، وكذلك من أجل أنشطة تحديد الاتجاه.

وتتوفر مجموعة واسعة من الهوائيات الاتجاهية وهوائيات تحديد الاتجاه، تصلح اعتباراً من الترددات الديكامترية (HF) شاملة مدى الترددات GHz، وتفي بجميع متطلبات محطة متنقلة للمراقبة.

وبما أن الهوائيات المصنوعة من أجل الترددات فوق GHz 1 صغيرة الفتحة بما قد يصل إلى مجرد 1° تبعاً للتردد، فقد يلزم تجهيز مركبة القياس بحامل هيدرولي، إلا إذا استُعمل حامل منفصل ثلاثي القوائم.

وهنا يجب التمييز بين الهوائيات الاتجاهية التي تحدد الاتجاه بصورة تقريبية، والهوائيات الخاصة بتحديد الاتجاه والمتيسِّرة لمختلف أمداء الترددات.

غير أنه يجب ترتيب نصب الهوائيات الاتجاهية بحيث يسهل توجيهها من داخل المركبة نحو جهة الاستقبال، إما يدوياً أو بمحرِّك كهربائي. ويجب في ذلك أن يمكّن المشغِّل من التحقق بسهولة من توجه الهوائي. وفي عمليات القياس الأوتوماتية، يجب أن تكون المعلومات عن الموقع متيسِّرة للتحكم عن بعد. ولذا يوصى باستعمال دوّار يحكمه المتحكّم بالعملية.

ومن طرائق تدوير الهوائي تدوير آلية الحمل بكاملها (البرج أو الصاري). وثمة حل بديل مفيد وهو أن توضع الوحدة الدوارة في رأس تجميع البرج. وبهذه الطريقة يمكن أيضاً التحكم بالاستقطاب عن بعد.

ويجب أن يكون بالإمكان رفع الهوائي إلى علوّ معين فوق سطح المركبة، وذلك من أجل تحسين حساسيته وتخفيف تأثير المركبة على القياسات ورفع الهوائي فوق كل ما يعيق انتشار الموجات. وهذا ينطبق خصوصاً على الهوائيات المصنوعة من أجل استقبال الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF). وينبغي ألا يقلّ العلوّ الممكن رفع الهوائي إليه عن 8 أمتار.

ولهذا الغرض، تُستعمَل صوارٍ خاصة تلسكوبية، مكوَّنة من سلسلة أنابيب فولاذية دقيقة الانزلاق بعضها داخل بعض تُدفَع نحو الأعلى بآلية ضغط هوائيةً أو هيدرولية. وفي طرائق أخرى واسعة الانتشار يُستعمَل حبل سلكي يُشغَّل يدوياً أو بمحرك كهربائي. وعند اختيار آلية نصب الصاري يجب أن يؤخذ في الاعتبار وزن الهوائي إلى جانب طريقة القياس المقصود استعمالها

(قياس من موقع ثابت حيث يظل الصاري ممدوداً لفترة طويلة أو قياس من نقطة إلى نقطة حيث يُمدّ الصاري ويُسحب كل مرة). إذ إن البنيان الميكانيكي لحوامل الهوائي (الصواري)، سواء ثُبّت داخل المركبة أو على سطحها، له دور هام نظرا لما يتحمله من ضغط شديد.

ويجب أن يكون ممكناً من داخل المركبة قراءة ارتفاع الهوائي قراءة آنية. وتسهيلاً لقياسات شدة المجال المرتبطة بالارتفاع، يوصى باستعمال صارٍ يوجّهه المتحكّم في العملية مع تيسر قراءة آنية لارتفاع الهوائي في جهاز المعالجة.

ويجب توخّي الحذر اللازم عند رفع صارٍ بهذا الارتفاع، ومراعاة ثقل الهوائي المركَّب عليه وكذلك ضغط الريح الذي قد يسبب تأرجح الحامل تأرجحاً خطراً يتهدّد استقراره. **وعند رفع الصاري، ينبغي الحذر والتأكد من أنه لا يوجد أسلاك كهربائية مرفوعة على مقربة منه.**

وباستثناء الهوائيات المعَدّة للاستعمال على الأرض الخلاء، والممكن تفكيكها، تركّب هوائيات الوحدة المتنقلة للمراقبة عادة على سطح المركبة، ما يستوجب الوصول إليها بسهولة إما بسلّم صغير خارجي أو من الأفضل من داخل المركبة عبر فتحة في السقف بواسطة سلّم داخلي.

وتيسيراً لاستبدال الهوائيات فيما بينها، من الفطنة اعتماد شكل ما لوسيلة تثبيت معيارية، على غرار تركيب الحربة مثلاً، يمكن استعماله لجميع هوائيات المحطة. ويجب في الهوائي أن يكون له أيضاً واصل ملائم، يوصَّل به الكبل الهابط.

ويمكن استعمال كبل مرن بطول معيَّن، يتدلى بموازاة الصاري يلتف تلقائياً على بكرة داخل المركبة عند تخفيض الصاري.

وتجنّبا للتعقيدات عند إجراء قياسات شدة المجال، لا بد من اختيار كبل يتصف بخصائص المعاوقة الصحيحة ومن نمط قليل الخسارة. ولا بد من معرفة توهين كل طول كبلي مع مختلف الترددات ومراعاته في الحساب.

اعتبارات التداخل بخصوص المراقبة المتنقلة: يجب، أثناء القيام بالمراقبة المتنقلة، أن تؤخذ في الاعتبار بيئة الترددات الراديوية، ولا سيما بيئات الترددات الراديوية المشهود فيها إشارات قوية مثل التي تبثها المرسلات الإذاعية. إذ إن الإشارات القوية تسبب تشوهاً في التشكيل البيني داخل نظام المراقبة أو نظام القياس، ما يجعل من الصعب إجراء قياسات دقيقة للإشارات في البيئات المذكورة. وقد يكون التشوه كبيراً في عمل تجهيزات تحديد الاتجاه راديوياً المركّبة في مركبات المراقبة، لأن هذه الأنظمة كثيراً ما تُستعمل فيها مضخِّمات داخلية وهوائيات فاعلة، وهي أكثر تعرضاً لآثار التشكيل البيني المولدة داخلياً بسبب الإشارات القوية.

وفي هذه البيئات من الترددات الراديوية ليس هنالك عادة من مشكلات في أنظمة تستعمل هوائيات منفعلة (غير مضخَّمة). لكن أنظمة المراقبة التي تستعمل مضخمات قليلة الضوضاء و/أو هوائيات فاعلة (مضخَّمة مسبقاً) أكثر عرضة لتشوّهات التشكيل البيني. وفي هذه الحالة يمكن اعتماد نهجين منفصلين أو مجتمعين لضمان إبطال تأثير الإشارات القوية على الأنظمة:

الهوائي المزدوج الأسلوب

يستطيع الهوائي المزدوج الأسلوب أن يتحوّل عن أسلوب الهوائي الفاعل (المضخَّم) إلى أسلوب الهوائي المنفعل (غير المضخَّم). فهو يعمل عادة كهوائي فاعل، وفي المناطق التي فيها إشارات قوية يتحوَّل إلى أسلوب الهوائي المنفعل، وهكذا يظل تشغيله سليماً.

إدراج مرشاح نابذ للنطاق

ثمة حل آخر ممكن وهو تركيب مرشاح نابذ للنطاق (BRF) من أجل جزء من نطاق التردد تحدث فيه إشارات قوية. حيث يُركَّب المرشاح BRF داخل نظام توزيع للإشارات في مقدّمة المضخّم المسبق لأول إشارة فيمنع الإشارات القوية من التأثير على النظام. وبالطبع، في حال استعمال المرشاح BRF، لا يعود بالإمكان قياس نطاق التردد المنبوذ. ويجب أيضاً إيلاء انتباه لأي تأثير ممكن من المرشاح على الكسب أو على مهلة زمرة الإشارات ولأي خصائص في المرشاح من شأنها التأثير على أنظمة المراقبة أو على أنظمة تحديد الاتجاه.

ويأتي في القسم 3.3 بحث أكثر تفصيلاً لموضوع تأثيرات التشكيل البيني.

3.2.2.4.2 متطلَّبات يتعين الوفاء بها في المركبة

ثمة عواملُ مختلفة تحكم اختيارَ مركبات المراقبة المتنقلة. وتنفرد كل هيئة مشتريات بترتيب أولوياتها بين هذه العوامل تبعاً لاحتياجاتها، ولكن لا بد، قبل وضع مواصفات المركبات، من مراعاة ما يلي على الأقل.

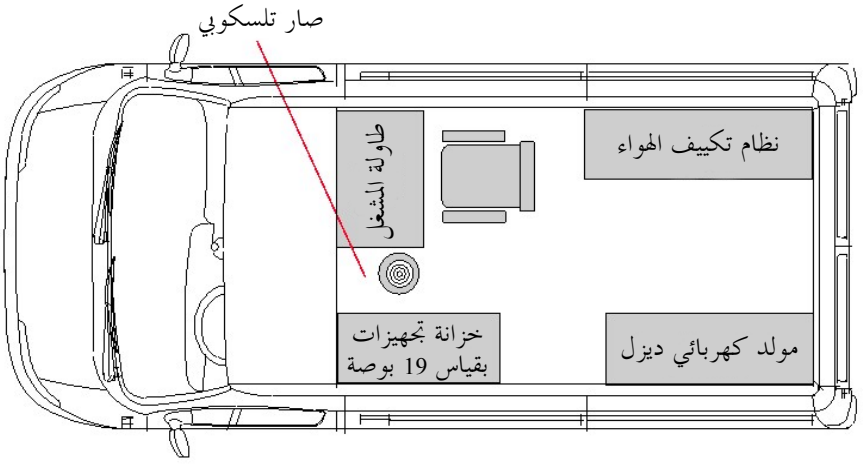
من الممكن إنشاء محطات متنقلة للمراقبة انطلاقا من كثير من المركبات التجارية. وأقلها تكلفة إجمالاً هي مركبة خارجة من المصنع بآلية دفع اعتيادية. وينبغي أن يكون تيسّر قطع التبديل جزءا من مواصفات المركبة المطلوبة. فمن الأصلح شراء مركبات من مصنّعين لهم مرافق خدمة محلية. ومن الضروري أن تكون المركبات المراد استعمالها على طرق غير معبَّدة وخارج الطرق مجهزة بآلية دفع رباعي، لها خلوص كافٍ عن أرض الطريق.

ويجب أن يكون في المركبة فسحة كافية لحركة أطراف كل من السائق والمشغِّل. فأثناء عمليات القياس التي تُنفَّذ أثناء سير المركبة، ينبغي أن يكون المشغّل جالساً وجهه إلى الأمام. وعلى أي حال، يجب في المركبة أن تتسع لكل ما يلزم لضمان تنفيذ القياسات بسهولة. فتُرتَّب التجهيزات بحيث تكون سهلة الاستعمال، لكي يتمكّن المشغل من إجراء القياسات بأقل انتقال ممكن. ويجب في أجهزة التشغيل أن تكون في متناول اليد. وينبغي أن تسمح أبعاد المركبات الكبيرة للمشغِّل أن يقف داخلها منتصباً.

ومن الأفضل أن تكون المركبة على نمط حافلة كما يبدو في الشكل 2.4-2، أي دون فصل بين مقصورة السائق وحجرة التشغيل، لكي يتمكن السائق من الاتصال مباشرة مع حجرة التشغيل، إذ كثيراً ما يتعين عليه أن يعمل بتعاون وثيق مع المشغِّلين أثناء سير المركبة. ويتيح هذا التنظيم الداخلي للمشغّلين رؤية الاتجاه الذي يسيرون فيه، كما يتيح للسائق فرصة الانتقال إلى حجرة التشغيل دون أن يُضطرّ إلى الخروج من المركبة.

الشكل 2.4-2

التنظيم الداخلي لمحطة مراقبة متنقلة



Spectrum-2.4-02

يجب أن يكون لحجرة التشغيل نوافذ توفّر للمشغّلين الضوء الطبيعي، ورؤية شاملة لما يحيط بهم. ولكن يجب أيضاً تجهيز النوافذ بستائر لحجب الضوء الخارجي في حالة إعاقته قراءة لوحات عرض محللات الطيف أو الحواسيب أو أجهزة التلفزيون.

وينبغي إيلاء أهمية عظمى لاعتبارات السلامة. فيُجهَّز كل مقعد بحزام أمان، وتُثَبَّت التجهيزات تثبيتاً مأموناً حتى لا تنزلق فتسبب الأذى أثناء سير المركبة أو في حالة اصطدام طفيف. وإذا كان للمشغّل مقعد في مؤخَّرة المركبة وجب أن يكون ممكناً تثبيته برِتاج. وينبغي تجهيز سطوح المركبات الكبيرة بأسيجة أمان معدنية قابلة للطي لوقاية الموظفين من السقوط.

وينبغي تجهيز داخل المركبة بحوامل تُثبَّت عليها التجهيزات الإلكترونية تثبيتاً مأموناً يقيها من الصدمات والاهتزازات. فيمكن تثبيت التجهيزات على حوامل معيارية بقياس 19 بوصة أو على سكك خاصة لها مثبِّتات بشكل ملائم. وربما تمثل هذه

الطريقة حلاً أكثر مرونة. ولكن أياً كانت تقنية التثبيت، ينبغي أن يكون من السهل فك التجهيزات بغية إصلاحها. وينبغي تمرير كبلات توصيل القدرة وكبلات توصيل الإشارات خلف التجهيزات قدر المستطاع تحاشياً للفوضى في حيِّز العمل وتعزيزاً لسلامة المشغّلين. وينبغي أن يُدرَس ويُخطط بعناية ترتيب التجهيزات بحيث توضَع في أنسب الأماكن أجهزة التحكم والعرض الأكثر استعمالاً من جانب المشغّلين.

ويجب أن يتوفر في هيكل المركبة، بصرف النظر عن تصميمها، عزل حراري وافٍ من أجل توفير الشروط الملائمة لسلامة التجهيزات الموضوعة داخلها وشروط الراحة لطاقمها. ويمكن عموماً أن يُستفاد من العزل الحراري الجيد في توفير العزل الصوتي. وما يوجد في المركبة من التدفئة وتكييف الهواء كافٍ لراحة السائق عادة، ولكن يلزم تجهيزها بوحدات أكبر من أجل حُجرتَيْ المعدّات والطاقم. ويمكن استكمال التدفئة باستعمال مدافئ بروبان أو بترول أو كهرباء. وأما تكييف الهواء في المركبة نفسها أو في المقصورات الخارجية، عند الاقتضاء، فتُستمَدّ له الطاقة من النظام الكهربائي للمركبة أو من شبكة الكهرباء خارج المركبة أو من مولّد على متن المركبة.

وينبغي أن تكون المركبة مزوَّدة بإضاءة داخلية كافية، لكي يتمكن المشغّلون من العمل دون إجهاد بصري. فالإضاءة الفلورية المنخفضة التوتّر تُستمَدّ لها الطاقة من النظام الكهربائي للمركبة. أما الإضاءة العادية، توهّجية كانت أم فلورية، فتُستمَدّ لها الطاقة من مولِّد مثبَّت في المركبة أو من الشبكة الكهربائية العمومية حيثما تيسَّرت.

ثم إن ثقل المركبة هو أرجح العوامل تحكماً في اختيار المركبة. صحيح أن عربة الركاب تتميز بسهولة المناورة والمرور بها في الشوارع الضيقة والسماح بوقوفها في الساحات والشوارع المحظورة على الشاحنات. لكنّ حمولتها الأعظمية، في حدود 500 كيلوغرام لاستيعاب الموظفين وتجهيزات القياس والأجهزة الإضافية للإمداد بالطاقة مع صغر فضائها الداخلي، تقلِّص كثيراً من إمكانات استعمالها. ومع ذلك فقد استعمِلت مركبات من هذا النوع بنجاح في البحث عن مصادر متنقلة للتداخل أو مرسلات مخالفة للقانون. إذ يمكن تمويه الهوائي الذي يحدد الاتجاه في شكل أمتعة، بل يمكن دمج الهوائيات الأقل حساسية كلياً في سطح العربة بحيث لا يمكن تعرّفها.

وتوفِّر مرونةً أكبر بكثير المركباتُ التي يبلغ وزنها الإجمالي الأعظمي 2,8 طن، والتي لا تزال مع هذا الوزن تُعتَبر عربة ركّاب في نظام السير في كثير من البلدان، ولها استطاعة حمولة تفوق 1 000 كيلوغرام. فيمكن اعتمادها بسهولة كمركبات شاملة الاستعمال، تُزوَّد بتجهيزات قياس، وصار، ومحددات اتجاه، وتوفر متَّسَعا لهوائيات إضافية، ومولّد طاقة منقول يحمل في مؤخرة المركبة. ويمكن تشكيل داخل هذه المركبة بشكل محطة قياس كاملة متنقلة، وكثيراً ما يكفي تهيئة مؤقتة لهذه المركبة بأدوات قابلة للتبادل فيما بينها. ولكن يجب، في كلا الحالين، ضمان الإمداد بالطاقة، والنفاذ الحاسوبي (توصيل IEC مثلاً)، ونظام تحديد المواقع، وهوائيات القياس مع حواملها المنقولة، ووسائل الاتصال الملائمة.

وتُختار الشاحنات الكبيرة حين يتعين إجراء قياسات طويلة الأجل، شبه مستقرة، تتطلب مجموعة قوية لتوليد الطاقة مدمجة في بنية المركبة، أو حين يتحتّم أن يقف الموظفون منتصبين داخل المركبة أو أن يناموا فيها. وتلزم الشاحنة أيضاً حين تُستعمل هوائيات مكافئية، صغيرة الفتحة، يستلزم نصبها منصّة مسطَّحة صلبة؛ وفي هذه الحالة ينبغي أن تكون الشاحنة مزوَّدة أيضاً بحوامل هيدرولية.

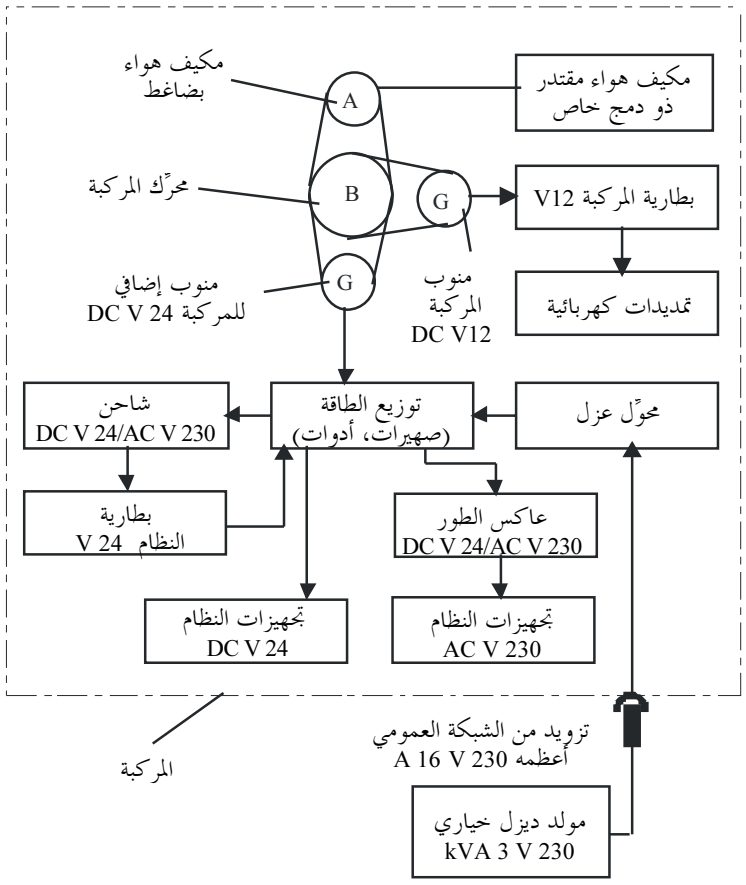
وينبغي حتى في ظروف حمولة كاملة أن يكون للمركبة استطاعة السير بسرعة لا تقل عن 80 كيلومتراً في الساعة على طرق مستوية، بحيث لا تعيق حركة السير. وهذا الشرط يتطلب طاقة محرِّك تفي بهذا الغرض. وإذا عرض المصنّع صيغة معززة من قرص تبديل دوران المحرك، فينبغي استعماله اتقاء لعطل مبكر في هذا الجزء قد ينجم عن ثقل الحمولة التي تنقلها المركبة في أغلب الأحيان.

4.2.2.4.2 التزويد بالطاقة

ثمة مصادر مختلفة للطاقة متيسِّرة للتجهيزات في المحطات المتنقلة. والمحطة الجيدة التجهيز يكون لها مصدران على الأقل من قبيل الاحتياط. ويعرض الشكل 4.2-3 مثالاً لذلك.

الشكل 2.4-3

مثال لنظام تزويد بالطاقة لمركبة تُستعمَل لعموم الأغراض



Spectrum-2.4-03

وقد خففت قلة استهلاك التجهيزات الحديثة للطاقة كثيراً من مشكلة تزويد الوحدة المتنقلة بالطاقة. ومن الأمثلة على ذلك القيم النمطية التالية لاستهلاك الطاقة في التجهيزات المتيسِّرة تجارياً في الفئات المذكورة في الجدول التالي. وقد تتوفر هذه التجهيزات في أجزاء منفصلة أو مجتمعة في نظام يشتمل على عدة عناصر، وتكون الطاقة المجتمعة عادة أقل من مجموع ما يلزم لكل عنصر على حدة، من قبيل نظام لمعالجة الإشارة يتكون من موزِّع للترددات الراديوية ومستقبِل (أو مستقبلات) ومعالِج قد لا تحتاج لأكثر من 200 W:

صنف التجهيز	استهلاك الطاقة (W)
محلل الطيف	150
كاشف التذبذب	120
مولّد الإشارات	150
محدد اتجاه	250
مستقبل ترددات ديكامترية (HF)	80
مستقبل ترددات مترية/ديسيمترية (VHF/UHF)	100
حاسوب شخصي صناعي مع شاشة عرض بالألوان	200

وأصبحت التجهيزات الإلكترونية أيضاً أخف وزناً وأصغر حجماً. ويسمح هذا الجمع بين مزايا الحجم والطاقة بزيادة كبيرة في مقدرة الوحدة المتنقلة التي تولِّد هي نفسها ما يلزمها من طاقة. ولكن في كثير من الحالات يتحتّم تشغيل التجهيزات بعيداً عن المركبة. ومن ثم يجب أن تكون هذه التجهيزات قابلة للتشغيل بطاقة بطارية. وهنالك حالياً تجهيزات حديثة للقياس والاتصالات من جميع الأصناف تقريباً (من محلِّلات وكاشفات تذبذب ومستقبلات ومولِّدات إشارات ومحدِّدات اتجاه وحواسيب وما إلى ذلك) يمكن تشغيلها بطاقة البطارية. وأغلبية هذه التجهيزات يمكن تشغيلها أيضاً داخل وحدة متنقلة بطاقة تيار متناوب.

ويتوفر في الأسواق مولدات صغيرة للطاقة تعمل بالبنزين وتُنتِج على الأقل 2 كيلوفولط أمبير (kVA) ويمكن بسهولة تركيبها في مؤخَّرة شاحنة مقفَلة. حتى إن بعضاً من هذه المركبات المخصصة للصحافة الإلكترونية تحتوي اثنين من هذه المولِّدات. وهكذا ينبغي ألا تبقى مسألة استهلاك الطاقة عاملاً حاسماً لاختيار تجهيزات تُستعمَل في الوحدات المتنقلة.

البطاريات أو الخلايا الثانوية

التزويد بالطاقة من البطاريات أو البطاريات القابلة لإعادة الشحن هو الحل الوحيد بخصوص التجهيزات التي تُحمَل من أجل استعمالها في أماكن نائية يتعذر الوصول إليها بالمركبات. وكثيراً ما تحدث هذه الحالة في صدد قياس شدة المجال.

المنوِّبات المقرونة بالمحرِّك – عاكسات الطور

بما أن أغلبية التجهيزات الإلكترونية المستعملة لأغراض القياس مصمَّمة على أساس تزويدها مباشرة بالتيار المتناوب المستمَدّ من الشبكة العمومية بتوتر 115 V/60 Hz أو 220-230 V/50 Hz، فقد أصبح لزاماً تجهيز المركبة بمولِّد قادر على توفير إمداد بالطاقة يفي بهذه الخصائص.

وثمة حل يتمثَّل في استعمال عاكس طور يتزوّد بالطاقة من بطارية في المركبة. ويمكن أيضاً استعمال بطارية مساعدة أعظم سعة إذا دعت الحاجة لضمان التشغيل بالاستقلال المطلوب. إلا أن هذا يثير مشكلات إضافية من حيث الصيانة وإعادة الشحن بانتظام.

بيد أن عاكسات الطور الحديثة تتصف بالكفاءة العالية واعتمادية التشغيل والصمت ودرجة عالية من الاستقرار في التردد والتوتر المولَّدَيْن وانعدام التداخل الكهربائي، وهذه المزايا تتوفر في نظام حديث لعكس الطور لا تُستعمَل فيه إلا عناصر متينة. وتوحي هذه الخصائص مجتمعة بأن هذه الأجهزة هي الأنسب استعمالاً للتزويد بطاقة تصل إلى ما لا يقل عن 500 VA.

ولكن إذا أريد الحصول على سويّات من الطاقة أعلى من ذلك، فإن حجم وثقل البطاريات المطلوبة لضمان الاستقلال الضروري عن التزود من الشبكة الكهربائية العمومية مع ما تستتبعه هذه البطاريات من مصاعب صيانة لا مفر منها، يقللان من منفعتها كمصدر بديل للطاقة من أجل محطات المراقبة المتنقلة.

أجهزة توليد الطاقة

على العموم، تحتاج محطات المراقبة المتنقلة إلى التزوّد بطاقة تفوق 500 VA. إذ إن التيار مطلوب لا من أجل التجهيزات الإلكترونية فحسب بل من أجل المعَدّات المساعدة أيضاً مثل: المحركات الكهربائية الصغيرة والمراوح، والإضاءة، ناهيك عن المدافئ ومكيِّفات الهواء، وغير ذلك. والحمل الموصول لمحطة مراقبة متنقلة متوسطة الحجم يمكن أن يصل بسهولة إلى 2,5 kVA، لا بل يفوق هذا المقدار في بعض الحالات. وقد يكون هذا الحمل مطلوباً لساعات عديدة وأحيانا طيلة أيام من التشغيل المستقل. فأنسب حل في هذه الظروف هو جهاز توليد يشغّلها محرك داخلي الاحتراق.

بيد أن للمحركات المنخفضة الطاقة التي تعمل بالبنزين مساوئ مشتركة وهي الضوضاء والاهتزاز والتوقف أحياناً، وهي مساوئ ناجمة عن خصائصها التشغيلية ومشكلات توزيع الثقل. يضاف إلى ذلك أن دارة الإشعال يمكن أن تسبب بسهولة تداخلاً كهربائياً ما لم تكن مجهَّزة بالكوابت الوافية. ولذا ينبغي تفضيل استعمال محركات الديزل.

وتركيب نظام لتوليد الطاقة داخل مركبة يستلزم بالغ العناية، لمنع ضوضائه من الوصول إلى حجرة العمل حيث تسبب إزعاجاً للمشغِّلين يضرّ بدقة القياسات. فيُجعَل النظام عادةً في مقصورة في جانب هيكل المركبة معزول صوتياً تمام العزل، ويُثبّت بنظام تعليق مرن. ولأغراض التفتيش والصيانة والتشغيل، يكون الوصول إلى نظام التوليد هذا من خارج المركبة برفع غطاء يجب أن يكون إغلاقه مُحكما جداً لمنع تسرّب الضوضاء.

وإذا كان نظام توليد الطاقة مقدراً له أن يُستعمَل بصورة متقطعة، كأن يشغِّل نظام لتكييف الهواء من وقت إلى آخر، مثلاً، أو لإعادة شحن البطاريات أثناء سلسلة طويلة من عمليات القياس أو لمواجهة حاجة ذروة مؤقتة إلى الطاقة، فيستحسن في هذه الحالة العدول عن تركيب نظام التوليد هذا على متن المركبة إلى استعمال نموذج محمول يمكن تركيزه عند الضرورة على مسافة ما من المركبة منعاً لحصول إزعاج شديد، ويكون توصيله بأجهزة المركبة بواسطة كبل.

التزود من شبكة الكهرباء العمومية

من المفضّل دائماً، حتى إذا كانت محطة المراقبة المتحركة مجهَّزة بمصدر طاقة مستقل، الاستفادة من تزويدها مباشرة من شبكة الكهرباء العمومية كلما أمكن. وينبغي القيام بذلك من أجل استدامة حسن تشغيل التجهيزات المساعدة، كالإضاءة وتكييف الهواء وغيرهما، أو بالطبع من أجل إعادة شحن بطاريات الخدمة والبطاريات المبيّتة في الأدوات بواسطة أجهزة الشحن الخاصة بها.

وغني عن البيان أن التوصيل بالشبكة العمومية يحل محل التوصيل بالمولدات على متن المركبة، إذ من الواضح أنه لا يمكن تشغيل كلا المصدرين معاً. ومن ثَمّ يجب حتماً أن يكون تجهيز المركبة بالكهرباء مصمماً بطريقة تجعل من المستحيل ميكانيكياً توصيلها بالمصدرين معاً.

وينبغي أن يتوفر محول عزل على متن المركبة تجنباً لمتاعب تأريض المركبة وأجهزة القياس. وينبغي أن يشتمل كل مقبس للتيار على مبدِّل أوتوماتي مضبوط على قيمة التيار الأعظمي اللازم.

5.2.2.4.2 مثال لمفهوم المركبة

ينبغي إعداد مفهوم المركبة بما يراعي الاعتبارات المذكورة أعلاه وحجم المهام المطلوب أداؤها (انظر الفقرة 4.3.2) وعدد المواقع؛ كما أن الموارد المالية المتيسِّرة تستوجب عادة حلولاً وسط من حيث تحقيق المفهوم.

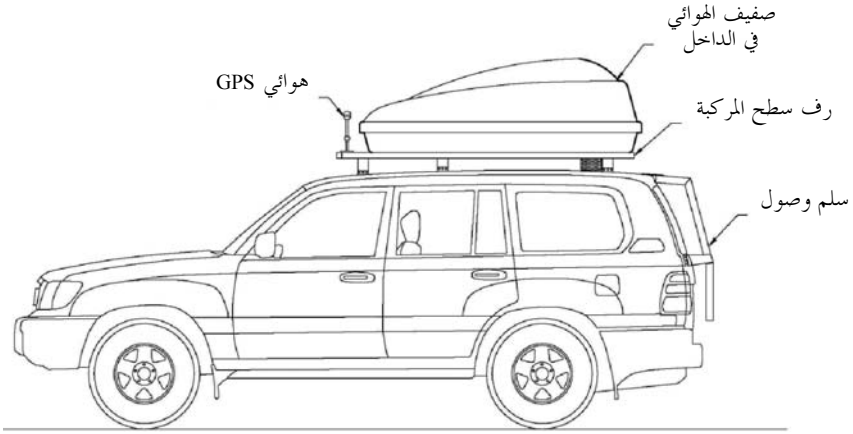
وعلى الرغم من احتمال اختلاف المتطلبات الخاصة بالمركبة باختلاف البلدان، يبين الشكل 4.2-4 عدة أمثلة لمركبات تصلح لاستعمالها لمحطات المراقبة المتنقلة.

ويصنِّف هذا الدليل المركبات في ثلاثة أنماط، يأتي وصفها فيما يلي:

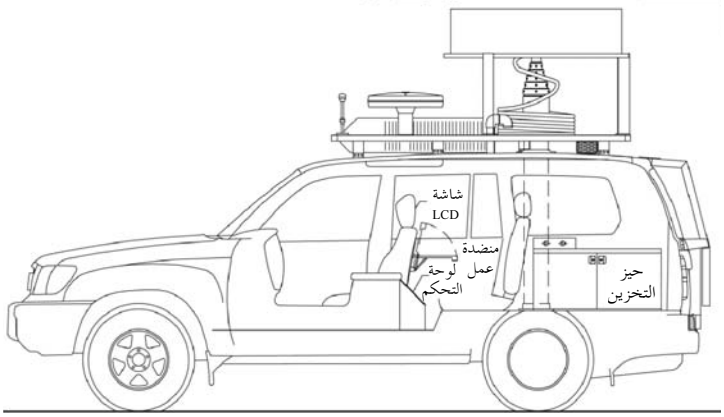
النمط 1: مركبات هذا النمط هي عربات ركاب (كبيرة الصندوق) تُستعمَل لنقل الركاب والتجهيزات والهوائيات. فصفيف الهوائي الذي يُستعمَل لتحديد الاتجاه وللمراقبة يُركَّب على حامل مخصّص لسطح المركبة لا يسترعي الانتباه، يُثبَّت مباشرة على رف الأمتعة على سطح العربة. ويُركَّب جهاز المراقبة وتحديد الاتجاه داخل حيِّز الأمتعة في مؤخَّرة العربة. وأما المشغِّل فيستطيع الجلوس في أي مكان من حجرة الركاب ويتحكم في التجهيز من حاسوبه المحمول. وتعمل المحطة من هذا النمط أثناء الحركة وأثناء الوقوف. وتُخزَّن نتائج القياس على القرص الصلب أو في الذاكرة الومضية للحاسوب المحمول، ثم تُنزل في قاعدة بيانات المحطة الثابتة متى عادت العربة إلى محطتها الأصلية بعد انتهاء جولة القياسات التي تقوم بها. ويمكن أيضاً بدلاً من ذلك، توصيل البيانات مباشرة إلى المحطة المركزية. ويمكن عموماً تشغيل محطة المراقبة هذه محلياً، كما يمكن التحكم فيها عن بعد من المحطة المركزية.

الشكل 4-4.2

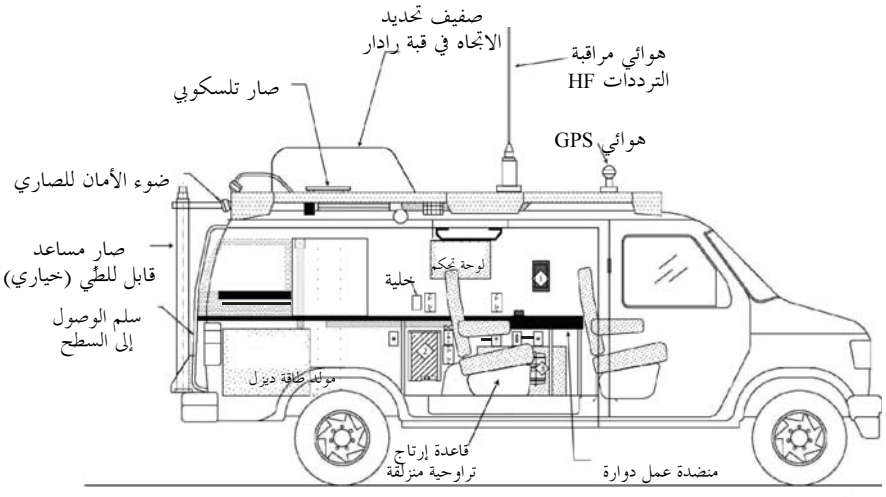
أمثلة لمحطات مراقبة متنقلة



النمط 1



النمط 2



شرح الأرقام: ③ عاكس طور 1 800 واط ② شاحن بطارية 70 APH ومسبار واط وحرارة ① علبة قاطع التيار

النمط 3

Spectrum-2.4-04

ويمكن أيضاً التزويد بطابعة داخل المركبة. فالنمط 1 يمكن تطبيقه على أي سيارة ركاب أو سيارة ركاب كبيرة الصندوق، وعلى وجه الخصوص إذا كانت مجهَّزة من المصنع برف على السطح. والمحطات المتنقلة التي على هذا النمط عظيمة الفائدة عند البحث عن المرسلات المخالفة للقانون، لأنها تبدو سيارات ركاب عادية فلا تسترعي الانتباه.

النمط 2: مركبات هذا النمط عربات عمل متينة رباعية الدفع (4 x 4) تُستعمَل في الطرق الوعرة التي يتعذّر سلوكها على مركبات النمط 1 والنمط 3 (كطرق المناطق الصحراوية والجبلية وما شابه). وتحتوي تجهيزات تمكّن من المراقبة وتحديد الاتجاه في حالتَيْ الحركة والسكون. وهي مجهَّزة بصارٍ تلسكوبي ملائم للسير على الطرق الوعرة التي تستخدم فيها هذه المركبات، ومتناسب مع صغر حيِّز التجهيزات. وهنالك صارٍ نمطي من شأنه أن يمدّ الهوائي المستعمل للمراقبة وتحديد الاتجاه حتى قرابة 6 أمتار فوق مستوى الأرض. ويستطيع المشغِّل أن يجلس أينما أراد في حيِّز الركاب داخل المركبة ويستطيع التحكم في التجهيزات من حاسوب محمول. وعندما يكون الصاري مخفضاً تستطيع محطة من هذا النمط العمل في الحركة وفي الوقوف. وأثناء التشغيل العادي تستمد المحطة الطاقة الكهربائية من منوِّب التيار العالي المركَّب على محرِّك المركبة بينما تُضبَط بيئة العمل بفضل جهاز التدفئة وتكييف الهواء الموجود في المركبة. وعلى العموم لا يتسع داخل المركبة لتركيب مولِّد كهربائي مساعد بصورة دائمة. لكن هذا النمط من المركبات يمكن تجهيزه بمولِّد كهرباء خارجي يُثبَّت على منصة مصنوعة خصّيصاً لهذا الغرض في مؤخَّرة المركبة. والمركبات التي من هذا النمط هي المركبات المعيارية التي تصلح للعمليات في المناطق الريفية والجبلية التي يصعب بلوغها بعربات الركاب والشاحنات المغلقة.

النمط 3: مركبات هذا النمط شاحنات عمل مغلقة متينة. وهي مصممة من أجل جميع الاستعمالات، فهي من ثَمّ مجهَّزة بتجهيزات مراقبة وتحديد الاتجاه مثيلة لتجهيزات مركبات النمط 2، بما في ذلك صارٍ يمكن رفعه حتى قرابة 10 أمتار فوق مستوى سطح الأرض. ويمكن إضافة صارٍ خياري من أجل رفع هوائيات مراقبة إضافيةً عند اللزوم. وحين لا يكون الصاري مرفوعاً، يمكن لمركبات النمط 3 أن تشتغلَ كمحطة توجيه أثناء السير. يضاف إلى ذلك أن مولِّد الطاقة الإضافي مبيّت في بنية المركبة ومدرَّع على النحو الملائم منعاً للضوضاء والتداخل الكهرمغنطيسي. وتستعمل مركبات النمط 3 طاقة تيار متناوب تستمدها إما من المولِّد الذي على متنها أو من شبكة الكهرباء العمومية خلال فترة استقرارها. وتتسع هذه المركبة بسهولة لراكب في المقدمة ولاثنين أو ثلاثة من المشغِّلين في الحيِّز الخلفي. ومركبة هذا النمط هي المركبة المعيارية لخدمة المراقبة التي تُستعمَل أساساً لتقصّي حالات التداخل. وهي تتسع أيضاً لتجهيزات منقولة/محمولة من أجل أداء مهام مراقبة وتحديد الاتجاه وهي تُستعمَل خارج المركبة لبلوغ مناطق عصيّة على دخول المركبات.

ويمكن بالطبع استعمال مركبات من أنماط أخرى، من بينها شاحنات مجهزة بمأوى يوفِّر فسحة لمزيد من أوضاع المراقبة.

وتوخِّيا لاستكمال العرض، يجدر أن نذكر هنا أيضاً مركبات خدمة التفتيش الراديوي. فهذه الخدمة يمكن لها أن تستخدم مركبات من النمط 2 مجهَّزة بصارٍ ولكن بدون محددات الاتجاه. وأغلب استعمالها ما يكون من أجل استقصاء حالات التداخل في الإرسالات الإذاعية، وفي سبيل تفتيش المنشآت الراديوية. فهي لهذا السبب تحمل هوائيات خاصة بالبث التلفزيوني، لكنها تغطي أيضاً كامل مدى الترددات حتى 3 GHz. ويتوفر كذلك استعمال تجهيزات محمولة من أجل تفتيش المنشآت الراديوية.

3.2.4.2 محطات المراقبة المحمولة جواً

يمكّن استعمال محطات المراقبة الراديوية المحمولة جوا، بدلاً من محطات المراقبة المتنقلة أرضاً، من أداء مهام المراقبة مع بعض المحاسن وبعض المساوئ أيضاً، كما يبيّن ذلك الجدول 4.2-1.

1.3.2.4.2 عمليات محطات المراقبة المحمولة جواً

إجراءات عامة الغرض

ينبغي أن تكون المهام الجوية مبرمجة زمنياً على النحو الواجب ومخططة جيداً. وهذا يفترض أن بعض أنشطة التنسيق ينبغي إجراؤها وفقا للخطوط التوجيهية العامة التالية:

أ) طلب مهمة رحلة طيران، تُذكر فيه مدتها

لا يمكن وضع جداول شهرية أو أسبوعية إلا إذا كان معروفاً ما يلزم تنفيذه من المهام مع الوقت اللازم، إلى جانب تيسّر الطائرة وطاقمها. ويُقصد بمصطلح "مركبة جوية" هنا الطائرات والمروحيات والسفن الهوائية، وما شابه.

الجدول 1-4.2

محاسن ومساوئ محطات المراقبة الراديوية المحمولة جواً

محاسن المراقبة المتنقلة جواً		مساوئ المراقبة المتنقلة جواً	
1.	استكشاف سريع لمساحات جغرافية واسعة	1.	تكلفة الرحلة الجوية
2.	إمكان الحصول على الاتجاه الجغرافي من محطة واحدة بالحصول على عدة خطوط اتجاه زاوي من مواقع مختلفة	2.	تقييدات من حيث الوزن والطاقة والحجم والتبريد
3.	إمكانات أفضل لإجراء القياسات بفضل خط البصر	3.	تقييدات من حيث الأرصاد الجوية والرياح
4.	سرعة تحديد مواقع منارات الطوارئ ومسببات التداخل، والمحطات الأرضية التي لا يمكن أحيانا كشفها على الأرض	4.	تقييد مدة الرحلة بسبب محدودية الوقود
5.	الانتفاع من جميع وسائل القياس التي توفّرها الإرسالات المساعدة للملاحة الجوية	5.	لزوم معرفة دقيقة لزاوية السمت وزاوية الانخفاض، ومقدرة على تحديد سريع لزوايا الاتجاه وتتبع للهوائي
		6.	احتمال لزوم تعويض التردد نظراً للسرعة النسبية

ب) تنسيق الأنشطة الجوية

يجب أن تُبلَّغ مسبقاً سلطات الملاحة الجوية المسؤولة عن المجالات الجوية المزمع إجراء المراقبة الراديوية فيها، وكذلك المعنيون بالدعم اللوجستي للمركبة الجوية ولطاقمها. إذ إن إجراءات الطيران المطلوبة من أجل المراقبة قد تستلزم بالفعل تنسيقاً خاصاً، لا سيما في المجالات المكتظة بحركة الملاحة الجوية. وينبغي كذلك أن تؤخذ في الحسبان محطات المراقبة الراديوية الأرضية من ثابتة ومتنقلة أثناء الأنشطة المشتركة المنسَّقة.

ج) أنشطة ما قبل الرحلة الجوية

إلى جانب تخطيط العمليات والإعداد لمهام الرحلات الجوية (مخطط الرحلة، فحص المركبة الجوية، تزويدها بالوقود، وما إلى ذلك)، ينبغي إجراء فحص دقيق للبيانات المستقاة من عمليات قياس أُجريتْ في مهام سابقة، أو المتيسِّرة من مصادر أخرى، من أجل اختيار ما سيُستعمَل أثناء الرحلة الجوية من وظائف تجهيز المراقبة وإجراءاته الأوتوماتية.

الإجراءات التشغيلية

تنطوي المهمة الجوية للمراقبة على إجراءات تشغيلية مختلفة تبعاً للأنشطة المطلوب أداؤها. فيجب تخطيط هذه الإجراءات بعناية قبل كل مهمة.

إذ من المرجح مثلاً أن يتعيّن على المركبة الجوية، أثناء تأدية مهام المراقبة، أن تطير في مسيرات مسبقة التحديد، كالمسيرات العروية، بسرعة وارتفاع مناسبين.

فارتفاع مسير المهمة يقرر اتساع المساحة المطلوب مراقبتها بينما تؤثر السرعة على دقة قياسات تحديد الاتجاه. وإضافة إلى ذلك، ربما يكون من الضروري، لكشف المصادر المتنقلة للإشارات الراديوية المسببة للتداخل، أن يُجرى تحديد الموضع باستهداف المصدر على ارتفاع وبسرعة منخفضين.

2.3.2.4.2 التطبيقات – أمثلة

إن أنظمة القياس المتنقلة، المقامة على متن مركبة جوية أو سفينة هوائية أو طائرة مروحية، ملائمة جيداً لرسم مخططات إشعاع أبراج الهوائيات في كلا المستويين الأفقي والرأسي. وقد يكون من الضروري أيضاً، في بعض الحالات، استعمال طائرة مروحية أو سفينة هوائية مزوَّدة بتجهيز قياس ملائم من أجل تحديد مواقع مصادر التداخل التي يتعذّر تحديدها بواسطة مرافق المراقبة الأرضية، كالمحطات الأرضية مثلاً، أو التسرّبات من كبلات التلفزيون، ومن أجل تحليل ظواهر قد تنجم عن وجود مرسِلات بالموجات المترية (VHF) عالية القدرة وقريبة جداً بعضها من بعض، ومن أجل قياس مخططات إشعاع الهوائيات.

وفي بعض أحوال المدن الكبرى، حيث تكون المرافق الأرضية المتنقلة "معتمة" بسبب حواجز من قبيل المباني الشاهقة التي تحجب مصدر الإشارة أو تسبب انعكاسات عديدة، تُتيح طائرة مروحية أو سفينة هوائية مجهّزة على النحو الملائم تحقيق سوية عالية من الدقة في تحديد الموضع و/أو تنظيم تحركات المرافق الأرضية المتنقلة.

وفي هذا الصدد يجب ضمان ما يلي:

- أن يكون من الممكن تسجيل الارتفاع والمسافة (أو بيانات الملاحة، حسبما يكون ملائماً)؛
- تثبيت الهوائي بصورة موثوقة؛
- التركيب الصحيح لأدوات القياس؛
- إمكان تجميع البيانات الضرورية؛
- أن يتسنّى تزويد الأدوات بالطاقة أثناء الطيران.

3.3.2.4.2 متطلبات تشغيل المركبة الجوية

مراعاة للاحتياجات العامة لأنشطة مراقبة الطيف والقياسات الواجب إجراؤها، ينبغي أن تكون المتطلبات التشغيلية للمركبة الجوية التي تحمل نظام مراقبة كما يلي:

- مقدرة الطيران لإجراء العمليات في جميع أحوال الطقس؛
- سهولة المناورة وجودة التوازن في ظروف السرعة/الارتفاع المنخفضين؛
- سعة حمولة كافية لحمل جميع التجهيزات اللازمة وعاملي المراقبة.

4.3.2.4.2 المتطلبات التقنية في المركبة الجوية

ينبغي للخصائص التقنية المطلوب توفّرها في المركبة الجوية الحاوية لنظام مراقبة محمول جواً أن تفي بالمعايير التالية:

- أن تمكّن أجهزة القيادة الأوتوماتية من عمليات المراقبة بواسطة إجراءات مسبقة التخطيط (من قبيل مخططات شبكية أو دائرية)؛
- أن تمكن تجهيزات الملاحة بإلكترونيات الطيران على متن المركبة من عمليات الطيران بكامل الأدوات؛ وينبغي أن تحتوي على نظام مستقل يحدد موقعها ويحسب ارتفاعها بصورة آنية، وأن يكون موصولاً بوحدة معالجة المراقبة؛
- أن يكون مدى نطاق عملها يمكّنها من الطيران بكامل حمولتها لمدة ساعتين على الأقل في المنطقة موضوع المراقبة، وبسويّات ارتفاع قد تكون دون 6 000 قدم (1 800 متر)؛
- أن يكون مدى سرعتها كبيراً بالقدر الكافي لتمكين تنفيذ عمليات نقل وإجراءات توجيه سريعة على ارتفاعات منخفضة، على السواء.

5.3.2.4.2 الهوائيات

مراعاة للتطبيقات العملية المحمولة جواً، تهيمن اعتبارات صفيف الهوائي على الجهود والتكاليف الهندسية في سبيل دمج نظام تحديد الاتجاه في بنية المركبة. وتبدأ هذه المسائل من تحديد مواقع الهوائيات المتوافقة مادياً مع الإطار الجوي، إلى هندسة النقاط الصعبة من الهوائي داخل المركبة بحيث تستطيع نقل الحمولة الميكانيكية الناجمة عن الهوائي، فتأثير الهوائي على خصائص الطيران التي تتصف بها المركبة، ثم إقرار صلاحية المركبة للطيران، وأخيراً المسائل الثانوية مثل متطلبات إزالة الجليد عن الهوائي. ونتيجة لتلك الجهود، يسفر تبسيط صفيف الهوائي عن خفض كبير في تعقيد مهمة إدماج النظام.

أ) أنظمة الهوائيات المنفعلة المحمولة جواً

تم دمج أنظمة لتحديد الاتجاه عالية الأداء تستعمل صفيفات هوائيات منفعلة في بنية المركبة الجوية، تتفاوت من حيث الحجم والمقْدِرة وتشمل كامل طائفة المركبات الجوية المستعملة لتأدية مهام متعددة. إذ إن الشكل المحدب لهوائيات الترددات المترية (VHF) يزيد من الطول الفعّال للهوائي دون زيادة في الطول البارز من سطح المركبة الجوية. ويعمل نظام المراقبة بصورة رئيسية مع الإشارات التي تكاد تكون مستقطبة رأسياً. ونتيجة لذلك، فإن الهوائيات المفضلة هي عادة إما أحادية القطب أو ثنائية القطب.

ب) أنظمة الهوائيات الفاعلة المحمولة جواً

توفّر الهوائيات الفاعلة عرض نطاق ترددات متّسعا للغاية وحجماً مادياً مصغّراً مع الحفاظ على حساسية ثابتة مقارنة بالهوائيات المنفعلة. وقد صارت الهوائيات الفاعلة عملية مع الجيل الجديد من الأجهزة الفاعلة، ومنها بالدرجة الأولى الترانزستورات ذات التأثير المجالي (FET) التي تسمح بتحويل للمعاوقة فاعل مع المحافظة في الوقت نفسه على مدى دينامي عالي للدارات.

6.3.2.4.2 المتطلبات العامة للأنظمة على متن المركبة

يجب إيلاء عناية بالغة جداً لتصميم وتنفيذ كامل الأنظمة المحمولة جواً وذلك بغية تحقيق الحد الأقصى من شروط السلامة والموثوقية في المركبة الجوية. وجدير بالذكر أن التجهيزات التي تُستعمَل على متن الطائرات يجب أن تمتثل على السواء للوائح منظمة الطيران المدني الدولي (ICAO) وللوائح الوطنية.

ومن بين المعلمات ذات التأثير المباشر على عملية الطيران ما يلي:

- وزن وموضع التجهيزات المقامة على متن المركبة، ما يستوجب تحاشي أدنى خلل في استقرار طيرانها؛
- متانة وصلابة بنية المركبة بعد إدخال التعديلات عليها؛
- الديناميات الهوائية للمركبة بعد تركيب هوائي نظام المراقبة؛
- توازن الطاقة الحرارية والكهربائية للمركبة.

وتبيّن المعلمات المتقدم ذكرها أهمية التحقق بدقة الواجب إجراؤه من أجل تحسين موثوقية النظام والحد من تكاليف التشغيل.

وكذلك فإن الصيانة المبسطة (بفضل التصميم القائم على الوحدات النموذجية ونظام الاختبار المبيّت) وسهولة نزع وتبديل التجهيزات المعطوبة لأغراض الفحوص المخبرية وعمليات المعايرة، تدخل في عداد الإجراءات المعتادة في مجال الطيران. ويستلزم الأخذ بنهج الصيانة هذا تيسّر قطع الغيار والأنظمة الفرعية الداخلة في التجهيزات.

7.3.2.4.2 معايير تشكيلة محطة مراقبة راديوية على متن مركبة جوية

ينبغي أن يُبنى خيار الأنظمة الفرعية لتجهيزات المحطة على المعايير التالية:

أ) نظام أوتوماتي لتحديد الموقع

يجب أن يتوفر في المركبة الجوية المقدرة على تحديد موقعها من أجل تحديد موقع مصدر الإشارة دون الاستعانة بأي نظام ملاحة خارجي مساعد خاص غير المعيْنات الراديوية الموجودة. أي أن نظامها الملاحي يجب أن يكون مكتفيا بذاته.

وإضافة إلى ذلك، إذا قُرن نظام الملاحة (مثلاً، نظام عطالي و/أو ساتلي، تقنية تجهيزات لقياس المسافات المتعددة (DME)) بنظام وحدة معالجة المراقبة الراديوية، صار بالإمكان حساب إحداثيات موقع مصدر الإشارات الراديوية بخصوص جميع الاتجاهات الزاوية للمركبة الجوية. لكنه من المفيد وجود نظام مستقل لحساب الموقع والارتفاع مقرون بنظام وحدة معالجة المراقبة.

ب) سطح بيني فعال بين الإنسان والآلة

تفترض عمليات المراقبة الراديوية من المركبة الجوية عادة وقتاً محدوداً لأداء المهمة وعدداً أدنى من الموظفين على متنها. ولذا يجب أن تتوفر في تجهيزات المراقبة مقدِرة على أداء إجراءات قياس قابلة للبرمجة وأوتوماتية وقَصْر العمليات اليدوية على مهام محددة جداً.

وعلى أي حال، ينبغي أن يسمح عرض البيانات بتفسير فوري لكي يتمكن عاملو المراقبة أثناء الطيران أن يعرفوا غريزياً موقع المركبة الراهن.

4.2.4.2 محطات المراقبة البحرية

تتسم البيئة البحرية بحسنة كما تتسم بمشكلات تجهيزات فريدة يجب النظر فيها. فالحسنة الأساسية للمراقبة المتنقلة البحرية هي أن المساحة المحيطة بالسفينة تكون على العموم هادئة جداً من حيث الترددات الراديوية. وأما المشكلات فهي الغلاف الجوي مصدر التآكل وتعدد مسارات الانتشار بسبب انعكاسات الطاقة الراديوية على سطح البحر وتركيب الهوائي وجريان الترددات الراديوية فوق الكتل المائية الدافئة.

فالبيئة الرطبة مصدر التآكل تقصِّر إلى حد بعيد من عمر الأجهزة الإلكترونية إن لم تكن مصممة خصيصاً للاستعمال البحري. وهذا يقتضي عادة أجهزة تحكم مختومة وحاويات ذات مراشيح ومعالجة ضد الفطريات. ويقوم حل بديل على وضع التجهيزات في موضع مكيَّف بيئياً. فمنعاً للرطوبة من شأن تدفئة خفيفة أن تأتي بنتيجة حسنة، وكثيراً ما تكون في شكل مصباح صغير أو بترك الجهاز في حالة التشغيل. أما إذا تُرك الجهاز الإلكتروني في جو غير مكيَّف بيئياً وهو غير مصمم خصّيصاً لمثل هذه البيئة فإنه يتآكّل ويسبب انقطاعات في التيار الكهربائي.

ثم إنه كثيراً ما يكون من الصعب تأريض الكهرباء على متن سفينة في البحر.

ويجب أن تكون تجهيزات تحديد الاتجاه مركَّبة ومعايرة من أجل السفينة خصّيصاً. ولا يُنصح باستعمال تجهيزات متنقلة يمكن نصبها وفكّها. وينبغي وضع هوائي محدِّد الاتجاه في نقطة عالية من سطح السفينة وإزالة العوائق مما حوله قدر الإمكان. ولكن تنجم عن نصب الهوائي في أعلى نقطة من السفينة مشكلة وهي حدوث بُقع خمود في المخطط الرأسي لإشعاع الهوائي عندما تكون زوايا الارتفاع صغيرة وأطوال الموجات مطابقة تقريباً لضعف طول الصاري. ولا يحل تغيير موضع الهوائي مشكلة الاستقبال هذه إلا في جزء من مدى التردد. أما الحل الناجع لهذه المشكلة فيقوم على نصب هوائيين على ارتفاعين مختلفين وتشغيلهما بالتناوب عند الحاجة. وتُجرى المعايرة الفعلية بإدارة السفينة دورة كاملة من 360°. وللحصول بدقة على خطوط الاتجاه الزاوي والخطوط الثابتة لتحديد الموقع، يلزم الاستعانة بالملاحة الساتلية ونقاط الشمال المرجعية.

وعلى الرغم من أن حركة السفينة تسبب مشكلات من حيث التحديد الآني لزوايا الاتجاه، يمكن تصحيح أثر حركتَيْ الخطَران والتمايل للسفينة بتحديد متوسِّط خط الاتجاه الزاوي.

وتجدر الإشارة هنا إلى أن تعدد مسارات انتشار الإشارات الراديوية فوق المياه يتأثر بحالة البحر. ولئن كانت مشكلات تعدد المسيرات تحدث حتى في المياه الهادئة فإن آثارها تزداد كلما ساءت حالة البحر.

ثم إن الجريان ظاهرة تحتبس فيها طاقة التردد الراديوي أو تنعكس عبر "مجرى" في الغلاف الجوي. وذلك أن المجاري تتشكل فوق الكُتَل المائية الدافئة (فوق حوالي 20 C) وتزداد شدة كلما ازدادت حرارة الماء والهواء. ومن شأن آثار ظاهرة الجريان هذه أن تعطِّل اعتراض الإشارات أثناء المراقبة البحرية المتنقلة، وأن تعطل أيضاً اعتراض إشارات بعيدة جداً تنساق في المجرى بتوهين قليل جداً.

3.4.2 محطات المراقبة القابلة للنقل

تجمع محطات المراقبة القابلة للنقل بين بعض خصائص ومزايا المحطات الثابتة وبعض خصائص ومزايا المحطات المتنقلة. إذ يتسنّى لها استعمال هوائيات كبيرة الفتحة المتيسِّرة عادة للمحطات الثابتة، وتوفر للمشغِّل مساحات عمل أكبر مما يتيسَّر للمحطات المتنقلة، ويمكن علاوة على ذلك إعادة نشرها في مواقع مختلفة حسب احتياجات خدمة المراقبة.

وتُنصَب عادة تجهيزات المحطات القابلة للنقل داخل ملجأ للتجهيزات، كما هو موصوف في الفقرة 2.2.6.2. ويمكن أن تكون الملاجئ صغيرة تتسع بالضبط لتجهيزات تُحكم عن بعد أو تكون أوسع تسمح بعمل مشغِّل واحد أو عدة مشغِّلين. وتُنصب هوائيات استقبال الترددات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF) الخاصة بالمحطات القابلة للنقل على صوارٍ قابلة للنقل لكي يمكن رفعها إلى علوّ عدة أمتار فوق سطح الأرض.

ومن الممكن أن تشتمل المحطات القابلة للنقل على مقدرة تحديد الاتجاه في الترددات الديكامترية (HF) بفضل استعمال هوائيات قابلة للنقل تُنشر في حقل مجاور. إذ إن هذه الهوائيات تمكّن النظام القابلة للنقل من استعمال فتحة عالية، وبالتالي تحصيل نتائج عالية الدقة في تحديد زوايا الاتجاه. ثم تنقل هذه الهوائيات إلى حيث يُرغب في نصب المحطة القابلة للنقل.

وقد توضع المحطة القابلة للنقل في موقعٍ معيّن، على قطعة أرض أو سطح مبنى، لمدة طويلة من الزمن ثم تُنقل إلى موقع آخر وفقا لاحتياجات خدمة المراقبة. وخلافاً للمحطة المتنقلة، لا تحتاج هذه المحطة إلى مركبة مكرّسة، فهي لا تحتاج إلى مركبة أو غيرها من وسائل النقل إلا حين يُرغَب في نقلها من موقع إلى آخر.

وعلى العموم، يمكن تشغيل هذا النمط من محطات المراقبة محلياً، ولكن يمكن أيضاً أن تحكمه عن بعد محطة مركزية. وعندئذ يمكن، من خلال شبكة اتصالات، تحويل بيانات القياس مباشرة إلى المحطة المركزية.

4.4.2 تجهيزات الدعم الإضافية

إضفاء لمزيد من المرونة على أنشطة المراقبة، يمكن أيضاً تزويد غالبية محطات المراقبة، ولا سيما المتنقلة، بتجهيزات قابلة للحمل مثل محللات الطيف وهوائيات القياس الصغيرة والمستقبلات المحمولة والهوائيات الاتجاهية التي تُحمَل باليد. إذ إن وزنها الخفيف يمكّن من نقلها سيراً إلى أماكن يتعذر على المركبات وصولها، داخل مبنى أو سطح منزل مثلاً.

وهذه الأدوات ضرورية لتحديد موقع التداخل بالضبط أو للتحقق في عين المكان من مطابقة التجهيزات الراديوية للمعلمات التقنية ذات الصلة.

ويوجد في السوق أجهزة محمولة من أجل قياسات المجال ضمن مدى ترددات 150 kHz إلى 30 MHz، مزوَّدة بهوائيات عروية موصَّلة مباشرة بدخل المستقبل. ويمكن أن تكون دقة هذه الأجهزة أفضل من ±2 dB، ويصلح الجهاز تماماً لأغراض المراقبة مثل التحقق من الامتثال لأحكام لوائح الراديو. لكن حساسية هذه الأجهزة غير كافية لعمليات تنطوي على قياس شدد مجال منخفضة جداً، كما في حالة البث الهامشي من مرسل ما إذ يجب في هذه العمليات أن تُستعمَل أجهزة ضيقة النطاق شديدة الحساسية.

وتتوفر في السوق أجهزة تعمل ما بين 20 MHz و3 GHz أو أكثر. ويمكن تزويد هذه الأجهزة بشاشة عرض بانورامية صغيرة وهوائيات نطاق عريض صغيرة جيدة الملاءمة للتطبيقات المحمولة. إلا أنه، في حال تطلّب الأمر قياسات أشد حساسية وأدق، فلا بد من استعمال مستقبل مراقبة أو محلل طيف أكثر تطوراً.

5.2 التحكم عن بعد في تجهيزات المراقبة

يمكن أن يتكون نظام حديث لمراقبة الطيف من عدد من محطات المراقبة الثابتة والمتنقلة المأهولة وغير المأهولة. ومن شأن أتمتة محطات شبكة المراقبة والتحكم فيها عن بعد أن يحسّن كثيراً من فعالية النظام بأكمله، مثل السماح بتقاسم الموارد بين مختلف المشغّلين وكذلك الوظائف المتقدمة مثل التحديد الأوتوماتي لمواقع المرسِلات. ويمكن أن يتحكم في تجهيزات المراقبة المنصوبة على المركبات المشغّلون وهم في مركز ثابت للتحكم أو في محطات مراقبة مأهولة. وهنالك أيضاً في المركبات أجهزة تحكم عن بعد تمكّن الراكب في المقدمة من النفاذ إلى التجهيزات المنصوبة في المؤخَّرة.

وترد تفاصيل عن أتمتة المراقبة في الفقرة 6.3، حيث تتناول تقييدات الأتمتة وتورد مثالاً لإنجاز عملي. أما هذا القسم فيتناول مواصفة معمارية الاتصال.

1.5.2 أساليب التشغيل وتبادل المعلومات عن بعد

ينبغي أن يكون في الإمكان تشغيل محطة مراقبة عن بعد بأساليب مختلفة.

يمكّن أسلوب *التحكم في المحطة على الخط* مباشرةً المشغل من تشغيل محطة نائية كما لو كانت محطة محلية. وقد ينطوي ذلك على مراقبة الإشارة السمعية وتبادل البيانات من أجل التحكم في التجهيزات. وقد يلزم لإقامة الوصلة بين المحطة المقصودة والمشغِّل بضع ثوانٍ (ما قد يصل إلى دقيقة، كما في حالة النظام العالمي للاتصالات المتنقلة (GSM))، ولكن يُفترض أن يكون للمشغِّل بعدئذ تحكم مستمر بالمحطة وفي الوقت الفعلي.

ويصلح هذا الأسلوب بصفة خاصة لاستقصاء مشكلات التداخل وتعرّف هوية المستعملين غير المخوَّلين.

ولئن كان استعمال برمجية حاسوبية مكتبية عامة الغرض متاحة في السوق مفيداً في مهام الصيانة عن بعد فإنها ليست بوجه عام بديلاً جيداً كأداة تشغيل عن بعد، إذ إنها تتطلب قدراً أكبر من حيث عرض نطاق الاتصال مقارنة بمعمارية مخدِّم – زبون مكرَّسة جيدة التنفيذ.

ومن الممكن في *أسلوب الدفعات أو الجدولة* تحميل مجموعة معلمات من أجل تأدية قياس أوتوماتي طيلة فترة معيّنة ثم استرجاع النتائج في وقت لاحق (بنقل الملفات). ولا يتطلب هذا الأسلوب وصلة دائمة لكنه يستوجب مقدرة لنقل البيانات في بداية المهمة وفي نهايتها.

ويصلح هذا الأسلوب بوجه خاص لمهام مثل عمليات قياس شغل التردد. لكن حجم البيانات المطلوب نقلها قد يكون كبيراً جداً، تبعاً لعوامل مختلفة، كمدة عمليات القياس مثلاً. ولذا فقد تُطبّق طريقة المعالجة المسبقة وغيرها من الطرائق لتقليص حجم البيانات قبل نقلها.

وبما أن المهام المجدولة قد تشغل محطة المراقبة لفترة طويلة، فقد بات من الضروري أن يسمح النظام بقطع واستئناف دفعة أو عملية مجدولة لصالح مهام على درجة أعلى من الأولوية، كعمليات تفاعلية لتحديد الاتجاه مثلاً.

2.5.2 معمارية الشبكة وخطوط الاتصال

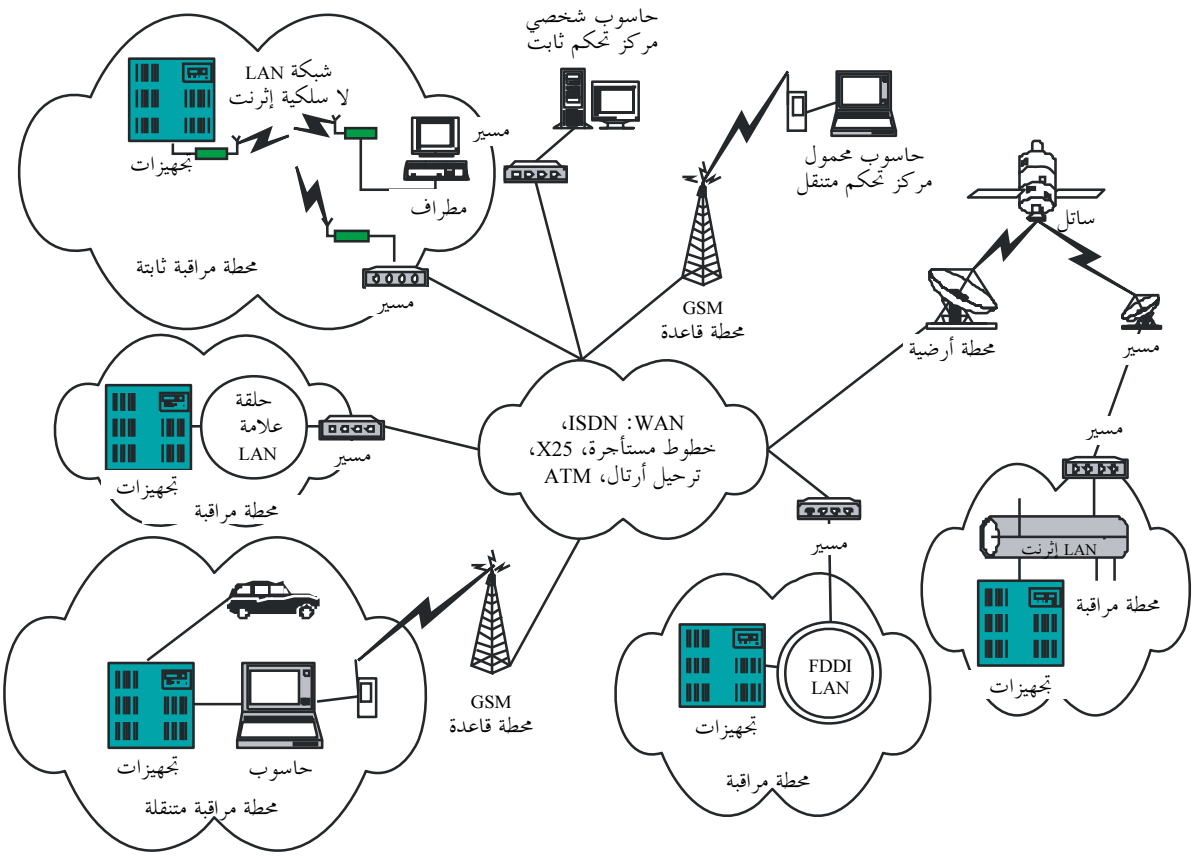
يتوقّف اختيار معمارية الشبكة على عدة متطلبات من حيث الضوابط ووقت النفاذ (في حالة الشبكات التبديلية) ومعدل البيانات ومهلة الزمن وتيسّر الوصلة وجودة الوصلة. ومن المهم أيضاً طبيعة المعلومات اللازم نقلها، التي يمكن أن تكون رقمية أو تماثلية. وبما أن التجهيزات المودمية تُرقمِن عادة البيانات التماثلية، كالبيانات السمعية مثلاً، فيكاد يكون نقل البيانات كله رقمياً.

ويجب أن يراعى في تصميم معمارية الشبكة مستويان للشبكة (انظر الشكل 5.2-1). المستوى الأول هو التوصيل البيني لأجهزة مختلفة مثل المستقبلات والمحللات مع حاسوب على أساس محلي (بتوصيل التجهيزات مباشرة أو بتوصيلها عن طريق شبكة منطقة محلية (LAN)).

والمستوى الثاني هو شبكة منطقة واسعة (WAN) تمكّن من توصيل شبكي للمواقع النائية والمحطات المتنقلة للمراقبة/تحديد الاتجاه، من أجل النفاذ إلى محطات أخرى لتحديد الاتجاه لأغراض تحديد المواقع. وباعتماد بنية نجمية الشكل للشبكة في المستوى الثاني، يكون لجميع محطات المراقبة وصلة مباشرة بمركز التحكم، ما يحسِّن من زمن إقامة النداءات وفترات الكمون أثناء نقل البيانات.

الشكل 1-5.2

مثال لمعمارية شبكة



WAN: تتكون شبكة المنطقة الواسعة عادة من عدد من شبكات LAN الموصّلة فيما بينها بواسطة ISDN، وX25، وترحيل أرتال، وشبكة ATM.

Spectrum-2.5-01

1.2.5.2 توصيل التجهيزات فيما بينها محلياً

يكاد يمكن ربط كل التجهيزات الحديثة للمراقبة، من مستقبلات ومحددات الاتجاه، بحاسوب شخصي بواسطة سطح بيني ما.

ولكن السطح البيني RS232، المستعمل سابقاً لتوصيل بعض التجهيزات مباشرة بحواسيب شخصية، لا يقدم سوى معدلات بيانات محدودة لا تفوق 115 kbit/s. ثم إن هذا السطح البيني لم تعد توفّره أغلبية الحواسيب الشخصية الاعتيادية ولا الحواسيب المحمولة، فهو من ثم غير ملائم كوسيلة للتحكّم عن بعد بتجهيزات المراقبة.

أما المعيار IEEE488 (المعروف عموماً باسم ناقل GPIB أو ناقل IEC) فهو معيار لتوصيل التجهيزات لا يزال يستعمل كثيراً في تجهيزات مراقبة أقدم عهداً. فهو يسمح بتوصيل عدد يصل إلى 15 من الأجهزة وبمعدل نقل بيانات يتراوح من 1 Mbit/s إلى 8 Mbit/s، على ألا يتجاوز طول الكبل 5 أمتار. إلا أنه يلزم تزويد الحواسيب بعتاد خاص لسطح بيني لكي يمكن تفعيل هذا النمط من التوصيل.

والتوصيل التسلسلي USB هو توصيل محلي معياري متوفر في جميع الحواسيب الحديثة من ثابت ومحمول يتيح نقل البيانات بمعدلات تصل إلى 240 Mbit/s (في حالة USB 2.0). لكن هذ السطح البيني لا يتوفر بصورة معتادة في تجهيزات المراقبة الخاصة بالتحكم عن بعد.

وأما السطح البيني الأكثر شيوعاً الموجود في جميع الحواسيب الشخصية والمعتَمَد على نطاق واسع عند مصنّعي تجهيزات المراقبة فهو Ethernet/LAN. إذ إنه يُحرز، تبعاً لمعمارية الشبكة والكبلات المستعملة (كبل متحد المحور أو كبل زوج مفتول أو كبل ليف بصري)، معدلات في نقل البيانات تتراوح من 10 Mbit/s إلى 1 000 Mbit/s.

2.2.5.2 شبكة اتصالات المسافات البعيدة

يمكن تحقيق النفاذ إلى شبكة المنطقة الواسعة (WAN) من خلال الشبكات الثابتة للاتصالات أو الشبكات الراديوية (للأرض والساتلية). وأما النفاذ الفعلي فيتوقف على المتطلّبات التقنية وتيسّر نظام معيّن وعلى التكاليف.

1.2.2.5.2 الشبكة الثابتة للاتصالات

تصلح الشبكة الثابتة للاتصالات لمحطات المراقبة الثابتة منها والقابلة للنقل، وفي حالات خاصة تصلح أيضاً للمحطات المتنقلة (إذا شُغّلت شبه مستقرّة).

الشبكة الهاتفية العمومية التبديلية التماثلية

تتميّز الشبكة الهاتفية العمومية التبديلية (PSTN) بزمن لإقامة النداء قدره بضع ثوانٍ، ما يمكن أن يكون عاملاً للتحكم بالمراقبة. ومعدلات السرعة التي يمكن إحرازها كافية للتحكم بالتجهيزات الأساسية (التوليف ومعلمات الضبط وتحميل وتنزيل ضوابط المراقبة، وما إلى ذلك).

الخطوط المستأجرة التماثلية

الخطوط التماثلية المستأجرة وصلات دائمة ذات خصائص شبيهة بخصائص الشبكة PSTN سوى أن زمن إقامة النداء هو صفر. والتكلفة في المعتاد منخفضة نسبياً وتتوقف على المسافة.

الخطوط المستأجرة الرقمية

الخطوط المستأجرة الرقمية وصلات رقمية من نقطة إلى نقطة، متيسِّرة عموماً بسرعة 56 kbit/s فما فوق. لكن هذه الوصلات قد لا تكون متيسِّرة في بعض المناطق أو بعض البلدان. وتوفّر الخطوط المستأجرة الرقمية سعات كبيرة ومهلاً منخفضة واعتمادية جيدة. أما تكلفتها فهي مرتفعة عادة وتتوقف أيضاً على معدل البيانات والمسافة.

الشبكة الرقمية المتكاملة الخدمات

الشبكة الرقمية المتكاملة الخدمات (ISDN) شبكة هاتفية تبديلية رقمية توفّر قناتين B معدل كل منهما 64 kbit/s وقناة واحدة D معدّلها 16 kbit/s. وتتوقف تكلفة القناة B عادة على المدة والمسافة. وزمن إقامة النداء أقل من ثانية على العموم.

الشبكة العمومية لنقل الرزم X25

توفر الشبكة العمومية لنقل الرزم X25 وصلة نقل للبيانات دائمة أو شبه دائمة بتكلفة تتوقف عادة على الحجم وليس على المسافة. وهي مناسبة أيضاً للرسائل القصيرة المتفرّقة.

شبكة ترحيل الأرتال

هي خدمة شبكة نقل بالترزيم تعتمد على سلامة البيانات المتأصلة في الإرسال الرقمي لزيادة سرعة الإرسال (ما يصل إلى 2 Mbit/s)، وقد استحدثت لتجنب المهل الطويلة في شبكات النمط X25.

تكنولوجيا خط المشترك الرقمي (اللاتتناظري والعالي السرعة جداً)

تمكّن تكنولوجيات خط المشترك الرقمي (DSL وASDL وVDSL) من إضافة البيانات الرقمية إلى الكبلات النحاسية الزوجية المستعملة في دارات الشبكة الهاتفية العمومية التبديلية (PSTN). إذ إن تشوير DSL يسري بموازاة النداءات الصوتية على أزواج خطوط الشبكة PSTN، ما يسمح بزيادة سعة نقل البيانات في الكبلات الموجودة.

شبكة أسلوب النقل غير المتزامن (ATM)

تستطيع تقنية أسلوب النقل غير المتزامن (ATM) مناولة المعلومات المتعددة الوسائط، بما فيها البيانات الصوتية والفيديوية مع التقييدات الزمنية المصاحبة لها، بسرعات عالية جداً (25 Mbit/s – 2,4 Gbit/s). وهي ملائمة لشبكات LAN وشبكات WAN على حد سواء، مشتملة هكذا على القدرة على توصيل الأجهزة عبر هذه الشبكات باستعمال تقنية من طرف إلى طرف نفسها.

2.2.2.5.2 شبكات الاتصالات الراديوية

تصلح شبكة الاتصالات الراديوية لتوصيل محطات المراقبة القابلة للنقل ومحطات المراقبة الثابتة المنصوبة في مناطق معزولة حيث لا وصلات اتصال سلكية متيسّرة، كما تصلح لتوصيل محطات المراقبة المتنقلة بالشبكة.

الوصلات الراديوية المتنقلة العمومية بمعيار 2G

الشبكات الراديوية المبنية على معايير 2G، مثل GSM وIS-95، منتشرة على نطاق واسع، وهي توفر بسهولة توصيلات بمعدل نقل بيانات معياري قدره 9,6 kbit/s. وهي كافية لتحقيق تحكم 'على الخط' بتجهيزات بسيطة (أي بلا صورة على الشاشة ولا نقل ملفات كبيرة). وأما الشبكات الراديوية المتنقلة العمومية المبنية على المعيار 2,5G، مثل GPRS وEDGE، فإنها توفر معدلات محسَّنة لنقل البيانات تصل إلى 473 kbit/s.

الوصلات الراديوية المتنقلة العمومية بمعياري 3G

هي شبكات راديوية مبنية على المعيارين 3G/3.5G، طبقاً لما جاء في التوصية ITU-R IMT-2000، مثل UMTS وCDMA 1X. وتسمح التمديدات مثل نفاذ الرزم العالي السرعة (HSDPA وHSUPA) بمعدلات بيانات تصل إلى 14,4 MBit/s.

الوصلات الراديوية العمومية بمعيار 3,9G و4G

لقد صُمّمت أحدث التطورات في مجال شبكات الاتصالات اللاسلكية الرقمية لكي توفّر أعلى ما يمكن من معدلات البيانات اعتباراً من 20 MBit/s. وتمكّن هذه المعدلات من التحكم المباشر بتجهيزات المراقبة، بما في ذلك نقل بيانات I/Q والبيانات الفيديوية والسمعية والملفات الثقيلة. ومن الأمثلة على التكنولوجيات المصاحبة WiMAX وLTE.

الشبكة المحلية اللاسلكية (WLAN) (IEEE 802.11)

توفر هذه الشبكة اللاسلكية الخاصة لنقل البيانات معدلات بيانات قدرها عدة عشرات Mbit/s باستعمال تجهيزات رخيصة جداً ومتيسّرة تجارياً. وأما المسافات الممكن النقل عبرها فهي على العموم محدودة بمدى خط البصر. ولما كانت هذه الوصلات تعمل عادة في نطاقات التطبيقات الصناعية والعلمية والطبية (ISM) فإن الاعتمادية منخفضة بسبب ما قد يحصل من تداخلات مستعملين في نفس القناة.

ومن شأن جميع شبكات الاتصالات الراديوية التي تبث في المحطة وعلى مقربة منها أن تشوِّش عمل كل أجهزة المراقبة النشطة، من هوائيات ومستقبلات ومحددات اتجاه وغيرها العاملة في محطة المراقبة. ولذا ينبغي إيلاء اهتمام خاص للتكنولوجيات اللاسلكية المستعملة في المراقبة تجنباً لأي أثر ضار لها على أنشطة المراقبة.

3.2.2.5.2 الشبكات الساتلية

شبكات المطاريف ذات الفتحات الصغيرة جداً

توفر المطاريف ذات الفتحات الصغيرة جداً (VSAT) إرسال البيانات عبر مناطق مترامية الأطراف دون ما حاجة إلى بنية تحتية أرضية للاتصالات. والمطاريف VSAT ملائمة جداً لتوصيل المحطات المبعثرة في بلدان كبيرة المساحة، وفي مواقع لا تخدمها شبكات الهاتف العمومية على النحو الملائم، وذلك بمعدلات نقل بيانات تتراوح من 64 kbit/s حتى 2 Mbit/s. ومن خصائص شبكات المطاريف VSAT طول المهلة فيها نسبياً (حوالي 600 ميكروثانية وأكثر).

3.5.2 تدفق البيانات وما يمكن تحقيقه

يمكن أن يكون لإرسال البيانات بين وحدات نظام المراقبة الخصائص التالية:

- من محطات المراقبة إلى مركز التحكم، يمكن إرسال المعلومات الأساسية مثل سويّات الاتجاه الزاوي وشدة المجال بمعدل بيانات منخفض حتى 9 kbit/s. لكن الأمر يتطلب سعة إضافية للتمكّن من إرسال بيانات فيديوية وسمعية ومعروضات بيانية طيفية وأطياف I/Q والنفاذ الحاسوبي عن بعد ونقل ملفات كبيرة.

- من مركز التحكم إلى محطات المراقبة، يلزم إرسال تخصيصات مراقبة، وتعليمات من أجل مزامنة محددات الاتجاه، وإجابات عن طلبات قاعدة بيانات المركز ومعلومات خدمة. فعلى العموم، يولّد كل مركز تحكم معدل بيانات لا يقل عن 9 kbit/s باتجاه كل محطة مراقبة، ولكن قد يلزم توفر سعة إضافية.

- من مركز تحكم إلى آخر، يمكن تبادل بيانات من قاعدة البيانات المحلية ومعلومات خدمة من شأنها أن تولّد معدلات بيانات في حدود 10-150 kbit/s. ولا يُراعى في هذا التقدير الاحتياجات الأخرى لمراكز التحكم (كالنفاذ إلى الإنترنت أو البريد الإلكتروني).

يتضح من البنود المدرجة أعلاه أنه، من حيث معدل البيانات المطلوب، كثيراً ما تكون حركة التبادل بين وحدات المراقبة غير متناظرة. فالبيانات الصادرة من محطة مراقبة إلى مركز التحكم تتطلب عادة أعلى قدر من عرض نطاق خط الاتصال. ويعرض الجدول 5.2-1 قائمة ببعض تطبيقات القياس النمطية ومعدلات البيانات المطلوبة وتقنيات الاتصال الممكنة التي يمكن أن تُستعمَل لتحقيقها. والقيم المدرجة في الجدول هي مجرد خطوط توجيهية عامة، لأنها قد تختلف كثيراً في التنفيذ الفعلي، تبعاً لما يلي:

- تنفيذ البرمجيات لوظائف التحكم عن بعد (تحديثات الشاشة بأكملها أو مجرَّد البيانات التي تغيرت)؛

- تقنيات ضغط البيانات؛

- معدلات التحديث المرغوبة؛

- التنفيذ المعيّن لهذه التكنولوجيات علي يد مزوّدي الشبكة/الخدمة إلى جانب عوامل أخرى.

الجدول 5.2-1

المعدلات النمطية لنقل البيانات وتنفيذ الاتصالات

نقل ...	المعدلات النمطية لنقل البيانات	وصلات الاتصالات السلكية الملائمة (كحد أدنى)	وصلات الاتصالات اللاسلكية الملائمة (كحد أدنى)
الأوامر ونتائج القياسات (ترددات وحيدة)؛ نتائج تحديد الاتجاه (تردد وحيد)	kbit/s 9 – kbit/s 64	شبكة PSTN تماثلية، خطوط مستأجرة، شبكة ISDN	وصلات راديوية خاصة لترددات HF/VHF/UHF؛ TETRA؛ GSM
وظائف التحكم الموصوفة أعلاه، زائداً مسير العودة للسمعيات المرقمَنة (النطاق الضيق)	kbit/s 16 – kbit/s 128	خطوط مستأجرة رقمية؛ شبكة ISDN	GSM مع (GPRS/EDGE)، IS95
نتائج مسح التردد، عروض مباشرة للطيف أو للتردد المتوسط (استبانة معيارية)؛ تحكم بالحاسوب عن بعد (نقل محتويات الشاشة)؛ نتائج تحديد الاتجاه (ترددات متعددة)	kbit/s 64 – Mbit/s 1	شبكة ترحيل أرتال ADSL VDSL	IS95؛ CDMA 1X؛ UMTS؛ VSAT؛
معلومات خام عن طيف النطاق العريض (بيانات I/Q)	Mbit/s 1 إلى أكثر من Gbit/s 1 (تبعاً لعرض نطاق الإشارة)	VDSL ATM LAN	UMTS مع HSPA؛ WiMAX؛ LTE؛ وصلات الموجات الصغرية لشبكة WLAN

ولا أهمية للتوقيت في نقل مهام ونتائج القياسات 'خارج الخط'. وفي هذه الحالة يمكن استعمال أي معدل متيسِّر لنقل بيانات. ويسترعى الانتباه إلى أن ملفات النتائج قد يبلغ حجمها كثيراً من الميغابايتات وأن بطء خطوط البيانات قد يؤدي إلى أزمنة نقل غير مقبولة.

4.5.2 نصائح بشأن البروتوكول والبرمجيات

كما ذُكر أعلاه، هنالك مجموعة متنوّعة كبيرة من شبكات الاتصالات تتيح الأخذ بتشكيلة مرنة، بحيث يمكن أن يستند انتقاء شبكة اتصالات معيّنة إلى الحالة الواقعة. ويكون التشغيل عادة شفافاً كلياً باستعمال البروتوكول TCP/IP، ويجري تناول وصلة الاتصالات والتحكم بها بواسطة تجهيزات اتصال حديثة (مسيِّرات)، ما يسمح للمطراف أو تجهيز القياس بتركيز الجهد على عمليات أخرى.

وعلى الرغم من إمكانية استعمال أنظمة وبروتوكولات شبكية مختلفة في شبكة محلية (LAN)، يُستحسن استعمال نفس نظام التشغيل في جميع وحدات الشبكة، تيسيراً لإدارة الشبكة أثناء التشغيل. وأما البرمجيات فقد طور مصنّعون مختلفون أنواعاً مختلفة منها من أجل ما يصنّعونه من تجهيزات مراقبة. ولكنه من المفيد تطوير برمجيات عامة (متكاملة) طيّعة لأغلبية تجهيزات المراقبة المحكومة عن بعد، إن لم يكن لجميعها. وعندئذ يجد المشغّلون أنفسهم أمام سطح بيني واحد مألوف للمستعمِل يمكّنهم من التحكم بكفاءة في مختلف التجهيزات.

وفي حالة نفاذ كثير من المشغّلين إلى شبكة المراقبة، يكون من المفيد وضع مخطط متعدد المستويات للتحكم بالنفاذ وذلك تجنباً لتضاربات التشغيل.

5.5.2 أمن الأنظمة وطريقة النفاذ

إن أنظمة مراقبة الطيف المَحْوسَبة والموصولة شبكياً معرّضة لهجمات "قراصنة الحواسيب" ولخطر إتلاف البيانات. إذ يمكن أن تحصل الهجمات بالنفاذ إلى الحواسيب أو وحدات التحكم، أو عن طريق شبكة حواسيب من موقع بعيد، أو بمجرّد

ترصّد البيانات المرسلة عبر وصلة اتصالات. ومن شأن هذه الهجمات أن تنال من سلامة البيانات أو سريّتها وأن تعطّل تشغيل النظام. وقد يترتب على تأمين النظام بعد الاعتداء تكاليف كبيرة بسبب الوقت المطلوب لتحديد موضع البيانات المفسَدة في النظام واستصلاحها.

ويمكن التخفيف من خطر الاعتداءات باستعمال درجة من التقنيات المعيارية لتأمين الحواسيب ملائمة لحالات الخسارة الممكنة. ومن الأمثلة على ذلك ما يلي:

- تأمين الحاسوب والتجهيزات الشبكية في مساحة مقفلة (الأمن المادي).
- استعمال تقنيات تحكم بالنفاذ مثل كلمات السر والامتيازات المتعددة المستويات من أجل تقييد النفاذ إلى وظائف النظام (الأمن البرمجي).
- القيام دورياً بوظائف صيانة النظام، مثل النسخ الاحتياطية والتدقيقات الأمنية وغير ذلك مما يوصي به المصنّعون (الأمن البرمجي).
- تشفير المعلومات التي تُرسَل على شبكة الاتصالات، ولكن هذا الحل يقلل للأسف من سرعة العملية (الأمن البرمجي).
- استعمال وصلات ومسيِّرات اتصالات يمكن تحصينها إزاء الاعتداءات الخارجية (الأمن البرمجي).
- إنشاء شبكة افتراضية خاصة (VPN) في حال استخدام تقنيات الشبكة العمومية. إذ إن الشبكات VPN تحصّن أوتوماتياً بيانات المستعمل في طبقة بروتوكول إضافية، وتقصر النفاذ على مكوِّنات النظام "المعروفة". ويمكن تطبيق هذه التقنية في كثير من المودمات والمسيِّرات، ويمكن استعمالها في جميع الوسائل المادية للاتصالات المذكورة في الفقرة 2.2.5.2.

6.2 المواقع والمباني والمرافق

1.6.2 مواقع محطات المراقبة

1.1.6.2 اعتبارات عامة

يضع هذا القسم المبادئ التوجيهية العامة لاختيار مواقع محطات المراقبة ويشير إلى بعض المزالق الواجب تجنبها. فقبل الاختيار الفعلي لموقع ما، لا بد لفريق التخطيط من معرفة بعض القرارات الأساسية لكي تتمكن المحطة من الوفاء بالغرض المراد منها. وهذه المعرفة تشمل ما يلي:

- أمداء الترددات والمناطق الجغرافية اللازم تغطيتها (انظر أيضاً الفقرة 3.3.1.2)؛
- ما إذا كان الأهم هو المراقبة الداخلية أم مراقبة الإشارات الخارجية الواردة من خارج الحدود الوطنية؛
- متطلبات التركيبات الخاصة مثل محددات الاتجاه الطويلة المدى وأجهزة تسجيل شدة المجال والهوائيات الاتجاهية؛
- مقبولية شدة المجال في الموقع الناجمة عن مرسِلات قريبة في أمداء الترددات موضع الاهتمام؛
- الاعتبارات الإدارية مثل تيسّر السكن ومرافق التسوق ومدارس الأطفال ووسائل النقل المحلية، وغير ذلك من الخدمات؛
- تكاليف أرض الموقع.

وينبغي عدم الاستهانة بأهمية الاعتبارات الإدارية. فقد ثبت بالتجربة أنه من الصعب استبقاء الموظفين التقنيين المؤهلين في مرافق المراقبة المدنية، إذا لم تتوفر أسباب الراحة المتوقعة عادة. وينبغي أن تراعى أيضاً في قرارات اختيار الموقع التغيرات الديمغرافية وإسقاطات النمو العمراني للمنطقة موضع النظر لإقامة محطة مراقبة، وذلك درءاً لأي تجاوزات غير مقبولة.

2.1.6.2 المعايير الدنيا المرغوب أن يفي بها موقع المحطة

يجب في مواقع محطات مراقبة الطيف أن تتصف بظروف ملائمة من حيث الترددات الراديوية وأن تفي بثلاثة مبادئ رئيسية. فينبغي أن تكون:

- في أماكن ملائمة للمنطقة المراد مراقبتها (تغطية جغرافية ملائمة)؛
- محمية من العوائق؛
- محمية من المجال الكهرمغنطيسي.

وينبغي، قدر المستطاع، اختيار الموقع حيث تكون شدد المجال الناجمة عن الإرسالات الواجب تسجيلها غير مشوّشة نسبياً بسبب البنى المحلية وتضاريس الأرض. وعلى وجه الخصوص، ينبغي أن تكون المواقع المراد استعمالها لقياس ترددات مما دون 30 MHz في قطعة أرض مسطّحة من منطقة مسطّحة نسبياً عالية الإيصالية خالية من الحصى ومن النواتئ الصخرية. وكل ما يكون في المقربة من كبلات توصيلٍ هوائية ومبانٍ وأشجار كبيرة وتلال وغير ذلك من معالم الأرض الاصطناعية أو الطبيعية، من شأنه أن يشوّه أو يشوّش كثيراً جبهة موجة الإرسال. وتتوقف درجة تأثير هذه الظروف على صحة القياسات على عدد من العوامل، منها مدى التردد ونمط الهوائي المستعمل وتوجيهه. وبخصوص الترددات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF) التي تُستعمَل لها هوائيات شديدة الاتجاهية، من المهم أن يكون المسير في الاتجاه العام لمصدر الإشارة واضحاً؛ ويجب علاوة على ذلك التقليل إلى أدنى حد من الاستقبال المتعدد المسيرات الناجم عن انعكاس الإشارة أو إعادة إشعاعها.

وإذا كان الموقع نفسه لا يفي بالشروط المذكورة أعلاه في مستوى الأرض بالنسبة إلى الترددات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF)، فإن من شأن نصب برجين للهوائيات موفِّرين الخلوص الكافي من العوائق المحيطة أن يحسن الحالة كثيراً. وتجنباً للأخطاء في قياس الاتجاهات الزاوية وللتأثيرات المتبادلة بين الهوائيات، لن يكون دائماً من الممكن تجميع الهوائيات في برج واحد. ويمكن أن تكون صواري الهوائيات أبراجاً شبكية البنيان أو من الخرسانة. وتبعاً للظروف المحلية، قد يكون إنشاء برج شبكي البنيان أقل تكلفة، ولكن ينبغي أن تؤخذ في الحسبان تكاليف الصيانة المتكررة. ويجب أن يصمد البرج إزاء العوامل المناخية السائدة في المنطقة، مثل شدة الرياح وثقل الجليد. ويجب أن يمكّن البرج من الوصول بسهولة وأمان إلى الهوائيات والمضخِّمات والمراشيح والمبدِّلات المنصوبة على مقربة من الهوائيات وإلى دائرة الصواعق المنصوبة في أعلى البرج.

وينبغي أن يكون الموقع بعيداً عن المناطق الصناعية القائمة أو الممكن قيامها وعن المناطق السكنية المكتظّة. والمسافة المستحسنة هي 1 km على الأقل، ويُطلب مباعدة أكبر عن بعض أنماط المنشآت الصناعية التي يُستعمل فيها آلات لحام كهربائية وأجهزة تدفئة صناعية عالية القدرة وتجهيزات إنفاذ حراري ومرسِّبات دخان وغير ذلك من الآلات التي تشع طاقة راديوية بسويات لا يستهان بها. وفيما يخص الحماية من المجالات الشديدة الناجمة عن إشعاع المرسلات الراديوية، انظر الفقرة 4.1.6.2.

وتتسبب خطوط نقل الطاقة العالية التوتر في تداخل ضوضائي في النطاق العريض إذا كانت قريبة من مبنى المراقبة أو من الهوائيات. ولذا يُنصح بخلوص عن الخطوط التي يفوق توترها 100 kV لا يقل عن 2 كيلومتر، ويُطلب خلوص أكبر بكثير (يبلغ حتى 10 كيلومترات) عن الخطوط العالية التوتر للغاية أو في المواقع المخطط أن يُجرى فيها مراقبة كثير من الإشارات الضعيفة جداً.

ومن غير المرغوب فيه عادة قرب الموقع من المطارات بأنواعها، خصوصاً بالنسبة للترددات العالية، لأن المركبات الجوية التي تحلق على ارتفاع منخفض تعكس من الطاقة ما يكفي لتسبيب فترة خروج عن الطور واستقبال متعدد المسيرات للإشارات الجاري رصدها. وقد أثبتت التجربة أن موقع المحطة ينبغي أن يبعد عن المطار بأكثر من 8 كيلومترات إذا كان في محور المدرج، أو 3 إلى 4 كيلومترات في الاتجاهات الأخرى.

وينبغي أن تكون الطرق الكثيفة الحركة بعيدة بما فيه الكفاية عن مرافق المراقبة (بما فيها الهوائيات) توخياً لتقليل التداخل الاشتعالي إلى أدنى حد (مسافة 1 كيلومتر، مثلاً). وينبغي تيسر الوصول إلى الموقع بطريق في جميع الظروف المناخية وأن تتوفر فيه المرافق الكافية مثل الطاقة الكهربائية التجارية والخدمة الهاتفية والماء، أو أن يكون من الممكن الحصول عليها. وإذا وجب أن تشتمل محطة المراقبة على جهاز لتحديد الاتجاه فلا بد من إيلاء أعلى درجات الأولوية للمعايير التي تحكم اختيار موقعِ محدِّدِ الاتجاه، ويأتي بيانها في الفقرة 3.1.6.2. لأنه إذا أريد تحقيق قياس دقيق لزوايا الاتجاه، فلا يمكن التهاون بشأن معايير موقع محدد الاتجاه.

3.1.6.2 معايير إضافية مرغوبة في مواقع المحطات المجهزة بمحدِّدات الاتجاه

إذا كان يراد تجهيز محطة المراقبة بمحدد اتجاه فإن من المرغوب فيه، بالإضافة إلى المعايير المذكورة أعلاه، ألا يوجد أي جبل أو تل أو منشآت ضخمة أو غيرها من العوائق يشكل زاوية أكبر من 3° مع خط أفقي ينطلق بالنظر من الموقع المقترح للمحطة أو موضع محدد الاتجاه. وينبغي ألا يوجد وادٍ ولا منخفض كبير على مسافة أقل من 000 1 متر عن موقع محدد الاتجاه، لا بل يستحسن أن تكون المباعدة أكبر من ذلك إزاء هذه التضاريس.

وينبغي ألا يتجاوز الانحراف الأعظمي في الأرض عن الارتفاع المرجعي لمركز محدد الاتجاه مقدار 1 متر على مدى 200 متر، وذلك تجنباً لتكاليف باهظة تقتضيها تهيئة الأرض عند إقامة محدد الاتجاه. ومتى أقيم محدد الاتجاه، ينبغي أن تكون فسحة الأرض، على مدى مئات الأمتار منه، مسطحة (أو محدبة قليلاً لتسهيل تصريف المياه).

وينبغي أن يتجنب الموقع المختار لمحدد الاتجاه المواقع الرطبة والتربة الشديدة الإيصالية. وبقدر ما يعرف بوجود انقطاعات في تجانس طبقات الأرض، لا سيّما حين تدل عليها ملامح التربة الظاهرة، ينبغي تجنب هذه التغايرات.

ومن شأن المجاري أو الأنابيب المعدنية الكبيرة المدفونة (مثل أنابيب نقل النفط) أن تسبب أخطاء في عمل محدد الاتجاه، إذا كانت تمر قريباً من موقع محدد الاتجاه، ما لم تكن عميقة الطمر. ولذا يوصى بالابتعاد عنها بمسافة 200 متر على الأقل.

وأي بنية مفردة ذات طنين طولها نصف طول الموجة ($\lambda/2$) واقعة في نفس مستوي الاستقطاب الخاص بمحدد الاتجاه، أيا كان ترددها ضمن مدى ترددات تشغيل محدد الاتجاه، ينبغي إبعادها مسافة لا تقل عن 15 ضعف طول الموجة. وأي بنية مفردة ذات طنين طولها ربع طول الموجة ($\lambda/4$) واقعة في نفس مستوي الاستقطاب الخاص بمحدد الاتجاه، أيا كان ترددها ضمن مدى ترددات تشغيل محدد الاتجاه، ينبغي إبعادها مسافة لا تقل عن 7 أضعاف طول الموجة. مثلاً، إذا كان تردد التشغيل لمحدد الاتجاه 25 MHz (حيث λ = 12 m)، وفي الجوار شيء موصل للكهرباء طوله 6 أمتار ($\lambda/2$)، وجَب إبعاد هذا الشيء عن محدد الاتجاه مسافة 180 متراً على الأقل.

الملاحظة 1 – إذا لوحظ وجود أكثر من بنية بطول ربع موجة أو نصف موجة كما أشير إليه أعلاه على مسافة معقولة من محدد الاتجاه، فقد يلزم إجراء دراسة خاصة بهذا الشأن.

من شأن تشغيل عنفة هوائية في جوار محدد الاتجاه أن يحط من أداء محدد الاتجاه هذا. فالانتثار من أجنحة العنفة هو تغير بطيء في الاتساع المنخفض مع تردد تكرار الدوران الهندسي لأجنحة العنفة (ثلث معدل سرعة الدوران)، وهو أيضاً تداخل ناجم عن اتساع كبير ولكن لمدة قصيرة (نحو 30 ميكروثانية). وفي منطقة الانتثار الأمامية، فإن هوائي المستقبِل المسدد نحو المرسِل المقصود بالمراقبة يسدد أيضاً نحو حقل العنفات الهوائية، وقلّما تنفع اتجاهية الهوائي في تخفيف آثار التداخل. ثم إن ارتفاع هوائي المراقبة له أهمية حاسمة، على اعتبار أن الانعكاسات عن الأرض يمكن أن تسبب خفضاً كبيراً في قوة الإشارة (انظر التقرير ITU-R BT.2142 – تأثير انتثار إشارات التلفزيون الرقمية الصادر عن عنفة هوائية، ص 47).

ومن شأن الضوضاء الاصطناعية الإضافية الناجمة عن العنفات الهوائية أيضاً، في حال تشغيل بتردد تحت 30 MHz، أن تضعف الحساسية. وإذا كانت العنفات الهوائية تقطع خط البصر بين هوائي المراقبة والإشارة المرسَلة فإنها تقلل دقة القياس:

أ) محددات الاتجاه تحت تردد 30 MHz

إن المتطلبات المدرجة أدناه وفي الجدول 6.2-1 بالغة الأهمية لاختيار موقع لمحطة محدد الاتجاه يعمل بتردد تحت 30 MHz. على العموم، ينبغي أن يكون الموقع ذا تربة إيصاليتها عالية وموزعة بانتظام وذا مساحة مسطَّحة وبعيداً بمسافة كافية عن جميع العوائق المعدنية، ولا سيما خطوط الطاقة العالية التوتر، ومسافة كافية عن جميع الأنابيب والمجاري المعدنية حتى لو كانت مطمورة، ومسافة كافية عن السكك الحديدية والطرق العامة السريعة والمناطق العمرانية والأشجار والمباني الضخمة وما شابه.

وأفضل المواقع ما كان على رقعة أرض مسطَّحة طبقة المياه الجوفية فيها قريبة من السطح. وإذا كان البلد تنتشر فيه التلال إلى حد ما، فإن أفضل اختيار هو هضبة مطلة على ما حولها، وتربتها ذات أعلى إيصالية ممكنة.

الجدول 6.2-1

المسافات الدنيا بين العوائق ومحدد الاتجاه

العائق	المسافة الدنيا (أمتار)
مبنى غير معدني بطابق واحد: – مبنى منفرد – مجموعة مبانٍ	100 (في حال التشغيل بترددات HF تبعا لحجم الهوائي وشكله أكثر من 100) 200
مبانٍ غير معدنية بطابقين أو ثلاثة	250
مبانٍ غير معدنية بأكثر من ثلاثة طوابق	300 وأكثر تبعاً للارتفاع
مبانٍ صغيرة معدنية السطوح	250
بنى معدنية (سقائف صغيرة وما شابه)	800
خزانات، بنى معدنية كبيرة، جسور معدنية	1 500
خطوط هاتفية مكشوفة، خطوط توتر منخفض	300–250
خطوط توتر عالٍ أبراجها بارتفاع 20 متراً	1 000
خطوط توتر عالٍ أبراجها بارتفاع 30 متراً وأكثر	10 000–2 000
خطوط سكك حديدية أو خطوط ترام	1 000
عنفات هوائية	2 000 عن العنفة الهوائية المنفردة 5 000 عن حقول العنفات الهوائية
أشجار منعزلة	100
مجموعات صغيرة من الأشجار	200
غابات	800
أسيجة معدنية	200 (في حال التشغيل بترددات عالية وتبعاً لحجم الهوائي وشكله أكثر من 200)
هوائيات صغيرة	200
هوائيات كبيرة	400
بحيرات، غدران، أنهار	1 000

ويُسترشد ما أمكن بالقواعد التالية:

- تُختار رقعة الأرض بحيث تخلو من انحدار يفوق 1% داخل نطاق نصف قطره 100 متر لتجهيزات تعمل بترددات ديكامترية (HF)، ونصف قطره 250 متراً لتجهيزات تعمل بترددات هكتومترية (MF) أو كيلومترية (LF)؛
- خارج هذه الحدود، يجوز أن تصير المنحدرات أشد مع ابتعاد المسافة، ولكن ينبغي تجنب التغيرات المفاجئة في سوية الأرض؛
- يجب في الزاوية المشكَّلة، بين الخط الأفقي والخط الممتد من هوائي محدد الاتجاه إلى أعلى أي عائق، ألا تفوق 2° أو 3°؛
- تكون الأرض حول الهوائي خالية كلياً من أي عائق داخل نطاق لا يقل نصف قطره عن 200 متر؛
- تُطمَر جميع الكبلات الواردة الموصَّلة بهوائي محدد الاتجاه بعمق 1 أو 2 متر مسافة 30 متراً من مركز الهوائيات. ويمكن تقليل العمق حتى حوالي 0,5 متر بعد مسافة ما بين 30 و250 متراً.

وينبغي أن توضع هوائيات محدد الاتجاه على أبعد مسافة ممكنة من هوائيات المراقبة الأخرى، لأن هوائيات الاستقبال الخاصة بمحطة المراقبة تعوق الانتشار المنتظم للموجات الراديوية، فتسبب بذلك أخطاء في قياسات الاتجاهات الزاوية.

وفي حالة استعمال نظام هوائيات Adcock، تُجعل الكبلات في القسم الأول مساوقة للخط الذي يتكون بين زوج من الهوائيات أو إذا تعذّر ذلك تُجعل بزاوية 45° مع كل زوج من الهوائيات.

ويقدم الجدول 6.2-1 معلومات كاملة عن المسافات الدنيا المطلوبة بين العوائق ومركز الهوائيات، وذلك منعاً لفرط التداخل مع قياسات الاتجاهات الزاويّة.

ب) محددات الاتجاه العاملة بترددات تفوق 30 MHz

يمكن تقليل المسافات الدنيا المدرجة في الجدول 6.2-1 بخصوص محدِّدات الاتجاه العاملة بترددات مترية/ديسيمترية (VHF/UHF).

ولما كانت محطات المراقبة التي تعمل بترددات VHF/UHF كثيراً ما يلزم نصبها في المناطق الحضرية المكتظة أو في جوارها، في أعلى المباني مثلاً، فقد بات من الملائم تعيين مناطق حماية. ويتعيّن النظر في نمطين مختلفين من المناطق.

وفي المنطقة الأولى الأصغر، يمكن تقييد استعمال الأجهزة الراديوية الثابتة منها والمتنقلة. ولكن لأسباب عملية، يصعب إنفاذ مثل هذه القاعدة خارج منطقة المحطة المعيّنة. وفي المنطقة الأكبر، يمكن تقييد استعمال التجهيزات العالية القدرة، الصناعية والعلمية والطبية (ISM)، وتقييد إقامة عوائق كبرى مثل المباني المتعددة الطوابق والمنشآت الصناعية. لكن ما يستلزمه وضع هذه التقييدات من اشتراطات قانونية مسبقة يختلف كلياً من بلد إلى آخر.

4.1.6.2 الحماية من المجالات الشديدة التي تُحدثها المرسِلات

ينبغي أن تكون مواقع المراقبة خالية تماماً من البث الشديد وغيره من مصادر التداخل لأنه، تبعا لأمداء الترددات المطلوب تغطيتها، من شأن وجود مرسلات راديوية في جوار المحطة أن يحد جداً من مقدرات المراقبة، بسبب تأثيرات التشكيل البيني وتأثيرات السد.

وفي تقييم التأثيرات المعاكسة التي تسببها هذه المرسِلات، ينبغي ألا تؤخذ في الاعتبار شدة المجال الناجمة عن الإشارة الأساسية فحسب بل شدة مجال التوافقيات أيضاً. ويتعيّن أن يؤخذ في الحسبان وجود مرسلَيْن أو أكثر، حتى لو كانت ترددات تشغيلها بعيدة جداً عن الترددات التي تهم محطة المراقبة، وذلك لأن نواتج التشكيل البيني قد تقع في مدى ترددات محطة المراقبة.

وبناء على التجربة يمكن القول إن قيمة الجذر التربيعي لمجموع مربعات المجالات ذات الشدة 30 mV/m لإشارات متعددة ضمن نطاق تمرير مستقبِل المراقبة تُعتبَر سوية مقبولة لشدة المجال، وهي تقابل المباعدة بمسافة نحو 5 كيلومترات بين مرسِل بقدرة 1 kW ومحطة المراقَبة تبعاً للتردد وتضاريس الأرض والتجهيزات المستعملة.

فينبغي أن يتحرّى مديرو شؤون الطيف بعناية جميع طلبات الترخيص لنصب مرسلات ثابتة ضمن مساحة نصف قطرها 5 كيلومترات، وحتى نصف قطر 50 كيلومتراً في حالة مرسلات ذات قدرة تفوق 1 kW، وألا يُصدروا أي ترخيص بأي نوع من المرسلات تفوق شدة مجالها 30 mV/m في محطة المراقبة.

وإذا وجب بناء محطة مراقبة في منطقة قوية الإشارة، ينبغي على الأقل تجنب نصب أجهزة بهوائيات فاعلة.

5.1.6.2 الحماية من أنظمة حاسوبية محلية

تبين في كثير من الحالات أن عناصر مختلفة من مكوِّنات الأنظمة الحاسوبية تُصدِر إشعاعاً كهرمغنطيسياً فتسبب تداخلاً في ترددات تجهيزات المراقبة والقياس. وعلى الرغم من أنه أصبح متيسِّراً لأنظمة المراقبة الراديوية تجهيزات حاسوبية منخفضةُ التداخل، يبقى أن أغلبية الحواسيب المستعملة هي من الحواسيب الشخصية العادية.

ومن الصعب جداً، بعد تركيب نظام حاسوبي، كشف مصدر التداخل باعتبار أن تجهيزات الحاسوب ومكوِّناته المحيطية تكون عادة موزعة في عدة غرف أو حتى في مبنى المراقبة بأكمله. إذ إن الإشارات المتداخلة قد تكون صادرة عن المكوِّنات و/أو واصلة عبر كبلات الحاسوب. وإضافة إلى ذلك، كثيراً ما تحدث الإشارات المتداخلة أيضاً لا في الترددات الأساسية (ترددات الميقاتية) فحسب بل في الترددات التوافقية أيضاً. وأنسب طريقة لكشف مصدر التداخل هي إغلاق مختلف مكوّنات النظام الحاسوبي الواحدة تلوَ الأخرى وفصلها عن مأخذ الطاقة.

وعلى أي حال، ينبغي لخدمة المراقبة العمل بالتوصيات التالية:

- استعمال الكبلات المتحدة المحور المدرّعة دون غيرها في التوصيلات بين الهوائيات وتجهيزات الاستقبال.
- استعمال الكبلات المدرَّعة أيضاً لتوصيل كل من مكوِّنات النظام الحاسوبي بمفردها.
- ينبغي، كلما أمكن، ألا تُنصب مكوِّنات حاسوب عادي قرب تجهيزات الاستقبال أو القياس.
- في حالة حدوث تداخل، فصل أو إغلاق أي تجهيزات حاسوبية لا حاجة إليها.
- بوجه عام، أن تكون مكاتب المراقبة قريبة من مواقع الهوائيات ومفصولة عن المكاتب الإدارية.
- إدراج التدابير المؤدية إلى تجنب التداخلات التي تسببها التجهيزات الحاسوبية، أو تخفيف أثرها قدر الإمكان، في مرحلة التخطيط لمحطة المراقبة. ويوصى في هذا الصدد بالتماس مشورة خدمات المراقبة ذات الخبرة في هذا المجال.

6.1.6.2 متطلبات مساحة الأرض

يتوقف إلى مدى بعيد مقدار مساحة الأرض المطلوبة لإقامة محطة مراقبة ومرافقها على المهمة والأنشطة المنوطة بالمحطة وعلى ما إذا كانت مزوّدة بالموظفين أم لا. فمحطة مراقبة الترددات الديكامترية (HF) تستلزم فسحة للهوائيات ولنظام تحديد الاتجاه أكبر بكثير مما تستلزمه محطة مراقبة الترددات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF) وتحديد الاتجاه أو محطة مهمتها الأولى المراقبة المحلية. وتحتاج المحطات المشاركة في تسجيل شدد مجالات الإشارات إلى مساحة من الأرض إضافية توفّر لها الخلوص الكافي من الخطوط الهوائية لنقل الطاقة وغيرها من عوائق الهوائيات.

ثم إن استعمال الأراضي المجاورة هو أيضاً عامل هام. مثلاً، إذا كان مزمعاً بناء محطة مراقبة في منطقة زراعة أو تربية ماشية، فإن احتمال حدوث تداخل في تشغيلها أقل مما يكون في منطقة يوجد أو يعتزم أن يكون فيها مصانع أو ما يماثلها من مصادر التداخل. فلذا كثيراً ما يُستحسَن امتلاك مساحة أرض إضافية توفّر العزل الكافي عن هذه المصادر، تجنباً لإمكان انحطاط حالة موقع المراقبة بسبب إقامة مصادر تداخل في الجوار المباشر من محدِّد الاتجاه أو من الهوائيات. ومن الممكن إيجار مساحة الأرض الإضافية لمزارعين لاستخدامها في أغراض الزراعة.

عندما تتأمن الحماية من المصادر المحتملة للضوضاء حماية كافية بفضل مساحة الأرض المحيطة المستعملة للزراعة أو غير المستعملة، فإن مساحة 000 40 إلى 000 160 متر مربع كافية لإقامة محطة مراقبة مأهولة بالموظفين ومجهَّزة بمحدد الاتجاه للترددات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF) إلى جانب متطلبات محدودة للهوائيات الاتجاهية الخاصة بالترددات الهكتومترية (MF) أو الديكامترية (HF). ويلزم مساحة أرض أخرى تصل إلى 000 90 متر مربع من أجل نصب محدد الاتجاه بترددات HF، تبعاً لتصميم هذا الجهاز. وعليه، فمراعاة لحدود المسافات الدنيا المدرجة في الجدول 6.2-1 يصير من البديهي لزوم مساحة 000 400 متر مربع أو حتى أكثر، إذا لم يمكن بغير هذه الطريقة ضمان حماية كافية، في حين يتحتم أن تقام جميع التجهيزات والمرافق في شكل ملائم على مساحة أرض متكاملة. وبخصوص محطات المراقبة ذات الحاجة الاستثنائية إلى جهاز ضخم وطويل المدى لتحديد الاتجاه، يعمل بترددات دون الديكامترية (HF)، وبعدد محدود من هوائيات المراقبة الاتجاهية الكبيرة مع مرافق اتصالات راديوية، يلزم مساحة تتراوح بين 000 320 و000 640 متر مربع تبعاً لتصميم الهوائيات. وقد يلزم مساحة 000 200 1 متر مربع في بعض الحالات الاستثنائية حيث تكون محطة المراقبة مجهَّزة بعدة هوائيات مراقبة اتجاهية كبيرة وتشتمل على مرافق معزولة لتسجيل شدد المجالات وتقع على عاتقها مهام مراقبة شبكة راديوية أو مهام ترحيل.

وأما المساحة اللازمة لإقامة محطة مراقبة بالترددات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF) محكومة عن بعد فيحددها بالدرجة الأولى حجم برج الهوائي. فقد تكفي مساحة 30 متر مربع مثلاً لإيواء صاري الهوائي وحاوية التجهيزات. وأما إذا كان ارتفاع الصاري يبلغ 80 متر فقد يلزم أكثر من 100 أو 200 متر مربع.

وقد يتعيّن أن تُدرس أيضاً الجوانب القانونية المتعلقة بسلامة التشغيل وسلامة الجمهور. فقد تشكل عناصر الهوائي المثقلة بالجليد خطراً ومن ثم تستلزم نصب سياج على مسافة ما من الصاري، ما يزيد بالطبع المساحة اللازمة من الأرض.

7.1.6.2 الطرق

إضافة إلى طرق الوصول من شبكة الشوارع العامة إلى محطات المراقبة ومبانيها، ينبغي عادة توفير طرق خدمة تصل إلى جميع تجهيزات تحديد الاتجاه والهوائيات وغرف مسجِّلات شدد المجالات وغيرها من المرافق المنتشرة في الموقع، لكي يمكن استعمال المركبات لنقل التجهيزات إلى هذه الأمكنة ومنها. وينبغي أن تكون هذه الطرق ملائمة لشتى أحوال الطقس وأن تكون مناسبة لتضاريس الأرض وتربتها، بحيث يكون التشغيل مضموناً طيلة السنة.

8.1.6.2 التسييج

يُستحسن حماية المنشأة من دخول الماشية أو الحيوانات البرية، وفي بعض الحالات من المتطفلين. وتبعاً للظروف المحلية، فقد يلزم تسييج مساحة الأرض بكاملها، وقد يُكتفى بتسييج المساحة التي تضم المباني.

وإذا تقرر وضع أسيجة معدنية، ينبغي أن تكون بعيدة بما فيه الكفاية عن المنشآت الحساسة، مثل محددات الاتجاه البعيدة المدى وتجهيزات قياس شدد المجالات (مسافة 200 متر عادة أو أكثر) تجنباً لحصول تداخل بسببها في تشغيل هذه الأجهزة.

وينبغي تأريض الأسيجة المعدنية جيداً لضمان ألا يوجد موصلات عائمة من شأنها الطنين وإعادة إشعاع طاقة كهرمغنطيسية شاردة.

2.6.2 المباني والمرافق المساعدة

1.2.6.2 المباني

1.1.2.6.2 مباني المراقبة المخصصة لمواقع المراقبة المأهولة

يوصى بألا يقام المبنى بأكثر من ثلاثة طوابق فوق مستوى سطح الأرض، وذلك تبعاً للمسافة الفاصلة بينه وبين هوائيات المراقبة أو محددات الاتجاه. وإذا تقرر إقامة بناء متعدد الطوابق أو بناء بطابق واحد مع طابق تحت الأرض وكان من المزمع وضع كمية كبيرة من التجهيزات في محطة المراقبة، ينبغي أن يراعى في التخطيط الثقل المركّز المتجمّع من الرفوف الحاملة وما عليها من تجهيزات المراقبة، وأن تراعى الحاجة إلى أرضية تتحمّل ذلك الثقل في تلك المساحات.

وإذا كانت المحطة غير مأهولة، ينبغي أخذ الحيطة لحماية المبنى والتجهيزات من أعمال التخريب، باستعمال مبانٍ خرسانية، مثلاً، وتحصين نوافذها بشبائك معدنية. وينبغي أيضاً أن يُحسَب حساب لوحدات مراقبة عن بعد من أجل كشف حالات الاقتحام وانقطاع الكهرباء وإنذار الحريق.

وفي حالة محطات المراقبة المزوّدة بالموظفين، هنالك أساساً مفهومان مختلفان للتطبيق. فبعض الإدارات تركّز عمليات المراقبة في قاعة واحدة، وترى إدارات أخرى أنه من الناجع فصل بعض الوظائف عن القاعة الرئيسية للمراقبة. مثلاً، إذا كان عدد الموظفين كافياً، وكانت مهام المراقبة مصحوبة بمقدار كبير من أنشطة الاتصال، يُستحسن أن توضع تجهيزات الاتصال المطرافية ومناصب تشغيلها في غرفة مجاورة. وأما إذا كان عدد الموظفين محدوداً، فيقوم عاملو المراقبة بتأدية عمليات الاتصال كمهمة جانبية، بحيث ينبغي أن تبقى مرافق الاتصال سهلة المنال مباشرة من مواقع المراقبة. وكذلك، إذا كان يتوقَّع القيام بأعمال خاصة طويلة الأمد (كدراسات للانتشار طويلة الأجل، مثلاً) إلى جانب الواجبات العادية من مراقبة وقياس، فمن المستحسن أن تؤدى هذه العمليات في غرفة مستقلة.

2.1.2.6.2 توزيع الأمكنة

لا تتوقف مساحة الأرض المطلوبة على مهمة المحطة فحسب بل تتوقف عليها أيضاً إلى حد كبير الشروط المكانية في مبنى المراقبة. إذ إن التشريعات الوطنية بخصوص الصحة المهنية، والجوانب الأخرى المتعلقة بجوانب السلامة والإرغونومية، قد توسّع كثيراً المتطلبات الدنيا لمكان العمل، كما يُفيد المثالان التاليان. فمن وجهة نظر تقنية، يجب نصب التجهيزات على مسافة كافية من الجدران بحيث تتمكن أفرقة الصيانة من استبدال التجهيزات. ومن وجهة نظر السلامة المهنية، قد يتعين تخصيص فسحة إضافية بحيث يستطيع الموظفون التحرك بسهولة، حتى لو كانت كل أبواب الخزائن مفتوحة. ويرد فيما يلي مثالان مختلفان، A وB، يمكن اعتبارهما نقطتي انطلاق للتخطيط. وينبغي التشديد على أن هذين المثالين هما للاستئناس وأنه يجب تطويعهما لاحتياجات كل إدارة بمفردها.

المثال A

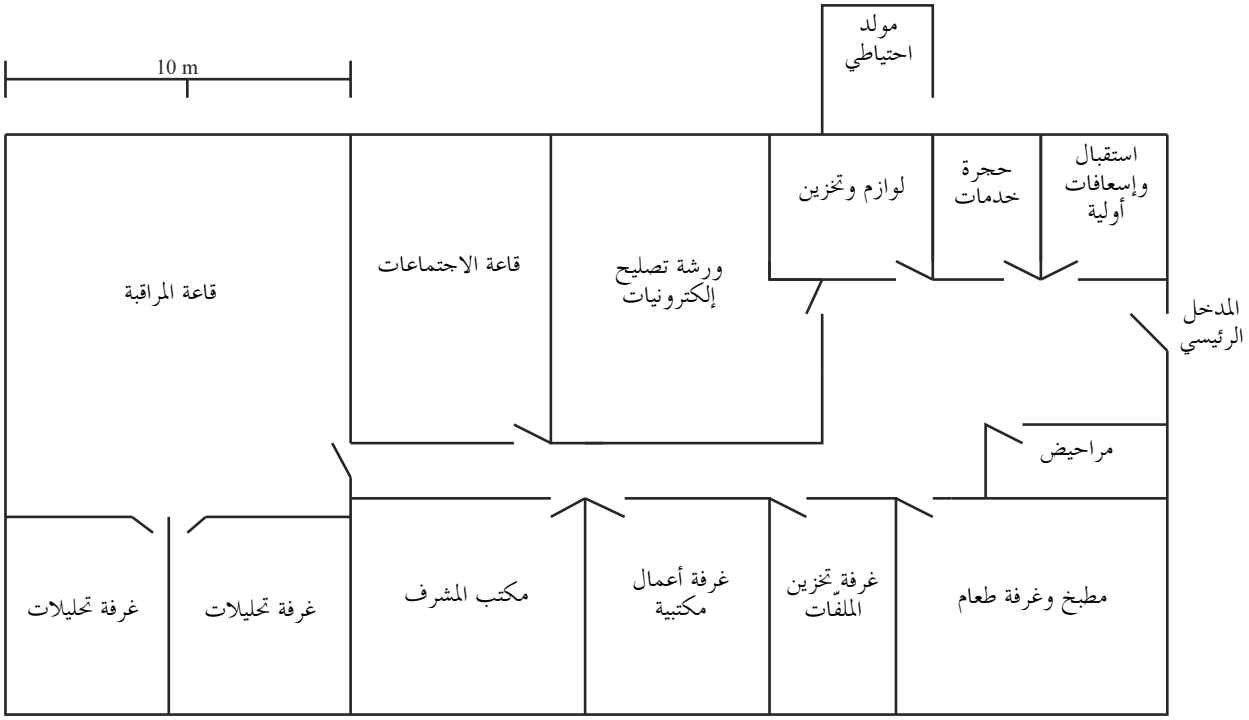
يعرض هذا المثال مبنى مراقبة يتسع لعشرين موظفا أو أقل، ويشتمل على أمكنة لموظفي الإشراف والمراقبة والأعمال المكتبية. ويتكون هذا المبنى من قاعة مراقبة رئيسية بجوارها غرفتان صغيرتان لمشاريع خاصة. وتتوفر في المبنى مكاتب لِمُشرِف ولعدد من الموظفين الإداريين/المكتبيين. كما تتوفر أمكنة إضافية لورشة تصليح إلكترونيات ومطبخ وقاعة اجتماع ومرافق صحية ومرافق خدمات وتخزين. وفي الشكل 6.2-1 رسم تخطيطي يبين كيف يمكن توزيع المكان. وتوجد الأبعاد الخاصة بالمثال في الجدول 6.2-2.

المثال B

يصلح المبنى المعروض في المثال B لاستعماله حيثما دعت الحاجة إلى متَّسع لعدد من الموظفين أكبر أو إلى مناصب مراقبة متعددة. وتُعطي أبعاد المساحة الواردة في الجدول 6.2-2 انطباعاً عن حجم هذا المبنى، الذي يتَّسع لعدد من الموظفين أكبر، ومزيد من الوظائف. ويمكن لهذا المبنى أن يستوعب 35-40 فرداً من الموظفين في خدمة المراقبة، وموظفين إضافيين من أجل خدمة التفتيش الراديوي وغيرها من الأقسام. وينبغي الإشارة هنا إلى أن بعض الموظفين فقط من مجموع 35-40 موظفاً يعملون عادة في آن واحد داخل المبنى (الباقون متنقلون أو خارج النوبة أو في إجازة، وغير ذلك).

الشكل 6.2-1

مثال لرسم هندسي لمبنى محطة مراقبة
يبيّن كيف يمكن توزيع أماكن العمل (لا تظهر في الرسم جميع تفاصيل المبنى)



Spectrum-2.6-01

الجدول 6.2-2

مثال لتوزيع الأمكنة في مباني محطات المراقبة

الغرض	المساحة التقريبية (متر مربع) في حالة المثال A	المساحة التقريبية (متر مربع) في حالة المثال B	الملاحظات
القاعة الرئيسية للمراقبة	100	190	
ورشة لتصليح الإلكترونيات	50	60	
ورشة لتصليح الآليات (إذا كانت مستقلة)	–	25	
قاعة اجتماعات	50	50	يمكن تخصيص فسحة صغيرة لاجتماعات متناوبة في مكتب المشرف
المكاتب	15–40	15–40	في بعض الحالات يمكن أن يشغل المكاتب (الإدارية، مثلاً) أكثر من شخص
آلة نسخ وتخزين ملفات	(جزء من مكتب إداري)	24	في بعض الحالات يمكن تخصيص غرف إضافية لتخزين الملفات في الطوابق السفلية
تجهيزات مخدِّم واتصالات	10	31	توضع في حجرة الخدمات أو في طابق سفلي
مرحاض	10–15	25	يمكن وجود عدد من الحجرات، أما حجم كل حجرة والمرافق فتمليها لوائح البناء المحلية

الجدول 2-6.2 *(تتمتة)*

مثال لتوزيع الأمكنة في مباني محطات المراقبة

الغرض	المساحة التقريبية (متر مربع) في حالة المثال A	المساحة التقريبية (متر مربع) في حالة المثال B	الملاحظات
حجرة ملابس	–	6	
مطبخ	50 (منها فسحة لغرفة الطعام)	6 (مطبخ فقط)	غرفة الطعام يمكن أن تكون جزءا من المطبخ أو مشتركة مع قاعة الاجتماعات
معَدّات التنظيف	–	6	
مستودع تجهيزات وهوائيات	10 (ربما كان متسع أكبر في المباني الخارجية)	100	يمكن أن يكون جزئيا في الطابق السفلي أو المباني الخارجية
مكان الحراسة	–	30	
مركز التدفئة	5–10	36	في الطابق السفلي أو في حجرة الخدمات
مولّد كهرباء احتياطي	(في مبنى خارجي أو خارج المبنى)	36	في الطابق السفلي
نظام إمداد بالكهرباء دون انقطاع	10	10	في الطابق السفلي
محول طاقة	(خارجي)	10	في الطابق السفلي
مرأب (إذا كانت مركبات المراقبة في الموقع)	100	300	

3.1.2.6.2 العزل الصوتي

ينبغي رصف سقف قاعة المراقبة الرئيسية وغرف المشاريع الخاصة (وربما جدرانها أيضاً) بألواح عازلة للصوت أو معالجتها بوسيلة أخرى لعزل الصوت. وقد يكون من المستحسن في بعض الحالات إجراء هذه المعالجة لغرف أخرى.

4.1.2.6.2 الغرف المدرَّعة

إذا استدعى الأمر كثرة استخدام مولِّداتٌ كثيفة إنتاج الإشارات أو غيرها من مصادر طاقة الترددات الراديوية التي قد تسبب تداخلاً في عمليات المراقبة، إما في القاعات ذات الأغراض الخاصة أو في مشغل تصليح الإلكترونيات، عندئذ يجدر النظر في تدريع هذه الأمكنة على نحو يغطي الجدران والسقوف والأرضية. بيد أن هذا التدريع ليس مطلوباً عادة، إذا كان العتاد المولِّد للإشارات من نمط العتاد المستعمل للصيانة المعتادة للتجهيزات وإجراءات الاختبار.

ويوصى أيضاً بوضع المخدِّم والبدالة الخاصة ذات الفروع في غرف مدرَّعة إذا تعذر تهيئة موضع لهما في الطابق السفلي.

5.1.2.6.2 مجاري الكبلات

نظراً لكثرة الكبلات اللازمة للترددات الراديوية (RF) والترددات المتوسِّطة (IF) والترددات السمعية والطاقة والمراقبة من أجل توصيل مختلف المكوِّنات داخل مبنى المراقبة ومن أجل دارات الكبلات الواردة من الهوائيات والمرافق الخارجية، فقد درجت الممارسة على إخفاء مجاري الكبلات في أرضيات المبنى. وينبغي تهيئة فتحات كثيرة للنفاذ إلى هذه المجاري من أجل تبسيط أعمال تمديد وتبديل مختلف الكبلات. وقد شاع استعمال نمطين من هذه المجاري الأرضية للكبلات:

- مجارٍ مفتوحة من الأعلى لها أغطية ملائمة متواصلة قابلة للإزالة، ينسجم سطحها، عند التركيب، مع سطح الأرضية؛
- مجار مُغلَقة لها فتحات بغطاء مثبت على مسافات متقاربة من أجل النفاذ إليها.

وعند بناء هذه المجاري، يجب مراعاة توافق المواد، إذ ينبغي، من الناحية المعدنية، ألا تكون مجاري الكبلات أو أغلفتها المصنوعة من الألومنيوم على تماس مباشر مع الإسمنت، بأي حال من الأحوال.

ويوصى بأن تُسيَّر كبلات الإشارات والتحكم الواردة من الهوائيات ومحددات الاتجاه ومبنى المرسِلات إلى لوحة توزيع طرفية تُثبَّت في نقطة دخول الكبلات إلى المبنى، وتُنهى في هذه اللوحة جميع الكبلات الواردة باستعمال الواصلات الملائمة. إذ إن هذا التدبير يتيح سرعة في عزل الكبلات المعطوبة أكبر مما هو ممكن حين يكون مختلف الكبلات مسيّراً مباشرة إلى حوامل التجهيزات داخل المبنى. كذلك ليس من الممارسة الهندسية السليمة تسيير كبلات الترددات الراديوية والسمعية مع كبلات نقل الطاقة في مجرى واحد.

6.1.2.6.2 مبنى أو قاعة مولِّدات طاقة من أجل الطوارئ

إذا كانت استطاعة مولّد الطاقة الاحتياطي أكبر من بضعة kW، ينبغي تثبيته على قاعدة عائمة منفصلة عن الأرضية المحيطة بها، من أجل التقليل إلى أدنى حد ممكن من انتقال الاهتزازات إلى الأرضية والمبنى بكامله. وفي حالة مولّدات أضخم، يُستحسَن استعمال صهريج وقود مدفون؛ وينبغي أن يُطمَر على مسافة بضعة أمتار من المبنى تقليلاً من خطر الحريق.

وتبعاً للتشريعات الوطنية المتعلقة بالسلامة، قد يكون إلزاميا أو على الأقل أجدى تكلفة أن يوضع مولّد الطاقة الاحتياطي في مبنى مستقل. وفي كلتا الحالتين يجب اتخاذ التدابير الوافية للوقاية من الحريق.

7.1.2.6.2 ورشة الميكانيك ومُستودَع المركبات

تتوقف ضرورة إقامة هذا المبنى على الظروف المحلية وعلى عدد المركبات وحجمها. وإذا لزم تخزين الوقود لاستعماله في المركبات، من المستحسن أن يُجعَل صهريج الوقود والمضخة خارج المبنى ومنفصلَيْن عنه، تجنباً لخطر الحريق. ويجب تزويد هذا المبنى بأجهزة تنذر باشتعال النار أو بفرط ارتفاع درجة الحرارة.

2.2.6.2 غرف حماية من أجل عمليات المراقبة عن بعد غير المأهولة

تُستعمَل غرف الحماية، المعروفة أيضاً باسم ملاجئ التجهيزات، لإيواء تجهيزات المراقبة الراديوية وأجهزة تحديد الاتجاه الخاصة بمحطات المراقبة القابلة للنقل و/أو بعمليات المراقبة عن بعد غير المأهولة. وينبغي أن تحتوي هذه المباني على أقل قدر من المساحة والطاقة اللازمتين لإيواء التجهيزات وتشغيلها محلياً من حين لآخر وتأدية أنشطة الصيانة. وتتوفر غرف الحماية بأحجام وأشكال متنوعة نصف فيما يلي نمطين منها.

النمط 1: النمط 1 من هذه الغرف له أبعاد حامل تجهيزات نمطي بقياس 19 بوصة. وهي تُبنى بمواد متينة ومنيعة لتسرب الماء، لها باب أمامي وباب خلفي تسهيلاً للوصول إلى التجهيزات. وتُجهَّز بلوحة دخول الكبلات، وبأجهزة تدفئة وتكييف للهواء توضع على الأرض بجانب التجهيزات للحفاظ على اعتدال حرارتها.

النمط 2: النمط 2 من هذه الغرف له أبعاد ملجأ صغير. وهي تُبنى بمواد متينة ومنيعة لتسرب الماء. ولها باب وفيها متَّسع لدخول شخص لصيانة التجهيزات من أمام الرفوف الحاملة لها ومن خلفها. ويتسع داخل الملجأ لفسحة عمل لمشغِّل، قوامها منضدة أو طاولة وخزانة. وهي مزوّدة بأجهزة تدفئة وتكييف مركّبة على الملجأ للحفاظ على اعتدال حرارة التجهيزات.

ونستلزم كلا نمطَيْ غرف الحماية تزويداً بالطاقة لا ينقطع (UPS) مع بطاريات احتياطية. وينبغي أن تضم أيضاً جهاز إيقاف للتدفئة أوتوماتي عندما تتجاوز درجة الحرارة الحد الأقصى، لئلا تتعطل التجهيزات الإلكترونية من فرط التدفئة في حال تعطل وحدات الضبط البيئي. وينبغي تزويدها بجهاز ضبط للحالة يُحكَم عن بعد وجهاز إنذار بتعطل الإمداد بالطاقة أو تعطل وحدات الضبط البيئي أو فرط/نقص الحرارة عن الحد المطلوب.

3.2.6.2 الخدمات ومصادر الطاقة وغيرها من المنشآت

1.3.2.6.2 الطاقة الكهربائية

حيثما تيسّر التزوّد بالطاقة الكهربائية الوافية والموثوقة من مصادر خارج منشأة المراقبة، يكون من الأفضل الحصول على الطاقة للتشغيل العادي بدلاً من الاعتماد كلياً على الطاقة المولَّدة داخل المحطة. أما إذا لم تتيسّر الطاقة الوافية من مصادر خارجية، وكان مطلوباً تشغيل محطة المراقبة بلا انقطاع، فينبغي إقامة مولِّدين منفصلين للطاقة، باستطاعة تفي بالاحتياجات الذروية للمحطة، وبتوتر وتردد مستقرَّيْن. وفي حال تيسّر الانتفاع بالمصادر الخارجية للطاقة، يكفي عادة الاعتماد على مولّد واحد احتياطي لسد الحاجة أثناء تعطل التزوّد من الخارج.

ويُستحسن مد جميع كبلات توزيع الطاقة تحت الأرض، تقليلاً لدخول ضوضاء الترددات الراديوية إلى المحطة. وهذا الأمر بالغ الأهمية حيثما وُجدت خطوط نقل للطاقة عالية التوتر تخدم مناطق صناعية أو سكنية، باعتبار أن الضوضاء يمكن أن تدخل إلى خطوط التوزيع المحلية من الآلات الموصّلة بالخط الخارجي. فإذا مُدّت الكبلات تحت الأرض في حدود الأرض التي تمتلكها المحطة يكون إشعاع الخطوط مهملاً، وتميل السعة الكهربائية بين الخطوط والأرض إلى تحييد قدرة الترددات الراديوية الموجودة على الخطوط الخارجية. ويجب وضع مخططات وتسجيلها باعتناء لجميع مسيرات خطوط الطاقة وكبلات الاتصالات والمراقبة، تجنباً لإعطابها عند الحفر من أجل إقامة الأبراج والبنى اللازمة للهوائيات.

وتوفر المولّدات الحديثة للطاقة الاحتياطية التبديل الأوتوماتي بين التزود من الشبكة الكهربائية والتزود من الطاقة الاحتياطية. ويُستحسن ترك مهلة للتبديل الأوتوماتي قيمتها بضع ثوانٍ، بين فصل تيار الطاقة المستمدة من الشبكة وتفعيل مصدر الطاقة الاحتياطية، وذلك تجنّباً لتكرار عمليات الإقلاع والتوقف والتبديل، نتيجة أعطال قصيرة جداً في الإمداد بالطاقة.

2.3.2.6.2 نظام تزويد بالطاقة لا ينقطع

من الضروري إلى جانب مولد الطاقة الاحتياطي توفر نظام تزويد بالطاقة لا ينقطع (UPS) داخل المحطة من أجل استدامة عمل النظام الحاسوبي أثناء الفواصل بين تعطل الطاقة العادية المستمدة من الشبكة وانطلاق المولد الاحتياطي. إذ إن الأنظمة UPS تحوّل التيار المستمر إلى تيار متناوب وتعمل انطلاقاً من طاقة خلية جافة أو بطارية تخزين.

وينبغي أن يكون للنظام UPS مواصفات تقنية ملائمة (مثل مهلة إقلاع أقل من 5 ميلليثوان وحماية فعالة من الضوضاء وفرط التوتر والقدرة على العمل فترة فاصلة طويلة، أي أكثر من 10 دقائق) منعاً لفقدان المعلومات من الأنظمة الحاسوبية والاضطرار إلى إعادة تدميث هذه الأنظمة. إذ إن التشغيل في هذا الفاصل الزمني يتيح للمشغّلين الفرصة لتسجيل المعلومات والبيانات لئلا تضيع ولإطلاق مولّد الطاقة الاحتياطي يدوياً في حال تعطل الإقلاع الأوتوماتي والتحول عن شبكة الكهرباء.

ويجب في مرحلة تصميم النظام UPS تقرير أي تجهيز يُمدّ بالطاقة من هذا النظام. إذ تتوقف التكلفة على الطاقة الأعظمية المستعملة. إلا أنه لا بد من احتساب احتياطي معقول.

3.3.2.6.2 الإضاءة الاحتياطية

من الضروري تزويد مبنى المراقبة ومبنى مولد الطاقة الاحتياطية بإضاءة احتياطية تُستمَد من البطاريات، وتُشغَّل أوتوماتياً حال انقطاع الطاقة العادية عن دارات الإضاءة. إذ يستطيع الموظفون في المحطة، بفضل هذه الإضاءة الاحتياطية، أن يجدوا بسرعة أجهزة التحكم بمولّد الطاقة الاحتياطية وتشغيله يدوياً عند اللزوم.

ويمكن تشغيل الإضاءة الاحتياطية إما ببطاريات خلايا جافة، تستلزم فحصاً دورياً وتبديلها أحيانا، وإما ببطاريات رطبة موصولة بالدارة الكهربائية العادية وتبقى دائما مشحونة.

4.3.2.6.2 دارات الهاتف والبيانات

تتعاظم باطّراد أهمية تمديدات الاتصالات التي تعمل على النحو الملائم وتيسّرها بنسبة تقرب من 100% لخدمة مراقبة راديوية حديثة. ولذا ينبغي أن تُنصب البدالة الخاصة ذات الفروع والمخدِّمات في حجرات منفصلة مع تقييد دخولها. ولا يمكن في هذا الكتيب اختصار خبرة المشغِّلين وشركات الحواسيب نظراً للتطور المستمر في هذا المجال. وعليه، فالنصيحة الوحيدة هنا هي أن تتوفر لمعمارية الاتصالات الأبعاد الكافية للوفاء بمتطلبات المستقبَل. وينبغي النظر أيضاً في محتوى القسمين 5.2 و3.6.2.

5.3.2.6.2 التدفئة وتكييف الهواء

تتوقف متطلبات التدفئة وتكييف الهواء على المناخ المحلي. ولعل من المفيد النظر في تركيب مراوح امتصاص مع مجارٍ للهواء تنطلق من أعلى الرفوف الحاملة للتجهيزات إلى خارج المبنى. وأثناء الطقس البارد، يمكن امتصاص الحرارة التي تفرّغها تجهيزات المراقبة وبثّها داخل المبنى لتحقيق وفورات بتخفيف ضغط الطلب عن نظام التدفئة العادي.

6.3.2.6.2 الإنذار بالحريق ونظام الإطفاء

من الضروري لكل محطة مراقبة أن تكون مجهّزة بنظام إنذار ومكاشيف دخان إلى جانب معَدّات إطفاء ملائمة للحرائق الكهربائية ونظام مِرشّات ماء في كل أنحاء المبنى.

وينبغي عادة تزويد المباني الكبيرة بحنفيات إطفاء مهيّأة لتوصيلها بخراطيم سيارات الإطفاء.

4.2.6.2 الحماية من الصواعق

غرض الحماية من الصواعق هو حماية الجزء المستضعف من محطة مراقبة الطيف من أجل الخروج بأقل الخسائر.

أما الصاعقة المباشرة فكان ولا يزال خط الدفاع الأمامي ضدها هو دائرة الصواعق.

وأما الصاعقة المستحثَّة فتكون الحماية منها بتنفيذ خطة حماية كلية تشتمل على التأريض والتوصيل البيني أو الوصل بالكتلة والتدريع وكبت التموُّر.

1.4.2.6.2 تأثير الصاعقة

الصاعقة هي نتيجة انفصال الشحنات الكهربائية في السُحُب الرعدية.

وقد تصل الشحنة المفرّغة الأعظمية إلى قرابة 400 KVA.

لكن المستفاد من الإحصاءات هو أن أغلبية الشحنات المفرّغة أقل من 100 KVA، وأن حوالي 50% منها تتراوح قدرتها بين 20 و25 KVA؛ وأن مدى الصعقة، أي المسافة التي تجتازها الشحنة الرعدية نحو الأرض، يتراوح بين 30 و70 متراً في حال طاقة 20 KVA، ويتراوح بين 70 و150 متراً في حال طاقة 50 KVA.

وتنقسم آثار الصواعق إلى فئتين:

أ) الصعق المباشر الذي يسبب أضراراً هائلة بسبب الطاقة الهائلة لتيار الصاعقة. وتتعرض لهذا الأثر عادة العناصر الموصلة، مثل المباني والهوائيات.

ب) تأثير الصاعقة المستحَثّة الذي ينجم عن مجال كهرمغنطيسي شديد ويتجلى في توتر عابر وتموُّر التيار في التجهيزات، ومن شأنه إحداث صعقة فعلية تمتد على مدى بضعة كيلومترات.

2.4.2.6.2 الحماية من الصعق المباشر

ينصبّ هذا النوع من الحماية على الأشياء الخارجية، مثل أغلفة المباني والهوائيات وموارد الطاقة الكهربائية.

وتقوم طريقة الحماية على امتصاص معظم طاقة الصاعقة وتسييرها إلى داخل الأرض.

ويستلزم تحقيق ذلك توفر ثلاثة عناصر هامة:

أ) دائرة الصواعق (الانتهائية الهوائية): وهي خط الدفاع الأول ضد الصعق المباشر، وظيفتها اعتراض ضربة مسير الصعقة.

ب) الموصل الهابط: هو موصل كهربائي يربط بين دائرة الصواعق والانتهائية الأرضية. وبحسب المعايير الموجودة، ينبغي أن يُستعمَل لهذا الموصل الهابط أجود المعادن إيصالية (كالنحاس أو الألومنيوم مثلاً).

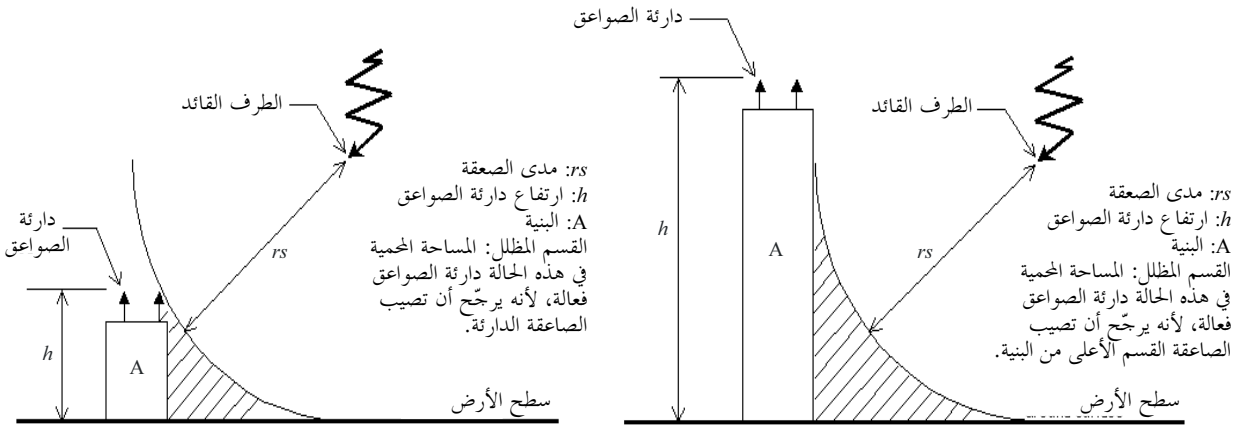
ج) الانتهائية الأرضية: نظام إلِكْترود (مطمور عادة) وظيفته تشتيت تيار الصاعقة في الأرض.

ويتوقف كبر المساحة المحمية في بنية ما إلى حد بعيد، كما يبدو في الشكل 2.6-2، على حجم تيار الصعقة (انظر الفقرة 1.4.2.6.2) وعلى ارتفاع دائرة الصواعق.

وحين يكون ارتفاع دائرة الصواعق أكبر من مدى الصعقة ($h > rs$) كما هو مبيّن في الشكل 2.6-2 ب)، لا فعالية لدائرة الصواعق في اجتذاب الصعقة؛ وبالتالي فقد تصيب الصاعقة القسم العلوي من المبنى.

الشكل 2.6-2

المساحة المحمية



ب) $(rs\ 1{,}5 = h)\ rs > h$ أ) $(rs\ 0{,}5 = h)\ rs < h$

Spectrum-2.6-02

وبما أن مدى الصعقة يتوقف على شدة تيار الصاعقة، فقد حُددت سويات الحماية في المعيار IEC 1024-1 (المبدأ الأساسي لحماية البنية) كما يلي:

سوية الحماية	مدى الصعقة (أمتار)	احتمال وقوع الصاعقة (%) على الدارئة
السوية I	20	98
السوية II	30	95
السوية III	45	90
السوية IV	60	80

وليس نظام الحماية من الصواعق بواسطة دارئة الصواعق بالنظام الكامل للحماية من الصعقة. ولذا من المهم تحديد درجة الحماية اللازمة لمحطة مراقبة الطيف.

3.4.2.6.2 الحماية من الصاعقة المستحَثَّة

ينصبّ هذا النوع من الحماية بصورة رئيسية على التجهيزات الموضوعة داخل المبنى، مثل المستقبلات وموارد الطاقة من التيار المتناوب، بما في ذلك وسائل الحماية من ضربات الصاعقة المباشرة. ولا يمكن تحقيق هذه الحمايَة إلا بتحرٍّ دقيق لمحطة مراقبة الطيف، وتحديد جميع التجهيزات الحساسة وجميع المسيرات الممكنة للتوتر العابر وتيار التموُّر. وبعد التحرّي، يأتي تصميم نظام الحماية ووضع مواصفاتها ونصبها وصيانتها.

وهنالك، من حيث تصميم نظام الحماية، أربعة مفاهيم هندسية وهي: التأريض والوصل بالكتلة والتدريع وكبت التموُّر.

- يوفر التأريض والوصل بالكتلة على النحو الملائم مسيرات إضافية تقود تيار الصاعقة إلى الأرض، فتقلل التموُّر. ويشتمل ذلك على التوصيل ما بين خزائن التجهيزات ومختلف المكوِّنات وأسلاك التأريض، وقد يشمل أيضاً التوصيل مع الموصلات المجاورة مثل فولاذ البناء والأنابيب.
- يحد تدريع الكبلات من التموُّر بتوفير مسير مفضَّل لتيار الصاعقة بدلاً من الدارة الفعلية. وتوخياً لأعظم الفعالية، يجب في التدريع أن يكون متواصلاً تماماً، ومؤرَّضاً أو منتهياً.
- يوفّر جهاز كبت التموُّر وظيفة كبت التوتر العابر وتيار التموّر، اللذين يسببان أضراراً في التجهيزات الموصَّلة فيما بينها بكبلات على مسافة طويلة. ويجب اختياره بحيث يستطيع معالجة التوتر والتيار المتوقعَيْن من صاعقة مستحثَّة شديدة.

وتقوم الحماية الناجعة على حماية جميع السطوح البينية في المنشأة بتطبيق مفهوم حماية واحد.

4.4.2.6.2 تدابير الحماية

إن استعمال دارئة الصواعق من أجل الأغراض الخارجية ضروري كخطوة أولى لحماية المبنى، لكنه من الضروري أيضاً الحد من فرط التوتر في مصادر الطاقة والهوائيات وخطوط البيانات قبل وصوله إلى التجهيزات الإلكترونية.

ولذا ينبغي أن تُدخَل جميع الخطوط (خطوط الطاقة والاتصالات) ومغذّيات الهوائيات إلى المبنى في نفس الموضع.

وفي نقطة الدخول، تُوَصّل جميع الخطوط بالشبكة المتساوية الكمون، بحيث تكون جميع الكبلات والدروع وسائر العناصر المعدنية التي لا تنقل إشارة أو طاقة موصَّلة مباشرة بقضيب ربط تساوي الكمون.

تُوَصّل جميع خطوط الطاقة وخطوط الإشارات (المنطلقة من هوائيات الاستقبال ومحددات الاتجاه وخطوط الاتصالات/ الحواسيب) بمربط تساوي الكمون المذكور عن طريق دارئة الصواعق الخاصة بكل منها. فبهذه الطريقة يزداد الكمون في جميع الخطوط بالتساوي والتزامن، ومن ثَمّ فإن فرق الكمون (بين خطوط الإشارات والدروع) يميل نحو الصفر أثناء فترة الصاعقة.

وأما الفلطية والتموُّرات المتبقية نتيجة لطول الموصِّل (من نقطة الدخول إلى موضع التجهيز) والمستحَثّة بالإشارات الكهرمغنطيسية، فتُسقَط بإدراج جهاز حماية دقيق في أقرب نقطة من التجهيزات.

وجدير بالملاحظة أن جهاز الحماية لا يستطيع بذاته توفير حماية كاملة. وأنسب أجهزة الحماية ينبغي استعمالها في عدة مراحل، تبعاً لمواصفات التجهيزات المعنية.

5.4.2.6.2 التأريض والحجب

التأريض الفعال والمأمون عامل أساسي للوقاية من الصاعقة ويجب فيه الوفاء بالمعيار IEC 1024-1.

ويوصى باتخاذ التدابير المناسبة منذ مرحلة التخطيط. فيتعيّن أن تُربط معاً وبشبكة الحماية من الصاعقة جميع الأجزاء المعدنية ذات الأبعاد الهامة المرتبطة بالبنية، مثل الإسمنت المسلّح والسطوح ذات الغشاء المعدني والواجهات المعدنية.

ويتم التوصيل بالكتلة لجميع الأجزاء الناقلة الخارجية الداخلة إلى البنية. وفي البنى الكبيرة مثل مراكز المراقبة، يمثِّل التوصيل بحلقة نحاسية داخلية حلاً جيداً. والتوصيل الصحيح بالكتلة لأغلفة الكبلات هو من مقوِّمات مفهوم نطاق الحماية من الصاعقة. والقاعدة في ذلك هي وصل الأغلفة من طرفيها بالكتلة – في لوح التوصيل وفي المطراف/المقبس – مباشرة أو غير مباشرة بواسطة أجهزة الحماية من التموُّر. ومن المفيد توفر مسيرات متوازية كثيرة من أجل تقليل التيارات المحقونة في الكبلات والدروع. ومن شأن نظام تأريض متشابك أن يفي بهذا الغرض.

ويجب أن يتوفَّر التوصيل بالكتلة على حدود مناطق الحماية من الصاعقة (LPZ) لجميع الأجزاء والشبكات المعدنية المجتازة لهذه الحدود، بواسطة قضيب متساوي الكمون يوصَّل بأقطاب نظام التأريض.

ويمكن تخفيض مقاومة التماس والتوسيد في الأرض بتدابير ملائمة يُطلق عليها تسمية "تحسين التأريض"، مثل زيادة إيصالية التربة بحقنها محاليل عالية الإيصالية، ما يخفض مقاومة التماس والتوسيد في الأرض. ومن الأمثلة على تلك المحاليل مُستحلَب رَطوب ابتُكِر لهذا الغرض.

ويفترض في شبكة التأريض أن تكون نظيفة بمقاومة دنيا تساوي أو تقل عن 4-10 Ω. ويجب أن تكون أجزاؤها المعدنية مضادة للتآكّل عالية الإيصالية. وتبعاً للظروف المناخية وتركيب التربة والرطوبة وجودة المواد المستعملة، ينبغي فحص شبكة التأريض وتحسينها على فترات منتظمة. وينبغي أن تكون وصلة التأريض نفسها قصيرة ومشتملة على صفائح مطمورة تقليلاً للمعاوقة إلى أدنى ما يمكن.

6.4.2.6.2 حماية الهوائيات

ينبغي، إلى جانب تدابير التأريض والحماية خارج المباني، مراعاة ما يلي:

- ينبغي احتواء نظام/صفيف الهوائيات في منطقة الحماية بزاوية 45° و/أو في نصف قطر الحماية في الكرة المتدحرجة لدائرة الصواعق.
- ينبغي أن تُنصب دائرة الصواعق رأسياً فوق نظام/صفيف الهوائيات أو، إذا تعذّر ذلك، في جوار النظام بحيث تكوِّن نطاق حماية خاص حول النظام.
- ينبغي تركيب النهاية الهوائية والناقل الهابط بحيث يحافظ على تناظر صفيف الهوائيات.
- في المناطق التي يرتفع فيها معدل حدوث الصواعق، يُفضّل فصل الهوائي عن التجهيزات إذا أمكن توقّع حدوث الصاعقة.

- يحسن تغطية سطح الهوائي بعازل ملائم (مواد الليف الزجاجي مثلاً).
- تُستعمَل للهوائيات النشطة دارئات صواعق ملائمة تسمح بمرور فلطية التيار المستمر، نظراً لطبيعة التشغيل الاعتيادي لهذه الهوائيات.
- تؤرَّض صواري/أبراج الهوائيات على أفضل وجه ممكن.
- تؤرَّض دروع الكبلات الراديوية والكبلات المتحدة المحور على النحو الملائم، وفي حالة الهوائيات المنصوبة عالياً تُربط هذه الدروع بكتلة الصاري في الطرفين الأعلى والأسفل.

7.4.2.6.2 صيانة نظام الحماية من الصواعق

تُهمَل أحياناً صيانة نظام الحماية من الصواعق لأنها لا تُحسَب من التجهيزات الرئيسية. ولكن لا غنى عن صيانة مبرمجة لنظام الحماية من الصواعق، حرصاً على تقليل الأضرار حين تنزل الصاعقة. وعلى وجه الخصوص، ينبغي توفير صيانة جيدة لدارئة الصواعق والموصل الهابط منها المركَّبين خارج البنية، تجنّبا لتردّيها بسبب الصواعق والصدأ. وينبغي كذلك مراقبة مقاومة نظام التأريض بصورة مستمرة.

3.6.2 مصادر التداخل المؤثِّرة على تشغيل محطات المراقبة

1.3.6.2 مبادئ عامة

تُستبعَد من موقع المراقبة قدر الإمكان جميع المرسِلات مهما كان نوعها. ولكن، إذا تحتّم استخدام هذه التجهيزات لأسباب وجيهة، لأغراض الاتصالات مثلاً، لزم الحرص في مرحلتي التخطيط والتركيب على تجنب التداخل أو خفضه إلى أدنى ما يمكن.

ومن الشائع أن ينشأ التداخل عن تجهيزات تشعّ طاقة راديوية عن غير قصد. وهناك أساساً آليتان رئيسيتان للتداخل هما الإشعاع والإيصال. فالإشعاع يحدث إما مباشرة (بسبب قصور أو عطل في حجب المصدر) وإما عن طريق توصيل الكبلات. وينشأ التداخل أيضاً عن طريق هوائي إذا كان تردد الإشارة المشَعّة يقع ضمن نطاق (نطاقات) تردد التشغيل المستعمل في المحطة.

ولكن، إذا كان مصدر الإشعاع المتداخل خارج العلب الحاوية لتجهيزات المراقبة، فقد يحدث التداخل أو لا يحدث تبعاً لفعالية حجب التجهيزات. كذلك قد يسبب الإشعاع الحاصل داخل مجرى الكبل أو خارجه تداخلاً أو لا يسببه، تبعاً لفعالية حجب مجرى الكبل وطريقة مدّه.

وأما الإيصال المسبب للتداخل فمنشأه إما شبكة الكهرباء أو كبلات التحكم ونقل الإشارات المستعملة لأغراض التوصيل البيني.

2.3.6.2 مصادر التداخل

مصادر التداخل هي:

- الحواسيب الشخصية والمخدِّمات، وأجهزتها المحيطية (من شاشات وطابعات وماسحات وكبلات، وما إلى ذلك) المستعملة للتطبيقات المكتبية والتحكم بالأجهزة؛
- البدّالات الهاتفية ومطاريف الهواتف الحديثة والهواتف اللاسلكية وآلات الفاكس؛
- المصابيح الفلورية؛
- مصادر تغذية المصابيح الهالوجينية؛
- مبدلات متينة تستخدم في التغذية بالطاقة، كما في تجهيزات التدفئة/تكييف الهواء وغيرها من تجهيزات التحكم؛

- محرّكات كهربائية تُستعمَل للمراوح (في المطبخ والمكاتب) والمكانس الكهربائية ودوَّارات الهوائي؛
- المركبات وجزّازات العشب التي يُشعل محرّكها بشرارة؛
- التجهيزات الصناعية والعلمية والطبية (ISM) (أفران الموجات الصغرية)؛
- التلفزيون الكبلي وما شابه من أنظمة التوزيع الكبلية.

3.3.6.2 التدابير العلاجية

ينبغي تأريض جميع التوصيلات المعدنية للخدمات التي تدخل في المناطق الحساسة تأريضاً منفصلاً بحيث يراعي أيضاً أحكام لوائح السلامة الكهربائية المعتمدة محلياً. ويمكن التفكير في مزايا الحواجز غير المعدنية، ولكن إذا استُعمِلت حواجز معدنية داخل المنطقة الحساسة فيجب تأريضها على النحو الملائم.

ينبغي أن تُفصل كبلات الترددات الراديوية في وحدة التحكّم عما سواها من الكبلات وتؤرَّض بشكل مأمون. وكثيراُ ما يمكن تخفيض التداخل الناشئ عن كبلات الهاتف الخارجي والداخلي بشكل كاف بالعمل مثلاً على تمرير الكبلات 5 مرات في 4 حلقات.

لقد أصبحت الحواسيب الشخصية منتشرة في كل مكان، ومن ثم لا يمكن استبعادها من قاعة العمليات. ولذا ينبغي اقتناء أنماط منها منخفضة الإشعاع. وينبغي توخّي الحذر في صدد الأجهزة الموصّفة بموجب تكنولوجية Tempest، لأنها لا تضمن سوى أن الإشعاع لا يحتوي معلومات ولكنها لا تضمن أنها منخفضة الإشعاع.

وينبغي أن تعتمد الشبكات المحلية (LAN) وأمثالها من التوصيلات البينية على كبلات الألياف البصرية بدلاً من الكبلات النحاسية. وبهذه الطريقة يُجتَنب الإشعاع أيا كان، ويُجتنَب أيضاً حدوث عرى رجعة أرضية غير مقصودة. ولنفس الأسباب، ينبغي أيضاً استعمال كبلات الألياف البصرية لتوزيع إشارات تردد المحطة المعياري على لوحات التحكم.

وإذا كان لا بد من تجاور كبلات البيانات وكبلات الترددات الراديوية أو السمعية، فينبغي استعمال كبلات محجوبة حجباً مضاعفاً. وينبغي أن تكون الكبلات السمعية مفتولة بشدة ومحجوبة أو أن يكون حجبها مضاعفاً.

وتتصف تجهيزات المراقبة عادة بخصائص إشعاع ملائمة. ولكن يلزم الاحتراس، في حال استعمال تجهيزات راديو هواة.

وينبغي وضع الأجهزة المخصصة فقط لمعالجة البيانات، والتي لا تحتاج إلى مشغِّل، في خزانة مجاورة، إذا أمكن.

ومن الضروري جداً أن يكون التأريض والحجب فعّالين ومأمونين لا من أجل الحماية من الصواعق فحسب وإنما من أجل تقليل تداخل الترددات الراديوية أيضاً. ولمزيد من التفاصيل عن التأريض، يُرجى الرجوع إلى الفقرة 5.4.2.6.2.

إن هذه التدابير الاحتياطية بسيطة نسبياً إذا أُخِذ بها في مرحلة التركيب. وأما تعرّفها وحل المشكلات المكتشفة فيما بعد فيكون طويلا ومكلفاً.

4.6.2 الدراسة الاستقصائية للموقع

لا بد، قبل إقامة نظام مراقبة الطيف، من إجراء تقييم شامل للمهام التشغيلية والتغطية الجغرافية المطلوبة والشروط الراديوية وغير ذلك من التقييدات. وينبغي أن يكون ترتيب الأولويات بين جميع الأمور ذات الصلة واضحاً ومدوّناً في وثيقة.

ويتعيّن بعدئذ إجراء دراسة استقصائية باستعمال قائمة مرجعية مكيفة بحسب المتطلبات. ويتبيّن من تقييم المواقع عادة أن معظم المواقع التي تناولتها الدراسة لا تفي بجميع المتطلبات ومن ثم لا مفر من القبول ببعض التنازلات.

ثم تلخص نتائج التقييم في تقرير شامل. ويُحتفَظ بالتقرير وبالقائمة المرجعية للرجوع إليهما في المستقبَل.

ويأتي في الملحقَيْن 1 و2 مثال على كل من قائمة مرجعية لدراسة استقصائية لموقع وتقرير تقييم شامل.

الملحـــق 1

بالقسم 6.2

قائمة مرجعية لاستقصاء موقع

رقم المرجع:		قام بملئها:		التاريخ:	
0	اسم الموقع	□ جديد □ موجود			
1	عنوان الموقع				
2	المالك				
3	موافقة المالك على إقامة المحطة	□ موافقة بدون شروط			
		□ موافقة بشرط:			
		□ عدم الموافقة مع رفض الاستقصاء			
3	العنوان				
4	الهاتف/الفاكس/البريد الإلكتروني	/			
5	المبنى (مع الصور)	الشكل	الارتفاع عن سطح الأرض	ارتفاع سطح الأرض عن متوسِّط ارتفاع سطح البحر	
		□ بناية □ برج ( ) □ غير ذلك ( )			
			التردد:		
			المسافة:		
			الملاحظات:		
7	المنطقة المحيطة (مع صور)				
8	الموقع الجغرافي	خط العرض (درجة، دقيقة، ثانية)	°N ’’’		
		خط الطول (درجة، دقيقة، ثانية)	°E ’’’		
		UTM (المنطقة، الشمال، الشرق)			
		البيانات المستعملة			
		الطريقة والمصدر	□ GPS / □ خريطة		
		الارتفاع عن متوسط سطح البحر (m)	“x” m		
		تحديد X، Y، Z بدقة:	“x” m		
		الموقع على خريطة (ملف أو ورقة)			
		مرجع الخريطة	رمز الخريطة:		
		نظام الإسقاط على الخريطة	أسطواني، مخروطي لامبرت، متعدد المخاريط، مِزوَلي: xxx		
		رسم تخطيطي للموقع	انظر المُرفَق رقم x		
		صور	□ نعم، انظر المرفق رقم …		
			□ لا يوجد		

9	بيئة الموقع	مدى درجة الحرارة (°C):	الصغرى		العظمى
		قطع الأشجار مطلوب:	□ نعم		□ لا
		درجة الرطوبة (%):			
		مياه سيل	□ نعم		□ لا
		سماكة الثلج (سنتمترات)	الصغرى		العظمى
		احتمال حدوث الزلازل:	□ لا		□ نعم، القيمة (مقياس ريختر):
		الملاحظات:			
10	موضع الهوائي	الموضع	انظر المرفق رقم:		
		الإحداثيات	انظر المرفق رقم:		
		العلو بالنسبة للعوائق المحيطة	□ هو الأعلى (مع الصورة)		
			□ ليس الأعلى لكنه كافٍ (مع الصورة)		
			□ الأقل ارتفاعاً (مع الصورة)		
		العلو	عن سطح الأرض:		
		وجود هوائيات أخرى	□ لا		
			□ نعم	التصنيف:	
				الاستقطاب:	
				المسافة:	
		وجود خط هوائي لنقل الطاقة	□ لا		
			□ نعم	التصنيف:	
				المسافة:	
		وجود أشياء طنانة	□ لا		
			□ نعم	التصنيف:	
				المسافة:	
		شدة مجال التردد الراديوي	التردد:		
			شدة المجال:	انظر الورقة المرفقة رقم 3	
11	هوائي محدد الاتجاه ذي الموجات الديكامترية	تيسّر مساحة أرض لقطر صفيف الهوائي مع مساحة لمدّ كبل تثبيت الهوائي		□ نعم	□ لا
		تسطّح الأرض؛ انحدار تدريجي مقبول في الموقع بقيمة 3° من أحد جانبي الهوائي إلى الآخر			
		الخلوص الرأسي لزاوية الارتفاع أكبر من 3°			
		الاتجاه الزاوي لحامل الهوائي مَقيساً من سطح الأرض			
		تحديد ما قد يحصل من انتشار بسبب المباني العالية والأشجار الكبيرة وخطوط نقل الطاقة العالية التوتر والأبراج الراديوية وما شابه ذلك			
		يلزم وجود مسافة بين الانتشارات المحتملة وأي عنصر من الهوائيات لا تقل عما حُدد في الجدول 6.2-1			

11	هوائي محدد الاتجاه ذي الموجات الديكامترية	بيئة خالية من الانتشار داخل فضاء صفيف الهوائي						
		يلزم أن تكون خطوط نقل الطاقة العالية التوتر بعيدة عن صفيف الهوائي، انظر الجدول 6.2-1						
		التجهيزات المطلوبة: كاميرا، مِزواة مزوَّدة بفرجار مغنطيسي، مقياس متري شريطي بطول 100 أو 300 قدم، مقياس متري شريطي بطول 12 قدماً، GPS ذو عينيّتين، محلل طيف ومقياس شدة المجال؛ الحصول على خريطة محيط الموقع، إذا أمكن					ينبغي تجهيز هذه المعَدّات قبل القيام بالدراسة الاستقصائية للموقع	
		ظروف البيئة المسببة للتآكل أو الرطبة				□ جيدة	□ غير جيدة	
		ينبغي قياس إيصالية التربة				□ جيدة	□ غير جيدة	
						Ω		
12	جوانب تقنية راديوية	مساحة التغطية	انظر المُرفَق رقم:					
		قرب محطة بث راديوي قائمة أو مخطط لإقامتها	□ نعم	□ لا	الاسم:			
					التردد:			
					شدة المجال:			
					المسافة:			
					الملاحظات:			
		مرسِلات عالية الطاقة مجاورة غير مطلوبة	اسم المرسِل					
			خدمة المرسل					
			التردد (MHz)					
			شدة المجال (dBµV/m)					
			تشبّع أو تداخل					
			المسافة (km)					
		مصادر الضوضاء الطبيعية/ الاصطناعية	العتبة	dBµV/m ،mV/m ،µV/m				
			تحديد سوية الضوضاء المقبولة	□ نعم	□ لا			
		قياسات المرسِلات المطلوبة والإرسالات المضبوطة	انظر المُرفَق رقم:					
13	متانة البنية التي ينصب عليها الهوائي	□ كافية (تُقدّم مع حساب متانة البنية)						
		□ حساب متانة البنية مطلوب						
14	قاعة تجهيزات الاستقبال	□ موجودة	انظر المُرفَق رقم:					
		□ لا يوجد	القاعة المقترحة					
			الملاحظات					
15	متانة البنية التي يُنصَب عليها المستقبِل	□ كافية (تُقدّم مع حساب متانة البنية)						
		□ حساب متانة البنية مطلوب						
16	التزويد بطاقة التيار المتناوب	□ متوفر						
		□ غير متوفر	□ مصدر طاقة بديل متيسِّر					
			□ لا مصدر طاقة متيسِّر					

17	وسائط اتصالات البيانات	□ متوفرة	التصنيف:	
			مسار الكبل:	انظر المرفق رقم
		□ غير متوفرة	التغيير:	
18	المعَدّات المطلوبة للتركيب	نظام الهوائيات		
		نظام المستقبلات		
		ما يُستبعَد من التركيب		
		نظام التأريض		
		ارتفاع العوائق		
		نظام الحماية من الصواعق		
		متطلّبات خاصة إن وجدت		
19	الوصول إلى الموقع	مركبة	□ نعم	□ لا
		مركبة ثقيلة	□ نعم	□ لا
		موقف سيارات		
20	أشغال الأساس		□ نعم	□ لا
21	بيئة العمل	ساعات العمل	□ بلا تقييد	
			□ خاضعة لقيود	
		معدات النقل	□ بلا تقييد	
			□ خاضعة لقيود	
		الضوضاء	□ بلا تقييد	
			□ خاضعة لقيود	
		الإضاءة	□ غير مطلوبة	
			□ مطلوبة	
		مستودَع للمعَدّات	□ غير متيسرٍّ	
			□ متيسرٍّ	
		فضاء عمل	□ غير متيسرٍّ	
			□ متيسرٍّ	
		ظروف خاصة		
22	متطلّبات المالك الخاصة	بخصوص التركيب		
		بخصوص أعمال التركيب		

الملحـــق 2

بالقسم 6.2

تقرير التقييم الشامل

قام بإعداده:	التاريخ: / /
اسم الموقع	
الرقم المرجعي في القائمة المرجعية الخاصة بدراسة الموقع	
نتيجة التقييم	□ جيد □ جيد بشروط □ أُلغي
خلفية التقييم	□ أُلغي الإنشاء بسبب رفض المالك
	□ الموقع غير مناسب، للأسباب التالية:
	□ غير ذلك
ملاحظات	

7.2 الصيانة والمعايرة والتصليح

يقترح هذا القسم طرائق لتحسين جاهزية محطة المراقبة وتيسّرها (ونظام المراقبة بمجمله)، ويتناول بالبحث أنشطة الدعم المطلوبة والأدوات اللازمة لتشغيل نظام المراقبة تشغيلاً موثوقاً إلى أمد طويل. وجدير بالذكر أن محطة مراقبة حديثة يتحكم بها حاسوب ومبنية على تجهيزات رقمية، ولا سيما المستقبلات الرقمية، هي في الواقع وحدة موثوقة، أقل بكثير تعرّضاً لمشكلات الحيدان وعدم الدقة في القياس من نظيراتها التي كانت مألوفة في تجهيزات المراقبة من الجيل السابق.

ويستند التحقق من قابلية تشغيل المحطة وكذلك تحسينها إلى ما يلي:

- إجراء دوري لاختبار أوتوماتي مبيّت على يد مشغِّل من أجل الكشف عن الأعطاب في عناصر المحطة.
- القيام بصورة منتظمة، على فواصل زمنية محددة (شهرياً وسنوياً، مثلاً)، باختبارات صيانة وأنشطة صيانة للتحقق من إمكانية تشغيل المحطة إلى أمد طويل وتحسينها.
- يمكن أن تُعتبَر المعايرة، إن لزمت، نشاطاً محدداً من أنشطة التصليح.
- التصليح – حين يُكتَشَف عطب ينبغي تصليحه.

في نهاية هذا القسم يتناول البحث مسائل أخرى هامة مثل: مخزون قطع التبديل الذي ينبغي أن يظل متيسِّراً لدى الإدارة من أجل السرعة في تصليح الأعطال وصيانة البرمجيّات وإدارة صيانة النظام.

1.7.2 اعتبارات عامة

تتوقف المعلومات المتعلقة بدقة القياسات على معرفة جوانب عدم يقين القياس في الطرائق المطبَّقة. إذ إن دقة القياس المطلوبة مبنية على معايير وطنية ودولية و/أو معايير تضعها الإدارات المسؤولة. لكن تجهيزات القياس تتعرّض أثناء استعمالها لعدد من العوامل التي تؤثّر على معلماتها التقنية المحددة، فتغيّرها على مر الزمن. ولذا فإنه من الضروري جداً أن يُجرى بصورة منتظمة فحص لتجهيزات القياس وصيانتها ومعايرتها. وإذا لم تُجرَ لهذه التجهيزات صيانة منتظمة، تزداد احتمالات وجود قياسات

مغلوطة وحدوث الانقطاعات. فإذا وقعت القيم المقيْسة خارج مجال التفاوت المسموح به، وجَبَ سحب الجهاز من الخدمة فوراً وتصليحه.

وعند وضع أحد التجهيزات في الخدمة، ينبغي أن يُنشأ له على الفور ملف يحتوي كل الأوراق المتعلِّقة بشرائه وضمانته وصيانته ومعايرته وتصليحه. وينبغي الربط بين هذا الملف والتجهيز المعني به بواسطة رمز مرجعي وحيد مثل رقم التسلسل أو رقم الجرد. وينبغي أن تُحفظ في الملفات جميع التسجيلات والمعايرات المتعلقة بكل تجهيز من التجهيزات، لكي يتكون تاريخ له. وينبغي أن تُعلَّق بكل تجهيز بطاقة تحمل بوضوح مرجعه الوحيد وتاريخ معايرته ورقم شهادة المعايرة وموعد المعايرة التالية.

وضماناً لجودة تجهيز القياس وامتثاله لمتطلبات الدقة، يُقترَح إقامة نظام متعدد المراحل يشتمل على عمليات التحقق التالية:

- اختبار أساسي لوظائفه قبل وبعد كل عملية قياس؛
- اختبار معمَّق لوظائفه على فترات منتظمة؛
- صيانته على فترات منتظمة على يد موظفين مدرَّبين؛
- معايرته أيضاً على فترات منتظمة.

ومن الأمور الضرورية لصلاحية نظام الجودة هذا وضع جداول بمواعيد وفترات الاختبارات لكل مرحلة بمفردها. وتُضمَّن هذه الجداول تفاصيل بيانات تجهيز القياس ومعلماته التقنية المطلوب اختبارها، مع بيان قيمها الاسمية والحدود المسموح بها، وقائمة مرجعية تشتمل على التعليمات اللازمة بشأن تنفيذ الاختبارات. ويشكل جدول مواعيد الاختبارات وتعليمات التنفيذ هذه، مع قائمة مكوِّنات أنظمة القياس والتقارير عن الاختبارات، جزءاً من دليل الاختبار الخاص بكل جهاز أو نظام قياس. ويجب أن يُذكر بوضوح تاريخ الاختبار واسم القائم به.

ولأغراض ضمان الجودة، ينبغي أن يُعيَّن أحد الموظفين مسؤولاً عن الجودة تشتمل مهامه بوجه خاص على ما يلي:

- الحفاظ على دليل تحدد فيه إجراءات الصيانة والمعايرة؛
- السهر على إعداد جداول الاختبارات والصيانة لكل من تجهيزات القياس وإتاحتها في الوقت المناسب؛
- مراقبة الامتثال للمواعيد النهائية لأنشطة الاختبار والصيانة والمعايرة.

2.7.2 الاختبارات الوظيفية

1.2.7.2 اعتبارات أساسية

يرتبط الاختبار الوظيفي الأساسي مباشرة بكل مهمة قياس محددة، ويُجريه الموظفون الذين ينفّذون القياس في بداية ونهاية كل عملية أو سلسلة عمليات قياس. وفي هذا الاختبار الأساسي، يقتصر التحقق على المعلمات التقنية ذات الصلة بمهمة القياس. مثلاً، قبل قياس شدة مجال ما، يجب التحقق من صلاحية وظيفة الجهاز المستعمل لكشف القيم المَقيسة وعرضها، وذلك بخصوص التردد المطلوب قياسه. وتشكل الوثائق ذات الصلة بالاختبار الوظيفي جزءاً من التقرير عن القياس (انظر الفقرة 5.2.2).

2.2.7.2 مَقدِرة الاختبار المبيّت

يستعان بمقدرة الاختبار الأوتوماتي المبيّت القائمة على موارد النظام في التحقق من تشغيل المحطة تشغيلاً صحيحاً. وهذا الاختبار المبيّت عنصر مركزي من حيث ضمان قابلية تشغيل المحطة.

وهناك ثلاث طرائق ممكنة لتفعيل الاختبار المبيّت، وهي:

- إجراء الاختبار الأوتوماتي المبيّت عند وصل الجهاز بتيار التغذية.
- إجراؤه دورياً – كل عدة ساعات، كل 24 ساعة مثلاً.
- إجراؤه بمبادرة من المشغِّل (بما في ذلك إمكان تفعيله بالتحكم عن بعد).

وتتيسر نتائج الاختبار الأوتوماتي المبيّت (المجرى أوتوماتياً أو بمبادرة المشغِّل) للمشغِّل محلياً أو عن بعد في محطة التحكّم.

3.7.2 الاختبارات الوظيفية المعززة

يُنفّذ الاختبار الوظيفي المعزز على فترات محددة وعلى يد الموظفين المختصّين بالقياس. فهو لا يرتبط بمهمة قياس معيّنة. وتتراوح الفترة النمطية الفاصلة بين اختبارين من شهر إلى ثلاثة أشهر. وهنا أيضاً تتمثل القاعدة للاختبار الوظيفي المعزز في جدول يشتمل على تفاصيل القيم الاسمية والتفاوت المسموح به، وعلى التعليمات المناسبة لتنفيذ الاختبار نفسه. وخلافاً للاختبار البسيط، يشمل الاختبار المعزز جميع الوظائف المنتظر أداؤها من تجهيزات أو نظام القياس.

وينبغي قدر الإمكان جمع عدة أجهزة قياس بحيث تشكل نظاماً ثم تُختَبر معاً. وهكذا يمكن أن تشمل عملية الاختبار المعزز تجهيزات موقع بكامله أو تجهيزات مركبة مراقبة بكاملها. ويجب توثيق عمليات التحقق في تقرير عن الاختبار يتضمّن بالتفصيل القيمة الاسمية والتفاوت المسموح به والقيم المَقيْسة (الفعلية) لكل معلمة مطلوب اختبارها.

4.7.2 الصيانة المجَدْولة

تتولى الإدارة التقنية الداعمة لخدمة المراقبة عادة مهمة صيانة تجهيزات القياس. ومن الناحية العملية، تُجرى هذه الأنشطة في ورشة متخصصة وليس في موقع الاختبار ولا في المركبة.

ويختلف عمل الصيانة عن الاختبارات الوظيفية بأنه أعمق وأشمل. ويطابق محتوى جدول الصيانة عادة مواصفات تجهيزات القياس التي وضعها المصنّع.

ويحتاج الأمر إلى جدول صيانة لكل جهاز أو نظام قياس، يبيّن المعلمات التقنية الواجب التحقق منها مع قيمها الاسمية والتفاوت المسموح به، وكذلك التعليمات الواجب العمل بها في الصيانة والفترات الفاصلة. ويوثَّق عمل الصيانة المنفَّذ في تقرير خاص به.

وتتكون أنشطة الصيانة المجَدْوَلة من اختبارات يدوية أعمق مما في الاختبار المبيّت، تُستعمَل فيها تجهيزات اختبار خارجية وأنشطة ميكانيكية للحفاظ على التجهيزات (مثل تشحيم العناصر المتحركة وتنظيفها وحمايتها من الغبار والرطوبة وحمايتها من عوامل التآكل والحت).

وتُنفّذ أنشطة الصيانة عادة طبقاً لتعليمات المصنّع، على يد المصنّع نفسه أو وكيله المحلي المخوّل أداء الدعم بموجب اتفاق شامل للصيانة والدعم.

5.7.2 المعايرة

من الضروري معاودة معايرة تجهيزات القياس على فترات منتظمة، وذلك لضمان استمرار الدقة المطلقة في المعلمات التقنية للهوائيات والتجهيزات طبقاً لمواصفاتها. وذلك لأن التجهيزات المعايرة تضمن وقوع القيمة المقيسة ضمن مجال عدم اليقين المحدد لقياس القيمة الفعلية. ويمكن تعريف عدم يقين القياس مؤقتاً بأنه ذلك الجزء من التعبير عن جودة نتيجة القياس الذي يبين مدى تراوح القيم المقدر أن تقع ضمنه القيمة الحقيقية. وينبغي أن تقترن حدود هذا المدى بنسبة احتمال معيّنة. مثلاً، يمكن التعبير عن نتيجة قياس شدة مجال بالصيغة 30 dB(μV/m) ± 2,5 dB (بنسبة موثوقية قدرها 95%)، ما يعني أنه يمكن الوثوق بنسبة 95% من أن القيمة الحقيقية لشدة المجال تقع بين 27,5 و32,5 dB(μV/m).

وخلافاً للاختبارات الوظيفية والصيانة، تتبَّع عملية المعايرة المعْلَمات التقنية مثل سوية التردد والإشارة، بدقة مطلقة محددة وفقاً لمعايير وطنية أو دولية عبر سلسلة متواصلة من المقارنات.

ولا يجوز استعمال المعايير المرجعية إلا في المعايرة. ومن المفضَّل أن تقوم بالمعايرة سلطات المعايرة الوطنية أو الدولية أو المنظمات التابعة لها. وإذا تعذر هذا الأمر، يجب على المختبَر المنوط به إجراء المعايرة أن يبين كتابةً الإجراءاتِ التي اعتمدها لتحقيق التتبع. ويجب تطبيق إجراءات رياضية/فيزيائية معترَف بها على المعايير التي لا يمكن تتبعها مباشرة إلى معاييرها الوطنية أو الدولية. والتتبع ممكن نظراً لوجود علاقة ثابتة بين كل معيار داخل تراتب المعايرة والمعيار الوطني. ويقارن كل معيار عملي

دورياً مع المعيار المرجعي المندرج في نفس السوية، ويقارَن هذا بدوره مع المعيار المندرج في سوية أعلى من سويّته مباشرة. وهذا يؤدي إلى سلسلة معايرة متواصلة ذات فائدة حاسمة.

وتستعمل محطات المراقبة عدداً كبيراً نسبياً من التجهيزات المتخصصة لكي تضطلع بمختلف مهام القياس. والمعلمات الأكثر تواتراً قياسها هي معلمات التردد وشدة المجال، ويتم قياسها باستعمال الهوائيات والمستقبلات ومحللات الطيف. ومن ثَمّ ينبغي التركيز أيضاً على معايرة التردد وسوية الإشارة وكسب الهوائي. وحيثما كانت لهذه القيم أهمية قانونية وجَبَ إجراء القياسات حصراً بواسطة هوائيات ومستقبلات ومحللات طيف تمّت معايرتها. ولكن هنالك بالمقابل قياسات تُجرى بواسطة تجهيزات لم تتم معايرتها. وبناء عليه، من الضروري تحديد أي تجهيز يجب معايرته في المقام الأول.

ولا يمكن في كل الحالات معايرة تجهيزات القياس. وهذا ينطبق بوجه خاص على عدد كبير من الهوائيات. ولذا فإن من بالغ الأهمية في هذه الحالات تسجيل القيم المرجعية عند البدء في تشغيل تجهيزات القياس، باعتبار أن عدم يقين القياس يكون وقتئذٍ في أخفض درجاته ومن ثم يمكن اتّخاذه مرجعاً في الاختبارات الوظيفية وأعمال الصيانة.

ولا يمكن معايرة أنظمة تحديد الاتجاه في المختبر. إلا أنه، حفاظاً على انتظام دقة محدد الاتجاه، ينبغي تسجيل زوايا اتجاهات مرسِلات معروفة وهي تبث في نطاقات تردد مختلفة. ومن ثم فإن أي انحرافات كبيرة عن النتائج السابقة تكون دليلاً على عيوب ممكنة.

وفي حالة أنظمة القياس، كثيراً ما يقتصر الإمكان على معايرة مكوِّنات بمفردها، مثل المستقبلات. ولذا يجب، عند تقييم عدم يقين القياس، أن يؤخذ في الحسبان أيضاً الأخطاء الممكن أن تنجم عن مكوِّنات أخرى في تشكيلة القياس، مثل الهوائيات وأنظمة تغذيتها.

ويتعين توثيق كل عملية معايرة في تقرير عنها مفصَّل يصاحب كل تجهيز من التجهيزات. ويحتوي تقرير المعايرة على توثيق كامل عن القياسات المجراة، بما فيها القيم المقيسة. ولذا يجب في كل تجهيز بعينه أن يوسَم على نحو موثوق برمز أو بطاقة أو غير ذلك يدل على حالة معايرته. وتُدرَج تقارير المعايرة في ملف كل تجهيز حين يوضع من جديد في الخدمة.

وليس من الممكن تحديد فاصل زمني قياسي لعمليات المعايرة. ومن الشائع أن تكون مدة الفاصل سنة. ولكن ليس هنالك من فترة مطبقة عموماً. بل ينبغي اختيار الفاصل الزمني بين عمليات المعايرة من وجهة نظر تقنية، بتقييم الخصائص المتغيِّرة في تجهيزات القياس.

وتتطلب عملية المعايرة استخدام قدر لا بأس به من التجهيزات التقنية. ولا يمكن توفير هذه التجهيزات عموماً في إطار ورشة عادية داخل محطة مراقبة. إذ لا يمكن تبرير تكاليف إنشاء مختبر معايرة والحفاظ عليه على مستوى السلطة الإدارية إلا في المنظمات الكبيرة، بحكم أن لديها أعداداً كبيرة من التجهيزات التي تتيح الاستفادة الكاملة باستمرار من مقدرة مختبر المعايرة.

ففي حالات كثيرة يكون من الأرشد اقتصادياً أن يُعهد بمعايرة التجهيزات إما إلى المصنّع وإما إلى مختبَر معايرة خارجي. وهكذا تُلغى الحاجة إلى رصد موارد من أجل ما يلزم للمختبَر من المباني والتجهيزات والموظفين المؤهَّلين.

ثم إن بعض مصنّعي تجهيزات مراقبة الطيف، الذين يسوّقون ويبيعون منتجاتهم في مختلف أنحاء العالم، يشغِّلون أيضاً مراكز إقليمية لخدمة الزبائن ومساندتهم في مواقع مختلفة حول العالم. وهذه المراكز مزوَّدة، بين جملة أشياء، بأجهزة ومعايير للمعايرة قابلة للحمل. ولديها فريق من المختصين لفحص ومعايرة تجهيزات المراقبة الراديوية على فترات منتظمة. وأما مسائل المعايرة المتعلقة بأنظمة معيّنة (مثل محددات الاتجاه الراديوية) فإنها تُبحث بمزيد من التفصيل في أقسام أخرى من الكتيب مخصصة لهذه الأنظمة.

6.7.2 التصليحات

لا يمكن الحيلولة دون توقف تجهيزات القياس عن العمل بسبب عيوب تقنية أو بسبب الانحراف عن التفاوت المسموح به. فضماناً لتشغيل أجهزة القياس تشغيلاً سلساً، يتعين تنظيم خدمة تصليح تتمكن من التصرف بسرعة وتوفّر البدائل. ولذا يشكل الموظفون التقنيون المسؤولون عن تركيب التجهيزات وصيانتها جزءاً حيوياً من كل خدمة مراقبة. فمن مهامهم أيضاً

بناء أجهزة ثانوية إلكترونية أو ميكانيكية وتحديد مواضع الأعطال. ومن شأن إنشاء ورشة داخلية أن يضمن تقصير الطرق وتسريع مهل الاستجابة وأن يقلل إلى حد كبير الحاجة إلى تخزين الكثير من قطع التبديل.

غير أنه ليس من المجدي لمحطات المراقبة الصغيرة أن تُنشئ ورشة خاصة بها تضم كامل مرافق التصليح. وفي هذه الحالة، من الأفضل والأجدى اقتصادياً التعويل على بدائل أخرى، مثل إقامة ورشة مركزية تخدم عدة محطات مراقبة صغيرة، والتعاقد مع المصنّعين[1] أو مع متخصصين مخوَّلين. ويعني وجود خدمات تصليح مركزية وخارجية عموماً ضرورة تخزين مزيد من قطع التبديل لضمان سلاسة سير العمليات.

الملاحظة 1 – في بعض المناسبات، وإضافة إلى التصليحات، يتكفل بعض مورِّدي التجهيزات بصيانتها أيضاً.

7.7.2 قطع التبديل

ضماناً لاستمرار تشغيل محطات المراقبة، يُرتأى اقتناء مخزون من قطع التبديل الأساسية التي يوصي بها مصنّعو التجهيزات. ولكن ليس من المستصوب، لاعتبارات التكلفة وعمر صلاحية قطع التبديل، أن تحتفظ الإدارات الصغيرة بمخزون كامل من قطع التبديل.

8.7.2 صيانة البرمجيات

يستدعي تعديل البرمجيات وتصليح رزمة معقَّدة منها، حسبما يحتاجه تنفيذ نظام لمراقبة الطيف، دعماً مهنياً، ومن ثَمّ يوصى باستعمال خدمة صيانة البرمجيات التي يوفّرها مورِّد/مصنِّع النظام.

كذلك ينبغي دعم إدارة النظام، وعلى وجه الخصوص تشكيل وتغيير مختلف معلمات التشغيل وإدارة البيانات المحفوظة (كنتائج عمليات القياس مثلاً)، محلياً على يد موظفي إدارة تكنولوجيا المعلومات، أو من جانب وكيل دعم محلي مخوَّل تابع لمورّد/مصنّع النظام.

إدارة صيانة النظام

يوصى بتتبع أنشطة الصيانة بإنشاء سجل مخصص للمعلومات ذات الصلة.

ويمكن أن يشتمل سجل الصيانة على ما يلي:

- حالة قطع التبديل (جاهزة في المستودع أو معطوبة قيد التصليح).
- متابعة وتسجيل أنشطة الصيانة المجدولة.
- تقارير كشف الأعطال ومتابعة تدابير التصحيح (للعتاد وللبرمجيات).
- ملف تاريخ لكل من التجهيزات تحفظه الإدارة ويتضمن أنشطة الصيانة والتصليح ذات الصلة. وتمكّن البيانات التي يحتويها هذا الملف من إجراء دراسة إحصائية عن تشغيل التجهيزات واعتماديتها.

ويمكن القول على وجه التقريب إن إجمالي تكاليف الصيانة السنوية (من قطع تبديل وتصليحات وصيانة مجدولة) مع الدعم اللازم لنظام المراقبة يقع في حدود 10% من تكاليف إقامة هذا النظام.

8.2 الموظفون

1.8.2 اعتبارات عامة

على الرغم من إمكان أتمتة القياسات بفضل المعالِجات الإلكترونية، تبقى أهم الموارد – وأثقلها تكلفة في العديد من البلدان – الموارد البشرية من الموظفين. ولذا يلزم التخطيط بعناية لضمان استمرار تيسّر عدد واف من الموظفين المؤهلين حق التأهيل.

ويتوقف عدد الموظفين والمؤهلات المطلوبة على عوامل مختلفة، منها مهام خدمة المراقبة، ودرجة أتمتة المرافق التقنية، وعدد المواقع والمركبات.

وينبغي أن تشتمل البنية العمرية لجماعة الموظفين على موظفين أكبر سناً ذوي خبرة طويلة في ميدان الاتصالات الراديوية وموظفين أصغر سناً ذوي معرفة بأحدث تقنيات تكنولوجيا المعلومات. لأنه إذا اقتصر التوظيف على الأكبر سناً من العاملين ذوي الخبرة الطويلة يُخشى على خدمة المراقبة من أن تفقد رصيدها من الخبرة في غضون فترة قصيرة بحكم مغادرة الخدمة في سن التقاعد. وكذلك ليس من الأرشد الاقتصار في التوظيف على العاملين الشباب ذوي المعرفة بأحدث تقنيات تكنولوجيا المعلومات ولكن دون خبرة في ميدان الاتصالات الراديوية وانتشار الموجات. وبالإضافة إلى ذلك، من شأن بنية عمرية مختلطة أن توفر مزايا إتاحة فرص الترقية أمام الموظفين.

2.8.2 فئات الموظفين

يمكن توزيع موظفي خدمة المراقبة على الفئات التالية:

- الإدارة؛
- المشغّلون؛
- الخدمة التقنية/ الصيانة؛
- موظفو المكاتب.

1.2.8.2 الإدارة

تضم فئة الموظفين المكلفين بمهام إدارية رؤساء محطة المراقبة والموظفين المسؤولين عن اتخاذ القرارات الأساسية بشأن تنظيم خدمة المراقبة ومرافقها. ويتعين أن يتوفر لدى الموظفين الإداريين مهارات في المجالات التالية:

- التنظيم والإجراءات داخل الإدارة؛
- الإجراءات التشغيلية والمعرفة التقنية في أمور محطات المراقبة وتجهيزاتها؛
- تكنولوجيا الترددات الراديوية؛
- العلاقات الاقتصادية؛
- القانون.

ويُفضَّل في اختيار رؤساء محطات المراقبة أن يكونوا قد عملوا في محطات مراقبة في وظائف مشغِّلين أو تقنيين.

2.2.8.2 المشغِّلون

يضطلع المشغِّلون بمهام المراقبة ويلزمهم الإلمام باللوائح الإدارية لخدمات الاتصالات الراديوية وبالتجهيزات التقنية كذلك. وبالنظر إلى تزايد استعمال الأنظمة المؤتمتة وبرمجيات المراقبة، يلزمهم أيضاً معرفة عملية بتكنولوجيا المعلومات. وعليه فإن كلتا فئتي المهندسين والتقنيين مؤهلتان على النحو المناسب للعمل كمشغِّلين، فيكتسبون معرفة متخصصة بقطاع الاتصالات الراديوية من خلال تدربهم في موقع العمل بصورة رئيسية.

3.2.8.2 الخدمة التقنية/الصيانة

يستطيع المشغِّلون المؤهلون التأهيل المناسب أن يؤدوا من حين لآخر مهام تقنية، كتركيب التجهيزات وصيانتها، في المحطات الصغيرة وفي المركبات. ولكن من الأجدى عملياً توفر خدمة منفصلة لكي يتفرغ المشغِّلون لمهامهم في المراقبة. وأما الموظفون المسؤولون فقط عن الصيانة فلا يلزم أن يكونوا على معرفة خاصة بفرادى خدمات الاتصالات الراديوية.

4.2.8.2 موظفو المكاتب

يجب في موظفي المكاتب أن يكونوا على إلمام بالبرمجيات المعيارية للحاسوب الشخصي، بما فيها برامج معالجة النصوص وبرامج الجداول الحسابية.

3.8.2 التدريب

1.3.8.2 مقدمة

لا يمكن توفير الجودة إلا بفضل موظفين مدرَّبين جيداً ومندفعين. فالتدريب إذن أساسي لإعداد الموظفين لأداء واجباتهم. فهو يوسّع معرفتهم ويستكمل مهاراتهم ويجدد رصيدهم من المعارف.

إن تكنولوجيا أنظمة الاتصالات الراديوية، وبالتالي تجهيزات مراقبة الطيف، تتطور بخطى سريعة. وبما أن المسائل الحاسمة هي أيضاً تتغير بسرعة، فقد بات من الضروري أيضاً مراعاة التغيرات التي تحصل في اللوائح الوطنية والدولية؛ إذ إن هذه التغيرات تؤثّر بقوة، بصورة مباشرة أو غير مباشرة، على أنشطة مراقبة الطيف. ومن ثَمّ يجب أن يُفهم التدريب على أنه عملية مستمرة مفتوحة.

1.2.3.8.2 تحديد المتطلبات وتخطيط الدورات التدريبية

يمكن تعريف متطلبات التدريب بأنها الفرق بين المؤهِّلات المنشودة والمؤهلات الفعلية التي يتمتع بها الموظفون. ولذا من المهم، قبل تحديد المتطلبات، إجراء تحديد واضح لمتطلبات مكان العمل، وتقييم موضوعي لمؤهلات الموظفين الفعلية، مع مراعاة المتطلبات المتوقعة مستقبلاً. وينبغي أن يتمكّن الرؤساء، في محادثات شخصية إفرادية مع الموظفين، من اكتشاف ما هي طلبات/رغبات التدريب الراهنة، وبناء على ذلك يقررون ما هي الاحتياجات. فالتدريب إنما هو مسألة إدارة.

ومن المهم، فيما يخص التخطيط، إبراز أوجه النقص وتحديد المعارف والمهارات المطلوب أن تجلبها الدورة التدريبية. ولا يمكن، بدون ذلك، تجنب "سياحة التدريب" وسوء الاستثمار وقلة الاندفاع.

ويتعيّن بعدئذ الإجابة عن الأسئلة التالية:

- ما هي أهداف الدورة التدريبية وما هو مضمونها، وما هي المعارف والمهارات المنشودة منها؟
- ما هي المؤهلات التي يمتلكها حالياً في هذا المجال المشاركون في الدورة؟ (هنالك بين الموظفين في مجال مراقبة الطيف طائفة شتى من الدرجات التعليمية).
- هل يراد بالدورة أن تنطلق من الصفر أم أن تعيد التدريب أم أن تجدد المعارف أم أن تؤدي إلى اكتساب مؤهِّل خاص؟
- هل المقصود أن تكنو دورة تقنية أم دورة في تكنولوجيا المعلومات أم في لغة أجنبية أم في شؤون إدارية أم في الإدارة؟
- هل تتوفر بين موظفي المنظمة الكفاءات اللازمة لإجراء الدورة أم ينبغي أن تضطلع بها شركات خاصة أو خبراء استشاريون أو مصنّعون؟
- ما هي الوسائط/المعينات التعليمية اللازم استعمالها (وثائق ورقية، برامج فيديوية، محاكيات، برمجيات تفاعلية، أو غير ذلك)؟
- هل المناهج والمواد التعليمية متوفرة للدورة؟
- ما هو العدد الأقصى من المشاركين لكي يكون التدريب فعالاً؟
- هل يلزم أن تقام الدورة في مكان معيّن؟

ومتى تمت الإجابة عن هذه الأسئلة أمكن البت فيما إذا كان المناسب أن تقام الدورة التدريبية داخل المؤسسة أم خارجها، وكم تكون مدتها، وما هو الجدول الزمني الواجب لها، ومن الذي يضطلع بتأليف مواد الدورة. إلا أنه كثيراً ما يتعذّر توفير تدريب على المستوى المطلوب، بسبب تقييدات الميزانية. ففي مثل هذه الحالة يجب وضع ترتيب للأولويات، يُلتمَس له توافق آراء كل المعنيين.

وحالما تستكمل عملية التخطيط، يُبلّغ المدرِّبون والمتدربون في وقت مناسب مبكر لكي يقوموا بالأعمال التحضيرية للدورة.

2.2.3.8.2 استعراض الدورة وتقييمها

إن استعراض الدورة وتقييمها مرحلة هامة جداً في عملية التدريب. وفي بعض الأحيان تُبخس هذه المرحلة حقها في التقدير. إذ إنه ينبغي بعد انتهاء الدورة التحقق مما إذا كانت الدورة قد نُفِّذت طبقا لما خطط لها وما إذا كانت حققت أهدافها. ولهذا الغرض ينبغي أن يملأ الذين شاركوا فيها استبياناً يقيِّمون فيه التدريب الذي تلقَّوه. ويمكن، على سبيل المثال، أن تُطرح عليهم الأسئلة التالية:

- هل ترى أن الدورة كانت مفيدة من أجل أنشطتك اليومية؟
- كيف تقيّم المادة التعليمية التي قُدِّمت في الدورة؟
- كيف تقدِّر المدربين؟
- كيف تقيِّم مضمون الدورة التقني/التخصصي؟
- هل كانت الدورة جيدة التنظيم؟
- ما رأيك في المكان؟
- كيف تقيّم مجمل الدورة؟
- لو كان عليك أن تُعِدّ الدورة وتجريها بنفسك، ما هي التحسينات التي تدخلها؟

ويمكن أيضاً أن يُطلب التقييم بعد حوالي ثلاثة أشهر، بسؤال المتدربين عما إذا تمكنوا من استعمال ما تعلموه، وما إذا نقلوا إلى زملائهم ما تعلموه أثناء الدورة، وما إذا كانوا يعتبرون أن الدورة حققت الهدف المنشود منها.

3.2.3.8.2 التدابير التصويبية

يُستفاد من المدخلات التي يسهم بها المشاركون ورؤساؤهم أيضاً في تخطيط دورات لاحقة. وهكذا تكتمل الدائرة.

3.3.8.2 طرائق التدريب وتنفيذه

ثمة إمكانيات مختلفة لتنفيذ التدريب. فبعض الإدارات تضطلع هي نفسها بالتدريب مستعملة ما لديها من مرافق وموظفين. ويفضل بعض آخر التعاقد مع شركات خاصة أو خبراء استشاريين أو مصنّعين لتأدية التدريب.

بيد أنه من الضروري، عدا حضور الدروس النظرية والعملية، بما فيها استعمال محاكِيات وبرامج تفاعلية، أن يقرأ الموظفون كتباً ومقالات ووثائق ويطلعون على أدلة قطاع الاتصالات الراديوية وتقاريره وتوصياته؛ ومن الأمور الهامة أيضاً أن يبادلوا زملاءهم، الوطنيين منهم والمنتمين إلى إدارات أخرى، المعلومات والخبرات.

ثم إن التدريب في مكان العمل، بوصفه جزءاً من مجمل استراتيجية التدريب، هو أنجع الأشكال وأكثرها استعمالاً لتدريب الموظفين الجدد. فهو طريقة هامة جداً في سبيل الحفاظ على الدراية التي تتمتع بها دائرة الخدمة. بيد أنه لا يكفي مجرد أن يعهد بالموظفين الجدد إلى زميل لهم ذي خبرة والاطمئنان إلى أن كل شيء سيسير على ما يرام. بل إنها مسؤولية المدير أن يخطط التدريب في مكان العمل وأن يراقب التقدم المحرز فيه.

4.3.8.2 المهارات المطلوبة من موظفي مراقبة الطيف

يترتب على دائرة المراقبة أن تضطلع بمجموعة كبيرة من الخدمات والأنظمة والإجراءات الإدارية. ويشتمل ذلك على ضرورة تحديث المعارف (كتقنية التشكيل الرقمي، مثلاً) والحفاظ على المعارف المكتسبة (مثل تقنية التشكيل التماثلي). وتختلف البلدان من حيث الأنظمة القانونية مثلاً والبنى الإدارية والأنظمة التعليمية وأنظمة إدارة الترددات. ثم إن المهارات المطلوب توفّرها في موظفي مراقبة الطيف تتوقف على مهامهم المحددة. ولذا لا يمكن توصيف منهاج مشترك جامع من أجل توفير المهارات المطلوبة.

ولهذا السبب فإن البنود المذكورة في الملحق 1، إنما هي بنود نظرية وعملية مقترح إدراجها في برامج التدريب والدورات المتعلقة مباشرة بموظفي مراقبة الطيف. ومن المفترض أن يكون عند هؤلاء الموظفين معرفة أساسية بالرياضيات والفيزياء واللغات، إلى جانب المقدرة على إجراء حسابات لوغاريتمية بسهولة.

5.3.8.2 المرافق المتيسّرة في العالم للتدريب على المراقبة الراديوية

يرتبط التدريب إلى حد كبير بنمط التجهيزات الفعلية، والذي قد يكون متخصصاً إلى حد بعيد. إلا أنه يجدر أن نذكر فيما يلي بعض المؤسسات والمرافق الصناعية التي تقدم تدريباً في مجال المراقبة الراديوية.

سعياً إلى ترويج وتطوير أنظمة المراقبة الراديوية، عرضت إدارات أستراليا وألمانيا وإيطاليا والبرتغال وفرنسا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية واليابان، في القرار ITU-R 23 (الملاحظة 1)، أن تستقبل مسؤولين في المراقبة عاملين لدى إدارات أخرى. وتعرض كوريا الجنوبية أيضاً أن تستقبل مسؤولي مراقبة عاملين لدى إدارات أخرى. ويمكن إجراء الاتصالات الأولية لترتيب مثل هذا التدريب لدى المكتب المركزي، كما جاء في المادة 16 من لوائح الراديو، وكما هو مبين في القائمة VIII (قائمة محطات المراقبة) التي ينشرها الاتحاد دورياً.

ويوفّر التدريب أيضاً مصنّعون مثل Rohde & Schwarz (ألمانيا) وTHALES (فرنسا) وTCI ، ضمن مجموعة SPX (الولايات المتحدة الأمريكية) وTadiran Electronic Systems (إسرائيل) وAgilent Technologies (الولايات المتحدة الأمريكية).

1.5.3.8.2 مرافق تدريبية في الولايات المتحدة الأمريكية

في الولايات المتحدة الأمريكية، ما زال معهد التدريب على الاتصالات في الولايات المتحدة (USTTI) يقدِّم فرص تدريب في مجال المراقبة الراديوية والأنشطة المتصلة بإدارة الطيف منذ عام 1983، بعد إنشائه أثناء مؤتمر المندوبين المفوضين الذي عقده الاتحاد في نيروبي، كينيا. وفي كل عام يقدم المعهد USTTI عدداً من الدورات المتعلقة بالمراقبة الراديوية وإدارة الطيف الراديوي والقياسات الراديوية، مثل:

- إدارة طيف الترددات الراديوية (كل ربيع).
- إدارة الطيف في القطاع المدني (كل ربيع).
- مراقبة وقياس الطيف الراديوي (كل ربيع).
- التطبيقات العملية لإدارة الطيف ومراقبة الطيف (كل ربيع).
- تقنيات وإجراءات مراقبة الطيف الراديوي (مرتين سنوياً، مرة كل ربيع ومرة كل صيف).
- تقنيات مختبرية في مساندة برامج ترخيص التجهيزات (كل خريف).

وعلاوة على هذه الفرص، كما يأتي وصفه أدناه، ترعى الشركات الأمريكية دورات المعهد USTTI في الاتصالات الراديوية اللاسلكية التي قد تحتوي عناصر من موضوع إدارة الطيف. وترد تفاصيل هذه الأنشطة في دليل الدورات الذي يصدره هذا المعهد كل سنة. والتدريب تحت رعاية المعهد USTTI مجاني من حيث رسوم التعليم.

دورة المعهد USTTI في إدارة طيف الترددات الراديوية: مدة هذه الدورة أسبوعان، وهي معَدّة لتدريب موظفين تقنيين في إدارة الطيف وتأهيلهم للاضطلاع بأنشطتهم اليومية، وعلى المدى البعيد بتطبيق أنظمة وتكنولوجيات جديدة.

دورة المعهد USTTI في إدارة الطيف في القطاع المدني: مدة هذه الدورة أسبوعان، وهي معَدّة لتزويد المديرين الوطنيين لطيف الاتصالات المدنية بالمعلومات والمواد التي تمكّنهم من اتخاذ قرارات بشأن الطيف منطقية ومبنية على الإجراءات التقنية الأساسية.

دورة المعهد USTTI في مراقبة وقياس الطيف الراديوي: مدة هذه الدورة أسبوع، وهي مصممة على وجه التحديد كتدريب مكمِّل للدورة المنصبّة على إدارة الطيف في القطاع المدني، والتي هي شرط مسبق للمشاركة في هذه الدورة. وهي معَدّة من أجل ذوي الاهتمام الخاص بتقنيات مراقبة وقياس الطيف الراديوي.

دورة المعهد USTTI في التطبيقات العملية لإدارة الطيف ومراقبة الطيف: تركز هذه الدورة التي تدوم مدة أسبوع واحد على التطبيقات العملية لتقنيات إدارة ومراقبة الطيف التي تمتثل لمعايير الاتحاد، بما في ذلك معالجة الرخص وأدوات التحليل الهندسي وتحديد الاتجاه بالراديو وقياس الإشارات. وتشدد هذه الدورة أيضاً على الكشف الأوتوماتي للمخالفات وعلى مزايا أخرى ناجمة عن استعمال نظام إدارة ومراقبة متكامل ومؤتمت. وتتناول الدورة أيضاً أهداف منظمة دولية لإدارة ومراقبة الطيف. ويمكن الحصول على مزيد من المعلومات عن هذه الدورة من الجهة الراعية لها، TCI، وهي شركة متخصصة ضمن مجموعة SPX.

دورة المعهد USTTI في تقنيات وإجراءات مراقبة الطيف الراديوي: توفّر هذه الدورة تدريباً أساسياً وعملياً في مجال إجراءات القياسات التقنية وتحديد الاتجاه بالراديو في استقبال البث المباشر بالترددات على مدى 30 MHz إلى 3 GHz. دورة المعهد USTTI في تقنيات مختبرية في مساندة برامج ترخيص التجهيزات: مدة هذه الدورة أسبوع، وهي معَدّة من أجل إعطاء المشاركين فيها تدريباً عملياً وإكسابهم خبرة في بيئة مختبر يعمل في مجال القياسات التقنية ومجال اختبار تجهيزات الاتصالات ومعايرتها.

2.5.3.8.2 برنامج التدريب الدولي في اليابان على مراقبة الطيف

لدى وزارة إدارة الشؤون العامة والداخلية والبريد والاتصالات (MPHPT) اليابانية برنامج تدريب دولي على مراقبة الطيف.

وفي كل سنة، تضطلع الوكالة اليابانية للتعاون الدولي (JICA)، بالتعاون مع الوزارة MPHPT، بتنفيذ برنامج التدريب الدولي هذا لصالح البلدان النامية. ويشرف على إدارة التنفيذ الهيئة اليابانية للمساعدة الإنمائية الرسمية (ODA). ويمكن الحصول على معلومات أكثر تفصيلاً لدى الوزارة MPHPT أو لدى الوكالة JICA.

3.5.3.8.2 برامج التدريب الدولي في كوريا على المراقبة الراديوية

تقدم الهيئة الكورية للاتصالات (KCC) برامج تدريبية دولية للبلدان النامية، تيسيراً لتطوير نظريات وتقنيات المراقبة الراديوية. وتقوم الوكالة الكورية للإنترنت والأمن (KISA) بتنظيم هذه البرامج. وتشتمل البرامج على مواضيع في مجال المراقبة الراديوية وإدارة الطيف. وقد خُطط هذا التدريب من أجل المسؤولين والتقنيين الحكوميين في البلدان النامية بصورة رئيسية.

برنامج الوكالة الكورية للإنترنت والأمن (KISA) للتدريب على المراقبة الراديوية

تتكون الدورة التي تتناول سياسة إدارة الموجات الراديوية من قسمين، سياسة إدارة الطيف وتكنولوجيات المراقبة. وقد صُمّمت من أجل التعريف بالتكنولوجيات الجديدة في مجال المراقبة الراديوية. ويدخل معظم المواضيع في نظريات وتقنيات الأنظمة الجديدة الخاصة بالترددات الراديوية، مثل النظام الذكي للمراقبة الراديوية في كوريا، ونظريات وأنظمة تحديد الاتجاه.

تقدّم الدورة المتعلقة بإدارة المراقبة الراديوية تعليماً وتدريباً في مجال تقنيات المراقبة الراديوية. فتعرِّف بالتكنولوجيات الجديدة المتعلقة بالترددات الراديوية وتستعرض مجمل تكنولوجيات المراقبة الراديوية وتتناول بالتفصيل قياسات الطيف الراديوي وتصف النزعات الحالية في تكنولوجيات المراقبة الراديوية. وتسهم هذه الدورة في تزويد الموارد البشرية بمعارف وتقنيات في مجال الترددات الراديوية. ويقوم المكتب المركزي للإدارة الراديوية (CRMO)، تحت إشراف الهيئة الكورية للاتصالات (KCC)، سعياً منه للنهوض بالتكنولوجيا المتقدمة في مجال المراقبة الراديوية، بتقديم الدعم لبرنامج التدريب في شكل محاضرات والتعريف بمرفق المراقبة الراديوية ومناقشة مسائل المراقبة الراديوية في الموقع.

تُنشر الجداول الزمنية للبرنامج وشروط تقديم طلبات المشاركين في موقع الويب (www.koalp.org) وتُبلّغ إلى الإدارات قبل تنظيم الدورة. والدورات المقترحة مجانية.

الملحـــق 1

بالقسم 8.2

جوانب من التدريب على مراقبة الطيف

جوانب تنظيمية وعامة

- الهيكل والوظائف والإجراءات المشتركة.
- هيكل ووظائف وإجراءات المنظمات الوطنية ذات الصلة بإدارة الترددات ومراقبتها (مثل هيئات الملاحة الجوية والملاحة البحرية والشرطة).
- هيكل ووظائف وإجراءات المنظمات الإقليمية والدولية.

الأطر التنظيمية

- القوانين السارية.
- القرارات والأوامر.
- الاتفاقات.
- اللوائح والمعايير.

إدارة الطيف

- جداول توزيع الطيف واللوائح الوطنية والإقليمية ولوائح الراديو التي وضعها الاتحاد.
- إجراءات تخصيص الترددات ومنح التراخيص.
- تعيين الإرسالات.
- القائمة الدولية للترددات.
- الرموز الدليلية للنداءات.
- مفهوم إعادة استخدام التردد.

النظرية الراديوية الأساسية

- الخدمات والأنظمة والتطبيقات الراديوية.
- انتشار الأمواج الكهرمغنطيسية، خسارة الانتشار في الفضاء الحر، تأثيرات الانتشار المتعدد المسيرات، حسابات ميزانية الوصلات.
- الهوائيات: النظرية، الأنماط والتقنيات في كل مدى للترددات، هوائيات من أجل محطات المراقبة.
- مرسِلات الترددات الراديوية بما فيها الإرسالات غير المطلوبة.
- المستقبِلات: مستقبِلات مراقبة الطيف، عامل الضوضاء ونسبة الإشارة إلى الضوضاء، درجة حرارة الضوضاء، الحساسية والحصانة، نقاط الاعتراض.
- تقنيات التشكيل، عرض النطاق الضروري.

- حسابات القدرة المُشَعّة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) والبرامج الحاسوبية التي تقارن السويات المَقيْسة بالسويات المحسوبة.
- تحويل فورييه وتحويل فورييه السريع (FFT).
- الترشيح والتدريع.

إجراءات القياس

- التردد، تخالف التردد، انحراف التردد.
- عرض النطاق المشغول، مجال البث الهامشي ومجال البث خارج النطاق.
- شدة المجال وكثافة تدفق القدرة (PFD).
- تحديد الاتجاه بالراديو، جودة التثليث المساحي.
- تعرّف هوية المحطات.
- انتقاء نقاط القياس.
- التسجيل، التحليل، فك التشفير.

جوانب عملية

- الإبلاغ وتقديم البيانات بما في ذلك إنتاج تقارير عن المخالفات والتداخلات الضارة، عملاً بأحكام لوائح الراديو.
- إجراءات تحديد مصادر التداخل التلفزيونية، مع التمييز ما بين جهاز تلفزيون معطوب أو جهاز مغلوط الموالفة، وتغذية بالطاقة لمضخم تالف، وتوصيل معطوب لكبل أو لهوائي، ومضخِّم للهوائي تالف أو في نقطة التشبّع، وتوجيه هوائي متعدد المسيرات، وإرسال بتشكيل الاتساع متداخل، وإرسال بتشكيل التردد متداخل، ووجود أجهزة صناعية أو علمية أو طبية في الجوار، والأجهزة القصيرة المدى، وأجهزة إلكترونية أخرى، وما إلى ذلك.
- إجراءات تحديد عناصر يمكن أن تكون السبب لتوليد ناتج تشكيل بيني، مثل تماس عاطل، أو غيره.
- إجراءات لمراقبة خدمات راديوية مختلفة.
- اختيار نقاط القياس من أجل محطات متنقلة للمراقبة.
- تعرّف تداخل الترددات الراديوية والحد منه؛ التدابير الرئيسية الواجب اتخاذها إزاء التداخل الضار.
- تعرّف الإشارات بالسماع.
- قياسات بصمات الأصابع.
- تعرّف أنظمة تمديد الطيف مثل تمديد الطيف بقفز التردد وتمديد الطيف بالتتابع المباشر.
- استعمال محللات الطيف.

الفصـــل 3

مراقبة التجهيزات وأتمتة عمليات المراقبة

الصفحة

1.3 مقدمة 104
1.1.3 اعتبارات عامة 104
2.1.3 تأثير بيئة التداخل 104
3.1.3 الواجهة بين الإنسان والآلة 106
1.3.1.3 مبادئ أساسية 106
2.3.1.3 الأعمال ونتائجها 107
3.3.1.3 متطلبات تحديد المشغلات والمعلومات المرتدة 107
4.3.1.3 السطح البيني الحاسوبي 108
2.3 هوائيات المراقبة والقياس 108
1.2.3 اعتبارات عامة 108
2.2.3 تشكيلات الهوائي المناسبة 108
1.2.2.3 مهام المراقبة المرتبطة بالهوائيات شاملة الاتجاهات 109
1.1.2.2.3 نطاقات التردد الميريامترية والكيلومترية والهكتومترية والديكامترية (VLF/LF/MF/HF) 109
2.1.2.2.3 نطاقا التردد المترية والديسيمترية (UHF/VHF) 110
3.1.2.2.3 نطاق الترددات السنتيمترية (SHF) 111
2.2.2.3 مهام المراقبة المرتبطة بالهوائيات الاتجاهية 111
1.2.2.2.3 نطاقات التردد الميريامترية والكيلومترية والديكامترية (VLF/LF/HF) 112
2.2.2.2.3 نطاقا التردد المترية والديسيمترية (VHF/UHF) 112
3.2.2.2.3 نطاقات التردد السنتيمترية (SHF) 113
3.2.2.3 ملخص انتقاء الهوائيات 113
3.2.3 هوائيات لنطاقات التردد الميريامترية والكيلومترية والهكتومترية والديكامترية (VLF وLF وMF وHF) 113
1.3.2.3 الأنماط شاملة الاتجاهات في نطاقات التردد الميريامترية والكيلومترية والهكتومترية (VLF وLF وMF) 113
2.3.2.3 اعتبارات عامة لهوائيات الترددات الديكامترية (HF) 117
3.3.2.3 أنماط هوائيات نطاق الترددات الديكامترية (HF) 117
4.2.3 هوائيات نطاقات التردد المترية والديسيمترية والسنتيمترية (VHF وUHF وSHF) 122
1.4.2.3 الأنماط شاملة الاتجاهات في نطاقي الترددات المترية والديسيمترية (VHF وUHF) 123
2.4.2.3 الأنماط الاتجاهية في نطاقات التردد المترية والديسيمترية (VHF وUHF) 126
3.4.2.3 هوائيات للترددات فوق 3 000 MHz 127

الصفحة

5.2.3 اختيار مواقع الهوائيات 131
6.2.3 هوائيات محطات المراقبة المتنقلة 135
7.2.3 هوائيات المحطات القابلة للنقل والقابلة للحمل 137
8.2.3 خطوط الإرسال وأنظمة التوزيع 140
1.8.2.3 خطوط الإرسال 140
2.8.2.3 أنظمة التوزيع 141
1.2.8.2.3 المبدأ 141
2.2.8.2.3 الأداء 144
3.3 مستقبلات المراقبة 146
1.3.3 اعتبارات عامة 146
2.3.3 المستقبلات التماثلية 146
4.3.3 مركبات الترددات للمستقبلات 150
5.3.3 المواصفات النمطية لمستقبلات المراقبة 150
4.3 تحديد الاتجاه 153
1.4.3 اعتبارات عامة 153
2.4.3 الهوائيات 154
3.4.3 التجهيزات 154
4.4.3 عدد المستقبلات 155
1.4.4.3 أنظمة القناة الواحدة 155
1.1.4.4.3 أنظمة DF البسيطة ذات القناة الواحدة 156
2.1.4.4.3 أنظمة DF بقناة واحدة ومقياس تداخل أو تعدد إرسال 156
2.4.4.3 أنظمة القنوات المتعددة (قناة مرجعية واحدة وقناة أو أكثر من قنوات الاعتيان المبدلة) 156
3.4.4.3 أنظمة القنوات N (N = عدد قنوات المستقبل = عدد الهوائيات) 157
5.4.3 معالجة زوايا السمت 157
6.4.3 المواصفات النمطية لأنظمة تحديد الاتجاه 158
5.3 التجهيزات الإضافية والمنفصلة 160
1.5.3 تجهيزات قياس التردد 160
1.1.5.3 اعتبارات عامة 160
2.1.5.3 معايير التردد 161
3.1.5.3 معايير الزمن والتردد الخاضعة للنظام العالمي لتحديد الموقع 161
2.5.3 سوية التردد الراديوي وتجهيزات قياس شدة المجال 161
3.5.3 تجهيزات تحليل الطيف وقياس عرض نطاق التردد 163
4.5.3 تجهيزات المراقبة الأوتوماتية لشغل الطيف 164

الصفحة

5.5.3 تجهيزات التسجيل 165
1.5.5.3 وسائط التسجيل..... 165
2.5.5.3 تجهيزات تسجيل النطاق العريض..... 167
1.2.5.5.3 بيانات التسجيل ونسقه 167
2.2.5.5.3 تسجيل البيانات الرقمية 167
3.2.5.5.3 عرض نطاق تجهيزات التسجيل 168
4.2.5.5.3 متطلبات أداء تجهيزات التسجيل 168
6.5.3 تجهيزات قياس التشكيل 168
7.5.3 تجهيزات تعرّف الهوية 169
6.3 أتمتة المراقبة 170
1.6.3 مقدمة 170
2.6.3 أتمتة عمليات المراقبة..... 171
1.2.6.3 مستويات الأتمتة 172
2.2.6.3 أتمتة المحطات..... 173
1.2.2.6.3 أساليب التشغيل النمطية لمحطة مؤتمتة..... 174
2.2.2.6.3 أمثلة للعروض المؤتمتة لعرض نطاق التردد الواسع 178
3.2.2.6.3 أمثلة تحليل النتائج المقيسة..... 180
4.2.2.6.3 التشغيل في الوقت الفعلي مع المسح السريع للطيف وتحديد الاتجاه آنياً وإنذارات المشغلين..... 181
5.2.2.6.3 مثال أتمتة التوجيه لتحديد الاتجاه 184
6.2.2.6.3 البحث المؤتمت عن مواقع مصادر البث الكهرمغنطيسية 185
7.2.2.6.3 التجسيد المرئي لمناطق تغطية محطات مراقبة الطيف في النطاقين VHF/UHF..... 186
3.6.3 شبكات المراقبة المحوسبة 188
1.3.6.3 مقدمة 188
2.3.6.3 الأنظمة الوطنية المحوسبة المتكاملة..... 189
1.2.3.6.3 تشغيل شبكة المحطات المؤتمتة..... 189
2.2.3.6.3 النفاذ عن بعد إلى موارد النظام..... 190
3.2.3.6.3 كشف المخالفات الأوتوماتي..... 190
4.2.3.6.3 مثال على بروتوكول نقل المراقبة الراديوية لتشغيل العديد من محطات المراقبة من محطة تحكم..... 191
3.3.6.3 مثال لنظام مؤتمت في نطاقات التردد HF/VHF/UHF 192
4.6.3 تجهيزات التقارير وبرمجياتها في الأنظمة المؤتمتة..... 194

1.3 مقدمة

1.1.3 اعتبارات عامة

ينبغي أن تكون التجهيزات المتاحة في محطة المراقبة الراديوية ملائمة لإجراء القياسات المطلوبة في هذه المحطة. وتستمد القياسات من المهام الموكلة إلى المحطة. وتعتمد هذه المهام بدورها على الغرض من المراقبة الراديوية وأهدافها داخل البلد على النحو المبين في الفقرتين 3.1 و3.2. وستحدد طبيعة القياسات وجودتها أنماط التجهيزات اللازمة.

ويجب أن تكون محطة المراقبة التي تشارك في نظام دولي للمراقبة قادرة على تنفيذ القياسات بدقة تتماشى مع المعايير التقنية لمحطات المراقبة المدرجة في توصيات قطاع الاتصالات الراديوية ذات الصلة. ويرد ذكر لهذه التوصيات، كلما أمكن، في الفقرات من 3.3 إلى 5.3. وينبغي للخصائص الأخرى للتجهيزات أن تفي بالحد الأدنى من المعايير الوارد ذكرها في الأجزاء ذات الصلة من الفقرات 3.3 إلى 5.3. وينبغي إيلاء عناية خاصة لتوفير الخطية الموصى بها بالنسبة لمستقبلات القياس والهوائيات النشطة على نحو ما جاء في الفقرة 2.1.3 وأن يُراعى تأثير البيئة، مثل المنشآت المعدنية المحيطة.

ويتكون الحد الأدنى من التجهيزات في محطة المراقبة من مستقبل ونظام هوائي لمدى التردد موضع الاهتمام. ويمكن لهوائي اتجاهي دوار أن يوفر معلومات تقريبية عن الاتجاه. ويحتاج الأمر أيضاً إلى إمكانية لقياس التردد الأساسي وشدة المجال، ويمكن توفير هذه الإمكانية باستعمال مستقبل وهوائي معايرين.

ويمكن بعد ذلك استكمال هذا النظام بإضافة متحكم في العملية لتوفير الأتمتة لبعض مهام القياس الأساسية وتجهيزات تحديد الاتجاه من أجل معلومات اتجاه السمت. وتستعمل غالبية محطات المراقبة الأتمتة لكي تغني مشغلي الأنظمة عن إجراء القياسات طويلة الأمد المستهلكة للوقت مثل إجراء قياسات شغل الطيف.

وتتكون أكثر أنظمة المراقبة تعقيداً من تراتب لمحطات مراقبة وطنية وإقليمية ونائية ومتنقلة يتم ربطها معاً شبكياً في الوقت الفعلي لتوفير تحكم متكامل في المحطات المتعددة من لوحة تشغيل واحدة. ويقوم هذا النمط من الأنظمة على الحاسوب والشبكة، باستعمال برمجيات معقدة تغني مشغلي الأنظمة عن القيام بالمهام الروتينية الرتيبة وتزيد كثيراً من سرعة القياسات. ويزيد هذا النمط كذلك من استغلال التجهيزات حيث يسمح بالقيام بمهام خلفية مثل البحث عن المرسلات غير المرخصة، بحيث تُنفذ هذه المهام أوتوماتياً عندما تكون التجهيزات غير مطلوبة لأغراض أخرى.

ويبين الشكل 1.3-1 مخططاً وظيفياً لمحطة مراقبة حديثة متكاملة بأقل عدد من التجهيزات. وتستعمل المحطة مستقبلات تغطي ترددات تتراوح من 9 kHz إلى 3 000 MHz أو أكثر لتوفير وظيفة قياس أساسية للتردد وشدة المجال وتحليل التشكيل وتحديد الاتجاه. وتسمح وحدة التحكم بإجراء قياسات مثل شغل الطيف مع مرور الوقت. والمحطة مزودة أيضاً بقاعدة بيانات تضم معلومات عن التراخيص ومعلومات تقنية أو سطح بيني مباشر مع قاعدة بيانات إدارة الطيف. وتضم قاعدة البيانات التقنية معلومات تقنية عن المحطات المرخصة ومعلماتها، وهو ما يتيح لمحطة متكاملة تحديد الترددات التي تعمل عليها مرسلات غير مدرجة في قاعدة البيانات ومن ثم يُفترض أنها غير مرخصة، وتحديد المرسلات التي لا تعمل في حدود معلماتها المرخصة.

وتجدر الإشارة إلى أن الدقة الإجمالية لأنظمة المراقبة الراديوية لا تتوقف على مواصفات المكونات الإفرادية مثل المستقبلات والهوائيات فحسب، بل هناك معلمات أخرى ذات صلة، مثل الخطية والحساسية ودقة السمت ودقة شدة المجال، يمكن أن تتأثر بأنماط وأطوال الكبلات الموصلة بين مكونات النظام فضلاً عن الظروف البيئية.

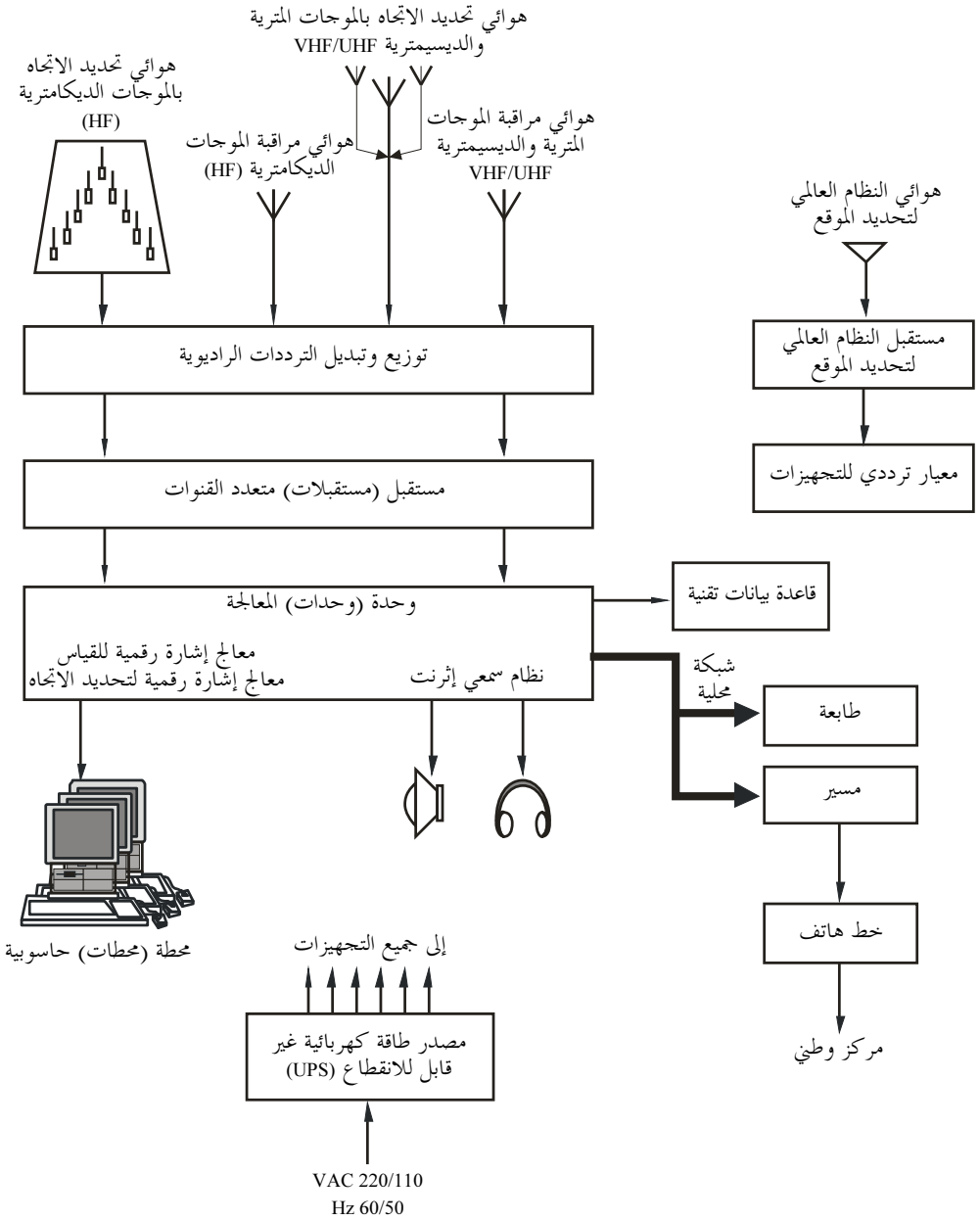
2.1.3 تأثير بيئة التداخل

ينبغي، من الناحية المثالية، إقامة محطات المراقبة في مواقع لا يحدث فيها تداخل في عملية المراقبة من مرسلات قريبة أو من خطوط الطاقة الكهربائية عالية الفلطية أو من وصلات الموجات الصغرية المارة بالموقع. وبعد اختيار الموقع، أو ما هو أهم من ذلك، بمجرد البدء بعمليات المراقبة، ينبغي حماية الموقع بسبل على غرار تخطيط الترددات.

ولما كان يصعب عادة الالتزام بالمبدأ المذكور، فإن هوائيات ومستقبلات محطات مراقبة الطيف تعمل عادة في ظروف تداخل أشد بكثير من تلك التي تتعرض لها هوائيات ومستقبلات الاتصالات العادية. أما التردد العامل والموقع وارتفاع الهوائي وسمْته وما إلى ذلك من معلمات خاصة بمستقبل خدمة ثابتة فيتم اختيارها على نحو خاص في مرحلة تخصيص التردد بحيث تتوفر الحماية الكافية للمستقبل المعني (من خلال توفير فصل ترددي وجغرافي مناسب بين المحطات الراديوية يقوم في الأساس على المعلمات المحددة للهوائي والمستقبل) من تأثيرات التداخلات الناجمة عن المرسلات أو الوصلات الراديوية الأخرى. ومن ثم يجب بذل أقصى جهد للحفاظ على هذه الحماية *إزاء* جميع تخصيصات التردد الجديدة.

الشكل 1.3-1

المخطط الوظيفي لمحطة مراقبة متكاملة



* يمكن توصيلها أيضاً بوحدة المعالجة مباشرة.

Spectrum-3.1-01

وينبغي، في الحالة المثلى، نصب هوائيات محطات مراقبة الطيف في موقع مرتفع محاط بفضاء مكشوف لضمان استقبال الإشارات من أكبر عدد ممكن من المرسلات المراقَبة ضمن منطقة خدمة واسعة وفي كل الاتجاهات. وكثيراً ما يصادف وجود محطات مراقبة في المدن بالقرب من مرسلات عالية القدرة – بما فيها تلك المستعمَلة للإذاعة الصوتية والتلفزيونية - وهي مرسلات ذات هوائيات مرتفعة، أو يصادف تركيب مثل هذه المرسلات ذات القدرة العالية على مقربة من محطات مراقبة قائمة. وفي مثل هذه الحالات، تكاد لا تسترعي مسألة الالتزام بمتطلبات الفصل الترددي والجغرافي أي اهتمام، رغم أنها سمة أساسية في تخطيط الترددات لمرافق الاتصالات الراديوية. ونتيجة لذلك، يتعين على هوائيات ومستقبلات محطات المراقبة عموماً أن تعمل في ظروف تداخل أشد وطأة بكثير من المرافق الراديوية الأخرى. ويفرض ذلك متطلبات خاصة من حيث المعلمات المميزة للحماية الأصيلة في المستقبلات والهوائيات النشطة من تأثيرات التداخل المحتمل.

فهذه المتطلبات تتعلق بمعلمات من قبيل انتقائية وخطّية المستقبِل (نقاط اعتراض من المرتبتين الثانية والثالثة)، والتردد المتوسط (IF) ونبذ تردد الصورة، والمدى الديناميِ للمستقبل وخطّيةَ (نقاط اعتراض من المرتبتين الثانية والثالثة) الهوائيات النشطة وحمايتها من التداخل (عتبة العطب). ويحدد ما ورد أعلاه، إلى حد كبير، قدرة تجهيزات محطة مراقبة الطيف ككل على أداء القياسات وتحديد الاتجاه (DF) في ظروف تداخل قاسية وخارجة عن السيطرة. فإذا تأثر الهوائي و/أو المستقبل بالتداخل نتيجة لعدم كفاية الحماية جراء عدم الالتزام بالمتطلبات المبينة في الفقرتين 2.3 و3.3، يمكن أن يصبح قياس معلمات معينة من بث المرسل (أو جميعها)، وكذلك عمليات تحديد الاتجاه، عرضة لأخطاء جسيمة؛ وبعبارة أخرى ستغدو البيانات غير موثوقة أو قد يتعذر الحصول عليها مطلقاً. ومن ثم، فإذا استعملت هوائيات ومستقبلات بخصائص غير وافية، فقد تُهدر المبالغ الضخمة التي أُنفقت على إقامة محطات وشبكات لمراقبة الطيف. ويظهر تأثير الإشارات المتداخلة في شكل تشكيل بيني و/أو سد. وتتطرق الفقرة 2.3.3 إلى آليات هاتين الظاهرتين.

وفي ضوء ما تقدم، يوصى بتجنب استعمال المستقبلات العادية التي لا تحقق كامل مجموعة المتطلبات المنصوص عليها في الفقرتين 2.3 و3.3.

كما أن نتائج القياسات وعمليات تحديد الاتجاه تتأثر بشدة بالهوائيات والمنشآت المعدنية المجاورة الأخرى؛ ويتم تناول هذا الموضوع في الفقرة 5.2.3.

3.1.3 الواجهة بين الإنسان والآلة

كثيراً ما يلزم التشغيل اليدوي للتجهيزات، بما فيها من مستقبلات وتجهيزات صيانة، وكذلك التشغيل التفاعلي للأنظمة لأداء مهام محطة المراقبة. وينبغي أيضاً الالتزام بمبادئ توجيهية معينة فيما يخص الواجهة بين الإنسان والآلة أثناء تشغيل الأنظمة المؤتمتة لمراقبة الطيف الوارد وصفها في الفقرة 6.3.

وترد إرشادات عامة في الوثيقة IEC 447/4.93: الواجهة بين الإنسان والآلة (MMI) - مبادئ التشغيل.

1.3.1.3 مبادئ أساسية

ينبغي تطبيق مبادئ التشغيل وتوزيع وتتابع المشغلات الميكانيكية بطريقة لا لبس فيها، لا سيما في محطات المراقبة حيث يتعين على المشغلين تنفيذ مهام متنوعة بتجهيزات من مصادر مختلفة. وينبغي أن تراعى السرعة المطلوبة والجوانب الخاصة بالعوامل الإرغونومية ومستوى الوقاية المطلوب للحيلولة دون التشغيل غير المقصود.

ويتعين أن يتسنى تحديد هذه المشغلات الميكانيكية دون لبس، على نحو لا يمكن معه تنفيذ أمر إلا عبر التشغيل المقصود لواحد منها (وهذا يحد من استعمال المشغلات مزدوجة الوظيفة)، وينبغي لطريقة الحوار المستعمَلة أن تراعى الجوانب الخاصة بالعوامل الإرغونومية ذات الصلة بالمهمة.

ويوصى بتطبيق الإجراءات التالية درءاً لأخطاء المشغلين:

- تحديد الأولويات بالنسبة للأوامر؛
- تبسيط تتابع تشغيل المشغلات (عن طريق الأتمتة مثلاً).

ويتعين تجميع المشغلات منطقياً وفق ارتباطها التشغيلي أو الوظيفي. ويمكن استعمال واحد أو أكثر من مبادئ التجميع التالية:

- بحسب الوظيفة أو العلاقة البينية؛
- بحسب تتابع الاستعمال؛
- بحسب وتيرة الاستعمال؛
- بحسب الأولوية.

2.3.1.3 الأعمال ونتائجها

ينبغي، قدر الإمكان، ربط العمل اللازم للمشغلات بالنتائج النهائية المطلوبة وفق التوجيه التشغيلي أو الموقع النسبي لهذه المشغلات. ويمكن تصنيف النتائج النهائية ضمن نتائج متزايدة ونتائج متناقصة.

وهناك أساساً طريقتان مختلفتان لأداء أعمال متضادة وذلك باستعمال:

- مشغل ميكانيكي واحد ذي اتجاهين للتشغيل (مثل المقود اليدوي أو زر التوليف)؛
- مجموعة من مشغلَيْن ميكانيكيين اثنين (زر ضاغط مثلاً) لكل منهما اتجاه تشغيلي واحد فقط.

ويفضّل بعض المشغلين استعمال أزرار التوليف، خاصة لضبط تردد مستقبِل وللتحكم بارتفاع الصوت. وبذلك يسهل تصحيح التردد أثناء الاستماع إلى الإشارة الصوتية مع ضبط ارتفاع الصوت في نفس الوقت. ويلزم فصل كاف بين الزرين من أجل التشغيل باليدين في وقت واحد.

3.3.1.3 متطلبات تحديد المشغلات والمعلومات المرتدة

سيساعد ما هو مرئي أو مسموع أو ملموس من معلومات مرتدة في تحسين التفاعل بين الإنسان والآلة. وينبغي أن يكون رد فعل/تأثير المشغل الآلي فورياً، لأن كل تأخير يمكن أن يؤدي إلى قيام المستعمل بأعمال خاطئة. ومن أمثلة ذلك:

- يمكن استعمال مسرى ثنائي باعث للضوء (LED) لبيان أن المبدل مثبَّت في وضع التشغيل (ويُستحسن أن يكون لون LED برتقالياً أو أخضر).
- ينبغي بيان أي تغيير في الضبط (مثل التردد أو عرض النطاق أو التوهين) فوراً في لوحة البيان.
- ينبغي أن تكون لوحات البيان سهلة القراءة في ضوء الشمس وفي غرفة معتمة على السواء.
- غالباً ما تكون المعلومات المرتدة المسموعة غير كافية، باستثناء تلك الصادرة عن مكبرات الصوت، لأنها يمكن أن تتداخل مع الإشارة السمعية.
- يُستحسن تركيب مكبر الصوت في اللوحة الأمامية للمستقبِل، لأن مقبس السماعة قد يجعله في وضع عدم التشغيل.
- تساعد لوحة بيان الطيف البانورامي في توليف الترددات والتوجيه عندما تخل مؤثرات التداخل بالاستقبال. وينبغي في الحالة المثلى أن تكون لوحة البيان من النمط العامل في الوقت الفعلي مع إمكانية التخزين الرقمي لضمان الحد الأقصى من المداومة. وعند إضافة الحد الأدنى من المداومة، يسهل اكتشاف الإشارات المتقطعة من بين الإرسالات المستمرة.
- عند توليف التردد بخطوات منفصلة باستعمال زر التوليف، ثبت أن من الأفضل وجود زر توليف بوسيلة قفل مغنطيسي تعطي إحساساً ملموساً بكل خطوة مع الحيلولة دون التوليف الخاطئ غير المقصود الناجم عن الاهتزازات مثلاً. ومن جهة أخرى، يتيح القفل المغنطيسي المقترن بحدّافة توليفاً سريعاً.

- ويُفترض بالمعالجة الرقمية لجزء المعلومات أن توفر تسارعاً يواكب تزايد سرعة التوليف. ويتيح تركيب يضم مجموعة من المفاتيح توليفاً شبه متواصل بواسطة زر التوليف، وتوليفاً من قناة إلى قناة، وذلك باستعمال تركيب مكون من مشغلين آليين على نحو ما ورد وصفه أعلاه.
- من المفيد حدوث رد فعل تماثلي مع التوليف اليدوي بواسطة مسطرة مدرجة ومقياس توليف مثلاً، ولا سيما في حال عدم تيسر لوحة بيان طيف ترددي بانورامي. إذ يساعد المقياس التماثلي مثلاً على توجيه الهوائي باتجاه الاستقبال الأقصى.

4.3.1.3 السطح البيني الحاسوبي

عوضاً عن تجهيز كل جهاز بالسطح البيني الخاص به للمستعمل، يمكن إنشاء سطح بيني للمستعمل باستعمال حواسيب وبرمجيات وتجهيزات يُتحكَّم بها عن بعد، وهو ما سيتم بحثه بالتفصيل في الفقرة 6.3. ويتيح هذا السطح البيني للمستعمل نفاذاً إلى وسائل التحكم في كل جهاز بطريقة مماثلة مقلصاً من تدريب المشغل. وتشمل أمثلة السطح البيني للمستعمل استعمال قوائم خيارات وصناديق حوار، أو تمثيلاً بيانياً من قبيل الأيقونات والرموز. وتتجلى قوة هذه التقنية بصورة خاصة عندما يتسنى لمشغل مهام عملية أن يكيّف التقنية حسب مهامه، مما يسمح بالمرونة في التعاطي مع المهمة وفي طرائق المعالجة.

2.3 هوائيات المراقبة والقياس

1.2.3 اعتبارات عامة

الغرض من هوائيات الاستقبال هو استخلاص أقصى قدر ممكن من الإشارة من البيئة، وتطبيق هذه الإشارة على دخل المستقبل، وفي الوقت نفسه الإقلال من التقاط الضوضاء والإشارات المتداخلة إلى أدنى حد. وتُعيَّن الخصائص المحددة لهوائي المراقبة إلى حد كبير وفقاً لحيثيات التطبيق. فعند اختيار هوائي مراقبة، يجب أن تؤخذ في الاعتبار عوامل مثل خواص الإشارة المرغوبة والمعلمات المزمع رصدها وخصائص الموقع الذي سيُنصب فيه الهوائي وأي تداخل يمكن أن يكون موجوداً.

وللحصول على النتائج الفضلى في الاستقبال، ينبغي أن يكون استقطاب الهوائيات مماثلاً لاستقطاب صدر موجة الإشارة الواردة، وأن توفر مواءمة معاوقة بين دارتي خط الإرسال ودخل المستقبل لضمان أقصى نقل للقدرة. وقد ثبتت فائدة مخططات الاستقبال شاملة الاتجاهات للمراقبة العامة أو لعمليات تحديد طيف التردد الراديوي. ولعل استعمال هوائي اتجاهي محبذ لرصد إشارة معينة على ترددات متقاسَمة، فهو إما يلغي واحدة أو أكثر من الإشارات المتداخلة، أو أنه يكبّر الإشارة المرغوبة إلى أقصى درجة. كما أن الوحدة المتنقلة تفيد في الفصل بين الترددات المتقاسَمة بالاقتراب من الهوائي الذي يشع الإشارة موضع الاهتمام. وفي بعض أنماط الرصد، من قبيل دراسات شدة المجال، لا بد من القدرة على التنبؤ بخصائص الهوائي المستعمَل بدقة من حيث الاستجابة الترددية، وعدم تغيّر هذه الخصائص مع مرور الوقت. وبوسع وحدة متنقلة ذات هوائيات تمت معايرتها أن توفر قياساً لمتوسط شدة المجال في منطقة ما. ونظراً لأن أي نمط واحد من الهوائيات لا يتمتع بجميع الخصائص اللازمة للاستقبال الكفء لجميع أنماط الإشارات، سيتطلب الأمر عموماً وجود عدد من الهوائيات المختلفة في محطات المراقبة.

وترد في الفقرات التالية أوصاف لأنماط متنوعة من الهوائيات لتطبيقات محددة، وهي مصنفة بحسب نطاق التردد.

2.2.3 تشكيلات الهوائي المناسبة

تساعد خصائص الموجات الكهرمغنطيسية، التي تشمل طول الموجة والرنين وانتشار الإشارة والضوضاء، في اختيار الهوائيات من حيث:

- الاتجاهية والكسب، وهما المعلمتان التقنيتان الرئيسيتان للهوائيات. ويمكن تقسيم الهوائيات إلى مجموعتين: الهوائيات شاملة الاتجاهات (حيث مخطط الإشعاع السمتي دائري بصورة أساسية) والهوائيات الاتجاهية. ويمكن استعمال الهوائيات شاملة الاتجاهات لمهام المراقبة العامة عندما يكون موقع المرسل مجهولاً (معدلات الإشغال، المسح)، فيما يمكن استعمال الهوائيات الاتجاهية لمهام محددة (قياسات تقنية) عند الحاجة لحساسية أفضل.

- النطاقات الترددية الميريامترية (VLF) أو الكيلومترية (LF) أو الديكامترية (HF) أو المترية (VHF) أو الديسيمترية (UHF) أو السنتيمترية (SHF).
- يمكن أخذ الحجم والوزن في الاعتبار عند اختيار هوائي، وذلك حسب نمط محطة المراقبة: ثابتة أو متنقلة أو قابلة للنقل أو قابلة للحمل.

1.2.2.3 مهام المراقبة المرتبطة بالهوائيات شاملة الاتجاهات

تُعتبر الهوائيات شاملة الاتجاهات مناسبة لمهام المراقبة التالية:

- البحث عن مرسل مجهول؛
- إشغال الطيف؛
- مسح النطاق أو الترددات؛
- تحديد الاتجاه؛
- المهام الأوتوماتية.

كما أن الهوائيات شاملة الاتجاهات مناسبة جداً لما يلي:

- القياسات التقنية (شدة المجال وعرض النطاق والتردد) عندما يكون عامل الهوائي معلوماً؛
- مراقبة مرسل متحرك؛
- تحديد وتحليل خدمات الشبكات المتنقلة أو الخلوية.

1.1.2.2.3 نطاقات التردد الميريامترية والكيلومترية والهكتومترية والديكامترية (VLF/LF/MF/HF)

طول الموجة في نطاقات التردد هذه كبير جداً، ولذلك ليس من العملي استخدام هوائيات تكون أبعادها في حدود ربع طول موجة مما يوفر الحساسية القصوى للهوائي. ويمكن استعمال هوائيات نشطة، ولكن خطيّتها أدنى بفعل التشكيل البيني.

المحطات الثابتة:

لتجهيزات المراقبة الراديوية الثابتة قيود أقل من حيث الأبعاد والوزن، ومن ثم يمكنها استعمال هوائيات ذات أداء أعلى. وينبغي تركيب محطات المراقبة الثابتة في مناطق ريفية بعيداً عن المدن وحيث تتوفر مساحات أرض كافية تتسع لجميع الهوائيات اللازمة.

وتتسم محطات المراقبة الثابتة في نطاقات التردد VLF/LF/MF/HF بأهمية بالغة في تحليل إشارة المسافة الطويلة وفي تحليل المرسل عالي القدرة، بما في ذلك المراقبة قرب الحدود أو في بلدان مترامية الأطراف، وتحديد الاتجاه، وموقع المحطة الواحدة (SSL)، حيث يمكن لمحطة واحدة أن تقيس زاوية الارتفاع والسمت وأن تستعمل المعلومات الأيونوسفيرية لتحديد موقع مرسل ما.

وتضم الهوائيات المناسبة شاملة الاتجاهات في هذه المحطات ما يلي:

- نظام هوائي يوفر استقبالاً شامل الاتجاهات باستقطاب رأسي عبر مدى ترددات الموجات القصيرة (من 2 إلى 30 MHz). ويمكن لهذا النظام أن يتكون من هوائي واحد كبير مثل الهوائي المخروطي المقلوب عريض النطاق، أو من العديد من الهوائيات من النمط أحادي القطب المخروطي التي تتراكب في الترددات، أو من هوائي نشط.
- نظام هوائي نشط شامل الاتجاهات واحد على الأقل يوفر استقطاباً رأسياً وأفقياً على السواء أو إمكانية استقبال شتى الاستقطابات ويغطي مدى الترد ما بين 9 kHz و30 MHz، ولا سيما في حال وجود قيود تتعلق بالمساحات المتيسرة و/أو قيود اقتصادية.

- صفيف هوائيات واحد بفتحة كبيرة طويل المدى لتحديد الاتجاه يمكن أن يتراوح طوله بين 50 متراً و300 متر، وذلك لتوفير الاتجاهات الزاوية. ويمكن للهوائيات أن تكون إما شاملة الاتجاهات أو اتجاهية. ويمكن لمحطات المراقبة الأخرى أن توفر اتجاهات زاوية إضافية بحيث يمكن تحديد موقع المرسل بواسطة طريقة التثليث. (يتراوح مدى التردد من بضع مئات kHz حتى قرابة 30 MHz).

المحطات المتنقلة:

حجم الهوائي هو القيد الأساسي على محطات المراقبة المتنقلة في نطاقات التردد VLF/LF/MF/HF. وتتيح هذه المحطات:

- نتائج القياس عند الاقتراب من المرسل. فمثلاً، في الحالة التي يتعذر فيها على محطة مراقبة ثابتة أداء قياس صحيح جراء انخفاض نسبة الإشارة إلى الضوضاء *(S/N)*، يمكن الاقتراب بمحطة مراقبة متنقلة من المرسل لزيادة هذه النسبة.
- خط اتجاه زاوي (LoB) إضافي يصاحب محطة مراقبة ثابتة لزيادة دقة الموقع.

ويقيد الحجم إلى حد كبير اختيار هذه الهوائيات:

- أحادية القطب قصيرة (هوائيات سوطية).
- ثنائية الأقطاب (مغذاة من المركز).
- ذات عرى مغنطيسية.
- هوائيات نشطة.

2.1.2.2.3 نطاقا التردد المترية والديسيمترية (UHF/VHF)

حجم الهوائي أقل تأثيراً في هذين النطاقين (إلا في نطاق الترددات المترية (VHF) المنخفض حيث لأبعاد الهوائي تأثير مباشر على الحساسية). وللهوائيات الثابتة والمتنقلة خصائص متماثلة، والفارق الرئيسي بينهما هو موقع الهوائي وإمكانية نصبه فوق صارية.

وتشمل أنماط الهوائي شامل الاتجاهات التي تُصادَف في هذين النطاقين الهوائي ثنائي الأقطاب أو المخروطي أو ثنائي المخروط. ويمكن استعمال الهوائيات الاتجاهية أيضاً كتلك المستعملة لأنظمة تحديد الاتجاه.

المحطات الثابتة:

تكمن الميزة الرئيسية لمحطة مراقبة ثابتة في إمكانية رفع الهوائي إلى أعلى صارية مرتفعة ثابتة بغية زيادة خط البصر (LoS) ليطول المرسلات الأبعد مقارنة بمحطة متنقلة. ومن المهم عند استعمال هوائيات كهذه في المدن العمل على تدنية تعدد المسيرات الناجمة عن الانعكاسات عن المباني.

ويستفاد من الهوائيات شاملة الاتجاهات للمراقبة العامة قرب المحطة الثابتة ولتغطية مناطق واسعة، خاصة في المهام الأوتوماتية. وتلزم كذلك الهوائيات شاملة الاتجاهات الأكبر حجماً لتحسين الحساسية في القسم الأدنى من نطاق الترددات VHF.

وإذا كان موقع المحطة الثابتة داخل منطقة حضرية أو قربها، يمكن استعمال نظام مؤلف من هوائيينْ مراقبة للأغراض العامة شامليْ الاتجاهات بكسب متوسط، أحدهما مستَقطب رأسياً والآخر أفقياً. ويمكن تحسين الحساسية قليلاً باستعمال نظام هوائي دوار لوغاريتمي دوري عالي الكسب باستقطاب مزدوج (رأسي وأفقي) في مدى أو أمداء التردد المطلوبة. ويزداد المردود من التكلفة عموماً بزيادة ارتفاع الهوائي شامل الاتجاهات لأن الانتشار في نطاقي التردد المترية والديسيمترية UHF/VHF يجري في خط البصر.

المحطات المتنقلة:

تُعتبر الهوائيات شاملة الاتجاهات المخروطية أو ثنائية المخروط، في نطاقي التردد UHF/VHF، مهيئة جيداً للاستعمال المتنقل:

- فهي بحكم صغر حجمها وخفة وزنها وحسن أدائها حل وسط جيد لتنصيبها على مركبة.

- وهي هوائيات تتيح المراقبة والتوجيه الذاتي لتحديد الاتجاه أثناء سير المركبة.
- ويتيح وزنها الخفيف وضعها أعلى صارية يمكن نصبها لتحسين مساحة التغطية والتخفيف إلى الحد الأدنى من تأثير العوائق المنخفضة.
- ويمكنها أداء المراقبة بالتعاون مع محطات المراقبة الثابتة. فمثلاً، متى اعترضت محطات المراقبة الثابتة إشارة بنسبة *S/N* منخفضة، يمكن لمحطة المراقبة المتنقلة أن تعطي نتائج أفضل بالاقتراب من المرسل.
- وهي تتيح المراقبة عندما يتعذر نشر محطات المراقبة الثابتة. ونظراً لأن الانتشار في نطاق الترددات الديسيمترية UHF أقرب إلى خط البصر، كثيراً ما تستحيل التغطية بواسطة محطات المراقبة الثابتة.

ويستفاد من محطات المراقبة هذه في مراقبة الشبكة الخلوية:

- فالحجم الصغير للخلايا يجبذ استعمال محطات المراقبة المتنقلة؛
- ولا تتطلب مستويات الإشارة المستقبَلة هوائيات عالية الحساسية.

المحطات القابلة للحمل أو للنقل:

لا تختلف مزايا محطات المراقبة عن مزايا محطات المراقبة المتنقلة. ويمكن أيضاً استعمال الهوائيات القابلة للحمل أو للنقل في المهام التالية:

- المراقبة من قمة المباني. فكثيراً ما يشوش الانتشار عبر تعدد المسيرات على محطات المراقبة المتنقلة، ويمكن لمحطات المراقبة القابلة للحمل أن تقدم حلاً للتقليل من أثر الانتشار عبر تعدد المسيرات؛
- المراقبة من الريف، بوضع محطة المراقبة على مستوى عال أو في نقطة نائية يتعذر على مركبة متنقلة الوصول إليها؛
- للقياس من نقطة بعينها أو من مبنى (مدرسة، مستشفى).

3.1.2.2.3 نطاق الترددات السنتيمترية (SHF)

يكون الكسب لبعض الهوائيات شاملة الاتجاهات في نطاق التردد SHF ضعيفاً جداً، بينما تتطلب خسارة الانتشار هوائيات ذات كسب عال. ولذا، فإن هوائيات المراقبة في نطاق التردد هذا اتجاهية جداً عادةً، وتحتاج الهوائيات شاملة الاتجاهات والهوائيات الثابتة لأن تقع في الحزمة الرئيسية للإشارة كي تكون مفيدة.

ولا تُستعمل الهوائيات شاملة الاتجاهات المتنقلة عادةً إلا للترددات الأدنى في نطاق التردد SHF (ما يصل إلى حوالي 6 GHz)، وهي كثيراً ما تُستعمل للمهام التالية:

- اعتراض تدفق الحزمة المباشرة لوصلة الموجات الصغرية وتحليله وإجراء قياسات له، مع وجود هوائي المراقبة قرب المرسل؛
- تحليل الشبكات الخلوية.

2.2.2.3 مهام المراقبة المرتبطة بالهوائيات الاتجاهية

يستفاد من الهوائيات الاتجاهية في المهام التالية:

- قياسات المرسلات المعروفة، لتحسين الكسب في اتجاه الإشارة ومن ثم تحسين مراقبة إشارة منخفضة السوية أو للحصول على نسبة *S/N* أفضل؛
- القياسات التقنية، عندما تكون الاتجاهية مطلوبة، لتحسين القياسات بتحسين النسبة *S/N* وتخفيف الانتشار عبر تعدد المسيرات أو التداخل؛
- مراقبة نطاق التردد SHF، حيث يتطلب الانتشار هوائيات عالية الكسب.

ويجب أن تتمتع أجهزة دوران الهوائيات الاتجاهية بدقة عالية في نطاق التردد SHF. إذ إن دوران الهوائي يستغرق وقتاً لتوجيه الهوائي باتجاه الوصول. لذلك، فإن الهوائيات الاتجاهية ليست مهيئة للمسح السريع ولقياس معدل الإشغال.

1.2.2.2.3 نطاقات التردد الميريامترية والكيلومترية والديكامترية (VLF/LF/HF)

يحتاج الأمر إلى هوائيات اتجاهية كبيرة الحجم في نطاقات التردد هذه، ولا يستفاد منها إلا في المواقع الثابتة حيث تتوفر مساحات تركيب واسعة.

المحطات الثابتة:

الهدف الرئيسي لهوائي اتجاهي في نطاقات التردد هذه هو زيادة الحساسية أو النسبة *S/N* المستقبَلة. وهي تُستعمل بصورة رئيسية لمراقبة الإشارات الدولية أو الوطنية.

وتشمل الهوائيات الاتجاهية المناسبة في هذه المحطات ما يلي:

- نظام هوائي يوفر استقبالاً عالي الاتجاهية ومستقطب رأسياً في قطاعات تشمل جميع الاتجاهات عبر مدى ترددات الموجات القصيرة. ومن البدائل في هذا الشأن صفيف لوغاريتمي دوري نحمي الشكل وحيد ذو ستة ستائر، أو صفيفات إشعاع طولي ثنائي الاتجاه عروية في شكل أشعة العجلة.
- نظام هوائي يوفر استقبالاً عالي الاتجاهية ومستقطب أفقياً في جميع السموت عبر مدى تردد الموجات القصيرة. ومن البدائل صفيف كبير دوار لوغاريتمي دوري مستقطب أفقياً من أسلاك مشدودة، وعيبها أنها تتطلب 60 ثانية أو أكثر للدوان في السمت؛ أو صفيف ذو ست ستائر أفقية يوفر تغطية سمتية بزاوية 360° على ست حزم زاوية كل منها 60°.
- صفيف تحديد اتجاه ذو فتحة كبيرة بعيد المدى يتراوح طوله بين 50 متراً و300 متر يوفر الاتجاهات الزاوية. ويمكن للهوائيات أن تكون شاملة الاتجاهات أو اتجاهية.

2.2.2.2.3 نطاقا التردد المترية والديسيمترية (VHF/UHF)

من شأن الهوائيات الاتجاهية أن تحسّن القياس التقني بالحد من الضوضاء والتداخل وزيادة التغطية والنسبة *S/N* لمهام المراقبة العامة وتحديد الاتجاه. ويمكن لفرادى الهوائيات الاتجاهية أن تُنصب على جهاز دوار، أو يمكن استعمال صفيفات ثابتة من الهوائيات الاتجاهية التي تغطي جميع الاتجاهات، ومثال ذلك صفيف هوائيات مرتبة دائرياً ومتجهة نحو الخارج. ومن المناسب استعمال الصفيفات الثابتة ذات العناصر الاتجاهية أو شاملة الاتجاهات لنظام تحديد الاتجاه في النطاقين VHF/UHF.

المحطات الثابتة:

لا يتسم الحجم والوزن في محطة مراقبة ثابتة بنفس أهميتهما في محطة مراقبة متنقلة، وتُعتبر الهوائيات الاتجاهية متمماً جيداً للهوائيات شاملة الاتجاهات.

المحطات المتنقلة:

تتمتع الهوائيات الاتجاهية في محطة مراقبة متنقلة بنفس ما تتمتع به من مزايا في محطة المراقبة الثابتة، سوى أن عيبها هو أنها تحتاج لتركيب وصيانة هوائي دوار في بيئة متنقلة. ويوفر الهوائي شامل الاتجاهات بديلاً ممتازاً عن الهوائي الدوار، حيث يُنصب على صارية يمكن رفعها لتحسين الاستقبال. كما أن الحساسية الأعلى لا تلزم على مركبة يمكنها أن تتحرك لزيادة النسبة *S/N* وتحسين الاستقبال.

3.2.2.2.3 نطاقات التردد السنتيمترية (SHF)

نظراً لخسارة الانتشار في هذه الترددات، فإن الهوائيات الاتجاهية مهيئة جيداً في نطاقات التردد هذه بفضل كسبها العالي. أما عيبها الرئيسي فهو اتجاهية الإشارة الواردة، مما يعني وجوب أداء القياس على الحزمة الرئيسية للإشارات.

المحطات الثابتة:

ليس لمحطات المراقبة الثابتة إلا مهام محددة عند مراقبة إشارات SHF. فهي عديمة الفائدة في وصلات الموجات الصغرية والوصلة الصاعدة الساتلية والشبكات الخلوية. ولا تلزم محطات المراقبة الثابتة إلا لمراقبة الوصلة الهابطة الساتلية. ويلزم استعمال هوائيات اتجاهية كبيرة في محطة المراقبة الثابتة عند مراقبة إشارات الوصلة الهابطة الساتلية. وقد يبلغ قطر هذه الهوائيات 10 أمتار مما يوفر مستوىً عالياً من الحساسية.

المحطات المتنقلة والقابلة للنقل والقابلة للحمل:

تتطلب القياسات فوق التردد 3 GHz عادة تشغيلاً متنقلاً لنشر الهوائي داخل حزمة هوائي الإرسال أو على مقربة منه. وتتيح المحطات المتنقلة والقابلة للنقل والقابلة للحمل استعمال هوائيات صغيرة بأقطار تصل حتى متر واحد.

وهي تهدف إلى:

- اعتراض وصلات الموجات الصغرية وتحليلها (المسير المباشر أو الفصوص الثانوية لهوائيات الإرسال)؛
- تحليل وصلات سواتل الوصلة الصاعدة بنقل محطة المراقبة إلى القرب من هوائي المرسل؛
- إشارات تحديد الاتجاه بفضل اتجاهية الهوائي. إذ يمكن، في نطاق التردد SHF، الحصول على نتائج دقيقة للقياس بواسطة هوائي مكافئي.

ويُستعمل نمطان رئيسيان من الهوائيات في نطاقات التردد هذه لمحطات المراقبة المتنقلة، البوقي أو المكافئي:

- للهوائيات البوقية كسب أقل، وبالتالي حساسية أقل. إلا أن للهوائيات البوقية اتجاهية أقل مما يمكن أن يكون أكثر ملاءمة للإشارات المجهولة.
- تتمتع الهوائيات المكافئية بالكسب الأفضل ومن ثم فهي توفر حساسية أفضل. إلا أن الاتجاهية العالية لهذه الهوائيات تتطلب المعرفة الجيدة باتجاه المرسل أو مصدر الإشارة، أو تنفيذ المسح المؤتمت لتحديد موقع المصدر. وخلاصة القول إن الهوائيات البوقية مهيئة جيداً للمراقبة العامة في الترددات المنخفضة لنطاق التردد SHF (f < 18 GHz). والهوائيات المكافئية فقط هي المناسبة في الترددات العليا حيث تزداد خسارة المسير.

3.2.2.3 ملخص انتقاء الهوائيات

ينبغي أن يتيح انتقاء الهوائيات استعمال تقنيات المعالجة الرقمية الحديثة، من قبيل الهوائيات الذكية التي تتيح للهوائيات شاملة الاتجاهات أن تكتسب خواص الاتجاهية. وترد في الجدول 3.2-1 مبادئ توجيهية عامة من أجل انتقاء الهوائيات لمهام مراقبة متنوعة.

3.2.3 هوائيات لنطاقات التردد الميريامترية والكيلومترية والهكتومترية والديكامترية (VLF وLF وMF وHF)

1.3.2.3 الأنماط شاملة الاتجاهات في نطاقات التردد الميريامترية والكيلومترية والهكتومترية (VLF وLF وMF)

نظراً لأطوال الموجة الكبيرة جداً في نطاقات التردد VLF وLF وMF (10 000 متر مثلاً عند التردد 30 kHz)، فإن هوائيات هذه الترددات محدودة بالضرورة بالهوائيات الصغيرة مقارنةً بطول الموجة. وبما أن الإشارات في نطاقات التردد هذه مستقطبة رأسياً بالدرجة الأولى، تُستعمل الهوائيات الرأسية عموماً للاستقبال. وللهوائي القائم البسيط، الذي يمثل نسبة مئوية صغيرة من ربع طول الموجة، معاوقة تفاعلية واسعة إلى حد كبير. ويمكن عموماً زيادة ارتفاع هذا الهوائي ليوفر الحساسية اللازمة فوق سويات ضوضاء الغلاف الجوي.

الجدول 2.3-1

انتقاء الهوائيات طبقاً لمهمة المراقبة ونطاق التردد

الهوائي	النطاقات VLF/MF/HF					
	تطبيقات المراقبة				تطبيقات تحديد الاتجاه	
	الهوائيات شاملة الاتجاهات		الهوائيات الاتجاهية			
	ثابتة	متنقلة/قابلة للنقل	ثابتة	متنقلة/قابلة للنقل	ثابتة	متنقلة/قابلة للنقل
عروي	X	X	X[1]		X	X
أحادي القطب	X	X	X[1]		X	X[2]
ثنائي الأقطاب	X	X	X[1]		X	X
مخروطي/ثنائي المخروط	X					
لوغاريتمي دوري بحسب القطاع	X					
لوغاريتمي دوري			X			
	النطاقان VHF/UHF					
	تطبيقات المراقبة				تطبيقات تحديد الاتجاه	
	الهوائيات شاملة الاتجاهات		الهوائيات الاتجاهية			
	ثابتة	متنقلة/قابلة للنقل	ثابتة	متنقلة/قابلة للنقل	ثابتة	متنقلة/قابلة للنقل
أحادي القطب	X	X	X[1]	X[1]	X	X
ثنائي الأقطاب	X	X	X[1]	X[1]	X	X
مخروطي/ثنائي المخروط	X	X	X[1]	X[1]	X	X
مروحي			X	X	X	X
لوغاريتمي دوري			X	X[3]		
	النطاق SHF					
	تطبيقات المراقبة				تطبيقات تحديد الاتجاه	
	الهوائيات شاملة الاتجاهات		الهوائيات الاتجاهية			
	ثابتة	متنقلة/قابلة للنقل	ثابتة	متنقلة/قابلة للنقل	ثابتة	متنقلة/قابلة للنقل
مكافئي			X	X		
بوقي			X	X		
لوغاريتمي دوري			X	X	X	X
مائل	X[4]	X				
ثنائي الأقطاب					X	X

X[1]: تُستعمل كصفيف مع تشكيل الحزمة تماثلياً أو رقمياً.

X[2]: في نطاق التردد MF/HF فقط.

X[3]: ارتفاع الهوائي أهم بكثير من الاتجاهية. ورفع هوائي صغير شامل الاتجاهات إلى الأعلى أسهل من رفع هوائي اتجاهي. ومن ثم فإن استعمال هوائي لوغاريتمي دوري قابل للحمل عملي أكثر من هوائي متنقل.

X[4]: بتغطية محدودة باعتبار أنها محطة ثابتة.

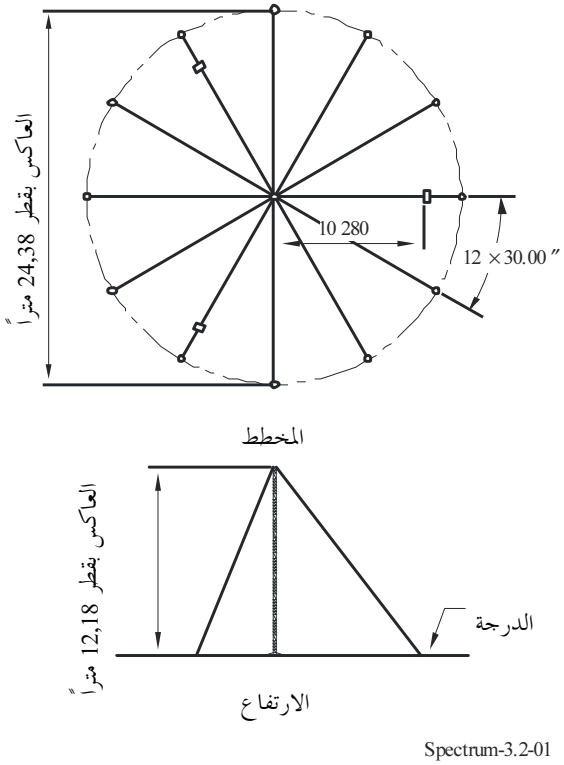
وعندما يكون حجم عنصر الهوائي محدوداً مادياً بجزء صغير من طول الموجة، كما هو الحال في النطاقين VLF وLF، فإن هوائياً نشطاً سيوفر عموماً نسبة *S/N* أكبر بكثير مما يمكن الحصول عليه من توصيل الهوائي مباشرة إلى المستقبل دون استعمال جهاز نشط لمواءمة المعاوقة. وتلافياً للتشكيل البيني والتشكيل المتعارض في الدارات النشطة، ينبغي الانتباه إلى البيانات التقنية التالية:

أن يقع عامل الهوائي 20 log(E/V) بين:	15 dB و25 dB
ألا تكون نقطة الاعتراض من الدرجة الثانية (خرج الهوائي) أقل من:	dBm 50
ألا تكون نقطة الاعتراض من الدرجة الثالثة (خرج الهوائي) أقل من:	dBm 25
ألا تكون شدة المجال لتشكيل متعارض بقيمة 10 dB أقل من:	V/m 10
ألا تكون قيمة جذر متوسط التربيع (r.m.s) القصوى المسموحة لشدة المجال المتداخل (عتبة ضرر الحماية من الصواعق) أقل من:	kV/m 20 عند kHz 100 و200 kV/m عند kHz 10

وتقدم عدة جهات مصنعة أحدث ما توصلت إليه التكنولوجيا من الهوائيات النشطة التي تحقق المواصفات أعلاه. ولكن في الحالات التي تكون فيها قيم شدة المجال المحلية عالية، وهو الشائع في الموجة المتوسطة فضلاً عن نطاقات التردد FM والنطاقات التلفزيونية، فإن المواصفات أعلاه للهوائي النشط لا تفي بالغرض، وينبغي اللجوء إلى هوائي منفعل مثل هوائي أحادي القطب بطول 12 متراً المبين في الشكل 2.3-1.

الشكل 2.3-1

هوائي استقبال منفعل نمطي لنطاقات التردد VLF وLF وMF وHF و9 kHz-30 MHz

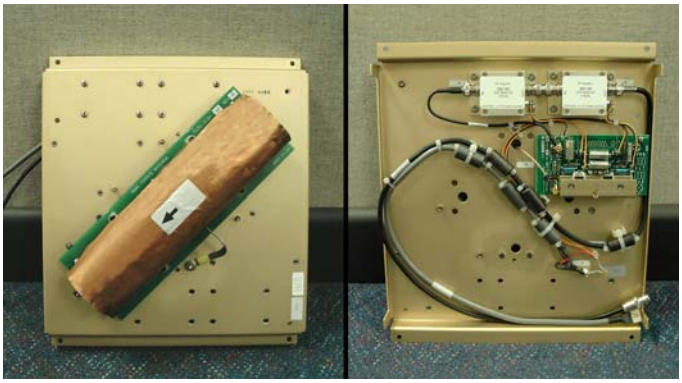


Spectrum-3.2-01

ومن أمثلة الهوائي النشط المدمج الذي يستفاد منه لأغراض المراقبة وتحديد الاتجاه على السواء هو زوج من العرى المغنطيسية النشطة الصغيرة. ويبين الشكل 2.3-2 المظهرين العلوي والسفلي لزوج من العرى. ويمكن لهذا الهوائي أن يكون صغيراً جداً (يتسع ضمن علبة تقارب أبعادها 0,3 × 0,3 متر بارتفاع 0,1 متر) ويغطي نطاق التردد من 300 kHz إلى 30 MHz، ولكن له من الحساسية ودقة تحديد اتجاه السمت ما يضاهي هوائياً أكبر كثيراً (مثل صفيف من الهوائيات السوطية البالغ طول كل منها 3 أمتار).

الشكل 2.3-2

هوائي نشط مقتضب



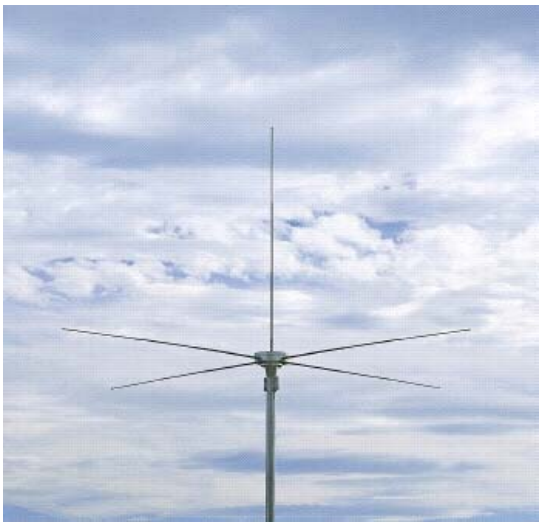
Spectrum-3.2-02

وتتألف كل عروة من قضيب فيريت ذي نفاذية عالية يلتف حوله ملف بدورات متعددة. ويُحجب الملف بدرع كهرسكوني ويوصل المخرج بمحوال للتخفيف من حساسية الهوائي إزاء تشوشات المجال الكهربائي المحلي ومن ثم تحسين دقة تحديد الاتجاه. ويوفر المحوال مواءمة للمعاوقة ونبذاً لأسلوب الضوضاء المشترك وتحويلاً من المتوازن إلى غير المتوازن.

كما يمكن بناء هوائيات نشطة تغطي الترددات الميريامترية والكيلومترية والهكتومترية والديكامترية (VLF وLF وMF وHF) (من 9 kHz إلى 30 MHz) باستقطاب أفقي علاوة على الاستقطاب الرأسي، كما يبين الشكل 2.3-3. إذ يوفر الهوائي موصلي خرج، أحدهما للاستقطاب الرأسي والآخر للاستقطاب الأفقي. وهو يغطي الترددات من 9 kHz إلى 80 MHz للإشارة المستقطبة رأسياً والترددات من 600 kHz إلى 40 MHz للإشارة المستقطبة أفقياً.

الشكل 2.3-3

هوائي نشط للاستقطاب الرأسي والأفقي



Spectrum-3.2-03

2.3.2.3 اعتبارات عامة لهوائيات الترددات الديكامترية (HF)

تنعكس الموجات الراديوية في نطاق التردد HF عن الطبقات الأيونوسفيرية الواقعة على ارتفاع من 100 إلى 300 كيلومتر فوق سطح الأرض. ويجب على الهوائي توجيه الحد الأقصى من الإشعاع صوب هذه الطبقات الأيونوسفيرية العاكسة بزوايا الارتفاع والسمت المرغوبة بحيث تتحقق التغطية للمواقع المرغوبة.

فإذا كان موقع مرسل مثلاً على مسافة 350 كيلومتراً عن محطة مراقبة، ينبغي أن يتم الحد الأقصى من الإشعاع الصادر عن الهوائي بزاوية ارتفاع تقارب 60° كي يتم الانعكاس عن طبقة أيونوسفيرية ارتفاعها 300 كيلومتر. ففي هذه الحالة، يشكل مسير الشعاع من محطة المراقبة إلى طبقة الأيونوسفير ثم إلى المرسل مثلثاً متساوي الساقين تقريباً، بما فيه من خط مباشر بين محطة المراقبة والمرسل. ويدعى هذا المسير البسيط ذو الانعكاس الواحد مسير القفزة الواحدة.

وكلما ازدادت المسافة تتدنى زاوية الارتفاع أو زاوية الانطلاق لمسير القفزة الواحدة. ويمكن أن تنخفض زاوية انطلاق شعاع قفزة واحدة حتى قرابة 3° لأطول مسير. وتعتبر الزاوية 3° عموماً زاوية الانطلاق الدنيا المحدودة بالتلال المجاورة والعوائق الأخرى والمخطط الإشعاعي للهوائي الذي يتضاءل عند زوايا الارتفاع المتدنية جداً. وبصفة عامة، يمكن أن يتألف المسير إلى المستقبل من قفزات متعددة. فيحدث مثلاً مسير بقفزتين عندما يقع انعكاس عن الأرض في منتصف الطريق بين موقع المرسل ومحطة المراقبة، وبالتالي يحدث انعكاسان عن الطبقة الأيونوسفيرية. وقد تتم القفزة والقفزتان كل على حدة أو في آن واحد معاً. وعند حدوث مسيرين أو أكثر في نفس الوقت يُعرف ذلك بالانتشار متعدد المسيرات.

ولا حاجة عموماً لهوائي استقبال عالي الكفاءة نظراً للارتفاع المعتدل لسويات الضوضاء الراديوية الاصطناعية والجوية في نطاق التردد HF. فقد يرغب المرء مثلاً في استعمال هوائي مستقطب رأسياً لدواعي تغطية المخطط الإشعاعي، ويتغاضى عن خسارة بضع وحدات ديسيبل من الهوائي، لأن خسارة الهوائي هذه لن يكون لها أثر كبير على حساسية نظام الاستقبال.

أما في الاستقبال، فمن المهم جداً استعمال هوائيات ذات كسب اتجاهي عال بحيث يتعزز مستوى الإشارة التي يلتقطها الهوائي مقارنة بالضوضاء. وعلى افتراض تساوي كثافة قدرة الضوضاء المستقبَلة من الاتجاهات كافة، وهو ما يحدث عادة، فإن قدرة الضوضاء الكلية التي يستقبلها الهوائي لا تتوقف على اتجاهية الهوائي. ومن ثم، تزداد النسبة *S/N* المستقبَلة بزيادة اتجاهية هوائي الاستقبال.

وقد تتمكن محطة مراقبة ما من استعمال هوائيات متعددة لتوفير تغطية مطلوبة قصيرة إلى طويلة المدى. وقد يشمل انتقاء الهوائيات هوائياً قصير المدى شامل الاتجاهات بزاوية انطلاق مرتفعة مقترناً بهوائيات اتجاهية متعددة متوسطة إلى طويلة المدى. كما يمكن أن تكون مساحة الأرض المتيسرة لمحطة المراقبة محدودة، مما يضطرها لاستعمال عدد قليل من الهوائيات من نمط واحد يقدم أفضل خدمة لجميع الأمداء. وتُعرض في هذه الفقرة أنماط متعددة من هوائيات المحطات الأرضية التي يمكن اختيارها للاستعمال في موقع المراقبة. وينبغي وضع جميع مرسلات نطاق التردد HF ذات القدرة العالية (< 1 kW) على مسافة من 5 إلى 10 كيلومترات على الأقل من محطة المراقبة لإقامة عزل عال بين مرسلات نطاق التردد HF ومستقبلات نطاق التردد HF وبيئة ضوضاء راديوية منخفضة في موقع الاستقبال. وينبغي أن تغطي هوائيات النطاق HF التردد من 2 إلى 30 MHz.

3.3.2.3 أنماط هوائيات نطاق الترددات الديكامترية (HF)

الهوائي ثنائي الأقطاب عريض النطاق الأفقي (انظر الشكل 2.3-4)

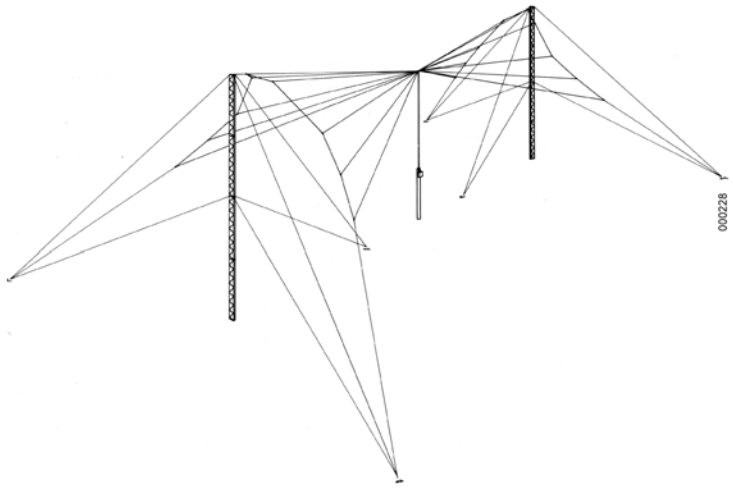
أفضل أنماط الهوائيات لتغطية نطاق التردد HF القصير إلى متوسط المدى هي الهوائيات المستقطبة أفقياً أو دائرياً والتي يبلغ إشعاعها ذروته قرب السمت. فالموجة الأرضية التي يشعها هوائي HF مستقطب رأسياً تتوهن بسبب خسائر على الأرض ولا تُستقبل عموماً على مسافة أبعد من حوالي 100 كيلومتر فوق الأرض وحوالي 300 كيلومتر فوق مياه المحيط. وكل الهوائيات المستقطبة رأسياً تنعدم التغطية فوقها وهي غير مناسبة لمراقبة الموجة السماوية ذات المدى القصير جداً في نطاق التردد HF.

والهوائي ثنائي الأقطاب عريض النطاق الأفقي مثال لهوائي يمكن أن يوفر تغطية قصيرة المدى من 3 إلى 12 MHz تقريباً وبمخطط إشعاعي شامل الاتجاهات إلى حد ما. وتتسم هذه الهوائيات بصغرها النسبي، ومثال هذا الهوائي ثنائي الأقطاب

المستقطب أفقياً هو ذلك المنصوب على برجين بارتفاع 22 متراً وعلى مساحة أرضية بمقدار 66 متراً × 38 متراً. وهو هوائي يحسن استعماله في موقع محدود للاستقبال أو الإرسال. ويبلغ كسب هذا الهوائي عموماً 5 dBi أو أكثر. وللحصول على قيم كسب أعلى كثيراً، يمكن تصميم هوائيات لوغاريتمية دورية مستقطبة أفقياً توفر تغطية قصيرة المدى بمخطط إشعاعي شامل الاتجاهات بقدر جيد في الترددات المنخفضة، وتتغير في الترددات الأعلى لتصبح تغطيتها متوسطة إلى طويلة المدى بأداء اتجاهي.

الشكل 2.3-4

الهوائي ثنائي الأقطاب عريض النطاق الأفقي – مدى قصير إلى متوسط



Spectrum-3.2-04

الهوائي اللوغاريتمي الدوري المستقطب أفقياً والقابل للدوران

يمكن الحصول على قيم كسب أعلى مما سبق ذكره باستعمال هوائيات ثنائية الأقطاب لوغاريتمية دورية مستقطبة أفقياً منصوبة على صوارٍ (يمكن الحصول على كسب حتى 12 dBi حسب ارتفاع الصارية).

ولهذه الهوائيات الاتجاهية زاوية عرض حزمة نصف قدرة تبلغ عموماً 60° إلى 70°. ويمكن تدوير الهوائي، باستعمال جهاز لهذا الغرض، ليغطي جميع زوايا السمت (انظر الشكل 2.3-5).

الشكل 2.3-5

مثال هوائي مستقطب أفقياً مع جهاز تدوير للمراقبة في مدى الترد من 2 إلى 30 MHz



Spectrum-3.2-05

صفيف ستائر لوغاريتمي دوري نجمي الشكل

يمكن لصفيف ستائر لوغاريتمي دوري نجمي الشكل أن يوفر حزماً اتجاهية إما باستقطاب رأسي أو باستقطاب أفقي أو بالاستقطابين معاً.

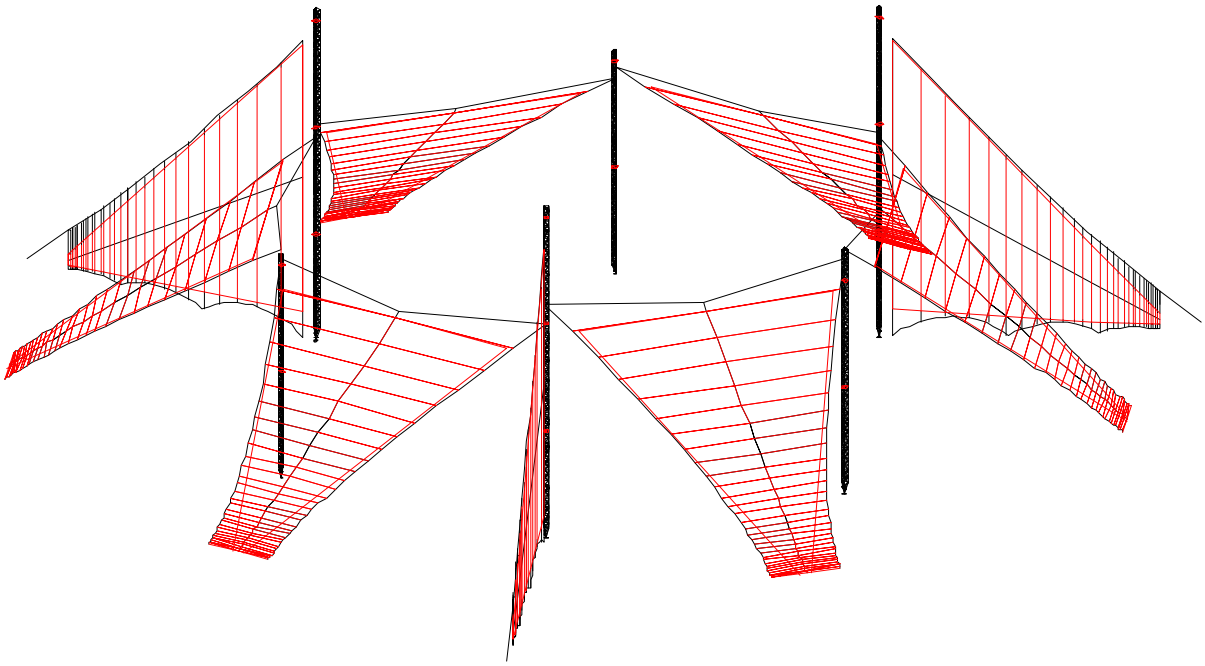
ويمكن أن يكون لصفيف مستقطب رأسياً ست ستائر تبلغ زاوية عرض حزمة نصف القدرة لكل منها حوالي 60° وتتباعد بعضها عن بعض بفواصل زاوية تبلغ 60° حول صارية دعم مركزية (يصل ارتفاعها حتى 60 متراً).

ويمكن أن يكون لصفيف مستقطب أفقياً ست ستائر أفقية تتقاسم ست صواري دعم، وتوفر أيضاً تغطية سمتية بزاوية 360° على ست حزم زاوية كل منها 60°.

ويبين الشكل 6-2.3 صفيفاً يوفر الاستقطابين معاً. ويشمل هذا المثال تحديداً ستة هوائيات مستقطبة أفقياً وثلاثة هوائيات مستقطبة رأسياً.

الشكل 6-2.3

مثال لصفيف ستائر لوغاريتمي دوري نجمي الشكل



Spectrum-3.2-06

هوائي لوغاريتمي دوري مستقطب دائرياً شامل الاتجاهات (انظر الشكل 7-2.3)

الهوائي اللوغاريتمي الدوري المستقطب دائرياً (CPLPA) هو نمط من الهوائيات يوفر تغطية شاملة الاتجاهات في كامل نطاق الترددات الديكامترية (HF).

ويمتاز هذا الهوائي بتوفير الاتصالات القصيرة إلى متوسطة المدى من بناء واحد.

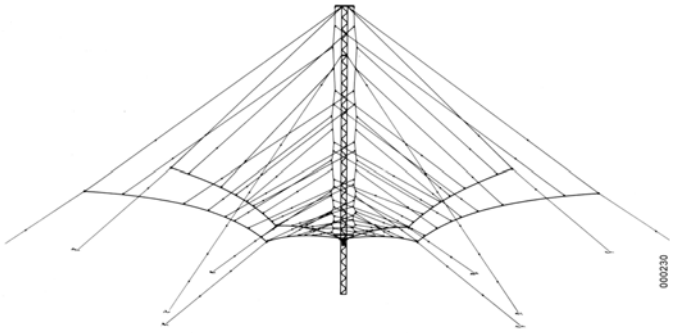
ففي الترددات الأدنى، يشع الهوائي من زوايا ارتفاع أعلى ليوفر تغطية أقصر مدى، وفي ترددات HF الأعلى، تقل زاوية الانطلاق في الاستقبال من أمداء أطول.

ويرتكز هذا الهوائي على برج واحد وله مجموعتان من الصفيفات ثنائية الأقطاب اللوغاريتمية الدورية المتعامدة. ويتخذ كل ثنائي أقطاب شكل حرف V مقلوباً ويُغذى مركزياً بتوصيله بخطوط تغذية معلقة على جوانب البرج.

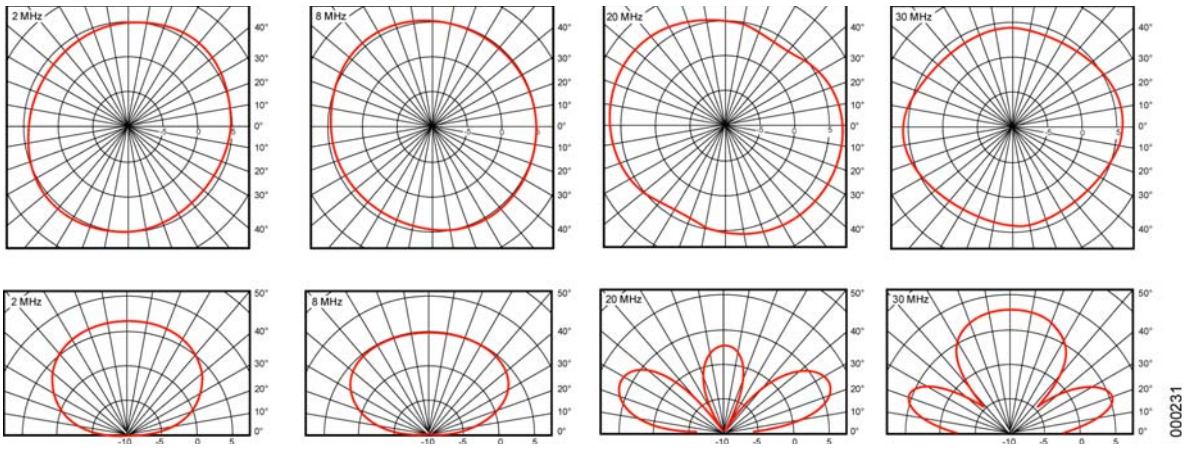
ويبلغ ارتفاع البرج 28 متراً ويتطلب مساحة قدرها 94 متراً × 94 متراً. ويبلغ كسب هذا الهوائي 5 dBi.

الشكل 2.3-7

هوائي لوغاريتمي دوري مستقطب دائرياً شامل الاتجاهات
(قصير إلى متوسط المدى)



المخططات السمتية لزاوية ارتفاع الحزمة القصوى (الكسب (dBi))



Spectrum-3.2-07

هوائي شامل الاتجاهات أحادي القطب عريض النطاق مستقطب رأسياً

هذا الهوائي عبارة عن هوائي شامل الاتجاهات عريض النطاق يمكن استعماله لاستقبال موجة أرضية قصيرة المدى وموجة سماوية متوسطة إلى طويلة المدى.

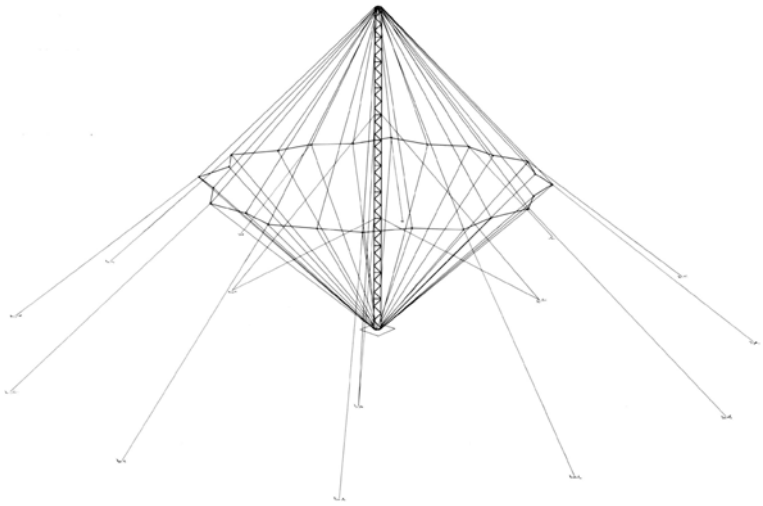
ويظهر في الشكل 2.3-8 هوائي نمطي من النوع أحادي القطب عريض النطاق مستقطب رأسياً.

ويعمل هذا الهوائي في مدى التردد من 3 إلى 30 MHz، ويرتفع 25 متراً فوق الأرض ويبلغ قطره 52 متراً.

ويكاد يتساوى أحادي القطب عريض النطاق المستقطب رأسياً مع الهوائي اللوغاريتمي الدوري المستقطب دائرياً (CPLPA) في الكسب عند الترددات المنخفضة وزوايا الإطلاق الأدنى، ولكن أداء الهوائي CPLPA يتفوق عند الترددات الأعلى.

الشكل 2.3-8

هوائي شامل الاتجاهات رأسي عريض النطاق – متوسط إلى طويل المدى



Spectrum-3.2-08

صفيفات العرى

يستفاد من الهوائيات الصغيرة كهربائياً والقليلة الكفاءة، مثل هوائيات العرى، في طائفة واسعة من تطبيقات الاستقبال في مدى الترددات الديكامترية (HF). وللضوضاء الناجمة عن عدم كفاءة الهوائي نفس أثر مصادر الضوضاء الأخرى على النسبة *S/N*. وعندما تزيد الضوضاء الخارجية عن الضوضاء الناجمة عن عدم كفاءة الهوائي (والإلكترونيات الداخلية، إن وُجدت)، يُعتبر الهوائي "محدوداً بالضوضاء خارجياً". وتُعتبر الضوضاء الداخلية لهوائي محدود بالضوضاء خارجياً غير ذات بال نسبياً، نظراً لأن مصدر الضوضاء الخارجية الأكبر يحدد النسبة *S/N* للنظام. وعندما تكون الضوضاء الخارجية عالية نسبياً، تعمل هوائيات الاستقبال الصغيرة بنفس مستوى الهوائيات مكتملة الحجم وكاملة الكفاءة.

والعروة الأساسية هي أنبوب ألومنيوم كبير منخفض المحاثة. وتتم تغذيته عند نقطة المنتصف العلوية عبر شبكة مواءمة منفعلة. ومن بين ما تمتاز به العرى على ثنائيات الأقطاب انخفاض معاوقة دخلها. ولا يتأثر أداء العروة، نسبياً، بالأجسام الموصلة القريبة مثل الأشجار والمباني والثلج. وعلاوة على ذلك، فإن الآثار المتبادلة قليلة جداً نظراً لانخفاض مقاومة الإشعاع في الهوائيات الصغيرة كهربائياً، مما يمكن من تشكيل العرى ضمن صفيفات متنوعة يُكيف أداؤها حسب متطلبات استقبال معينة.

ويتخذ المخطط السمتي لعروة واحدة شكل "8" في الأفق، وتزداد شمولية اتجاهاته في زوايا الوصول الأعلى، ويستقل عن السمت فعلياً عند زوايا الوصول التي تزيد عن 50°. ويمكن دمج الإشارات من عرى متعددة في نفس الطور، أو بصورة "حزمة مشكَّلة". ويكون المخطط الإشعاعي الحاصل اتجاهياً بتقويم زاوي يقابل أحد اتجاهات الصفيف. ويقع الكسب الأقصى للمخطط الاتجاهي في زاوية ما تحت السمت. وكلما ازداد عدد عناصر العرى، ازداد الكسب والاتجاهية. وفيما يستفاد من هذا المخطط الاتجاهي في المراقبة، إذا استعمل صفيف من عناصر العروة لتحديد الاتجاه، ينبغي ألا تدمج العناصر كي يتسنى قياس استجابة كل عنصر على حدة.

ويتم تشكيل الحزمة بضم كبلات التغذية من كل عنصر في الصفيف في وحدة تأخير/تجميع أو مشكّلة حزمة تُوضع في المركز المادي للصفيف. وفي تشكيل الحزمة أحادية الاتجاه، تؤخر الإشارات الواردة من كل عنصر بواسطة أطوال مناسبة من الكبل متحد المحور، أو خطوط تأخير، ثم تُجمع في وحدة تجميع. وفي تشكيل الحزمة ثنائية الاتجاه، تُقسم الإشارات وتغذى في مجموعتين منفصلتين من خطوط التأخير، ثم تُجمع في وحدتي تجميع منفصلتين.

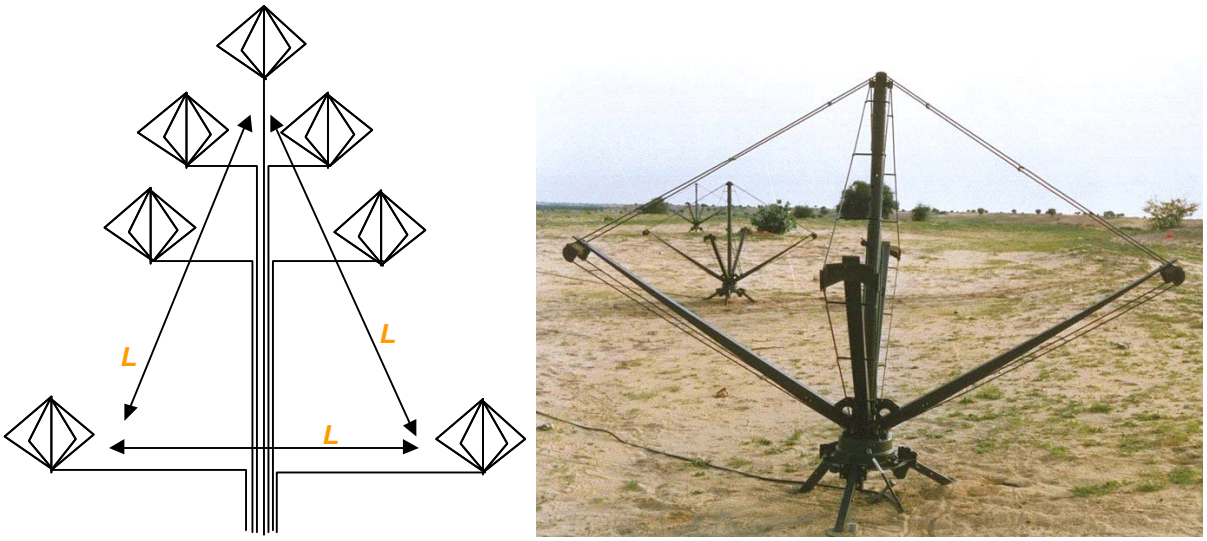
وكثيراً ما يتم ضم صفيفات صغيرة متعددة في تشكيلات وردية الشكل. وتتألف الوردة الشائعة الواحدة من ثلاثة أذرع ثنائية الاتجاه لها مركز مشترك وتفصلها مسافات متساوية. ويتألف كل ذراع من ثمانية عرى. ويمكن لهذه التشكيلة المؤلفة من ثلاثة أذرع و24 عنصر عروة أن تنتج ست حزم، بواقع حزمة واحدة لكل 60° في السمت.

هوائي العرى المتصالبة

يتألف النمط الآخر من هوائيات العرى من رتلين نشطين متعامدين، وقد يبلغ ارتفاع كل منهما مترين. ويمكن استعمال هوائي العرى المتصالبة هذا منفصلاً أو ضمن صفيف هوائيات مع جهاز للتبديل وتحديد الاتجاه استناداً إلى مبدأ القياس بالتداخل. ويتألف الصفيف من سبعة إلى تسعة عناصر، بما فيها هوائي مرجعي يُركب على ضلعي مثلث متساوي الساقين أو في تشكيلة دائرية بفتحة 200 متر تقريباً. وكلما صغرت الفتحة، قلّت دقة تحديد الاتجاه. ويظهر صفيف هوائيات من هذا النوع في الشكل 2.3-9.

الشكل 2.3-9

صفيف هوائي عرى متصالبة 1-30 MHz



Spectrum-3.2-09

بخلاف الهوائي أحادي القطب، يمكن لهذا الهوائي استقبال جميع الاستقطابات. ويسمح المبدل الموجود داخل الهوائي بانتقاء أحد مَنفذي العروة المتصالبة حسب الاستقطاب المختار. ويمكن لهذه الهوائيات، مشفوعةً بمبدأ تحديد الاتجاه بالتداخل، أن تحدد الاتجاه للموجات الأيونوسفيرية وللانتشار في خط البصر، وأن تتفوق على الهوائيات من نمط U-Adcock المحدودة باستقطاب رأسي وورود تماسي حصراً، وهذا مأخذ كبير في نطاق التردد HF لأن الاستقطابات كلها موجودة في هذا المدى من التردد. ويتيح مبدأ تحديد الاتجاه بالتداخل قياسات موقع محطة واحدة (SSL)، في حين يتعذر قياس زاوية الارتفاع بمبدأ Watson Watt، ومن ثم فإن قياسات موقع محطة واحدة ليست ممكنة.

4.2.3 هوائيات نطاقات التردد المترية والديسيمترية والسنتيمترية (VHF وUHF وSHF)

تقيد ظروف الانتشار التي تصادَف في النطاقين VHF وUHF الاستقبال لمسافات قريبة من خط البصر بصورة عامة. ولزيادة تغطية منطقة الاستقبال، تُنصب هوائيات VHF وUHF عادةً فوق أعلى برج واقع قرب مبنى المراقبة. وعلى هذا النحو، تبقى خسائر الخط متحد المحور، التي يمكن أن تكون كبيرة في هذه الترددات، عند الحد الأدنى.

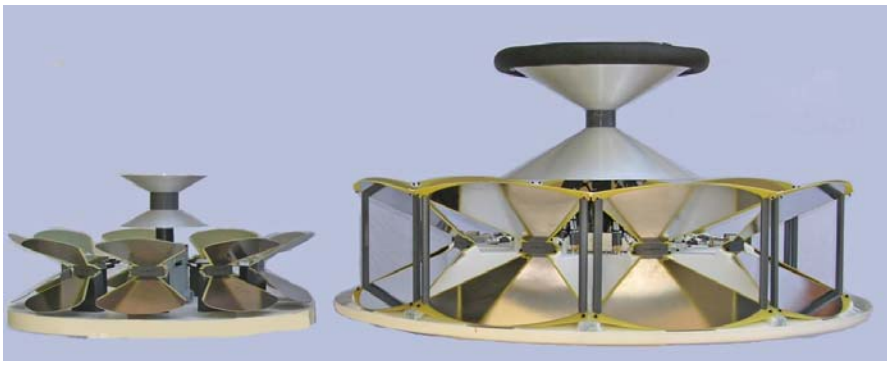
1.4.2.3 الأنماط شاملة الاتجاهات في نطاقي الترددات المترية والديسيمترية (VHF وUHF)

يبين الشكل 10-2.3 أ) مثالاً لهوائي يُستخدم في نطاقي التردد VHF وUHF وهو الهوائي ثنائي المخروط شامل الاتجاهات عريض النطاق. ويمكن تزويد هذا الهوائي إلى جانب صفيف مروحي مكون من تسعة عناصر، وهو مبين في الشكل كذلك، ليوفر تغطية تحديد الاتجاه. ويبين الشكل تشكيلين بأبعاد مختلفة. فالتشكيلة الأصغر إلى اليسار مقتضبة وخفيفة الوزن بما يكفي كي تُستعمل في تشكيلة قابلة للحمل، أو يمكن نصبها على رف السقف لسيارة ركاب عادية فتبدو كحقيبة أمتعة وتقوم بمقام محطة مراقبة متنقلة لا تلفت النظر. أما التشكيلة الأكبر إلى اليمين فهي متيسرة في صيغتيها المستقطبة رأسياً أو ثنائية الاستقطاب (ويظهر في الشكل الهوائي المستقطب رأسياً). أما الصيغة ثنائية الاستقطاب فلها خرجان منفصلان للاستقطابين الرأسي والأفقي. وتوفر التشكيلتان تغطية جيدة جداً بنسبة 1:150 لمدى تردد يمتد من 20 إلى 000 3 MHz، وتخف حساسية التشكيلة الأصغر بعض الشيء في الترددات تحت 100 MHz.

ويمكن استعمال توليفة الهوائي ثنائي المخروط والمروحة ذات العناصر التسعة للمراقبة وتحديد الاتجاه على امتداد المدى VHF وUHF كله في التطبيقات الثابتة والمتنقلة على السواء. ولكن، لتحسين الحساسية والدقة في المواقع الثابتة، يمكن استعمال الهوائي الأكبر في الشكل 10-2.3 أ) وصفيف إضافي أكبر مادياً يتكون من صفيف هوائيات VHF ثنائية الأقطاب رأسية ذات خمسة عناصر، وهي مبينة في الشكل 11-2.3 أ).

الشكل 10-2.3

أمثلة عناصر هوائيات VHF وUHF (وقد أزيلت أغلفتها)



(m 0,4 × m 0,8 = *D*) (m 0,7 × m 1,3 = *D*)

أ)



(m 0,44 ×m 1,1 = *D*)

ب)



(الارتفاع يبلغ m 0,8 تقريباً)

ج)

تبين الأشكال 2.3-10 ب) و2.3-10 ج) و2.3-11 ب) و2.3-11 ج) هوائيات أخرى تُستعمل للمراقبة وتحديد الاتجاه في المديين VHF وUHF. ويضم الشكل 2.3-11 ج) صفيفاً من ثنائيات أقطاب رأسية في المدى VHF من تسعة عناصر.

وللأداء الأمثل في تطبيقات تتطلب مدى دينامياً عالياً (حساسية جيدة وتشوه منخفض)، ينبغي أن يستعمل الهوائي عناصر هوائي منفعلة يليها تبديل نشط بالتردد الراديوي ومكبّرات أولية. إذ يضمن استعمال عناصر الهوائي المنفعلة خلو الهوائي من الاستجابات الطفيلية، ووجود مخططات إشعاعية واستجابة كسب/طور نظامية من أجل دقة تحديد الاتجاه، وعدم ظهور تشوهات (تشكيل بيني أو توافقية) وهي مشكلة شائعة في هوائيات العناصر النشطة. ويرد في الشكل 2.3-11 ب) مثال لهوائي كهذا، وهو عبارة عن ثلاث مجموعات مستقلة من ثنائيات الأقطاب المرتبة ضمن هيكل خماسي، ويتيح تغطية المدى 20-3 000 MHz باستقطاب رأسي.

وهذا النمط من الهوائيات مصمم ليوفر المقاومة الفضلى لرداءة الطقس والصواعق. وتتسم الحماية من الصواعق بأهمية قصوى لهوائي تحديد الاتجاه في مدى الترددات VHF/UHF، الذي بطبيعته ينبغي تركيبه في أعلى موقع ممكن من المنطقة المزمع مراقبتها، مما يعرّضه للصاعقة مباشرة. ويضم الهوائي المبين في الشكل 2.3-11 ب) علبة معدنية مقاومة تضم تجهيزات المراقبة وتحديد الاتجاه لتحميها من الصواعق. وتوفر الأنابيب الهيكلية لهذا الهوائي تأريضاً للشحنات الكهربائية التي تتلقاها مانعة الصواعق المركبة أعلى الهوائي.

وينبغي أن يؤخذ في الاعتبار أن الهوائيات النشطة قد تنجم عنها استجابات طفيلية تفضي إلى تشوهات من قبيل التشكيل البيني والتوافقيات وإلى تدني متوسط الفترة الفاصلة بين الأعطال (MTBF) وإلى أداء متفاوت مع تقادم الهوائي؛ إلا أنها تنطوي على فوائد أيضاً مثل المدى الأوسع وكسب الهوائي الأكبر بحجم أصغر ووزن أخف. وينبغي أن يؤخذ في الاعتبار كذلك الاستعمال المزمع وموقع التركيب ومزايا ومآخذ كل تكنولوجيا.

وقد يكون من المستصوب، بالنسبة لبعض التطبيقات، الاستفادة من مزايا عناصر الهوائيات النشطة والمنفعلة على السواء. وتتسم هوائيات تحديد الاتجاه المبينة في الشكل 2.3-11 بعناصر هوائيات يمكن تبديلها ما بين التشغيل النشط والتشغيل المنفعل بمجرد نقرة بالفأر. وبما أن التشغيل النشط يوفر حساسية أفضل فهو التشغيل المحدد بالتغيب. وفي حال ظهور إشارات قوية جداً في الطيف يمكن تبديل الهوائي إلى الأسلوب المنفعل وذلك لتقليل مشكلات التشكيل البيني إلى الحد الأدنى.

الشكل 2.3-11

أمثلة لصفيفات هوائيات VHF وUHF (20-3 000 MHz)



أ) ب) ج)

فعلى سبيل المثال، يمكن النظر في تركيب محطة مراقبة في مناطق حضرية ذات استعمال واسع للطيف الترددي. ولعل تركيباً كهذا يعتبر مرغوباً لمراقبة الإرسالات منخفضة المستوى التي يمكن أن يستعصي كشفها حتى على محطات بالغة الحساسية ومواقع مثالية نظرياً تقع خارج المركز الحضري. وقد يتأثر بشدة أداء وفعالية الهوائيات النشطة وأجهزة تبديل النطاق العريض المستعملة في محطات المراقبة في مواقع المراكز الحضرية جراء المستويات العالية للترددات الراديوية هناك. ومن شأن ذلك أن يدفع الطلب على الاستعمال المنفعل للهوائيات المنفعلة و/أو حتى المرشحات، وعلى استعمال أنظمة أكثر انتقائية لنطاق التردد، تلافياً للتداخل.

إلا أن هوائيات العناصر المنفعلة تعاني من ضعف الحساسية ما لم تكن كبيرة الحجم وتقوم على نطاقات تردد متعددة تعطي أداءها الأمثل في أمداء ترددية ضيقة نسبياً. وقد يتمخض ذلك عن بنية هوائي معقدة يصعب تركيبها وصيانتها. وبدلاً من ذلك يمكن للهوائي، إذا ما أُدخلت على العناصر المنفعلة مكبرات أولية ودارات تبديل تعمل في الترددات الراديوية بمدى دينامي عال جداً، أن يغطي مدى ترددياً واسعاً وأن يوفر حساسية جيدة على السواء. ويتسنى ذلك إذا كانت معاوقة عناصر الهوائي المنفعلة تماثل معاوقة التكبير المنفعل في الترددات الراديوية؛ عندئذ، يمكن بناء مكبرات أولية ومبدلات بمدى دينامي واستجابة عريضة النطاق عاليين جداً.

وينبغي تركيب دارات التبديل والتكبير الأولي ذات المدى الدينامي العالي في الترددات الراديوية في الهوائي نفسه للاستغناء عن مد الكبل المواءم طورياً في الترددات الراديوية بين الهوائي وباقي النظام عند استعماله لأغراض تحديد الاتجاه، ولتوفير تكبير للخط قرب مصدر الإشارة وللتغلب على خسارات الكبل التي من شأنها أن تزيد من جهة أخرى عامل ضوضاء النظام ومن ثم تقلل من الحساسية. وينبغي أن يتمتع المكبر الأولي في الترددات الراديوية المستعمل في الهوائي بخصائص أداء في الترددات الراديوية تفوق كثيراً خصائص أداء المستقبل الذي يوصَل به، لأنه يتعين على المكبر الأولي في الترددات الراديوية التعامل مع طيف الموجات VHF وUHF بأكمله، في حين أن للمستقبل عموماً مراشيح المنتقي الأولي التي تحدد كمية طاقة إشارة الترددات الراديوية التي يجب على دارات مدخل مستقبل الترددات الراديوية التعامل معها.

ويبين الشكل 2.3-12 هوائياً آخر مفيداً، حيث يظهر هوائي ثنائي الأقطاب عريض النطاق متحد المحور ذو أداء مثالي في مدى التردد من 80 إلى 000 2 MHz. ففي مدى التردد الأدنى، يعمل الهوائي المستقطب رأسياً بالأسلوب متحد المحور، أما في مدى التردد الأعلى، فيعمل بأسلوب دليل الموجة شامل الاتجاهات.

وكما ذُكر أعلاه، يمكن لأنظمة الهوائيات النشطة أن تدني من حجم هوائيات VHF وUHF. ويبين الشكل 2.3-13 نظام هوائي نشطاً عريض النطاق يستعمل ثنائيات أقطاب نشطة كعناصر أساسية ذات مدى دينامي واسع وحساسية عالية. والهوائي الرأسي هو هوائي نشط ثنائي الأقطاب يُغذى من المركز لمدى التردد من 20 إلى 300 1 MHz. بينما يغطي الهوائي الأفقي مدى التردد من 20 إلى 500 MHz وهو مشيّد على النمط الدوار ويتألف من اثنين من ثنائيات الأقطاب النشطة عريضة النطاق تتحد عبر دارة هجينة لتوفر مخططاً إشعاعياً يكاد يكون شامل الاتجاهات. وهذه الهوائيات النشطة الصغيرة مناسبة جداً لأنظمة المراقبة عريضة النطاق، بما في ذلك توزيع الإشارة على مستقبلات متعددة لأن نظام التوزيع سيكون أكثر اتساقاً بوجود هوائي واحد فقط لكامل مدى التردد.

الشكل 12-2.3

ثنائي أقطاب عريض النطاق للترددات VHF وUHF



Spectrum-3.2-12

الشكل 13-2.3

نظام هوائي UHF/VHF نشط



Spectrum-3.2-13

وثمة حل تقني فعال آخر لتحسين خصائص هوائيات المراقبة VHF/UHF شاملة الاتجاهات يتمثل في تركيب محولات إشارات راديوية إلى ترددات متوسطة (IF) في الهوائيات بدلاً من المكبرات [Ashikhmin *et al.*, 2006]، [Rembovsky *et al.*, 2006].

ويتم تحسين خصائص الهوائي في هذه الحالة بتقصير طول الكبل عالي التردد إلى قيمة دنيا، باعتبار أن هذا الكبل هو المصدر الرئيسي للضوضاء عند نقل الإشارة المستقبَلة من عناصر الهوائي إلى المستقبِل الراديوي. ويتيح وضع محولات IF على مقربة مباشرة من عناصر الهوائي التخلص من أثر الكبل على الهوائي (الذي ينقل إشارة IF في هذه الحالة) ويرسل أيضاً إشارة IF إلى مسافات تمتد حتى مئات الأمتار. ويؤدي ذلك إلى زيادة حساسية النظام ومداه الديناميِ.

2.4.2.3 الأنماط الاتجاهية في نطاقات التردد المترية والديسيمترية (VHF وUHF)

دعت الحاجة إلى هوائيات ذات نسبة موجات مستقرة الفلطية (VSWR) منخفضة ومخططات إشعاعية منتظمة، في نطاقي التردد VHF وUHF، إلى تطوير صفيفات بسلاسل من عناصر تتكرر خصائصها وفقاً للوغاريتم التردد (خصائص لوغاريتمية دورية). ويمكن تصميم هذه الصفيفات بحيث تحقق كسباً متوسطاً (10 dBi عموماً) باتجاهية جيدة (نسبة الإشعاع الأمامي إلى الإشعاع الخلفي بقيمة 14 dB عموماً) ومخططاً إشعاعياً يظل منتظماً عبر مدى تردد يصل إلى 1:10 تقريباً. والمخطط الإشعاعي عريض عموماً يقارب المخطط الإشعاعي لهوائي ثنائي الأقطاب عاكس- موجه في معظم الترددات. كما أن انتظام كسب الهوائي ومخططه الإشعاعي وخصائص معاوقته تجعله مناسباً ليتحد مع نظرائه لتشكيل صفيف عريض النطاق يُستعمل حيثما تلزم هوائيات ذات اتجاهية عالية. وعلى وجه التحديد، يعمل الهوائي اللوغاريتمي الدوري جيداً كمرسل أشعة للعاكسات المكافئية في نطاق التردد UHF، حيث يكون عرض الحزمة الضيق جداً مرغوباً.

ويبنى هذا الهوائي بصفة عامة من سلسلة من العناصر المشعة المغذاة بخط إرسال مركزي ويتم وضعها إلى جانبه. وتصمَم فرادى عناصر أزواج الهوائيات ثنائيات الأقطاب للحصول على خواص الهوائي المطلوبة عبر جزء ضيق من كامل نطاق التردد العامل، وللحفاظ على انتظام خصائصه قدر الإمكان عبر مداه الترددي النشط. وتتكرر فرادى العناصر بفواصل زمنية ثابتة

بالنسبة إلى لوغاريتم التردد. ويعتمد عدد الفواصل الزمنية على الكسب ونسبة الموجات المستقرة الفلطية (VSWR) اللازمين في التصميم الكامل للهوائي.

وتفضي الخصائص المتراكبة لفرادى عناصر الصفيف إلى منطقة نشطة تتألف من عدة عناصر متجاورة تمضي بسلاسة على امتداد البنية مع تغيّر التردد. وتتوقف نسبة الموجات المستقرة الفلطية للهوائي مباشرة على عدد العناصر في المنطقة النشطة في الهوائي عند تردد معين، وعلى كفاءتها في إقران الطاقة بين الموجة الكهرمغنطيسية وخط الإرسال.

وتتوفر هوائيات لوغاريتمية دورية كاملة من عدد من الجهات المصنعة للاستعمال عريض النطاق وللخدمات الخاصة ضيقة النطاق. وتتوفر معلومات التصميم التفصيلية في المنشورات المدرجة في البيبليوغرافيا وفي مصادر أخرى.

3.4.2.3 هوائيات للترددات فوق MHz 3 000

تُستعمل الهوائيات "المكافئية والمغذية" بالدرجة الأولى لتحقيق كسب الهوائي العالي اللازم من أجل المراقبة على مسافات طويلة. ويتوقف الكسب على العلاقة بين قطر المكافئ وطول الموجة، وعلى كفاءة فتحة الهوائي. وثمة بديل رئيسي لاستخدام الهوائيات "المكافئية والمغذية" وهو تمديد ترددات بعض هوائيات الترددات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF) لتغطية الجزء الأخفض من نطاق الترددات السنتيمترية (SHF).

ولا بد من أخذ العديد من المعلمات في الاعتبار لتحقيق نظام الهوائي الأمثل في مدى التردد SHF، من قبيل تطبيق النطاق الضيق والنطاق العريض والمراقبة العامة أو الرصد العام للإشارات.

ففي تطبيقات النطاق الضيق، يمكن وضع بوق أو مغذ على شكل دليل موجة أو ثنائي أقطاب أو ثنائي أقطاب متصالب في البؤرة تماماً من عاكس مكافئي. ويمكن الحصول على العلاقة المثلى لطول/قطر البؤرة فيما يخص الكفاءة العالية المحققة بتقليص الخسائر الناجمة إما عن عدم كفاية إرسال البؤرة أو عن الإشعاع الجانبي. والمحصلة هي ارتفاع كسب الهوائي إلى أعلى قدر ممكن.

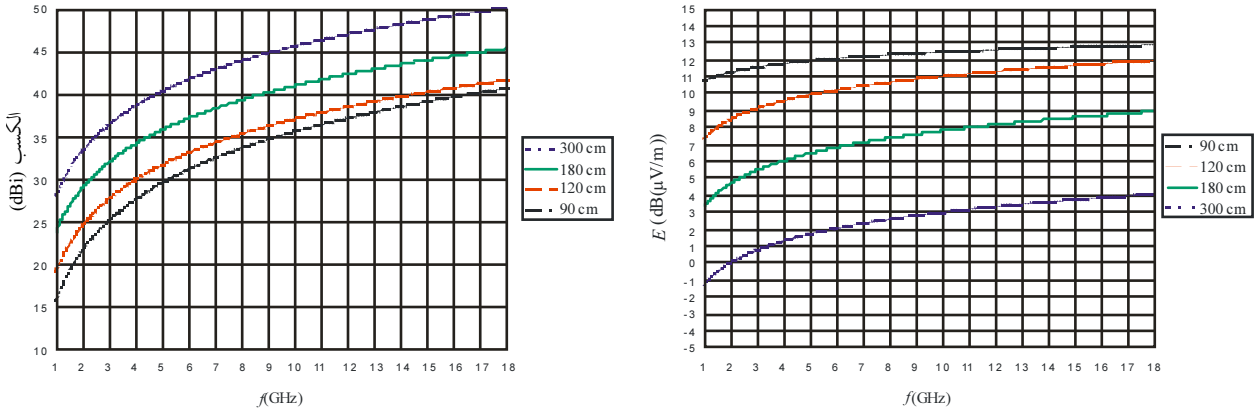
وفي المراقبة والرصد، يلزم كسب عال وعرض حزمة واسع لالتقاط الإشارة. وفي هذه الحالة، هنالك طريقة شائعة تتمثل في تركيز مغذي الهوائي المكافئي في بؤرة الهوائي أو إزاحته عن البؤرة بواسطة تجهيزات ميكانيكية تُدار بمحرك. ويمكن تغيير عرض الحزمة بين 4:1 و10:1.

وفي التطبيقات عريضة النطاق، يمكن استعمال هوائيات لوغاريتمية دورية خطية أو مزدوجة الخطية، أو هوائيات حلزونية مخروطية أو هوائيات بخلفية تجويفية، وتُستعمل الأخيرة بالدرجة الأولى للاستقطاب الدائري. وليس لمغذيات النطاق العريض القائمة على المبدأ اللوغاريتمي الدوري مركز طور ثابت. ويتحرك مركز الطور من المشع الأقصر إلى المشع الأطول في البناء حسب التردد. وإذا تم وضع البنية في العاكس لتردد معين، تحدث إزاحة عن البؤرة بالنسبة للمغذيات الأخرى. ويتيح التشغيل الأمثل القائم على حساب معلمات إضافية (مثل الطول/القطر) تدنية الخسائر الناتجة عن الإزاحة عن التركيز في اتجاه البؤرة. ويمكن استعمال التركيز الميكانيكي على النحو الموصوف أعلاه لتلافي هذه الخسائر.

وثمة حل آخر هو استعمال كفاف خاص للعاكس ليس مكافئياً تماماً. وفي هذه الحالة، يزداد كسب الهوائي ويتناقص عرض الحزمة حتى الوصول إلى تردد معين، ثم يثبت كلاهما تقريباً (انظر الشكل 2.3-14).

الشكل 14-2.3

الكسب وأقل شدة مجال مقيسة لعاكسات تختلف أقطارها وتغذيتها الخطية



Spectrum-3.2-14

تُثبَّت هوائيات الموجات الصغرية على حامل ثلاثي أو برج لرصد الإشارات الآتية من اتجاه معين. وفي هذه الحالة، تتوفر تجهيزات يمكن ضبطها يدوياً لضبط نظام الهوائي في الاتجاه المطلوب تماماً. ويمكن لعرض حزمة الهوائيات أن يتفاوت ما بين 20° و0,05° حسب القطر/طول الموجة.

وفي المراقبة العامة، تُركب أنظمة الهوائيات على موجهات عالية الدقة أحادية المحور أو ثنائية المحاور. وتبعاً لقطر عاكس الهوائي، تختلف الأبعاد والتكاليف بدرجة كبيرة إذا لزم التشغيل والاستدامة مع سرعات رياح عالية. وفي المراقبة الأرضية، تُستعمل موجهات أحادية المحور بمفاصل دوارة أو بتجهيزات كبلات ملتوية. وتُقيَّد الأخيرة بمدى التدوير السمتي (360° مثلاً). ويمكن ضبط الارتفاع يدوياً أو بواسطة التحكم عن بعد في حدود ±10°.

وفي المراقبة الساتلية، تتيح الموجهات ثنائية المحاور حركة إضافية بين −10° وما يزيد عن +90°.

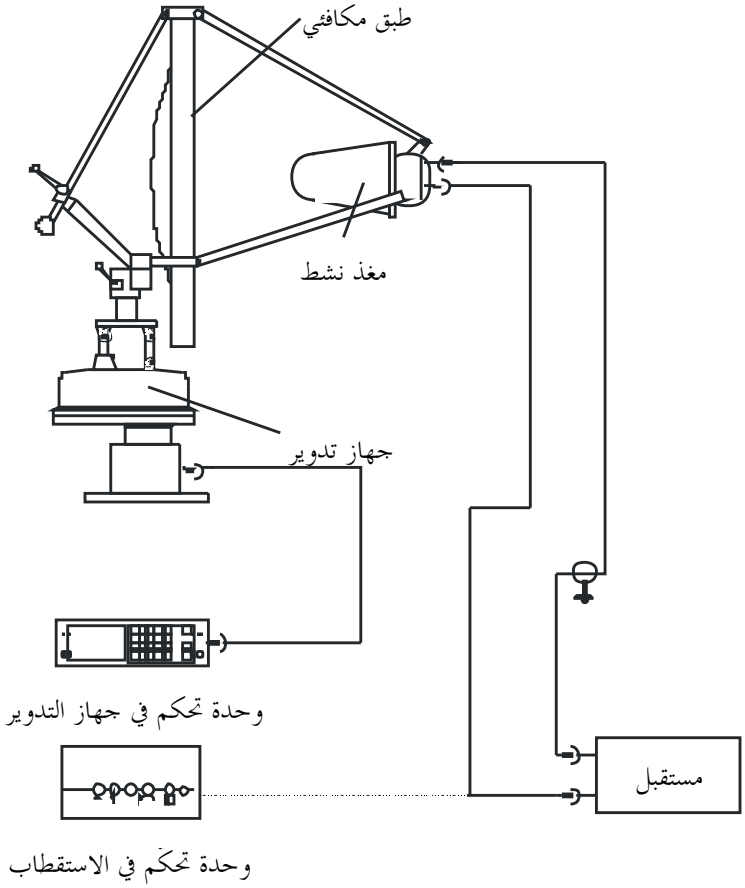
ويُتحكم عن بعد بالموجهات التي يقودها محرك عبر وحدات تحكم تختلف أساليب تشغيلها الممكنة، فهي تشمل مثلاً السرعة المتغيّرة والضبط المسبق للمواقع والمسح وانتقاء الهوائي. وتتوفر سطوح بينية حاسوبية على التوازي والتسلسل لتحقيق تكامل النظام.

ويبين الشكل 15-2.3 مخططاً وظيفياً نمطياً. ويوصى بإلحاح بتركيب المكبرات منخفضة الضوضاء (LNA) على مقربة من المغذي لتجنب التوهين الإضافي والضوضاء التي تسببها الكبلات. وتتوفر هذه التوليفات في شكل ما يسمى "مغذيات نشطة" مجهزة إما بمكبرات أولية عريضة النطاق (من 1 إلى 18 GHz مثلاً) أو بوحدات مكبرات قابلة للتبديل في أمداء ترددية بمرتبة ثُمانية واحدة. ويعرض الشكل 16-2.3 مثالاً لهذه المغذيات.

ولذلك تُقدم أيضاً وحدات تحكم من أجل الاستقطاب ومدى التردد اللذين يمكن التحكم بهما عن بعد. وتشمل السمات الأخرى التحرير القابل للتبديل والموهنات والمحددات المتأصلة. ويوصى أيضاً بتركيب محولات نظام الاستقبال على مقربة من الهوائي لتحقيق الأداء الأفضل للنظام.

الشكل 15-2.3

مخطط وظيفي لهوائي موجات صغرية قابل للتوجيه 1-18 GHz



Spectrum-3.2-15

الشكل 16-2.3

مثال مغذ لنظام هوائي عاكس 1-18 GHz
(مقطع عرضي للقبة الواقية (radome))



Spectrum-3.2-16

وفي عاكسات الهوائيات الكبيرة، لا يقع المغذي في بؤرة المكافىء وإنما في ذروته. ويقوم عاكس زائدي فرعي بتحويل الإشعاع. كما يمكن تغذية العاكس "بأسلوب التخالف"، حيث يتم وضع مغذي الهوائي في وضع مائل إزاء اتجاه الإشعاع الثانوي للعاكس.

ويمكن، في التطبيقات الخاصة، استعمال عاكسات ثنائية الشكل مثل الأسطوانية المكافئية أو الأسطوانية بقاطع التمام. وفي هذه الحالة، يختلف عرض الحزمة في السمت عنه في الارتفاع، حسب التطبيق.

وفي التطبيقات المتنقلة، حيث تكون مساحة سطح المركبة محدودة، يمكن استعمال هوائيات شاملة الاتجاهات. إذ تستقبل الهوائيات شاملة الاتجاهات المائلة خطية الاستقطاب جميع الاستقطابات، بما فيها الاستقطاب الرأسي والأفقي والدائري الميامن والدائري المياسر، وتغطي نطاقات تردد عديدة. وتضم أمداء التردد النمطية المشمولة: 1-4 GHz و4-18 GHz و1-18 GHz و12-40 GHz.

وهكذا، يمكن تغطية نطاق التردد بأكمله بواسطة ثلاثة هوائيات صغيرة نسبياً (البعد الأقصى فيها 300 ملليمتر). ومن المهم جداً نصب هذه الهوائيات على مسافة قريبة جداً من المستقبل (ضمن 3 أمتار تقريباً) كي تبقى خسارة التوهين صغيرة في كبلات التوصيل متحدة المحور.

وفيما يلي وصف لحل مقتضب لقياس نطاق الترددات السنتيمترية (SHF) من 1 إلى 40 GHz فما فوق، يتكون من بضعة أبواق وحامل ثلاثي واحد.

ففي نطاق التردد 1 إلى 18 GHz، ينبغي استعمال مرشحات انتقائية وتقييد كسب المكبر منخفض الضوضاء LNA (إلى أقل من 20 dB) للإقلال من تأثير الضوضاء. وفي نطاق التردد 18 إلى 40 GHz فما فوق، يمكن تحسين نتائج القياس باستعمال أدلة الموجة. وعلى اعتبار أن أدلة الموجة هي مرشحات تمرير نطاق ترددي، يمكن استعمال مكبرات ذات كسب أكبر.

وبأخذ هذه الاعتبارات في الحسبان، يرد في الشكل 17-2.3 مثال نموذجي لنظام محمول باليد. وهو يتألف من حقيبة تُحمل باليد تحتوي على مجموعة من الهوائيات البوقية مع مكبرات ومرشحات ووحدة تغذية بالقدرة الكهربائية وبطاريات وكبلات لتنفيذ قياسات من 1 إلى 40 GHz. وعلاوة على ذلك، يمكن إضافة بضعة كبلات وموائمات إلى الحقيبة. ويبلغ حجم الحقيبة 600 × 500 × 230 ملليمتراً، ويبلغ وزنها بالحمولة الكاملة مجرد 16 كيلوغراماً.

الشكل 2.3-17

حل نموذجي مقتضب لتنفيذ قياسات في نطاق الترددات SHF



5.2.3 اختيار مواقع الهوائيات

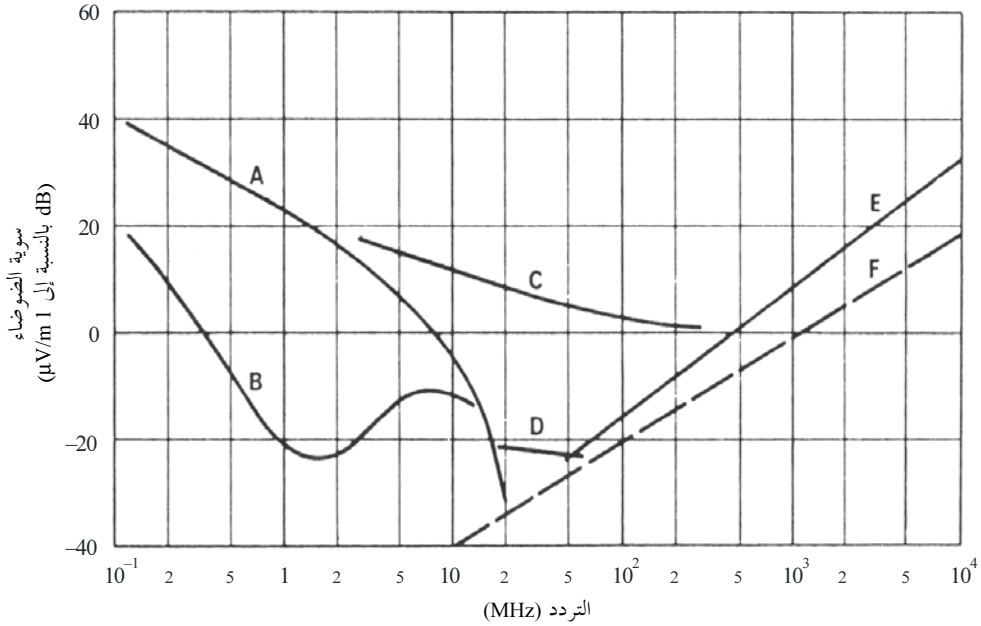
هناك ثلاثة اعتبارات رئيسية يتعين دراستها عند اختيار موقع لهوائيات محطة المراقبة: مستوى الضوضاء المتداخلة، وآثار التضاريس الأرضية على أداء الهوائيات، وتأثير الهوائيات أو الهياكل المعدنية أو الأشياء القريبة الأخرى. ولا بد من النظر في هذه العوامل قبل تحديد الموقع الملائم للهوائي وتصميمه. وينبغي النظر في تأثير الهياكل المعدنية القريبة مثل صواري الهوائيات وأسلاك شدها أثناء تصميم هيكل الهوائي. وتؤثر عوامل أخرى مثل الاعتبارات الاقتصادية والسياسية في موقع محطة المراقبة نفسها وفي التخطيط لها.

ويمكن تقسيم الضوضاء التي تتداخل مع استقبال الموجات الراديوية إلى فئتين عامتين: ضوضاء طبيعية وضوضاء اصطناعية.

وهناك آليات متنوعة في الطبيعة تنتج الضوضاء الطبيعية سواء على الأرض نفسها أو في المنظومات السماوية المجاورة. ويعود المكون الرئيسي من الضوضاء الطبيعية المتولدة على الأرض إلى تفريغ الشحنات الكهربائية الساكنة الناتج عن مراكز الكثير من العواصف التي تكاد لا تهدأ أبداً في الكرة الأرضية. ويشتد نشاط العواصف في المناطق الاستوائية وتشع ضوضاؤها باتجاه القطبين مولدة مكونات ضوضاء جوية يكون أشدها عند خط الاستواء وأضعفها عند القطبين. وتوجد مصادر ضوضاء المجرة ذات الطاقة العالية في السماء (لا سيما في كوكبتي القوس وكاسيوبيا) وقد تشكل قسطاً لا بأس به من الضوضاء التي تلتقطها الهوائيات الواقعة ضمن بيئة تنخفض فيها مستويات الضوضاء الجوية، مثال ذلك عند خطوط العرض العليا. وكما يتبين في الشكل 2.3-18، تتوارى الضوضاء الكونية في معظم الترددات خلف مصادر أخرى، ولكن يمكن أن تكون ذات شأن في بعض الحالات، وخاصة إذا تصادف وجود فص من فصوص هوائي المستقبِل موجه باتجاه مصدر قوي لهذه الضوضاء.

الشكل 18-2.3

المتوسط النمطي لسوية الضوضاء في نطاق عرضه 6 kHz (مدى التردد من 100 kHz إلى 10 GHz)



المنحنيات A: الضوضاء السكونية الجوية ليلا
B: ظهراً
C: ضوضاء إشعال المحركات في مدينة كبيرة
D: الضوضاء الكونية
E: ضوضاء الجهاز النمطية
F: الضوضاء الحرارية

Spectrum-3.2-18

أما التداخل في الاستقبال من مصادر اصطناعية فيتخذ أشكالاً متعددة (انظر أيضاً الفقرتين 6.2 و3.4 من هذا الكتيب). وأحد أهم المصادر الواجب اجتنابها عند اختيار موقع هوائي هو محطة إذاعة قريبة. فمهما اختلف التردد التشغيلي للمحطة عن ترددات المراقبة المزمعة، يمكن أن يحدث تداخل هام مردّه إشعاع الإرسالات الهامشية وتوافقيات التردد الرئيسي وتولُّد تشكيل بيني أو ارتكاسات أخرى من فرط حمولة دارات الترددات الراديوية والترددات المتوسطة والترددات السمعية للمستقبل. وقد يفقد المستقبِل حساسيته أيضاً حتى لو لم تلاحظ استجابات هامشية.

ومن مصادر الضوضاء الاصطناعية الأخرى آلات الأشعة السينية والاستحرار، ومرافق توليد القدرة عالية الفلطية وتوزيعها، وعمليات اللحام وعمليات الصناعات الثقيلة، وإنارة الشوارع، وبؤر حركة السيارات الكثيفة، وحتى المناطق الواسعة التي تضم مباني سكنية، يمكن أن تولد مستويات كبيرة من الضوضاء تطغى على إشارات التردد الراديوي المطلوبة. وبالإضافة إلى الإشعاع المباشر، يمكن لضوضاء هذه المصادر الوصول عبر خطوط توزيع القدرة الكهربائية بحيث تسبب تداخلاً في مناطق تبعد مسافات أكبر كثيراً عن تلك المناطق المتأثرة بالإشعاع المباشر للضوضاء.

وبعد اختيار موقع مناسب من منظور معايير تداخل الضوضاء، يجب دراسة تأثير تضاريس الأرض على الاستقبال. وتتسم هذه الدراسة بأهمية خاصة لأن هوائيات المراقبة تتشارك الموقع عادة مع هوائي تحديد الاتجاه الذي يهمه أن تكون الأرض حوله مستوية وخالية من العوائق ولها رؤية مستمرة في جميع الاتجاهات لتجنب الأخطاء في سمت وصول الموجات الراديوية. وتتناول الفقرتان 6.2 و7.4 من هذا الكتيب اختيار مواقع هوائيات محطات المراقبة وتحديد الاتجاه. بيد أن الموقع الجيد لهوائيات تحديد الاتجاه يعتبر، بصفة عامة، جيداً أيضاً لهوائيات المراقبة، باستثناء حالات مراقبة محدودة خاصة.

والأثر الواجب دراسته، عند اختيار موقع يُركَّب فيه عدد من الهوائيات المختلفة معاً، هو تفاعلها فيما بينها ومع الهياكل المعدنية الأخرى القريبة منها مثل صواري الهوائيات والأسلاك التي تُشد بها الصواري والأسوار والأنابيب المعدنية والسلالم والهياكل المعدنية الأخرى.

والتفاعل الأكثر دلالة بين هوائيات متعددة في موقع واحد هو التفاعل بين أنماط متشابهة من الهوائيات إما من ناحية كونها مصممة لمدى التردد نفسه أو من ناحية تحقيقها ما يقارب الرنين في التردد نفسه. فمثلاً، يوصى بألا يقترب هوائيان على شكل معين أحدهما من الآخر لمسافة تقل عن عشرة أطوال موجة عندما يكون أحدهما في الفص الإشعاعي للآخر في ترددات الاستقبال المستعملة.

ولإقلال التداخل إلى الحد الأدنى بين هوائيات من أنماط مختلفة، يوصى بتوخي الفوارق القصوى في فئتين على الأقل من الفئات العامة للمكان والتردد والاستقطاب.

وفضلاً عن الهوائيات الأخرى، يمكن للهياكل المعدنية المحيطة الواقعة على مسافات تقل عن بضعة أطوال موجة من هوائي أن تشوه خصائصه على نحو غير مقبول قياساً بخصائصه في ظروف معزولة، وتشمل هذه الخصائص زوايا الارتفاع والسمت والمخططات الإشعاعية للهوائي والمواءمة مع المغذيات.

فالأخطاء الناجمة عن هذا التأثير في قياس معلمات الإرسال يمكن أن تتجاوز إلى حد كبير النسب الموصّفة للتسامح مع الخطأ المبينة في الفصل 4.

ويمكن حساب التحديد الكمي لتأثير الهوائيات والهياكل المعدنية الأخرى بواسطة برمجيات حاسوبية [Kharchenko and Fomintsev, 2001] و[Tanner and Andreasen, 1967] و[Harrington, 1968] و[Thiele, 1973].

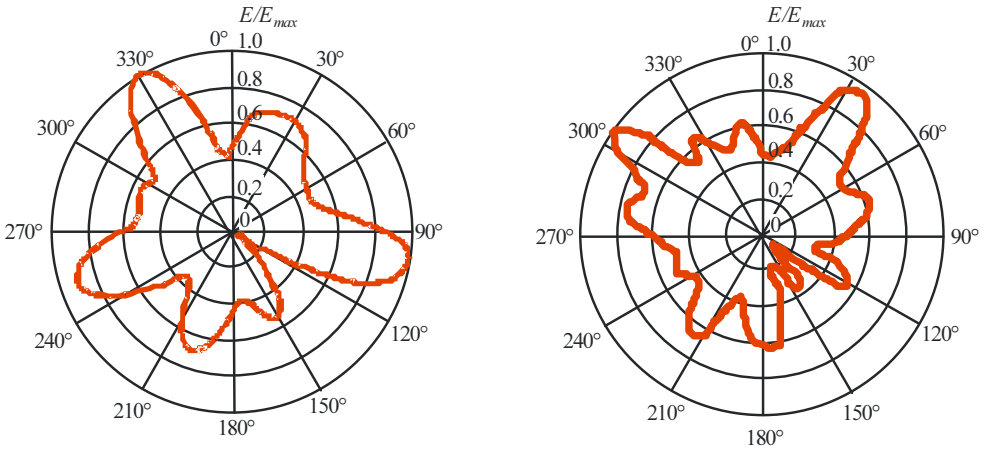
إذ تُنمذَج الهياكل المعدنية والهوائيات الأخرى الواقعة على بعد بضعة أطوال موجة (من 4 إلى 8 أطوال موجة عادة) من الهوائي قيد النظر بهياكل سلكية تحافظ على النسب الهندسية للهياكل الأصلية.

ثم يُحسب توزع التيارات ضمن جميع عناصر الهياكل السلكية بواسطة طريقة برنامج العزوم الحاسوبي. ويتيح هذا النموذج الكهرديناميي للهوائي وما يحيط به تحديد الخصائص الصحيحة للهوائي مع وجود الانتثار وإعادة الإشعاع والرنين الناتج عن الهياكل المعدنية القريبة.

وكمثال على استعمال هذه التقنية [Kharchenko and Fomintsev, 2001]، يبين الشكل 2.3-19 المخطط السمتي المحسوب لهوائي من نمط مظلة القرص– المخروط شامل الاتجاهات ويعمل في مدى التردد 30-80 MHz بوجود هياكل معدنية هامة في محيطه. وتضم هذه الهياكل هوائيات مماثلة لمدى التردد نفسه وهوائيين من نمط مظلة القرص - المخروط لمدى التردد 80-100 MHz. وهناك أيضاً بضعة هوائيات اتصالات قضيبية وسياج معدني وبعض الأشياء المعدنية الأخرى.

الشكل 19-2.3

المخطط السمتي الفعلي لهوائي شامل الاتجاهات يعمل في مدى التردد 30-80 MHz



E: شدة المجال

أ) *F* = 40 MHz

ب) *F* = 60 MHz

Spectrum-3.2-19

وكما يُرى بوضوح من الشكل 19-2.3، فإن الهوائيات والهياكل المعدنية الأخرى المحيطة تحول مخططاً إشعاعياً شامل الاتجاهات كالمبين في الشكل 7-2.3 إلى مخطط إشعاعي اتجاهي. وعلاوة على ذلك، تتفاوت التغيّرات في المخططات الإشعاعية بدرجة كبيرة مع تغير التردد، وتصل الفوارق إلى 20 dB جراء اللاخطية. ويعقّد هذا التفاوت إلى حد كبير إمكانية الحصول على قياسات صحيحة من الهوائي.

وفيما يلي بعض التوصيات المحددة بشأن وضع الهوائيات بالنسبة إلى أبنية المراقبة وبعضها إلى بعض، وهي بالنسبة إلى كل من:

صفيفات هوائيات العرى في مدى الترددات الديكامترية (HF)

ينبغي أن تكون هذه الصفيفات على بعد 100 متر على الأقل من بناء استقبال الصفيف درءاً لتشوه المخططات الإشعاعية من جراء مبنى الاستقبال.

صفيفات النطاق العريض في مدى الترددات الهكتومترية والديكامترية (MF/HF)

ينبغي ألا تبتعد هذه الصفيفات كثيراً عن المبنى (≈ 100 إلى 200 متر). وينبغي الحصول على تباعد كاف للحيلولة دون حجب الأبنية للهوائي، ولكن دون الإفراط في البعد لئلا يتسبب ذلك في خسائر كبيرة في خط التغذية. ويوصى باستخدام الخط متحد المحور لأن هذه الهوائيات هي وحدات عريضة النطاق ذات خصائص معاوقة مضبوطة بدقة وكسبها يقل بعض الشيء عن الأنماط ذات الرنين.

هوائيات الإرسال والاستقبال

ينبغي الحفاظ على أقصى قدر من الفصل بين الهوائيات المستعملة للإرسال والهوائيات المستعملة للاستقبال، للإقلال إلى أدنى حد من التحميل الزائد للمستقبلات بإشارات تولدها المرسلات المحلية. وينبغي توخي العناية في تحديد موقع هوائيات الإرسال بحيث لا يشع فصها الرئيسي وفصوصها الجانبية مباشرة على الهوائيات المستعملة لأغراض الاستقبال فقط.

هوائيات تحديد الاتجاه

إذا تقرر تركيب تجهيزات تحديد الاتجاه في محطة المراقبة، ينبغي أن يؤخذ في الاعتبار الأثر الممكن لمكونات إعادة الإشعاع من هوائيات الاستقبال فيما يتعلق بأثرها في التسبب في أخطاء في قياسات تجهيزات تحديد الاتجاه (انظر الفقرتين 7.2 و7.4).

الهوائيات النشطة

نظراً لخفض الاقتران المتبادل إلى الحد الأدنى فيما بين الهوائيات النشطة وكذلك بينها وبين الهياكل الأخرى، يمكن تركيب الهوائيات النشطة على مسافات أقرب فيما بينها مما هو الحال في الهوائيات المنفعلة. وحيث إنه يمكن للمرسلات الراديوية عالية القدرة أن تشوش على الهوائيات النشطة، يجب أخذ ذلك في الحسبان عند اختيار موقع تلك الهوائيات.

هوائيات الترددات المترية والديكامترية (VHF/UHF) (فوق 30 MHz)

ينبغي نصب هذه الهوائيات في أماكن مرتفعة على أبراج قرب مبنى الاستقبال للإقلال إلى أدنى حد من الخسائر في الكبل متحد المحور، ولزيادة مساحة تغطية خط البصر إلى أقصى حد. حيث يلزم برج بارتفاع 24 متراً لتغطية مساحة دائرة نصف قطرها 20 كيلومتراً في خط البصر، فيما تمتد تغطية برج ارتفاعه 48 متراً إلى دائرة نصف قطرها 30 كيلومتراً في خط البصر.

هوائيات الترددات فوق 1 000 MHz

يجب وضع هذه الهوائيات في أماكن يكون فيها خط البصر المكشوف مضموناً (فوق بناء أو برج أو جبل مثلاً)، لا سيما في المراقبة للأرض. وينبغي تركيب أنظمة الاستقبال على مقربة من الهوائي تلافياً للخسارات العالية في الكبل متحد المحور.

6.2.3 هوائيات محطات المراقبة المتنقلة

تقدم محطة المراقبة المتنقلة نفس وظائف المحطة الثابتة في مركبة متنقلة يمكن قيادتها من موقع إلى آخر. ويوفر هذا الترتيب موارد قياس يسهل تحريكها استجابةً لشكوى معينة أو غير ذلك من احتياجات المراقبة، ويمكن وضعها في مسير انتشار إشارة تسترعي الاهتمام في خط البصر.

ويعتبر حجم الهوائيات القيد الرئيسي المفروض عليها في محطات المراقبة المتنقلة. ويتحتم أن تكون الهوائيات صغيرة نظراً لضيق المكان وهو أمر لا مفر منه. ولذلك فإن حجم الهوائي في حالة الترددات الأدنى لا يمثل سوى جزء قليل جداً من طول الموجة. وتتوفر هوائيات العرى التي تغطي نطاق التردد من 9 kHz إلى 30 MHz بوجود مادة فيريتية أو بدونها، وبفضل خصائصها الكهربائية المحددة بوضوح، فهي مناسبة على نحو خاص لقياسات شدة مجال إشارات الموجات الأرضية ولتحديد اتجاهها. وللترددات ما بين 30 MHz و3 GHz، تتوفر هوائيات شاملة الاتجاهات عريضة النطاق لاستقبال الموجات المستقطبة رأسياً أو أفقياً. أما الأمداء الترددية النموذجية المغطاة فهي من 20 إلى 1 000 MHz أو من 200 إلى 3 000 MHz أو من 30 MHz إلى 3 GHz.

وتتوفر طائفة شتى من الهوائيات الاتجاهية وهوائيات تحديد الاتجاه للترددات ما فوق 30 MHz، بما فيها هوائيات Yagi واسعة أو ضيقة النطاق وثنائيات الأقطاب القابلة للتوليف وثنائيات الأقطاب المطوية والهوائيات ثنائية المخروط والهوائيات اللوغاريتمية الدورية. وبوسع هذه الهوائيات تغطية نطاقات ترددية واسعة وتلبية جميع احتياجات محطة مراقبة متنقلة. ويرد وصف هوائي يمثل هذه الفئة من الهوائيات في مطلع الفقرة 1.4.2.3.

وتُنصب معظم هوائيات المحطات المتنقلة على المركبة. ولا تُركَّب الهوائيات العاكسة للترددات ما فوق 1 000 MHz على المركبة بصورة دائمة عادة، بل تُحمل معها وتُنصب عند الحاجة عند توقف المركبة، كما يظهر في الشكل 2.3-20. ويمكن استعمال الهوائيات النشطة في كل الأمداء الترددية تبعاً للبيانات التقنية لهذه الهوائيات والقيود التي تحكمها والتي جاء ذكرها في بحث الهوائيات شاملة الاتجاهات أعلاه. ويمكن استعمال الهوائيات النشطة المحمولة باليد (انظر الشكل 2.3-21) لأغراض المراقبة أو قياس شدة المجال أو حتى تحديد الاتجاه.

ويبدو في الشكل 2.3-22 محطتان نمطيتان متنقلتان للمراقبة، ولكل منهما هوائي منصوب على ظهر المركبة على صارية تعمل بالهواء المضغوط.

وتتصف المحطات المتنقلة بأهمية خاصة في مراقبة ترددات الموجات الصغرية. وتنتشر إشارات اتصالات الموجات الصغرية عادة ضمن حزم ضيقة جداً ومحددة جيداً ومصممة للاتصالات من نقطة إلى نقطة أو من نقطة إلى نقاط متعددة.

ولذلك يُستبعد جداً أن تكون محطة ثابتة قريبة بما يكفي من مسير موجات صغرية بحيث تتمكن من اعتراض إشارة اتصالات بالموجات الصغرية. ولا يُنصح بتركيب وسيلة اعتراض موجات صغرية في محطة ثابتة نظراً لتكلفتها العالية وفائدتها المحدودة جداً؛ بل حري بهذه التجهيزات أن تتوفر في مركبة متنقلة أو تشكيلة قابلة للحمل. ويمكن تنفيذ نظام كامل لإجراء القياسات من 1 إلى 40 GHz فما فوق في مركبة مكرسة لهذا الغرض.

الشكل 20-2.3

هوائي الموجات الصغرية القابل للنقل



Spectrum-3.2-20

الشكل 21-2.3

الهوائي الاتجاهي المحمول باليد



Spectrum-3.2-21

الشكل 22-2.3

مثالان لمحطات المراقبة المتنقلة





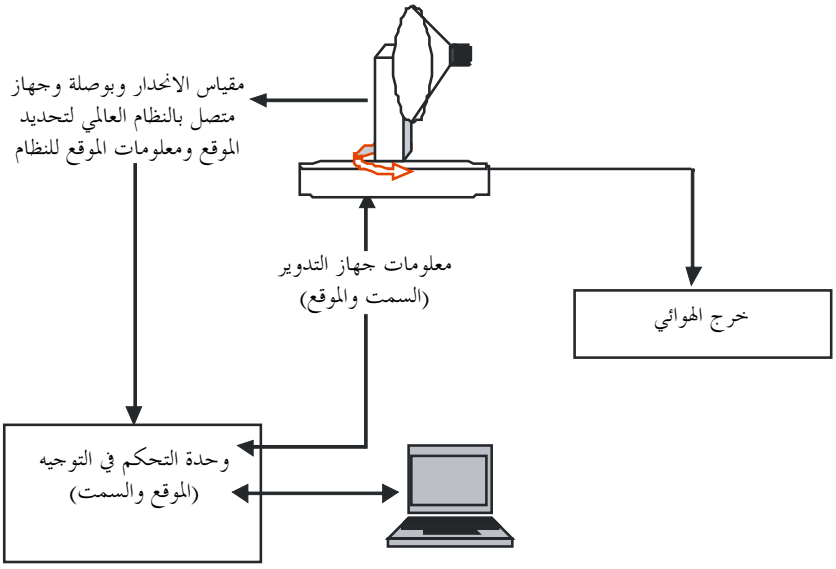
Spectrum-3.2-22

وفي هذه الحالة، المبينة في مخطط وظيفي نمطي (انظر الشكل 2.3-23)، يتألف نظام الهوائي من العناصر التالية:

- نظام الهوائي.
- نظام أوتوماتي لتحديد الموقع.
- وحدة مراقبة الهوائي.
- لوحة خرج الهوائي.
- وحدة التحكم بالسمت والارتفاع.

الشكل 2.3-23

مثال نظام مراقبة للترددات السنتيمترية SHF



Spectrum-3.2-23

ويمكن أن يتألف نظام الهوائي من بضعة هوائيات لمراقبة نطاق التردد بأكمله كما يبين الشكل 2.3-24. وفضلاً عن ذلك، وتوخياً للمرونة في قياسات الترددات السنتيمترية SHF مع الأخذ في الحسبان اختلاف حالات القياس والمستوى المنخفض لإشارات هذه الترددات SHF، من المفيد الاحتفاظ ببعض الأجهزة التكميلية، مثل المكبرات منخفضة الضوضاء (LNA) ومراشيح YIG لتمرير نطاق التردد، على مقربة من نظام الهوائي.

ويوفر الحاسوب الشخصي السطح البيني للتفاعل بين نظام الهوائي والمستعمل.

وتقوم وحدة التحكم بالتوجيه بدور المشرف. فهي ترسل البيانات لمراقبة نظام التوجيه وتستقبل معلومات من مختلف المحاسيس لتقدم بيانات عن وضع النظام وعن المرجعية الجغرافية.

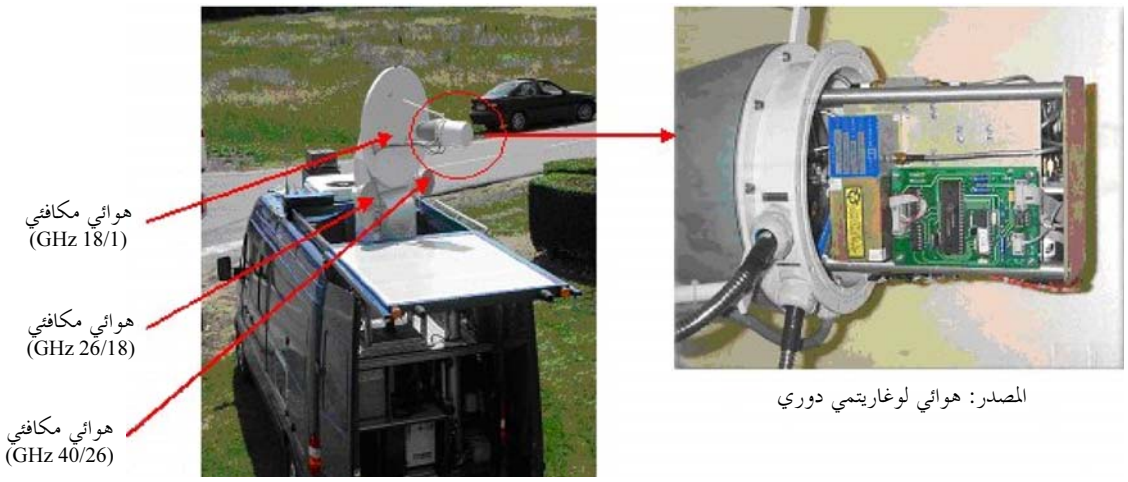
وتتوفر للمستعمل لوحة خرج الهوائي كي يوصل مختلف أجهزة القياس بجميع المخارج المتيسرة (مع مكبرات LNA ومرشحات وما إليها، أو بدونها). وفي الشكل 2.3-25 مخطط وظيفي تسلسلي نمطي لقياس الترددات SHF.

7.2.3 هوائيات المحطات القابلة للنقل والقابلة للحمل

تُصمم الهوائيات القابلة للنقل والقابلة للحمل بحيث يخفض وزنها وحجمها إلى الحد الأدنى. فالهوائي الذي يظهر في الشكل 2.3-10 أ) (إلى اليسار) يُستعمل في الاستخدامات المتنقلة أو القابلة للنقل، ويسهل نقله في صندوق - حقيبة. ويمكن تثبيت الهوائي القابل للنقل أعلى صارية صغيرة تليسكوبية اختصاراً للوقت اللازم لنصبه إلى أدنى حد. ويمكن نصبه أيضاً على مركبات من أجل المحطات شبه الثابتة.

الشكل 2.3-24

منظور عام لنظام الهوائي

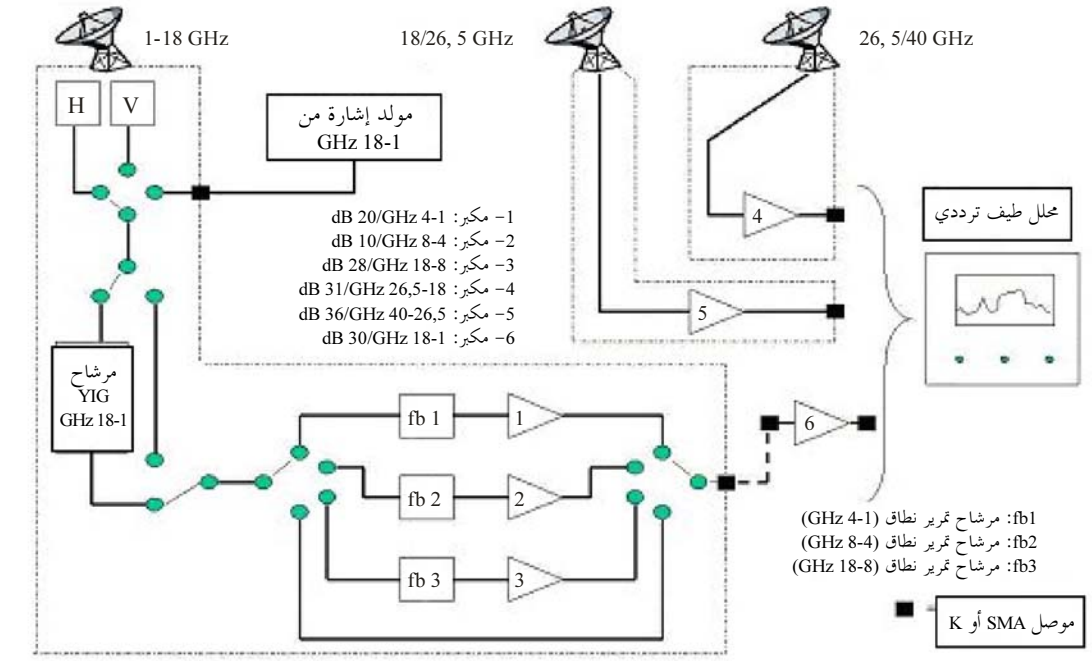


المصدر: هوائي لوغاريتمي دوري

Spectrum-3.2-24

الشكل 2.3-25

مخطط وظيفي لسلسلة الاستقبال



Spectrum-3.2-25

وتمكن التحسينات في مجال التكنولوجيا والتكامل الهوائيات القابلة للنقل من تقديم وظائف وأداء هوائيات المحطات الثابتة والمتنقلة. وتجعل هذه الهوائيات المصحوبة بمستقبِل متكامل المحطة قابلة للنقل أو الحمل، ويستفاد من ذلك خاصة في مهام المراقبة داخل المدينة أو المناطق التي يصعب الوصول إليها. فالطيف كثيف جداً في مناطق المدن، ولا يُعتد دوماً بقياسات المراقبة في الشوارع، بل لا يعتد إلا بنتائج القياسات من أعلى مواقع مكرسة لهذا الغرض، وهي مبان في المدينة على وجه العموم تقدم نتائج موثوقة. وتحتاج عملية المراقبة هذه إلى هوائيات ومحطات صغيرة الحجم منخفضة الارتفاع خفيفة الوزن. ويوفر التشكيل القابل للنقل أو للحمل موارد قياس يسهل تحريكها بحيث تُوضع على مسير انتشار خط البصر للإشارة.

وفيما يلي ثلاثة أمثلة عن الهوائيات/المحطات القابلة للحمل:

النمط 1: يتطلب هذا النمط من الهوائيات/المحطات القابلة للحمل التنصيب. إذ تُحمل التجهيزات على ظهر شخص إلى موقع مكرس للقياس. ويعرض الشكل 2.3-26 مثالاً لهوائي تحديد الاتجاه من هذا النمط يمكن تنصيبه سريعاً (في دقائق معدودة). والهوائي ومحطة المراقبة متكاملان، يشملان مستقبل ووحدة تبديل الكبل والهوائي، ويحملان على الظهر. وهيكل الهوائي موضوع بأكمله داخل علبة بلاستيكية.

النمط 2: لا يتطلب هذا النمط من الهوائيات القابلة للحمل التنصيب. فالمحطة برمتها (الهوائي والمستقبل) مدمجة في تجهيزة يحملها المشغل وتعمل وهو يتنقل. ويُدمج السطح البيني للإنسان - الآلة (MMI) إما في وحدة مساعد رقمي شخصي (PDA) تمكن المشغل من الحركة بحرية، أو في حاسوب محمول. وثمة هوائي في جانب المستقبل مدمج لتحديد الاتجاه. وفي التطبيقات المحمولة، يقوم شخص واحد بمهام المراقبة وهو طليق اليدين. ويمكن أن يتوفر هوائي لتحديد الاتجاه لنطاقات الترددات الأعلى.

الشكل 2.3-26

مثال لهوائي ترددات VHF/UHF قابل للحمل



أ) الهوائي معبأ في صندوقه وجاهز للحمل



ب) هوائي 20-000 3 MHz في تشكيلة نشر حيث ينصب مستقبل صغير ومحدد اتجاه

Spectrum-3.2-26

النمط 3: يمثل هذا النمط من الهوائيات المحمولة حلاً مختصراً جداً. فالهوائي الاتجاهي المحمول باليد يعمل كهوائي مراقبة ومحدد اتجاه ويوصَل بمستقبل محمول باليد يمكن تشغيله من لوحة أمامية دون الحاجة إلى حاسوب شخصي أو مساعد شخصي رقمي (PDA) إضافيين. ويمكن لشخص واحد أداء مهام المراقبة.

ويعرض الشكل 2.3-27 نمطاً آخر من الهوائيات التي قد تلزم لاستعمال محدد. وهو هوائي مراقبة مرن يتم تركيبه على غلاف منطاد يكون عظيم الفائدة في المناسبات قصيرة الأجل مثل مراقبة مناسبات خاصة من قبيل زيارات رؤساء الدول والأحداث الرياضية.

الشكل 2.3-27

مثال لهوائي VHF/UHF مرن محمول على غلاف منطاد



Spectrum-3.2-27

ويمكّن ارتفاع الهوائي الذي يصل حتى 100 متر بفضل منطاد كهذا من كشف وقياس أكبر عدد من الإشارات موضع الاهتمام. وهو يتفوق أيضاً على المحطات الأرضية في اعتراض أكبر عدد من الإشارات دون تشويش بفعل المباني والغابات والعوائق المرتفعة الأخرى أو بفعل الانتشار متعدد المسيرات.

ويرتبط المنطاد بمستقبل صغير (مركب على الأرض) يُنشر بسرعة ويسر، ويسعه أن يراقب بسرعة نطاقات التردد VHF/UHF بما في ذلك المستعملين غير المرخصين والتداخل.

وتُستعمل تشكيلتان لتجنب الخسارة المفرطة في الكبل نتيجة لارتفاع المنطاد:

- يمكن وضع مستقبل المراقبة ووحدة المعالجة تحت المنطاد. وفي هذه الحالة، يتدلى كبلان (لإرسال التغذية الكهربائية والبيانات) إلى المحطة الأرضية.
- يمكن استعمال محول خافض لتحويل التردد الراديوي للإشارة إلى تردد متوسط في نطاق التردد الأساسي. فإذا كان التحويل تماثلياً، يمكن استعمال كبل ترددات راديوية إن كان المنطاد على ارتفاع منخفض. وإذا كان التحويل رقمياً، يمكن استعمال وصلة بصرية أو وصلة بيانات لنقل البيانات إلى المحطة الأرضية.

8.2.3 خطوط الإرسال وأنظمة التوزيع

1.8.2.3 خطوط الإرسال

تنقل خطوط الإرسال في محطات المراقبة القدرة المستَقبَلة من الهوائي إلى المستقبِل.

وخط الإرسال متحد المحور هو الحل المفضّل بين شتى أنواع خطوط الإرسال. فمعاوقته تبقى منتظمة شرط الضبط الوافي لأبعاد أجزاءه المتنوعة بما فيها الموصلات. ولا تتأثر كثيراً الإشارات العابرة للكبلات متحدة المحور الجيدة بوجود أشياء أخرى. وتُصنّع الكبلات متحدة المحور بتنوع واسع من المقاسات والمواد. وتتعدد خواص الكبلات المتحدة المحور المتيسرة وتتفاوت فيما بينها، وتشمل طائفة واسعة من الأسعار. وهناك عدد من الكتيبات المتوفرة، الصادرة بصورة خاصة عن مصنعي

الكبلات، وهي تعدد الخواص التي ينفرد بها كل كبل متحد المحور. ومن المهم استعمال كبل متحد المحور من النمط ذي الجديلة مزدوجة الدرع أو ذي الناقل الخارجي المصمت.

ومن المقبول عملياً وجود توهين إجمالي بمقدار 3 dB في خط إرسال مستقبِل. ومن شأن استعمال مستقبِل مدمج في قاعدة الهوائي تفادي مد الكبلات لمسافات طويلة ومن ثم الحد من خسارة الإدخالَ والاستغناء عن مكبر منخفضَ الضوضاء (LNA) في وحدة التبديل.

2.8.2.3 أنظمة التوزيع

حالما تُنقل الطاقة التي يستقبلها هوائي معين إلى نقطة داخل مبنى المراقبة، ثمة حاجة عادة لتوزيع هذه الطاقة إلى مواقع استقبال متنوعة. وينبغي لنظام التوزيع أن يأخذ في الحسبان الاستعمال النهائي المزمع لكل خرج بما يتيح الحصول على النتائج المثلى. وبصفة عامة، ينبغي الحفاظ على أعلى مستوى ممكن للإشارة بحيث يستغنى عن توفر الحساسية المفرطة في أجهزة الاستقبال. كما ينبغي الحفاظ على جودة الإشارة (النسبة *S/N*)، أو الإقلال من انحطاطها قدر المستطاع، حتى لا تُنتقص مميزات الهوائيات عالية الكسب وكبلات التوزيع منخفضة الخسارة.

ومن شأن المستقبلات التي توصل على التوازي مع خط إرسال أن تحط من أداء نظام المراقبة جرّاء عوامل من قبيل موجات مستقرة وتقسيم للقدرة غير محدد وإعادة إشعاع المذبذب المحلي. ولا يُنصح بهذه الطريقة، بل ينصح باستعمال المواءمة وتقسيم الإشارة بدلاً من ذلك.

ومع تقدم التكنولوجيا يزداد عدد الهوائيات في محطة المراقبة الراديوية؛ ويؤدي ذلك إلى تعقد أنظمة الاستقبال وأنظمة التوزيع. ومن الضروري أحياناً استقبال إشارات من هوائيات نطاقات تردد مختلفة وذات مستقبلات مختلفة. وقد استفادت أنظمة التوزيع من تكنولوجيا الحاسوب والبرمجيات وارتقت من الوحدات الميكانيكية إلى وحدات التجهيزات الرقمية.

1.2.8.2.3 المبدأ

تضم أنظمة التوزيع عموماً مبدلاً هوائياً ووحدة ازدواج للهوائي. ويُستعمل أحدث ما توصلت إليه التكنولوجيا لدمجهما بغية تحقيق التحكم عن بعد عبر الشبكة.

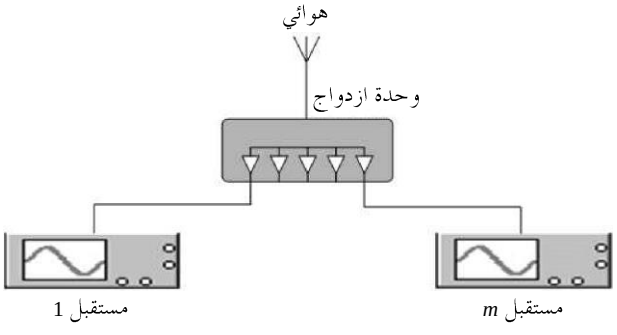
1.1.2.8.2.3 وحدة الازدواج للهوائي

تدعى التجهيزات، في نظام الاستقبال، التي توزع إشارة من هوائي واحد إلى مستقبل متعدد القنوات أو إلى مستقبلات متعددة، وحدة الازدواج للهوائي. ووحدة الازدواج للهوائي هي أول مكون في نظام الاستقبال وينبغي أن تتمتع بخطية جيدة للإقلال من التشكيل البيني إلى الحد الأدنى.

ويبين الشكل 2.3-28 توصيلية الهوائي ونظام التوزيع وتجهيزات التحليل.

الشكل 2.3-28

مثال لنظام التوزيع



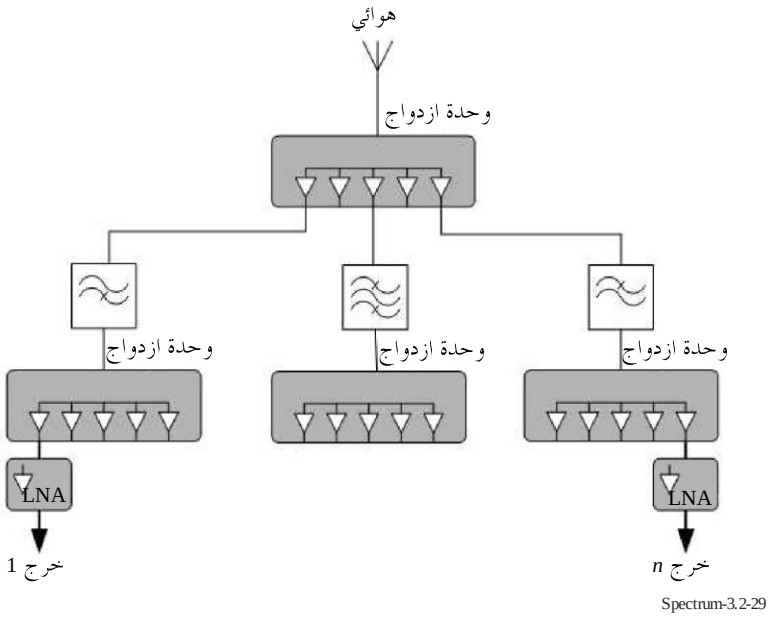
Spectrum-3.2-28

وقد تتألف وحدة ازدواج الهوائي من وحدات ازدواج متعددة وقد تضم مرشحات أحادية تعزل مختلف مسيرات الإشارة بعضها عن البعض؛ ويُستعمل مكبر LNA للتعويض عن التوهين ودارة التحكم.

ويبين الشكل 2.3-29 مخططاً وظيفياً لوحدة ازدواج متعددة المسيرات.

الشكل 2.3-29

مخطط وظيفي نمطي لوحدة ازدواج متعددة المسيرات



ولا مناص، بحكم لاخطية بعض المكونات، من انحطاط عامل الضوضاء في حالة التوصيل عبر وحدة ازدواج متعددة المسيرات. لذا تُستعمل وحدات الازدواج من المستوى 2 والمستوى 3 على نطاق واسع للحفاظ على الأداء. وبصفة عامة، ينحط عامل الضوضاء والخطية مع زيادة عدد المخارج.

2.1.2.8.2.3 مبدل الهوائي

ينتقي مبدل الهوائي إشارة دخل مرغوبة لمستقبل واحد من عدة مداخل للهوائي. ويعرض الشكل 2.3-30 مبدل هوائي ترددات راديوية.

وكما هو الحال في وحدات ازدواج الهوائي، يتألف مبدل الهوائي من مكونات تختلف باختلاف نطاقات التردد نتيجة لقيود التردد بالنسبة لفرادى المكونات؛ ومن الضروري وضع تصميم للعزل بين هذه المكونات.

وتستعمل مكبرات LNA أحياناً للتعويض عن توهين المكونات.

3.1.2.8.2.3 نظام التوزيع

يُستعمل نظام توزيع إشارة الترددات الراديوية لتوزيع الإشارات من هوائيات مختلفة على مستقبلات مختلفة.

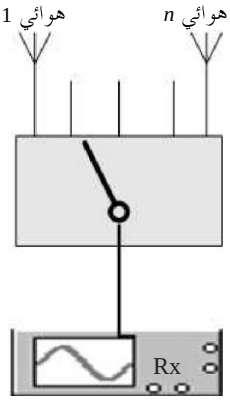
وتتيسر الإشارات من أي هوائي لأي مستقبل من المستقبلات؛ ويمكن توصيل أي إشارة دخل إلى أي خرج في نظام التوزيع.

وأنظمة التوزيع نوعان. أحدهما يماثل ما نراه في نظام تبديل، ويُعرف بنظام سد. وفي نظام كهذا، لا يوصل إلا هوائي واحد بالمستقبل، وتُسَد أي محاولات جديدة للتوصيل. ويُبين في الشكل 2.3-31 نظام توزيع نمطي مع السد.

أما النوع الآخر فهو يستخدم تكنولوجيا أحدث تسمح بإقامة التوصيل بين هوائيات متعددة وأي من المستقبلات، أو بين هوائي واحد ومستقبلات متعددة.

الشكل 30-2.3

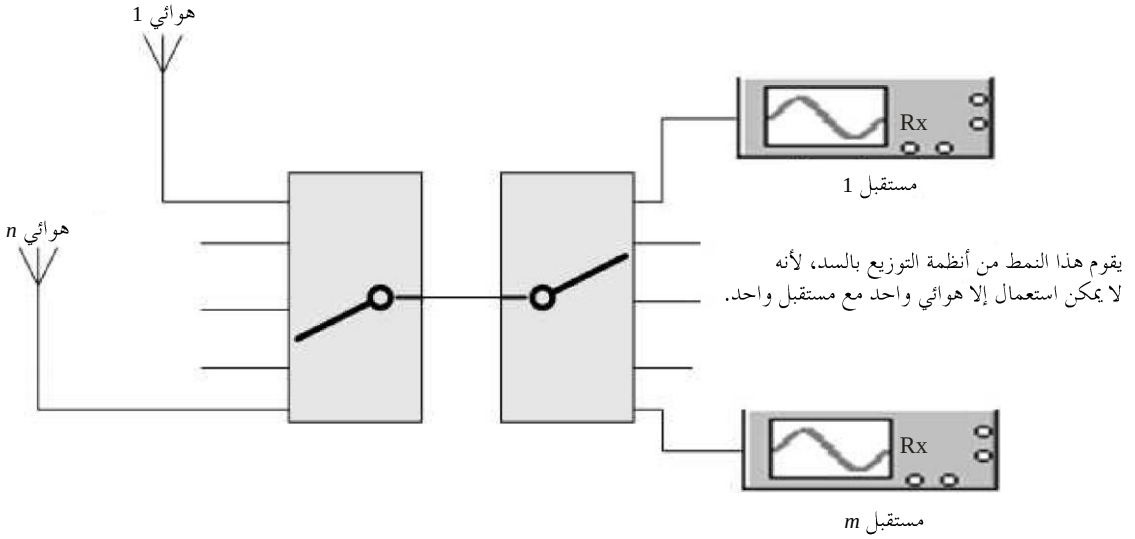
مبدل هوائي نمطي



Spectrum-3.2-30

الشكل 31-2.3

نظام توزيع نمطي مع السد



Spectrum-3.2-31

وفي الواقع، تتألف مصفوفة مثالية M × N من عدد M من وحدات الازدواج وعدد N من مبدلات الهوائي. ويقدم كل هوائي وحدة ازدواج ذات مسيرات عددها n مع مخارجها، فيما توصل مخارج المسيرات التي عددها n لوحدة الازدواج بمدخلات مبدلات الهوائيات التي عددها n. وسيزود كل مبدل هوائيات المستقبلات التي عددها n بمخارجها. ويوضَح مبدأ مصفوفة الهوائيات بدون سد في الشكل 32-2.3.

فمثلاً، إذا لزم توصيل المستقبل x بالهوائي y، تنقسم إشارة هذا الهوائي إلى مخارج عددها m بواسطة وحدة الازدواج y وتُنقل إلى المستقبِل x بواسطة مبدل الهوائي x.

حيث:

n: أقصى عدد للهوائيات ذات وحدات الازدواج

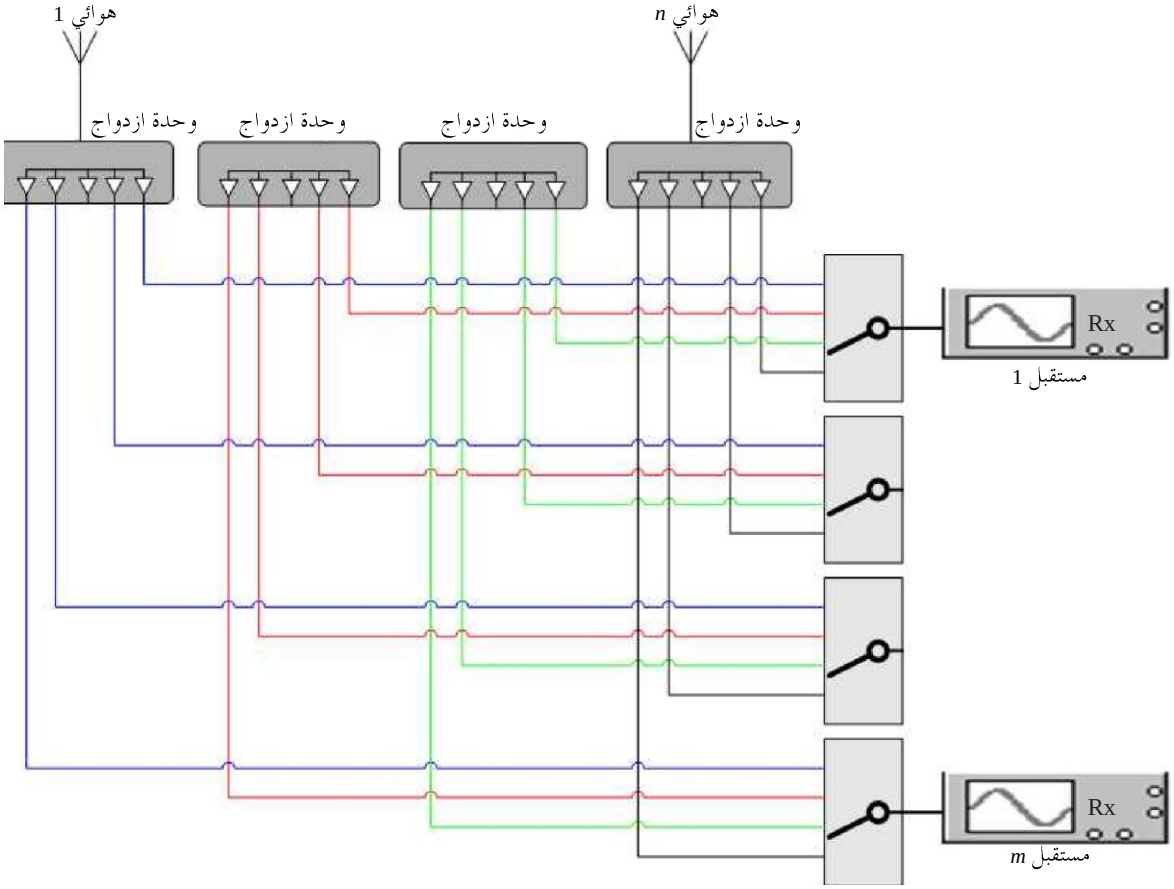
m: أقصى عدد للمستقبلات

x: المستقبِل المنتقى

y: الهوائي المنتقى.

الشكل 32-2.3

نظام توزيع نمطي بدون سد



Spectrum-3.2-32

2.2.8.2.3 الأداء

رغم التطور المتعاظم لتكنولوجيا معالجة الإشارة الرقمية في مجال كشف الإشارة وإزالة التشكيل وتحديد الاتجاه، لا تزال التكنولوجيات التماثلية ضرورية في توزيع الإشارة.

وينبغي لنظام توزيع جيد أن يسعى للأداء الأمثل في مجالات مثل الحساسية والمدى الديناميي ومبدل إشارة التردد الراديوي ومقدرة التوزيع والعزل بين القنوات.

وينبغي أن تشمل مواصفات نظام التوزيع المعلمات الرئيسية التالية:

- مدى التردد.
- خسارة الإدخال.
- العزل.
- المدى الديناميي.
- ناتج التشكيل البيني من الدرجة الثالثة.
- عامل الضوضاء.

المراجـــع

ASHIKHMIN, A., KOZMIN, V., KOROVIN, A. and REMBOVSKY, A. [2006] Distributed Systems of Radio Monitoring and Direction Finding. *Spetsialnaya Tekhnika*, 5, (http://www.ircos.ru/en/articles.html).

HARRINGTON, R. F. [1968] *Field Computation by Moment Methods*. The Macmillan Company, New York, United States of America.

KHARCHENKO, I. P. and FOMINTSEV, S. S. [2001] Raschet kharakteristik antennikh sistem stantsii radiokontrolya na osnove matematicheskogo modelirovaniya (Calculation of the characteristics of radio monitoring station antenna systems on the basis of the mathematical modelling). *Elektrosvyaz*, **9**, Moscow, Russian Federation.

REMBOVSKY, A., ASHIKHMIN, A. and KOZMIN, V. [2006] *Radiomonitoring: Problems, Methods and Equipment*. Moscow, Goriachaya Liniya-Telekom press, (http://www.ircos.ru/en/articles.html).

TANNER, R. L. and ANDREASEN, M. G. [September, 1967] Numerical Solution of Electromagnetic Problems. IEEE Spectrum.

THIELE, G. A. [1973] *Wire Antennas in Computer Techniques for Electromagnetics*, Chapter 2. Pergamon Press, New York, United States of America.

بيبليوغرافيـــا

AISENBERG, G. Z., IAMPOLSKY, V. G. and TERESHIN, O. N. [1977] *Antenny UKV* (UHF Antennas). Sviaz, Moscow, Russian Federation.

AISENBERG, G. Z., BELOUSOV, S. P., JURBENKO, E. M. *et al.* [1985] Korotkovolnovye antenny (HF Antennas). *Radio i Sviaz*, Moscow, Russian Federation.

ARRL [2000] The ARRL *Antenna Book*. Newington, CT, United States of America.

BALANIS, C. A. [1982] *Antenna Theory*. John Wiley and Sons, United States of America.

BRAULT, R. and PIAT, R. [1962] Les antennes. Librairie de la radio, Paris, France.

DAVIES, K. [1990] *Ionospheric Radio.* Peter Peregrinus Ltd, London, United Kingdom.

JOHNSON, R. C. [1993] *Antenna Engineering Handbook*. McGraw-Hill, New York, NY, United States of America.

KRAUS, J. D. [1950] *Antennas*. McGraw-Hill, New York, NY, United States of America.

MARKOV, G. T. and SAZONOV, D. M. [1975] *Antenny* (Antennas). Energia, Moscow, Russian Federation.

THOUREL, L. [1956] *Les antennes*. Dunod, Paris, France.

WATT, A. D. [1967] *VLF Radio Engineering*. Pergamon Press, Oxford, United Kingdom.

WEEKS, W. L. [1968] *Antenna Engineering*. McGraw-Hill, New York, NY, United States of America.

توصيات قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد:

ملاحظة – يشجع في كل حالة استعمال آخر طبعة من أيٍ من التوصيتين المشار إليهما.

التوصية ITU-R F.162 – استعمال هوائيات إرسال اتجاهية في الخدمة الثابتة تشتغل في نطاقات تقل عن حوالي 30 MHz

التوصية ITU-R BS.705 – خصائص ومخططات هوائيات الإرسال والاستقبال على الموجات الديكامترية (HF).

3.3 مستقبلات المراقبة

1.3.3 اعتبارات عامة

يرتبط أداء محطة المراقبة مباشرة بجودة تجهيزات المحطة، بما فيها الهوائيات والمستقبلات وأجهزة تحديد الاتجاه راديوياً والمعالجات. وتتناول الفقرات 2.3 و4.3 و2.6.3 بالبحث الهوائيات وأجهزة تحديد الاتجاه والمعالجات. وإذ تتطلب الدراسة المعمقة للمستقبلات منشوراً مكرساً لها، فلا ترد في هذا المقام إلا نظرة عامة على المستقبلات وتعريفاً لسماتها الرئيسية والاحتياطات التشغيلية الواجب اتخاذها في هذا الشأن.

ووظيفة المستقبل هي انتقاء إشارة راديوية من بين جميع الإشارات التي يلتقطها الهوائي الموصول به، وإعادة إنتاج المعلومات المُرسلة بالإشارة الراديوية أو خصائصها عند خرج المستقبل. وكانت معظم المستقبلات فيما مضى تستعمل دارات تماثلية بالكامل، غير أن معظم المستقبلات الحديثة رقمية تستعمل تقنية المعالجة الرقمية للإشارة (DSP) لتنفيذ العديد من وظائف المستقبل، بدءاً من مجرد رقمنة خرج الكاشف إلى رقمنة نطاق التردد الأساسي بأسره، بما في ذلك إزالة التشكيل رقمياً كما تفعل أنظمة "الراديو المحدد بالبرمجيات". ويرد أدناه بحث في كلا نمطي المستقبلات، التماثلي والرقمي.

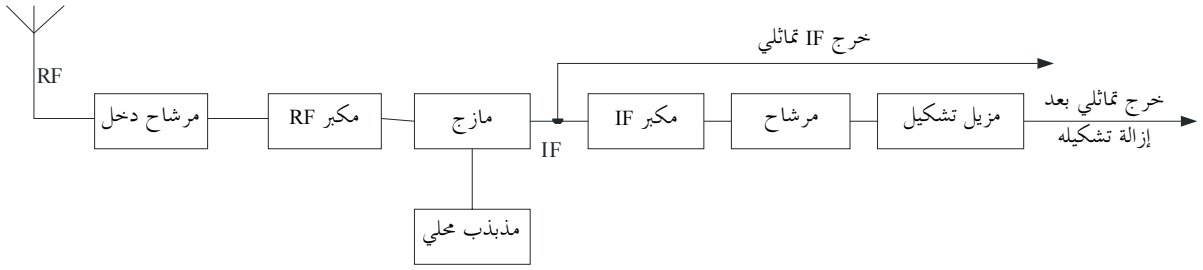
والمستقبلات الحديثة آخذة في الصغر من حيث الحجم بفعل التحسينات التكنولوجية. ذلك أن تصغير المذبذبات عالية الاستقرار يتيح تصغير القسم التماثلي من المستقبل. وفي المستقبلات الرقمية، يزداد القسم الرقمي قوة ويقل حجمه بفضل التحسينات الطارئة على المحولات من التماثلي إلى الرقمي، وعلى الذاكرة والمعالجات. أما السطوح البينية فهي حالياً رقمية بالكامل.

2.3.3 المستقبلات التماثلية

يبين المخطط الوظيفي في الشكل 3.3-1 المراحل الرئيسية لمستقبل تماثلي. فمرشاح الدخل، المؤلف نمطياً من صف من دارات الانتقاء الأولي أو مرشحات تتبُّع دون الثُمانية، يتيح استقبال الإشارات المرغوبة وإزالة تلك الواقعة خارج نطاق التردد درءاً للتشكيلات البينية في مكبر الترددات العالية. وينبغي لهذا المرشاح أن يحوي التردد المركزي للإرسال المعتزم استقباله، وأن يتمتع بنطاق تمرير ترددات عريض بما يكفي لاستقبال الطيف المُرسل المرغوب برمته.

الشكل 3.3-1

مخطط وظيفي نمطي لمستقبل تماثلي



Spectrum-3.3-01

ولذا يتعين على مصمم محطة المراقبة أن ينتبه إلى ما يحتمل استقباله من قدرة إرسالات ضمن نطاق تمرير مرشاح الدخل هذا، إذ يحتمل أن تولد الإشارات غير المرغوبة إشارات هامشية جراء التشكيل البيني في مكبر الترددات الراديوية و/أو تؤدي إلى انحطاط حساسية مكبر الترددات الراديوية جراء سدها له. ويقتضي التخلص من هذه المؤثرات أن يتمتع مكبر الترددات الراديوية بخطية كافية.

كما أن الغرض من مرشاح الدخل هو توهين استقبال تردد الصورة.

ويحدد مكبر الترددات الراديوية بكسبه حساسية المستقبل جزئياً. ولكنه يقوم بوظيفة أخرى بالغة الأهمية فهو يمنع، بواسطة مرشاح الدخل، إشارة المذبذب المحلي من الانتقال إلى الهوائي الذي من شأنه أن يشعّها مولداً إشارة راديوية هامشية.

ويحدث التشكيل البيني فيما بين إشارتين عندما تعبران دارة لاخطية كما يأتي بيانه في الفقرة 5.6. ويمكن لإشارات التشكيل البيني أن تركب على الإشارات المفيدة وتتداخل معها. ومن منظور التشكيل البيني، تُحدد جودة أي مستقبِل بقيمة نقطة اعتراضه من الدرجة الثالثة التي ينبغي أن تكون أعلى ما يمكن.

وتحد الضوضاء التي تولدها دارات دخل المستقبِل من حساسيته، لا سيما ضوضاء مكبر الترددات الراديوية والمازج. ويُعبَّر عن الحساسية أيضاً في الجدول 3.3-1 بعامل الضوضاء الذي ينبغي أن يكون أقل ما يمكن. وتتوقف العلاقة بين الحساسية وعامل الضوضاء للمستقبل نفسه على نطاق التمرير للمستقبل.

ولدى توصيل مستقبل بهوائي، تُضاف إلى ضوضائه المولدة داخلياً ضوضاء طبيعية ذات منشأ خارجي من قبيل الضوضاء الجوية وضوضاء المجرة والضوضاء الشمسية، ناهيك عن ضوضاء اصطناعية من قبيل التداخل الصناعي وإشعاع التجهيزات الإلكترونية وإشعاع المرسلات عموماً. لذا، يتعين على مصمم محطة مراقبة أن ينتقي مستقبِلاً من منظور حساسيته وفقاً لمستويات الضوضاء المقيسة.

وجدير بالملاحظة أن المستقبِل البالغ الحساسية يعاني من ضعف الأداء من حيث الخطية، أي التشكيل البيني والسد. فالسد هو من أعراض انحطاط حساسية المستقبل، ويمكن أن ينجم عن إشارة واحدة فقط غير مرغوب فيها تقع على مقربة من موجة حاملة مرغوب فيها خارج نطاق تمرير التردد المتوسط للمستقبل.

ولذلك، تحتوي مستقبلات المراقبة عادة على مكبرات أولية قابلة للتبديل أو ذات كسب قابل للبرمجة. ويتيح ذلك للمستقبِل أن يعمل إما بأسلوب الحساسية العالية (بأسلوب "التفعيل" للمكبر الأولي) أو بأسلوب الخطية العالية/التشوه المنخفض (بأسلوب "التبطيل" للمكبر الأولي).

وثمة خصائص أخرى ينبغي توصيفها أو البحث فيها، من قبيل:

- عروض نطاق مرشحات التردد المتوسط؛
- أنماط إزالة التشكيل اللازمة؛
- فعالية التحكم الأوتوماتي في الكسب؛
- فعالية نظام التوليف الأوتوماتي؛
- الاستجابة الترددية للدارات المعالجة للإشارات التي أزيل تشكيلها؛
- دقة ووضوح وسائل العرض؛
- التغيرات في الخصائص تبعاً للحرارة.

ويُستعمل عادة نمطان من المستقبلات لتغطية مدى التردد من 9 kHz إلى 3 000 MHz، أحدهما للترددات 30 MHz فما دون، والآخر للترددات في المدى 20-3 000 MHz. وقد تلزم تجهيزات إضافية لتغطية مدى تردد موسع (حتى 40 GHz مثلاً). وعند انتقاء المستقبلات، ينبغي أن تؤخذ في الحسبان شتى أنماط التشكيل المعتزم مراقبتها، مثل تشكيل الاتساع (AM) والموجة المستمرة (CW) والنطاق الجانبي الوحيد (SSB) والنطاق الجانبي المستقل (ISB) والابراق بزحزحة التردد (FSK) وتشكيل التردد (FM)، وإعداد العدة لاستقبال هذه الإرسالات.

وتلزم في مستقبلات المراقبة جميع المؤهلات المتوقع توفرها للاستعمال في محطة استقبال رئيسية، علاوة على دقة جيدة في ضبط التردد (بدقة 1 Hz أو أفضل) وسرعة في التوليف وحد أدنى من تبديل نطاق الموجات.

كما ينبغي أن يُراعى توفير توصيل وحدات إضافية، أي وحدات إبراق راديوي لطابعة بُعدية وكواشف تذبذب وموائمات بانورامية، وما إلى ذلك. وينبغي أن يتوفر خرج التردد المتوسط للمستقبلات بمعاوقة منخفضة عبر مراحل دارئة. ويستفاد من وجود دخل لمعيار تردد خارجي (انظر الفقرة 4.3.3) للحصول على استقرار طويل الأمد للترددات العالية. ولا بد أيضاً من التهيئة لإدخال موهّن في دخل المستقبل لإزالة الترددات الهامشية الناجمة عن الإشارات عالية المستوى التي تنوء مراحل دخل المستقبل بحمولتها. كما ينبغي أن تتوفر السطوح البينية للتحكم عن بعد وخرج البيانات.

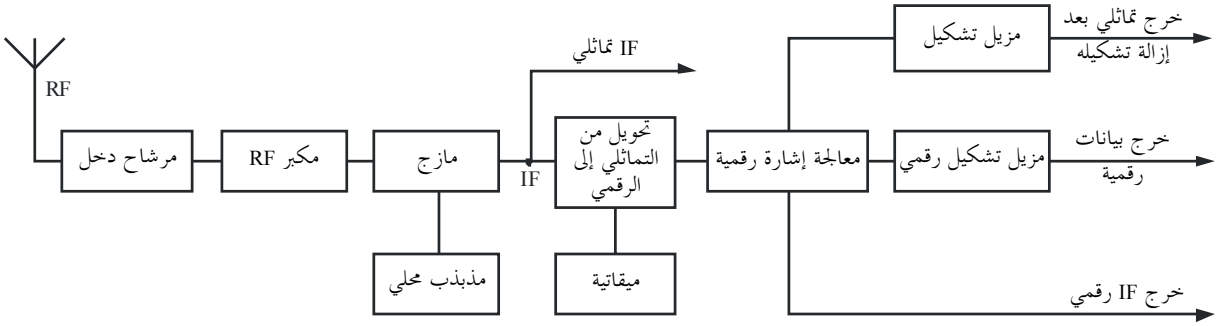
3.3.3 المستقبلات الرقمية

لقد أصبح في الإمكان، بفضل تطور رقائق المعالجة الرقمية للإشارة (DSP) عالية السرعة منخفضة التكلفة والمحولات من التماثلي إلى الرقمي عالية المدى الدينامي، تصميم مستقبلات عالية الأداء تستعيض عن داراتها التماثلية بدارات رقمية. وتوفر هذه "المستقبلات الرقمية" تحسناً في أداء تحويل التردد والترشيح وإزالة التشكيل، مما يؤدي إلى زيادة الانتقائية والاستقرار والتحكم الأوتوماتي في الكسب. وفوق ذلك، يمكن أن تتوفر في المستقبلات الرقمية وظائف من قبيل الإلغاء التكيّفي للتداخل وتحسين الكلام وتميزه. وهي وظائف غير متوفرة في المستقبلات التماثلية وتتسم بأهمية بالغة عند السعي لفرز إشارات معينة وتحديدها في بيئة تزدحم بالإشارات. ولا يتغير أداء هذه المستقبلات على مر الوقت واختلاف درجات الحرارة وذلك بفضل استعمال دارات رقمية وخوارزميات برمجيات مصاحبة لها. وتتمثل إحدى أكثر السمات أهمية بالنسبة للمستقبلات الرقمية في تحسن المرونة، ومثال ذلك قدرة المستقبل الرقمي على استيعاب أنساق تشكيل معقدة يشيع استعمالها في الوصلات الخلوية ووصلات التحكم عالي الأداء. ويمكن الاستزادة من عرض نطاق التردد المتوسط (IF) أو أساليب إزالة التشكيل أو أي وظائف أخرى في دارة قائمة على DSP بتغيير برمجي مقابل استبدال مكلف للتجهيزات في المستقبلات التماثلية. ويمكن تصنيع المرشحات بالمعالجة الرقمية بحيث تقدم عوامل شكل مرشاح متطرفة في حدّيتها مع الحفاظ على اتساع مستو جداً واستجابة طور خطية عبر نطاق التمرير المرغوب. وتقلل هذه العملية إلى أدنى حد من التشوه الذي تلحقه المرشحات التماثلية بالإشارة. ويمكن أيضاً توليد مرشحات بالغة الضيق (أقل من 50 Hz) مما يتيح القياس المباشر للمكونات الهامشية لموجة المرسل الحاملة مثل الهمهمة المتصلة بخط القدرة الكهربائية.

ويبين الشكل 3.3-2 العناصر الأساسية لمستقبل رقمي: مولّف الترددات الراديوية ومرقمن التردد المتوسط (IF) ومعالج إشارة ووحدات إعادة بناء إشارة تماثلية.

الشكل 3.3-2

مخطط وظيفي نمطي لمستقبل رقمي



Spectrum-3.3-02

يمثل تحويل الإشارة الراديوية المرغوبة إلى صورة رقمية في مستقبل رقمي الخطوة الكبيرة الأولى في المعالجة. وتؤدى العملية بالتضافر بين مولّف ترددات راديوية (RF) ومرقمن تردد متوسط (IF). إذ يحوّل مولّف RF، بما فيه من انتقاء أولي تماثلي، الشطر المرغوب من الطيف الراديوي إلى نطاق تردد عريض، أو إلى ما قبل التردد المتوسط، كي تتم معالجته من قبل مرقمن التردد المتوسط الذي يستخدم محول من تماثلي إلى رقمي ودارات أخرى لرقمنة التردد المتوسط الخارج من مولّف الترددات الراديوية. ويستعمل معالج الإشارة الإشارة المرقمنة الناتجة لأداء وظائف من قبيل الترشيح والتوليف الدقيق وإزالة التشكيل. ثم يتاح الخرج الرقمي للوحدة للمزيد من المعالجة و/أو التسجيل. وتحوّل وحدة إعادة تشكيل الإشارة التماثلية المخرجات الرقمية إلى مخرجات تماثلية كي يراقبها المشغل أو كي تخضع للمزيد من المعالجة.

كما تنطبق خصائص المستقبل المدرجة في الفقرة 2.3.3 على المستقبلات الرقمية. وينبغي للمستقبلات المهيّئة لتنفيذ مهام مراقبة الطيف وفقاً لتوصيات قطاع الاتصالات الراديوية أن تقدم الوظائف التالية:

- مسح أمداء التردد المحددة مسبقاً؛
- مسح عدة مئات من قنوات الذاكرة؛
- مراقبة الإشارة السمعية ذات التشكيلات FM وAM وCW وSSB وISB وASK وFSK وPSK وIQ والإرسالات النبضية؛
- تعرّف الهوية؛
- تخزين القيم المقيسة لاستعمالها أو تحميلها إلكترونياً لاحقاً.

وتتطلب معالجة هذه الوظائف المختلفة لشتى الإشارات المتيسرة ذات النسبة S/N المثلى عدداً كبيراً من عروض نطاق التردد المتوسط.

وتتضمن مستقبلات المراقبة الرقمية الحديثة لوحة عرض ووحدة تحكم، إما في شكل حاسوب شخصي منفصل مع برمجيات حاسوبية توفر "لوحة تحكم افتراضية"، أو في شكل وحدة تحكم مدمجة. وللمستقبل سطح بيني بعيد يضم شبكة محلية (LAN) (إثرنت) تسمح بتشغيل التحكم محلياً وعن بعد على السواء. كما ينبغي أن يلبي المفهوم التشغيلي لمستقبل مراقبة جميع المهام المطلوبة من مستقبل لقياس التردد وتخالف التردد، وشدة المجال، والتشكيل، وعرض النطاق وإشغال الطيف. وفيما يتعلق بشغل الطيف، يتعين على المستقبل مسح مدى التردد موضع الاهتمام بتحكم رقمي، على أن يتم عرض الطيف المرافق له.

وقد تأتي المستقبلات الرقمية في رزم منفصلة، إلا أنها كثيراً ما تُدمج في نظام القياس والمعالجة حسب الوصف الوارد في الفقرة 2.6.3. وتضم المستقبلات عدداً من السطوح البينية من قبيل: خرج التردد IF الرقمي، وخرج بنسق I/Q لتحديد الاتجاه، وخرج IF عريض النطاق لشاشة عرض بانورامية خارجية، وخرج لميكروفونات خارجية، ومقبس سماعة.

ويُخفَّض تردد الإشارة المنتقاة، بمساعدة محول رقمي خافض (DDC)، بتمريرها عبر مازج إلى نطاق التردد الأساسي لتخضع للمزيد من المعالجة (إزالة التشكيل وفك التشفير وتعرّف الهوية وقياس معلمات التشكيل). ويمكن، باستعمال صف من محولات DDC على التوازي (المنفّذ مثلاً بتكنولوجيا مصفوفة البوابات المنطقية القابلة للبرمجة ميدانياً (FPGA) أو DSP أو تطبيق محدد لدارة متكاملة (ASIC))، خفض تردد العديد من الإشارات بتمريرها عبر مازج ثم معالجتها على التوازي. ويمكن توليف كل محول DDC في مدى التردد الذي يغطيه التردد المتوسط (IF) عريض النطاق بحيث يعمل كمستقبل افتراضي. ويستفاد من هذه التكنولوجيا على نحو خاص في معالجة الإشارات المسجلة ضمن التردد المتوسط عريض النطاق الرقمي، حيث يقوم المستقبل عريض النطاق باستعراضها ثانية ويستعمل محولات DDC لانتقاء الإشارات موضع الاهتمام كي يعالجها.

ويمكن بفضل تقنية المعالجة هذه كشف وتحليل الإرسالات قصيرة الأمد مثل الإرسالات ذات القفزات الترددية. إذ تُستقبل رشقات المرسلات القافزة بمستقبل عريض النطاق (استقبالاً حياً أو مستعرضاً لاحقاً) وتُكشف بخوارزمية الكشف الأوتوماتي للرشقات. ويُخفَّض، باستعمال محولات DDC، تردد القفزات بتمريرها عبر مازج إلى نطاق التردد الأساسي ويجري تحليلها (للوقوف بدقة على طولها وعرض نطاقها ومعلمات تشكيلها). وتجري عملية تقييم تتحرى المعلومات المقيسة لجميع الرشقات المكشوفة وتحدد مختلف أنماطها ومختلف معدلات القفز ومجموعات القفز (المجموعات الترددية) للمرسلات المستقبَلة. ويوفر هذا التحليل الإحصائي معلومات عن سيناريوهات القافز مثل عدد المرسلات القافزة النشطة وأنماط طرائق الاتصالات المستعملة.

4.3.3 مركبات الترددات للمستقبلات

مركّب الترددات هو أحد أهم مكونات المستقبل. والغرض الرئيسي منه هو توفير مصدر معياري لطاقة تردد راديوي يكون معروفاً عنه على وجه الدقة التردد ومستوى القدرة وخصائص التشكيل. وهناك صرامة شديدة جداً بشأن الدقة المطلوبة للتردد المستعمل للتحكم بأنظمة الاستقبال الحديثة وضبطها وهذا ما يدعو لأن يتمتع مركب الترددات بأعلى قدر ممكن من الدقة والاستقرار. ومن ثم فإن معظم محطات المراقبة فيها مركب ترددات يغطي مدى تردد واسع بدقة عالية جداً.

5.3.3 المواصفات النمطية لمستقبلات المراقبة

ينبغي لمستقبل المراقبة على وجه العموم أن يحقق مواصفات مستقبلات الترددات VLF/LF/HF وVHF/UHF الواردة في الجدول 3.3-1. ويسري هذا الجدول على المستقبلات التماثلية والرقمية على السواء. وينبغي اعتبار هذه المواصفات مبدأً توجيهياً عاماً لانتقاء التجهيزات القادرة على تقديم أداء جيد وموثوقية للمهام التي يتطلبها نظام مراقبة. وبالنسبة لتطبيقات معينة، يمكن العثور في السوق على تجهيزات أبسط تفي بالغرض عند النظر في التطبيق المراد تنفيذه.

وثمة معلمات للمستقبل واردة في الجدول 3.3-1، من قبيل الاعتراض من الرتبة الثالثة وعامل الضوضاء ومعلمات المراشيح، وهي هامة جداً ولها تأثير قوي مباشر على ملاءمة مستقبل ما لأداء مهام مراقبة معينة بحيث تحدد مواصفاتها وإجراءات قياسها توصيات قطاع الاتصالات الراديوية. وتتوقف نتائج القياس إلى حد كبير على إجراءات الاختبار المستعملة، وتتيح إجراءات الاختبار المقيّسة مقارنة أسهل وأكثر موضوعية بين منتجات المصنعين. فسرعة المسح التي جرى بحثها في التوصية ITU-R SM.1839 واللازمة لقياسات مختلفة تتوقف إلى حد كبير على الغرض من القياس وتطبيقه. إذ إن سرعة المسح اللازمة في المستقبل لكشف وجود رشقة إشارة لمرة واحدة مثلاً هي أسرع كثيراً من تلك اللازمة لمستقبل يقوم بالمسح لقياس معلمة أو خاصية ما للإشارة.

وتمثل المواصفات الواردة في الجدول 3.3-1 أداء مستقبل مراقبة تجاري على درجة من الجودة. ويتضمن الجدول مواصفات "نمطية"، وهي ليست مواصفات "دنيا" ولا هي "أفضل ما يمكن تحقيقه". وينبغي للإدارات أن تنظر في احتياجاتها الخاصة بها عندما تحدد أداء التجهيزات، مستعينة بالجدول بمثابة دليل. ومن شأن أداء مستقبل مهيأ لغرض مختلف عن مستقبل مراقبة عام الغرض أن يؤكد على جانب التحسين في بعض المواصفات والتساهل في مواصفات أخرى، تبعاً للغرض المتوخى.

الجدول 3.3-1

المواصفات النمطية لمستقبلات مراقبة للأغراض العامة

الوظيفة	VLF/LF/HF	VHF/UHF
مدى التردد	9 kHz إلى 30 MHz	20 MHz إلى 3 000 MHz
استبانة التوليف	≤ 1 Hz	≤ 10 Hz
خطأ التوليف	≤ 1 ppm، أو ≤ 0,01 ppm باستعمال تحديد الموضع عالمياً بواسطة الساتل[1] لمرجع خارجي	≤ 0,1 ppm، أو ≤ 0,001 ppm باستعمال تحديد الموضع عالمياً بواسطة الساتل[1] لمرجع خارجي
زمن استقرار مركب الترددات	≤ 10 ms	≤ 5 ms
نسبة الموجات المستقرة الفلطية (VSWR) عند الدخل (دخل الهوائي)	50 Ω، اسمياً ≤ 3	50 Ω، اسمياً ≤ 2,5
الانتقاء الأولي (يمكن للمستقبلات عالية الخطية أن تحقق مواصفات التشكيل البيني دون انتقاء أولي)	مجموعة مرشحات نطاق دون الثُمانيّة أو مرشاح تتبع	مجموعة مرشحات نطاق دون الثُمانية أو مرشاح تتبع
اعتراض من الدرجة الثالثة	≤ 20 dBm (< 3 MHz)[(1)]	≤ 10 dBm[(1)]
اعتراض من الدرجة الثانية	≤ 60 dBm (< 3 MHz)	≤ 40 dBm

الوظيفة	VLF/LF/HF	VHF/UHF
عامل الضوضاء	≥ 15 dB (< 2 MHz)[2]	≥ 12 dB[2]
ضوضاء طور المذبذب المحلي (LO)	انظر أدناه	انظر أدناه
نبذ IF	≥ 80 dB	≥ 80 dB
نبذ الصورة	≥ 80 dB	≥ 80 dB
عروض نطاق IF (–6 dB)	مراشيح داخلية أو خارجية، ويفضَّل أن تكون رقمية من 0,1 إلى 10 kHz[3] على الأقل	مراشيح داخلية أو خارجية، ويفضَّل أن تكون رقمية من 1 kHz إلى 300 kHz[3] على الأقل
الانتقائية 60 إلى 6 dB (عامل الشكل)	2:1[3]	2:1[3]
أساليب الكشف (في المستقبلات الرقمية، تمكن إزالة التشكيل بواسطة معالجة DSP داخلية أو خارجية)	AM، FM، CW، LSB، USB	AM، FM، CW، LSB، USB
مدى التحكم الأوتوماتي بالكسب (AGC) (في المستقبلات الرقمية، يمكن تنفيذه جزئياً بواسطة معالجة DSP داخلية أو خارجية)	≥ 120 dB	≥ 120 dB
مخارج – IF	خرج IF رقمي	خرج IF رقمي
سمعي	0 dBm أو 600 Ω أو إشارة سمعية متدفقة رقمية وقابس سماعة	0 dBm أو 600 Ω أو إشارة سمعية متدفقة رقمية وقابس سماعة
مرقاب IF	لمرقاب IF خارجي أو تدفق بيانات رقمية	لمرقاب IF خارجي أو تدفق بيانات رقمية
تحكم عن بعد	إثرنت LAN أو GPIB أو RS-232	إثرنت LAN أو GPIB أو RS-232
طيف IF الترددي (يمكن أداءه بواسطة معالجة DSP)	مدمج أو خارجي، معالجة تحويل فورييه السريع (FFT)؛ التجديد ≤ 10/s	مدمج أو خارجي، معالجة تحويل فورييه السريع (FFT)؛ التجديد ≤ 10/s
طيف RF الترددي (يمكن أداءه بواسطة معالجة DSP)	مدمج أو خارجي؛ التجديد ≤ 10/s	مدمج أو خارجي؛ التجديد ≤ 10/s
عرض الطيف RF وIF	عبر التحكم محلياً أو عن بعد	عبر التحكم محلياً أو عن بعد
التوافق الكهرمغنطيسي	IEC 61000-4-2, -3, -4، CISPR 11، المجموعة 1، الفئة B	IEC 61000-4-2, -3, -4، CISPR 11، المجموعة 1، الفئة B
مدى الحرارة التشغيلي	0° إلى 45° مئوية	0° إلى 45° مئوية
الرطوبة النسبية	95% غير متكثفة	95% غير متكثفة
الاهتزاز	IEC 68-2-6	IEC 68-2-6

(1) إجراءات القياس وفقاً للتوصية ITU-R SM.1837.

(2) إجراءات القياس وفقاً للتوصية ITU-R SM.1838.

(3) إجراءات القياس وفقاً للتوصية ITU-R SM.1836.

ضوضاء الطور

يؤثر أداء ضوضاء الطور لمستقبل مباشرةً على إمكانية حل الإشارات القريبة جداً بعضها من بعض ذات الاتساعات المختلفة. وقد يحول أيضاً دون الإزالة الدقيقة للتشكيل، إذ إن ضوضاء الطور في طور مستقبل تشكل الإشارات المستقبلة موسعةً عرض نطاقها. ويمكن لإشارتين متجاورتين لا يتراكب طيفاهما الترددیان عند دخل المستقبل أن تتداخل كل منهما في الأخرى داخل المستقبل متى تم تشكيلهما بضوضاء طور المستقبل.

وضوضاء الطور تضاعفية، لذا فهي توصَّف كنسبة كثافة ضوضاء إلى موجة حاملة (dBc/Hz)، وكلما اتسعت الإشارة، زادت ضوضاء الطور. ويظهر تأثير ضوضاء الطور على أشده في الإشارات المتجاورة ذات القدرات المتفاوتة.

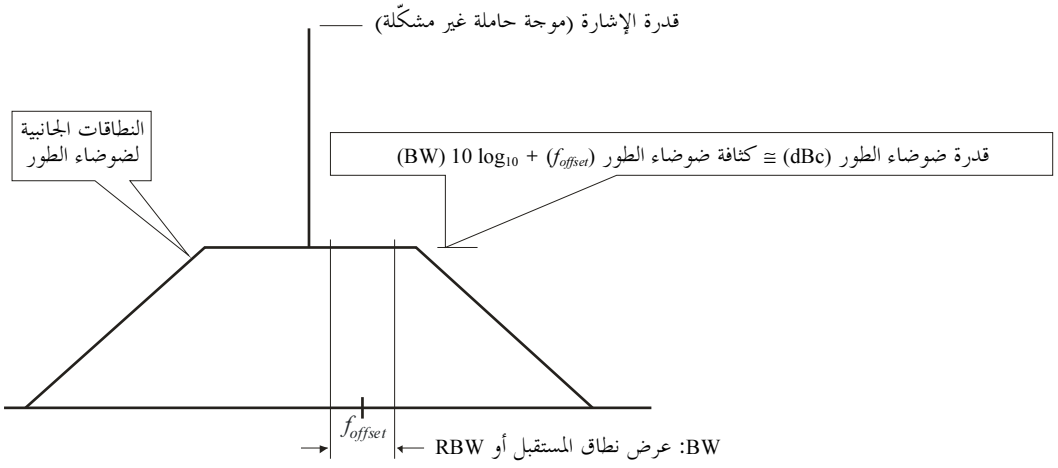
وتتمتع الإشارة الأكبر بقدرة أكبر في نطاقات التردد الجانبية لضوضاء الطور، ومن ثم فهي تؤثر بدرجة أكبر على كشف أو إزالة تشكيل الإشارة المجاورة الأضعف مقارنةً بالإشارة المجاورة الأقوى. وفي الإشارات الكبيرة، تحد ضوضاء الطور من المدى الدينامي للمستقبل.

وتحدد كثافة ضوضاء الطور عادة عند تخالفات ترددية ثابتة مثل 10 kHz أو 100 kHz. وتكون ضوضاء الطور عموماً أعلى ما يمكن عند التخالفات الترددية الصغيرة. لذلك، تحدَد مواصفة ضوضاء الطور إلى حد كبير بأنماط الإشارات المزمع مراقبتها. وتكون متطلبات ضوضاء الطور أكبر كثيراً في الإشارات ضيقة نطاق التردد منها في الإشارات عريضة نطاق التردد، وهكذا فإن مواصفات المستقبل تُحدَد بالدرجة الأولى بأضيق موجة حاملة (أو موجة حاملة فرعية) يراد مراقبتها.

وعلى افتراض أن الطيف لضوضاء الطور منتظم نسبياً عبر عرض النطاق (BW)، يمكن عندئذ تقدير المدى الدينامي قرب إشارة كبيرة كما هو مبين في الشكل 3.3-3.

الشكل 3.3-3

تقدير المدى الدينامي وقدرة ضوضاء الطور



Spectrum-3.3-03

مثال لتطبيق المعادلة الواردة في الشكل 3.3-3.

عرض النطاق أو RBW	ضوضاء الطور	تخالف التردد	قدرة ضوضاء الطور
1 kHz	100– dBc/Hz	10 kHz	70– dBc

ويؤثر تخالف التردد وعروض نطاقات التردد المطلوبة على قدرة ضوضاء الطور. وقد تحتاج تطبيقات الترددات الديكامترية (HF) إلى عرض نطاق أضيق فيما تحتاج تطبيقات الترددات الديسيمترية (UHF) إلى عرض نطاق أوسع.

المراجـــع

توصيات وتقارير قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد:

ملاحظة – يشجع في كل حالة استعمال آخر طبعة من التوصية المشار إليها.

التوصية ITU-R SM.331 – الضوضاء وحساسية المستقبلات.

التوصية ITU-R SM.332 – انتقائية المستقبلات.

التوصية ITU-R SM.1836 – إجراء اختبار لقياس خصائص المرشاح IF لمستقبلات الرصد الراديوي.

التوصية ITU-R SM.1837 – إجراء اختبار لقياس سوية نقطة الاعتراض من الرتبة الثالثة (IP3) لمستقبلات الرصد الراديوي.

التوصية ITU-R SM.1838 – إجراء اختبار لقياس قيمة الضوضاء في مستقبلات الرصد الراديوي.

التوصية ITU-R SM.1839 – إجراء اختبار لقياس سرعة المسح لمستقبلات الرصد الراديوي.

التوصية ITU-R SM.1840 – إجراء اختبار لقياس مدى حساسية مستقبلات الرصد الراديوي التي تستخدم إشارات التشكيل التماثلي.

التقرير ITU-R SM.2125 – معلمات مستقبِلات ومحطات المراقبة في نطاق الموجات الديكامترية والمترية والديسيمترية وخطوات قياسها.

4.3 تحديد الاتجاه

1.4.3 اعتبارات عامة

يمكن تسهيل تعرّف هوية محطة إرسال مجهولة إذا أمكن تحديد موقع المرسل بطريقة التثليث أو بطريقة تحديد موقع واحد (SSL) باستعمال تجهيزات تحديد الاتجاه (DF). ويتطلب التحديد الأدق لموقع المرسل أن تتولى بضع محطات DF مقامة في مواقع جغرافية مناسبة أخذ زوايا السمت. وفي الحالة المثلى، يمكن الحصول على "اتجاه سمتي متصالب" أو "نقطة إسناد" (أي نقطة تقاطع خطوط السمت) عندما تعمل محطتا DF كحد أدنى، لا تقعان بالضرورة في البلد نفسه، بالتساوق فيما بينهما. ويمكن لمحطة مراقبة يسعها أخذ اتجاهات سمتية أن تزود المشغل الخبير بمعلومات تمكّنه من تعرّف هوية الإرسالات بدرجة أعلى من الثقة.

ويتوقف تعقيد تجهيزات DF على الدقة المطلوبة والظروف المحلية، ويأتي بحث ذلك بمزيد من التفصيل في الفقرة 7.4. ونظراً لوجوب تنصيب هوائي DF في مكان خال من أي أبنية وهوائيات وخطوط كهرباء وهاتف وأي بروزات أخرى، ينبغي على وجه العموم تركيبه على مسافة معقولة من باقي أجزاء محطة المراقبة، أو ربما في موقع منفصل حيث يمكن تشغيله بواسطة التحكم عن بعد.

وتتوقف دقة زوايا السمت على العوامل التالية (غير المدرجة بحسب ترتيب أهميتها):

- فتحة الهوائي حسب وصفها الوارد في الفقرة 2.4.3؛
- تشكيلة الهوائي بما فيها عدد عناصر الهوائي وتنظيمها ضمن نطاقات ترددية واتجاهية العناصر وعوامل أخرى؛
- نمط تجهيزات DF؛
- عدد قنوات المستقبل؛
- طبيعة الموقع؛
- قوة الإشارة ونسبة الإشارة إلى الضوضاء *(S/N)*؛
- وقت التكامل؛
- ظروف الانتشار؛
- كمية التداخل.

ويتيح نظام SSL، في مدى التردد الذي يوجد فيه انتشار الموجة الأيونوسفيرية، وهو نمطياً 1-30 MHz، تحديد الموقع الجغرافي لمرسل باستعمال جهاز راديوي واحد لتحديد الاتجاه يقيس زاوية الارتفاع والسمت للوصول. ومن شأن معالجة البيانات التي يقدمها جهاز DF الراديوي (السمت، الارتفاع، الموقع) والمصاحبة للتنبؤات الأيونوسفيرية أو من الأفضل القياسات الأيونوسفيرية في الوقت الفعلي من محطة سبر، أن تتيح تقدير بُعد المرسل. ومن ثم يتيح مفهوم SSL أداء مهمة تحديد الموقع عند تعذر تركيب نظام كامل للتحديد الراديوي للاتجاه بطريقة التثليث لتحديد الموقع لأسباب تتعلق بالجغرافيا والتوقيت والتيسر، أو عند تعذر استقبال الإشارة محل الاهتمام في محطات متعددة.

وللمزيد من المعلومات انظر التوصية ITU-R SM.854 – معرفة الاتجاهات وتحديد المواقع بمحطات المراقبة، والفقرة 7.4 في هذا الكتيب.

2.4.3 الهوائيات

إن هوائي تحديد الاتجاه (DF) هو أحد أهم مكونات تجهيزات DF لأنه يحدد إلى حد كبير دقة DF. وتقوم فتحة صفيف الهوائيات (D/λ؛ D: قطر صفيف الهوائيات، λ: طول موجة الإشارة المستقبلة) بالدور الأهم في تحديد دقة زوايا السمت. ومقارنة بهوائيات الفتحة الضيقة ($D/\lambda < 0{,}5$)، تتغلب هوائيات DF ذات $D/\lambda > 1$، المدعوة هوائيات الفتحة العريضة، على مشاكل الانتشار عبر تعدد المسيرات ومؤثرات الانتشار الأخرى والضوضاء والتداخل وعدم انتظام الموقع ومصادر الخطأ الأخرى، موفرة نسبة *S/N* أعلى وأخطاء DF أصغر وحصانة أعلى إزاء الانعكاسات وحساسية أكبر وأزمنة تكامل أقصر في مستوى معيّن من الدقة. ولا تسمح جميع طرائق DF باستعمال هوائيات عريضة الفتحة، ولكنها توفر أدق نتائج DF عند استعمالها.

ويتألف كل هوائي DF من عدد من عناصر الهوائيات (ثلاثة كحد أدنى). ويمكن إقامة تشكيلات متنوعة لصفيف هوائيات DF حسب طريقة DF المستعملة. إذ تميل هوائيات DF عريضة الفتحة لأن تشتمل على المزيد من عناصر الهوائيات لملء الفتحة وتجنب الالتباس، ويميل احتمال الخطأ الناجم عن الضوضاء العشوائية إلى الانخفاض بمقدار مقلوب الجذر التربيعي لعدد العناصر. وتشيع الصفيفات الدائرية والخطية بشكل "L" أو "X" في مدى الترددات الديكامترية (HF)، فيما تُستعمل الصفيفات الدائرية بصورة رئيسية في مدى الترددات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF). كما أن لطريقة DF تأثيرها في إمكانية تغطية مدى تردد واسع بصفيف هوائيات واحد فقط أو في وجوب تقسيم مدى التردد إلى عدد من الصفيفات لمختلف الأمداء الفرعية.

ولا بد عموماً من التمييز بين هوائيات DF المستعملة للتطبيقات الثابتة والمتنقلة. إذ يتوقف نمط عناصر الهوائيات على مدى التردد والتطبيق: ففي مدى الترددات الديكامترية (HF)، تُستعمل صفيفات من العناصر أحادية القطب أو ذات العرى المتصالبة للأنظمة الثابتة، في حين تَستعمل الأنظمة المتنقلة صفيفات هوائيات تتألف إما من عرى أو من عناصر فيريتية (انظر الفقرة 1.3.2.3). وفي مدى الترددات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF)، تُستعمل صفيفات ثنائيات أقطاب أو مروحية غالباً (انظر الفقرة 1.4.2.3).

3.4.3 التجهيزات

يمكن دمج تجهيزات DF مع تجهيزات القياس في محطة مراقبة حسب الوصف في الفقرة 2.6.3، أو يمكن أن تتألف من وحدات منفصلة. انظر الفقرة 7.2.3 بشأن الوحدات القابلة للحمل. ولا يُحدَد مدى التردد لتجهيزات DF بهوائي DF فحسب، بل بالمستقبلات أيضاً التي تشكل جزءاً من التجهيزات. وفي الممارسة العملية، هناك تجهيزات DF لمدى الترددات الهكتومترية/الديكامترية (MF/HF) (30-0,3 MHz مثلاً) وتجهيزات DF لمدى الترددات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF) (20-000 3 MHz مثلاً). وفي بعض الحالات، قد توفر تجهيزات DF في المدى VHF/UHF التغطية للجزء الأدنى من نطاق الترددات السنتيمترية (SHF).

وقد يتراوح عدد المستقبلات من 1 إلى n، حيث n هي عدد العناصر التي تشكل صفيف هوائيات DF ويتوقف ذلك أيضاً على طريقة DF. وتتطلب أنظمة المستقبل المتعددة زمناً أقل للتكامل و/أو نسبة *S/N* أقل لدقة معيّنة، وبالتالي توفر زمن

استجابة أسرع من أنظمة القناة الواحدة. وإذا استعمل أكثر من مستقبل واحد، يجب توليف كل المستقبلات بمذبذب واحد مشترك. وفي المستقبلات الحديثة، يُعالج التردد المتوسط (IF) رقمياً. وإحدى الميزات البالغة الأهمية لمستقبلات DF هي انتقائيتها لتجنب التفاعل المتبادل بين إشارتين متجاورتين. وينبغي لأحد مستقبلات DF على الأقل أن يوفر إمكانية إزالة تشكيل الإشارة المستقبَلة.

وتتطلب بعض طرائق DF معايرة المستقبلات، وتوزيع التردد الراديوي، وهوائيات في مهل زمنية معينة. ولهذا الغرض، تُحقن إشارة محددة على التوازي في مسيرات الاستقبال، وبعد قياس الاتساع والطور في كل مسير، تُتخذ خطوات تصحيحية لاستعادة الخصائص المتطابقة لكل قناة، إذا اقتضى الأمر. والسمة الهامة جداً هي إمكانية التحكم عن بعد في التجهيزات على أي مسافة كانت. ويشيع استعمال سطوح بينية لوصلات RS-232 وISDN وLAN وWAN والهاتف الخلوي.

4.4.3 عدد المستقبلات

تقارن هذه الفقرة أنظمة DF بأعداد متفاوتة من قنوات الاستقبال، وتنظر في مزايا ومآخذ كل منها. إذ يمكن أن يكون لنظام DF مستقبل بقناة واحدة أو مستقبل بقناتين أو مستقبل بثلاث قنوات أو مستقبل يماثل عدد قنواته عدد عناصر الهوائيات. ويُصطلح على تسمية الأنظمة ذات المستقبل بقناتين على الأقل، ولكن بقنوات يقل عددها عن عدد الهوائيات، أنظمة القنوات المتعددة. أما الأنظمة ذات المستقبل الذي يتساوى عدد قنواته مع عدد الهوائيات فيُصطلح على تسميتها أنظمة قنوات-N، حيث N هو عدد قنوات المستقبل وعدد الهوائيات.

1.4.4.3 أنظمة القناة الواحدة

المزايا	المآخذ
– تتطلب قناة استقبال واحدة فقط – يقل توصيل الكبلات من هوائي DF إلى التجهيزات – لا ضرورة للمواءمة الطورية/المعايرة – يمكن قياس الطور بدقة في جهاز DF أحادي القناة لقياس التداخل يَستعمل دارات تعدد الإرسال	– يتطلب الوقت المستغرَق في التبديل والاعتيان المصاحب زمن قياس أطول بكثير مما تتطلبه أنظمة DF بأكثر من قناة واحدة – حساسة للتغيرات السريعة في طور الإشارة مما قد يؤدي إلى بيانات رديئة و/أو أوقات تكامل طويلة – إذا استُعملت دارات تعدد إرسال، فإن مبدل الهوائي يصبح معقداً

ويمكن تقسيم أنظمة DF ذات القناة الواحدة إلى فئتين:

– أنظمة DF بسيطة ذات قناة واحدة، حيث يجري اعتيان كل عنصر هوائي بقناة استقبال واحدة تتابعياً؛

– وأنظمة قناة واحدة بمقياس تداخل أو بتعدد إرسال، حيث يجري اعتيان عنصر الهوائي المرجعي مع كل عنصر هوائي آخر وتُقرن الإشارتان معاً وتُسيَّران إلى قناة استقبال واحدة.

وفي كلتا الحالتين، يجب السماح لمرشاح IF في المستقبل بالاستقرار بعد كل تبديل قبل أن يمكن اعتيان الفلطية. ويتوقف إجمالي وقت الاعتيان على الوقت الذي يستغرقه المرشاح ليستقر وهو مرتبط بعرض نطاقه وبعدد عناصر الهوائيات. ووقت الاعتيان هذا أطول كثيراً في أنظمة القناة الواحدة مما هو في الأنظمة التي تضم أكثر من قناة استقبال واحدة.

وأثناء فترة الاعتيان في نظام القناة الواحدة، يمكن أن تتغيّر الحالة الموجية للإشارة بفعل التغيّرات في التشكيل الداخلي لها أو مؤثرات وسط الانتشار، مثل الخبو والانتشار متعدد المسيرات والانعكاسات التي يمكن أن تطرأ أثناء الاعتيان التتابعي لعناصر الصفيف. ويمكن أن تتسبب تغيّرات الحالة الموجية هذه أثناء عملية التبديل التتابعي بأخطاء في أنظمة القناة الواحدة لتعذر تمييزها عن تغيّرات الإشارة التي تنشأ عن هوائيات تأخذ عيّنات تتابعياً وتختلف مخططاتها الإشعاعية أو اتجاهات حزمتها الرئيسية. ولا يمكن أن يتعامل نظام القناة الواحدة مع الأخطاء الناجمة عن هذه الآلية إلا عبر قياس الإشارة على فترات طويلة بما يكفي لحساب القيمة المتوسطة لمثل هذه المؤثرات. وفي الحالات التي يتعذر فيها تخصيص وقت كاف لحساب القيمة المتوسطة، كما في حالة الإشارات قصيرة الأمد، يحدث ارتباك في أنظمة القناة الواحدة. ولكن يمكن بناء أنظمة DF بقناة واحدة لتحقيق شرط 10 ms كزمن استجابة.

1.1.4.4.3 أنظمة DF البسيطة ذات القناة الواحدة

تقوم أنظمة DF البسيطة ذات القناة الواحدة باعتيان كل عنصر هوائي على التتابع. وبخلاف أنظمة DF ذات القناة الواحدة التي تستعمل دارات تعدد إرسال، لا يقاس ويُعالج إلا الاتساع، أما الطور فلا يقاس. والأنظمة التي لا تستفيد من معلومات الطور في الموجة الواصلة هي أنظمة أقل دقة أصلاً من تلك التي تستعمل جميع المعلومات المتيسرة في الموجة الواصلة.

2.1.4.4.3 أنظمة DF بقناة واحدة ومقياس تداخل أو تعدد إرسال

تستعمل أنظمة DF بقناة واحدة ومقياس تداخل تقنية تعدد الإرسال التربيعي. ويتيح ذلك قياس الاتساع والطور، باعتبار أن عنصر مرجع الطور يقاس دوماً مع جميع عناصر الهوائي الأخرى.

ويمكن، أثناء عملية القياس التي يجري فيها اعتيان جميع عناصر الهوائيات الواحد تلو الآخر، أن يتغيّر اتساع الإشارة بفعل التغيّرات في التشكيل الداخلي للإشارة أو مؤثرات وسط الانتشار، مثل الخبو والانتشار متعدد المسيرات والانعكاسات. ولتلافي النقص في الدقة، يلزم القيام بحسابات إضافية للقيم المتوسطة. وعلاوة على ذلك، لا يمكن قياس فارق الاتساع بين عنصري هوائيات في الوقت نفسه، بل لا يمكن الحصول عليه إلا بحساب القيمة المتوسطة خلال فترة زمنية، مما يؤدي إلى فقدان معلومات يستفاد منها في أنظمة تستخدم عناصر هوائيات اتجاهية.

وبعد كل تبديل بين عناصر الهوائيات وفي معدد الإرسال التربيعي، يجب السماح لمرشاح IF في المستقبل بالاستقرار قبل اعتيان الفلطية. ويتوقف إجمالي وقت الاعتيان على الوقت الذي يستغرقه المرشاح ليستقر وهو مرتبط بعرض نطاقه وبعدد عناصر الهوائيات. ووقت الاعتيان هذا أطول كثيراً في أنظمة القناة الواحدة ذات مقياس التداخل مما هو في الأنظمة البسيطة ذات القناة الواحدة.

2.4.4.3 أنظمة القنوات المتعددة (قناة مرجعية واحدة وقناة أو أكثر من قنوات الاعتيان المبدلة)

المزايا	المآخذ
– تتطلب وقتاً أقل مما تتطلبه أنظمة DF بقناة واحدة للحصول على نتيجة، مما يعني زمن استجابة أقصر – تتعامل بصورة دقيقة مع التغيّرات في الحالة الموجية بفعل ظروف الانتشار أو التشكيل – تتحقق مواءمة الطور و/أو الاتساع بسهولة بالمعايرة أو بطريقة الحساب المزدوج للقيمة المتوسطة – تقيس فارق الاتساع بين قناتين بصورة متزامنة	– تلزم قناتا استقبال أو أكثر؛ وتوصيل الكبلات أعقد – يتطلب الوقت المستَغرق في التبديل والاعتيان الذي يصاحبه وقت قياس أطول مما تتطلبه أنظمة DF التي يساوي فيها عدد قنوات الاستقبال عدد الهوائيات – تلزم المعايرة المنتظمة لمواءمة كلتا قناتي الاستقبال، أو يمكن استعمال طريقة الحساب المزدوج للقيمة المتوسطة في الأنظمة ثنائية القنوات

تشتمل أنظمة القنوات المتعددة على أكثر من قناة استقبال واحدة، إلا أن عدد قنوات الاستقبال فيها يقل عن عدد الهوائيات. ولها قناة مرجعية واحدة وقناة أو أكثر من قنوات الاعتيان المبدلة. وليس لها إلا مذبذب محلي واحد، لأن جميع القنوات يقودها مصدر المذبذب نفسه. ولا يتعين أن تواءم القنوات بمرشحات متطابقة لها نفس شكل المرشاح تماماً، بل يمكن استعمال مستقبلات غير متوائمة يقودها المذبذب نفسه. وتوفر هذه المستقبلات كشفاً متماسكاً للإشارات في القناتين، وتُعايَر على امتداد مسير الترددات الراديوية من الهوائيات إلى المحولات من التماثلي إلى الرقمي من حيث أي تأخيرات طورية واختلافات في شكل المرشاح وما إلى ذلك، مع الأخذ في الحسبان اختلافات خط التغذية بين عناصر DF ودارات الاعتيان. كما أن هذه المعايرة هي قوام الاختبار الضمني والتدابير التشخيصية لنظام كهذا.

وفي حالة قناتي استقبال، يمكن استعمال طريقة الحساب المزدوج للقيمة المتوسطة تجنباً لعناصر المواءمة و/أو مصدر المعايرة وتبسيطاً للقياس ولكن دون إجراء معايرة من طرف إلى طرف والاختبار الضمني، حيث يجرى قياس لفارق الاتساع والطور بين قناتين، ثم يعكس التبديل توصيلتي الهوائي ويجرى قياس آخر للاتساع والطور، ويُحسب متوسط النتائج، الأمر الذي يلغي أي عدم تواؤم في الاتساع والطور دون معايرة منفصلة. أما عيب طريقة الحساب المزدوج للقيمة المتوسطة هذه فهو إطالة وقت القياس.

ولما كان للأنظمة الجاري بحثها هنا هوائي وقناة استقبال مرجعيان يمكن استعمالهما كمرجع للطور، فإن من الممكن قياس فرق الطور بين القناة العينة والقناة المرجعية بدقة عُشر درجة أو أفضل. كما يمكن قياس فرق الاتساع بين القناة العينة والقناة المرجعية بدقة وبصورة متزامنة، مما يتيح للنظام التمييز بين التغيّرات الطارئة في الاتساع نتيجة لأي فوارق في اتجاهية الهوائيات، وهو أمر تعجز عنه أنظمة القناة الواحدة دون حساب القيمة المتوسطة على فترات زمنية طويلة لحساب متوسط مؤثرات التشكيل والانتشار.

ويُقارن قياس الفلطية على كل هوائي يجري اعتيانه مع الفلطية على الهوائي المرجعي المقاس في نفس الوقت تماماً. وتُعاير القياسات على القناة العينة بواسطة القناة المرجعية؛ حيث تقسَّم فلطية القناة العينة على فلطية القناة المرجعية.

ومن شأن هذه المعايرة أن تفرّق مؤثرات الانتشار وتغيّرات التشكيل التي تتسبب بالخطأ كما ورد أعلاه فيما يتعلق بأنظمة القناة الواحدة، لأن عوامل التشكيل والانتشار تؤثر في كل هوائي بقدر متساو في ظروف استقبال الموجة المستوية (وهي الحالة المفترضة عادةً). وتزيل هذه المعايرة كل العوامل الخارجية التي يمكن أن تنال من دقة قياس الطور والاتساع.

3.4.4.3 أنظمة القنوات N (N = عدد قنوات المستقبل = عدد الهوائيات)

المزايا	المآخذ
– قياسات DF أسرع من القياسات بطرائق أخرى – لا حاجة لتبديل الهوائيات	– تلزم قنوات استقبال متعددة؛ توصيل الكبلات أعقد – تزيد الحاجة لمعايرة الطور والاتساع من تعقيد النظام

إن أنظمة القنوات N التي فيها قناة استقبال واحدة لكل هوائي هي أسرع الأنظمة وأفضلها أداءً، لأن الموجة الواصلة يمكن اعتيانها بصورة متزامنة على كل عناصر الهوائيات، بدلاً من اعتيان الهوائيات تتابعياً كما هو الحال في الأنظمة ذات قنوات الاستقبال الأقل عدداً. وتقاد كل قنوات المستقبل من مذبذب محلي مشترك واحد.

وتزيد تكلفة هذه الأنظمة عن تكلفة الأنظمة ذات قنوات الاستقبال الأقل عدداً، وذلك كدالة في عدد قنوات الاستقبال والحاجة لمواءمة طور القنوات أو توفير معايرة في الوقت الفعلي فيما بينها. ولا داعي للمواءمة الدقيقة للقنوات، ولا حاجة إلا لمعايرتها في الوقت الفعلي.

وتقيس أنظمة القنوات N فرق الفلطية والطور على كل عنصر نسبةً إلى أحد العناصر الذي يتم اختياره كمرجع. وهكذا فهي تتمتع بجميع مزايا الأنظمة التي جرى بحثها في الفقرة الفرعية السابقة من حيث قدرتها على قياس معلومات الطور والاتساع على السواء بالنسبة إلى العنصر المرجعي.

5.4.3 معالجة زوايا السمت

يمكن معالجة زوايا السمت استناداً إلى طرائق تحديد اتجاه (DF) مختلفة. ولكل مبدأ مزاياه وعيوبه حسب التطبيق. أما الطرائق المستعملة بصورة رئيسية فهي:

- الهوائي الدوار.
- دوبلر وشبه دوبلر.
- Adcock/Watson-Watt.
- مقياس تداخل الطور.

- مقياس التداخل المتلازم.
- الاستبانة الفائقة.

وتنتج تجهيزات DF زوايا سمت بدقة إلى حد ما كما تبين مستوى استقبال الإشارة التي يولّف النظام عليها. وتنتج بعض تجهيزات DF قيمة جودة لكل زاوية سمت يمكن استعمالها لكبت الزوايا "الجامحة". وكذلك فإن تجهيزات DF الحساسة بالنسبة إلى الطور في مدى الترددات الديكامترية (HF) تبين زاوية الارتفاع للإشارة المستقبلة إذا وصلت كموجة أيونوسفيرية.

وإحدى السمات البالغة الأهمية في تجهيزات DF الحديثة هي قدرتها على العمل بأسلوب "مسح DF". فبفضلها يمكن مسح أمداء ترددية محددة ومراقبة شغل الطيف وفي نفس الوقت حساب زوايا السمت المصاحبة لأي إشارات فوق عتبة معينة. وتؤدى وظيفة مسح DF هذه مع المعالجة الرقمية للإشارة (DSP) حيث تُطبَق تقنيات تحويل فورييه السريع (FFT) من أجل تقسيم عرض نطاق المستقبل إلى قنوات إفرادية متعددة أو حاويات FFT. ويَحسب FFT لكل قناة على حدة معلومات الإشغال ومعلومات الفلطية لتقنية معالجة DF.

وتمكّن تقنية المعالجة هذه من اعتراض الإرسالات قصيرة الأمد من قبيل القفزات الترددية والبث بالرشقات. ويرد بحث وبيان لمسح DF قرب نهاية الفقرة 2.6.3.

6.4.3 المواصفات النمطية لأنظمة تحديد الاتجاه

ينبغي لنظام تحديد الاتجاه (DF) أن يلبي عموماً المواصفات من أجل أنظمة DF في الترددات الهكتومترية/الديكامترية MF/HF والمترية/الديسيمترية VHF/UHF وهي مدرجة في الجدولين 4.3-1 و4.3-2. وينبغي أن تعتبر هذه المواصفات بمثابة مبادئ توجيهية لانتقاء التجهيزات القادرة على توفير أداء جيد وموثوقية في المهام المطلوبة من نظام DF ما. ويقدم الفصل 3 في التوصية ITU-R SM.2125 معلومات عن اختبار المواصفات لمحطتي تحديد الاتجاه والاعتراض من الرتبتين الثانية والثالثة (IP2 وIP3) ودرجة الحساسية والدقة الزاوية وسرعة المسح وفترة الإشارة الدنيا. وقد تتفاوت بعض المواصفات، بل حتى قد لا تكون قابلة للتطبيق، وذلك تبعاً لأنماط الإرسال التي تصادف و/أو التطبيق من أجل محدد الاتجاه. مثال ذلك، ينبغي أن يكون لمحدد اتجاه لدعم المسح السريع للطيف الراديوي سرعة مسح اعتراض DF الواردة في الجدول.

غير أن محدد الاتجاه المستخدم فقط لتوجيه DF في بيئة متنقلة لا يحتاج إلى سرعة مسح عالية.

وكمثال آخر، قد يحتاج الأمر إلى فترة إشارة (زمن استجابة) دنيا قصيرة حيث تصادف إشارات قصيرة الفترة أو في حالات المسح السريع للطيف، ولكن قد يمكن القبول بفترة إشارة دنيا أطول في حالات من قبيل التوجيه نحو جهاز إرسال بعينه.

وجدير بالملاحظة أيضاً أن أزمنة تجميع الإشارة الأقصر تساعد فيما يتعلق بالآثار المرتبطة بالانتشار مثل تعدد المسارات التي يمكن أن تتغير بسرعة وتساعد في تخفيف التداخل، ومما يزيد في الدقة هو التقاط الكثير من "الصور" للإشارة، وكل منها عبر فترة قصيرة بما يكفي لكي لا تتغير آثار الانتشار والتداخل، والعمل على حساب متوسط النتائج، بدلاً من التقاط بضع صور للإشارة، كل منها على امتداد فترة تجميع بيانات أطول.

الجدول 3.4.3-1

المواصفات النمطية لمحطات DF ثابتة ومتنقلة في الترددات MF/HF

الوظيفة/الأداء (قائمة غير حصرية بالمعلمات)	محطة ثابتة (300 kHz – 30 MHz)	محطة متنقلة (1-30 MHz)
دقة اتجاه DF في النظام (مختبرة في مرفق اختبار في الهواء الطلق في بيئة خالية من الانعكاس، كما جاء في التقرير ITU-R SM.2125)	1° جذر متوسط تربيع (f < 1 MHz)، موجة أرضية؛ 2°/جيب تمام (ارتفاع) جذر متوسط تربيع، موجة سماوية	5° جذر متوسط تربيع (f < 1 MHz)؛ 2° جذر متوسط تربيع (f < 10 MHz)، موجة أرضية، نظام منصوب في مركبة، اختبار في بيئة خالية من الانعكاس
موقع محطة واحدة (SSL)	خياري (يحتاج إلى بيانات أيونوسفيرية، انظر الفقرة 7.4)	لا ينطبق
سرعة مسح اعتراض DF (راجع التعريف في الفقرة 2.3.3 من التقرير ITU-R SM.2125؛ قابل للتطبيق على أنظمة مسح DF)	50 MHz/ثانية، قناة بعرض نطاق 5 kHz وانشغال قناة 50%	50 MHz/ثانية، قناة بعرض نطاق 5 kHz وانشغال قناة 50%
تشكيلات DF	الكل	
عرض نطاق آني DF	≤ 500 kHz	
حساسية DF	2 µV/m (f < 1 MHz) تشير إلى DF بعرض نطاق 250 Hz، 1 ثانية زمن تكامل ودقة 2° جذر متوسط تربيع	30 µV/m (f < 1 MHz) تشير إلى DF بعرض نطاق 250 Hz، 1 ثانية زمن تكامل ودقة 2° جذر متوسط تربيع
زمن الإشارة الأدنى (راجع التعريف في الفقرة 3.3.3 من التقرير ITU-R SM.2125)	5 ms إلى 10 ms	

ملاحظتان – ترد المواصفات من أجل خطأ توليف التردد، ورقم ضوضاء المستقبل، والاعتراض من الرتبة الثالثة (IP3)، وعرض نطاق التردد المتوسط، وحرارة التشغيل والتخزين، وتزويد الطاقة، في الجدول 3.3.3-1.

تتوقف مواصفة دقة الاتجاه الزاوي لإشارات الموجة السماوية على جيب تمام زاوية ارتفاع الوصول، إذ كلما ازدادت زاوية الارتفاع تناقص قوس الدائرة الكبرى الذي تغطيه درجة سمت وذلك وفقاً لجيب التمام (الارتفاع)، وفي الواقع يصل قوس الدائرة الكبرى الذي تغطيه درجة سمت عند ارتفاع 90° إلى الصفر.

الجدول 3.4.3-2

المواصفات النمطية لمحطات DF ثابتة ومتنقلة في الترددات VHF/UHF

الوظيفة/الأداء (قائمة غير حصرية بالمعلمات)	محطة ثابتة (MHz 3 000-20)	محطة متنقلة (MHz 3 000-20)
دقة اتجاه DF في النظام (مختبرة في مرفق اختبار في الهواء الطلق في بيئة خالية من الانعكاس، كما جاء في التقرير ITU-R SM.2125)	1° جذر متوسط التربيع	3° جذر متوسط التربيع، نظام منصوب في مركبة، اختبار في بيئة خالية من الانعكاس، هوائي DF على ظهر المركبة، غير ممدد
سرعة مسح اعتراض DF (راجع التعريف في الفقرة 2.3.3 من التقرير ITU-R SM.2125؛ قابل للتطبيق على أنظمة مسح DF)	1 GHz/ثانية، قنوات بعرض نطاق 25 kHz، انشغال قناة 50%	
تشكيلات DF	الكل	
عرض نطاق آني DF	20 MHz	
حساسية DF	10 µV/m تشير إلى DF بعرض نطاق 1 kHz، 1 ثانية زمن تكامل ودقة 2° كما جاء في التقرير SM.2125	20 µV/m تشير إلى DF بعرض نطاق 1 kHz، 1 ثانية زمن تكامل ودقة 2° كما جاء في التقرير SM.2125
زمن الإشارة الأدنى (راجع التعريف في الفقرة 3.3.3 من التقرير ITU-R SM.2125)	1 ms	

ملاحظتان – ترد المواصفات من أجل خطأ توليف التردد، ورقم ضوضاء المستقبل، والاعتراض من الرتبة الثالثة (IP3)، وعرض نطاق التردد المتوسط، وحرارة التشغيل والتخزين، وتزويد الطاقة، في الجدول 3.3-1.

تستخدم إجراءات قياس دقة DF نسبة الإشارة إلى الضوضاء > 20 dB، كما جاء في الفقرة 7.4.

5.3 التجهيزات الإضافية والمنفصلة

تستعمل معظم محطات مراقبة الطيف أنظمة مؤتمتة متكاملة يأتي وصفها في الفقرة 6.3. وتقوم هذه الأنظمة بالقياسات التي يوصي بها الاتحاد الدولي للاتصالات بالنسبة للتردد وشدة المجال وعرض النطاق والتشكيل، فضلاً عن قياسات شغل الطيف وتحديد الاتجاه بواسطة تجهيزات قياس متكاملة. ولكن بدلاً من هذه الأنظمة المؤتمتة المتكاملة، أو على نحو متمم لها، تتيسر أيضاً تجهيزات إضافية ومنفصلة لأداء هذه القياسات وللمساعدة في تعرّف الهوية. وتناقَش بعض هذه التجهيزات فيما يلي أدناه.

1.5.3 تجهيزات قياس التردد

1.1.5.3 اعتبارات عامة

التردد هو من أهم خصائص البث التي يتعين قياسها من جانب خدمة المراقبة الراديوية. وتتوقف الدقة المطلوبة إلى حد كبير على الغرض من القياس. وعندما يكون الغرض مجرد فحص استخدام القناة الملائمة في الأجهزة الراديوية الصوتية في النطاق الضيق بتشكيل التردد (FM) في المناسبات الكبرى، لعله يكفي استخدام مقياس تردد يحمل باليد دقته في حدود 10 Hz. وعلى النقيض من ذلك، عندما يتعين التحقق من امتثال الإرسالات لتوصيات قطاع الاتصالات الراديوية أو الأحكام الوطنية فإن الدقة المطلوبة يمكن أن تكون عالية جداً.

وتتوفر أجهزة قياس الترددات عموماً على أساس معيار تردد كوارتز. ويتوقف تردد الخرج في مرحلة الكوارتز على الحرارة المجاورة وعلى فلطية التشغيل. وحتى بعد فترة الإحماء، يبدي مذبذب الكوارتز تغيراً ثابتاً في تردد الخرج. وفي الوقت الحاضر، تتراوح أمداء هذه التفاوتات في حدود 10^{-8}. وبالنسبة للأجهزة الجيدة، يكون التغير الثابت لتردد الكوارتز ما بين 10^{-10} و10^{-9} في اليوم بعد زمن إحماء مستمر لمدة بضعة أسابيع.

ومن ثم يتعين مقارنة مراحل كوارتز الأجهزة مراراً مع معيار التردد أو يجب مراقبتها بواسطة إرسال تردد معياري. وثمة بديل للمقارنة الدورية وهو ربط الكوارتز على نحو دائم مع معيار مرجعي (أي مذبذب روبيديوم أو مذبذب خاضع لنظام GPS) وعلى هذا النحو يتم الجمع ما بين استقرار الكوارتز القصير الأجل واستقرار المعيار الذري الطويل الأجل.

2.1.5.3 معايير التردد

السيزيوم واحد من أكثر مولدات التردد استقراراً في ظروف المختبر. ويستخدم مذبذب السيزيوم بمثابة المعيار الأولي من أجل الزمن والتردد. ووفقاً للنظام الدولي للوحدات، تعرّف الثانية بأنها فترة 9 و192 و631 و770 دورة ضوء موجة صغرية تم امتصاصه أو بثه جراء انتقال عالي الدقة لذرات السيزيوم –133 في حالة أرضية دون تشويش بفعل مجالات خارجية. ومعايير السيزيوم المتاحة تجارياً باهظة الثمن ومن ثم فهي لا تستخدم عموماً في محطات المراقبة.

والروبيديوم معيار ثانوي من أجل الزمن والتردد، تتم معايرته باستخدام معيار السيزيوم الأولي. ومعايير الروبيديوم المتاحة تجارياً أقل ثمناً من معايير السيزيوم. وينتمي كل من السيزيوم والروبيديوم إلى فئة المعايير الذرية ويتسم بخصائص عالية جداً من حيث الدقة والتقادم.

وتعتبر معايير الكوارتز أرخص ثمناً نسبياً، وهي متوفرة في أشكال مختلفة تبعاً لمستوى الدقة المطلوب. ونتيجة لذلك، تستخدم معايير الكوارتز على نطاق واسع في تجهيزات الاختبار والقياس وفي الاتصالات. ويستخدم الكوارتز بالدرجة الأولى في وضع معايير مذبذبات الكوارتز.

ويحتوي الجدول 5.3-1 على الخصائص النمطية لبعض معايير التردد.

الجدول 5.3-1

الخصائص النمطية لبعض معايير التردد

	TCXO*	OCXO**	GPS***	الروبيديوم	السيزيوم
عدم استقرار قصير الأجل	$< 1 \times 10^{-9}$	$< 1 \times 10^{-12}$	$< 5 \times 10^{-12}$	$< 2 \times 10^{-12}$	$< 5 \times 10^{-14}$
عدم استقرار طويل الأجل	$< 2 \times 10^{-6}$	$< 1 \times 10^{-8}$	$< 1 \times 10^{-12}$	$< 1 \times 10^{-11}$	$< 5 \times 10^{-12}$

* TCXO = مذبذب كوارتز معوَّض الحرارة

** OCXO = مذبذب كوارتز محكم بالفرن

*** GPS = مذبذب كوارتز محكم بالنظام العالمي لتحديد الموقع

3.1.5.3 معايير الزمن والتردد الخاضعة للنظام العالمي لتحديد الموقع

يحمل كل نظام عالمي لتحديد الموقع (GPS) على متنه ميقاتيتين سيزيوم متزامنتين بواسطة المحطة الأم التي يتبعها. وعندما يستخدم لمقارنة الزمن والتردد يكون خطأ الزمن أقل بكثير من 1 ميكروثانية، وتكون قيمة متوسط الخطأ نحو 10 نانوثانية. ويقابل خطأ الزمن بمقدار 1 ميكروثانية في اليوم خطأ تردد بمقدار 10^{-11}. وبالنسبة لمراقبة الطيف، يوصى بالتحكم في مذبذب الكوارتز المحلي أو المعيار الذري بواسطة مستقبِل GPS ملائم.

ويمكن تحقيق دقة تردد نمطية بمقدار 5×10^{-12} (خرج 10 MHz) باستخدام معيار روبيديوم خاضع لنظام GPS، دون التأثير على الاستقرار القصير الأجل في المذبذب المحلي. وثمة معلومات إضافية عن إشارات التردد والتوقيت التي يوفرها الساتل في الكتيب الذي أصدره الاتحاد الدولي للاتصالات عن نقل ونشر الزمن والتردد بواسطة الساتل.

2.5.3 سوية التردد الراديوي وتجهيزات قياس شدة المجال

تستند عملية قياس شدة المجال بصورة رئيسية إلى تحديد استجابة هوائي استقبال للمجالات الكهربائية أو المغنطيسية التي تصطدم به. ويكشف المستقبل الموصول بالهوائي استجابة الهوائي هذه. ولا بد من تحليل الاستجابة إلى المجال الكهرمغنطيسي من حيث سلوك الهوائي والمجال على السواء. ويتم قياس شدة المجال باستخدام توليفة من العناصر التالية:

- هوائي معايَر؛
- شبكة اقتران و/أو خط إرسال؛
- مستقبل قياس أو محلل طيف يحتوي على:

'1' دارات توهين وانتقاء مسبق؛

'2' دارات مكبرة أمام المخلاط الرئيسي ومرشاح تردد متوسط IF (قابل للتبديل)، ويفضل استعمال مراشيح بنسبة عرض نطاق dB 60/6 منخفضة؛

'3' جهاز كشف وبيان، من قبيل عداد تماثلي أو رقمي، أو محوال تماثلي/رقمي مع جهاز حوسبة وعرض؛

- مصدر معايرة (من قبيل مولد إشارة أو تتبع موجة مستمرة معياري، أو مولد نبضة أو مولد ضوضاء عشوائية)، قد يكون أيضاً جزءاً من مستقبل القياس أو محلل الطيف.

ويمكن تجميع هذه العناصر في جهاز واحد، أو في عدد من الأجهزة المنفصلة، يؤدي كل منها وظيفة أو أكثر من الوظائف المطلوبة. وفي مجال الاستعمال في تطبيقات من قبيل قياس مخططات الهوائيات أو مناطق خدمة المحطات، من الشائع في الممارسة العملية استعمال عداد شدة مجال محمول وحيد يحتوي على كل العناصر المدرجة أعلاه باستثناء الهوائي، بل وفي بعض الحالات حتى الهوائي يكون جزءاً أصيلاً من عداد شدة المجال. وفي التركيبات المتنقلة أو الثابتة التي لا أهمية فيها للوزن ولاستهلاك الطاقة، يتوفر خيار واسع من التوليفات، من عداد شدة مجال قياسي إلى وحدات منفصلة تتألف من مستقبل وعداد ومولد إشارة معياري أو جهاز معايرة آخر ونظام هوائي ملائم. ومن الشائع استخدام أنظمة المعالجة الصغرية من أجل التحكم في المستقبل والمعاير والطابعات و/أو الراسمات، وهي قادرة على بيان نتائج القياس وتخزينها - وغالباً ما تكون جميع الأجزاء مدمجة في جهاز واحد.

وينبغي لمجموعات قياس شدة المجال أن تتمتع بالخواص التالية:

- درجة عالية من الاستقرار؛ ينبغي أن يكون من الممكن إجراء القياس عبر فترة طويلة إلى حد ما دون الحاجة إلى إعادة المعايرة مراراً؛
- دقة نسبية جيدة؛ ينبغي في الممارسة العملية أن تؤدي قياسات مجال ثابت، يقوم بها مشغلان كل على حدة، إلى نفس النتائج؛
- مجال واسع للقياس (يتراوح من بضعة ميكروفولطات في المتر (μV/m) إلى بضعة فولطات في المتر (V/m))؛
- ينبغي أن تكون دلالة جهاز القياس متناسبة مع جذر متوسط التربيع، وقيمة الذروة أو المتوسط لشدة المجال، وذلك تبعاً لنمط القياس.

ومن الأهمية بمكان، لدى ملاحظة الإرسالات المشكّلة، معرفة عرض النطاق ووظيفة إحصاءات الكاشف (أي المتوسط الخطي ومتوسط اللوغاريتم والذروة وشبه الذروة ووظيفة جذر متوسط التربيع) وثابت زمن العداد، من قبيل زمن القياس لكل قيمة مقيسة في التجهيزات المستخدمة في قياس سوية التردد الراديوي وشدة المجال. وهذه المعلومات متيسرة عموماً بصدد الأجهزة المصنعة تجارياً.

وينبغي أن يكون عرض النطاق كافياً لاستقبال الإشارة بما في ذلك الأجزاء الأساسية في طيف التشكيل. وينبغي لنمط الكاشف أن يضمن قياس حاملة الإشارة، عند الاقتضاء.

أمثلة لأحدث ما توصلت إليه التجهيزات:

مستقبلات قياس أوتوماتي ومقاييس شدة المجال متطورة يحكمها المعالج الصغري، وهي متوفرة في الأسواق في شكل وحدات مصغرة من أجل مدى التردد من 9 kHz إلى 3,0 GHz أو ذات أمداء تردد منخفضة. وبإمكان مولدات المعايرة المدمجة وموهنات الدقة والمعايرة الأوتوماتية وتحديد المدى أن تحدد أخطاء قياس فلطية الدخل بأقل من 1 dB على امتداد كامل مدى

فلطية الدخل ومدى عريض من الحرارة. وإلى جانب دقة عامل هوائي ممكن تحقيقها في حدود ±1 dB يمكن أن تقع الدقة الإجمالية لنظام كامل لقياس شدة المجال في حدود ±2 dB في مدى التردد بأكمله، ولكن قد تحده عوامل مختلفة من قبيل أوجه عدم الدقة في معرفة مخطط الهوائي. ويمكن إدخال جداول إفرادية، لعوامل توهين الكبل والهوائي في أي هوائي معايَر، في مستقبل القياس للاستدلال المباشر عن شدة المجال. وتكون المستقبلات حسنة التدريع بحيث لا تتأثر دقة القياس بسبب طفرات طائشة عند قيم منخفضة أو عالية من شدة المجال.

وعند انتقاء مستقبلات القياس المزمع استخدامها ينبغي أن تؤخذ في الحسبان الحاجة إلى القدر الكافي من الحساسية ومقدرة فرط الحمولة العالية (أي نقاط اعتراض عالية من الرتبتين الثانية والثالثة) وإلى استقرار التردد والكسب بما في ذلك المعايرة الذاتية. وتكون مستقبلات القياس من الدرجة الأفضل من النمط المستخدم عادة في عمليات المراقبة المنتظمة مرضية عموماً لهذا الغرض. وينبغي أن يكون عرض نطاق القياس هو الحد الأدنى المطلوب من أجل استقبال مرضٍ للإشارة المزمع قياسها، كما ينبغي في الوقت نفسه الإقلال من عرض النطاق الزائد وذلك لتجنب التداخل من القناة المجاورة. وفيما يتعلق بقياسات شدة المجال يجب أن تكون مستقبلات القياس مزودة بوظائف المعايرة والكشف اللازمة.

وتستخدم تجهيزات القياس السريعة الحديثة وسائط التسجيل الرقمية، وخصوصاً حيث يقاس أكثر من قناة واحدة أوتوماتياً. وتحفظ نتائج القياس في أجهزة تخزين كبيرة ويمكن الحصول في أي وقت على رسوم بيانية للبيانات المقيسة.

لمزيد من التفاصيل بشأن أساليب قياس شدة المجال، انظر الفقرتين 3.4 و4.4 والتوصية ITU-R SM.378.

3.5.3 تجهيزات تحليل الطيف وقياس عرض نطاق التردد

رغم أن التجهيزات الموصوفة أعلاه تؤدي العديد من وظائف المراقبة، ثمة أجهزة إضافية تسمح بالتشغيل الأكثر فعالية لمحطة مراقبة وتوسع من مقدراتها.

وقد ازدادت أهمية عمليات المراقبة المرئية بفضل التطورات التكنولوجية الحديثة في مقدرات محللات الطيف ومحللات إشارة المتجه التي تتمتع بأمداء دينامية واسعة لاتساع الإشارة المعروضة. ويوفر تحليل الطيف وسيلة للتعرّف السريع على شتى أنماط البث المعقد وتصنيفها. ويمكن للمراقبة المرئية أن تزيد من كفاءة عمليات المراقبة بتحديد مجالات النشاط الجاري الجديرة بمزيد من البحث. وتُسرَّع الخدمة المقدمة لمستعملي الطيف الراديوي باستعمال تقنيات العرض المرئي لمزامنة وقوع التداخل مع نشاط الإرسالات المسببة للتداخل.

ويتزايد في الوقت الحاضر استعمال الحواسيب ووحدات التحكم في العمليات ضمن محطات المراقبة لتوليد التقارير و/أو التحكم في تجهيزات المراقبة.

وهناك ثلاث فئات واسعة من التجهيزات التي تقدم تحليلاً للطيف الراديوي في ميدان التردد:

- تتيسر المحللات عريضة النطاق التي يمكن أن تعرض أجزاءً مختارة من الطيف باستبانة تتراوح ما بين 10 Hz/div. وما يزيد على 100 MHz/div.؛
- تتيسر وحدات العرض البانورامية الموصولة بمخارج التردد المتوسط لمستقبل، وهي تعرض جزءاً محدوداً من الطيف الذي يكتنف التردد المولَّف للمستقبل. ولا يتجاوز ذلك عادة 40% تقريباً من التردد المتوسط لأنماط المستقبلات الشائعة.

كما تتوفر مستقبلات بانورامية يمكنها عرض المدى الكامل لوحدة توليف مختارة أو لأجزاء أصغر منها (بصورة متزامنة أحياناً) باستعمال طريقتي تحويل فورييه السريع (FFT) والقياس الآني للتردد (IFM) معاً.

ويتوفر جهاز للمقارنة الأوتوماتية والتحكم في مصدر التردد نسبةً إلى إرسال تردد معياري.

ولمزيد من المعلومات عن قياسات عرض النطاق، انظر الفقرة 5.4.

ويمكن استعمال محلل الطيف للأغراض التالية:

- التحليل الكامل للإشارة (تشكيل الاتساع أو تشكيل التردد أو النبضة) كدالّة للزمن والتردد؛
- مراقبة شكل الموجة؛
- كشف الإشارت الهامشية ذات تشكيل الاتساع وتشكيل التردد وتعرّف هويتها؛
- قياس زمن صعود النبضة وعرض النبضة ومعدلات تكرارها؛
- قياس الخصائص الطيفية لإشارات التشكيل النبضي؛
- الاستعمال كمستقبل نبضي ومستقبل موجة مستمرة حساس في دراسات انتشار الموجات، ورسم المخططات الإشعاعية للهوائيات، وما إلى ذلك.

وتتوقف جودة قياسات عرض نطاق التردد على الخصائص التقنية التالية لجهاز قياس عرض النطاق أو محلل الطيف:

- الكاشف وحساب القيمة المتوسطة؛
- عرض الكنس؛
- عرض نطاق المرشاح؛
- الدقة النسبية للاتساع؛
- المدى الدينامي للاتساع.

ويُقيَّد أداء جميع أنماط الأجهزة المستعملة لقياسات عرض النطاق بالخبو والتداخل، خاصةً في عمليات رصد الإرسالات على مسافات طويلة. ويمكن تركيب نتائج كنسات متعددة متعاقبة بعضها فوق بعض باستعمال محلل طيف للحصول على معلومات مفيدة جداً بشأن شغل الطيف لنطاقات التردد التي تستقبلها محطة المراقبة.

ولمزيد من المعلومات عن قياسات عرض نطاق التردد، انظر الفقرة 5.4 والتوصيتين ITU-R SM.328 وITU-R SM.443.

4.5.3 تجهيزات المراقبة الأوتوماتية لشغل الطيف

شغل الطيف هو أحد أهم القياسات اللازمة لمراقبة الطيف. والهدف من قياسات الإشغال هو تحديد كيفية توزيع نطاقات التردد وكيفية تقاسم الطيف.

أما التجهيزات اللازمة لإجراء هذه القياسات فهي كما يلي:

الهوائيات: تلزم هوائيات شاملة الاتجاهات للقياس العام لمعدل الإشغال. والهدف هو قياس الطيف بأكمله في منطقة واحدة.

ويمكن استعمال هوائي اتجاهي من أجل قياس محدد، ولتحديد وقت الإشغال لمرسل مكرّس لغرض معين مثلاً.

المستقبلات: فيما يتعلق بمعدل الإشغال، كلما اتسع عرض نطاق التردد التماثلي، زادت المعلومات المتيسرة بصورة متزامنة. وفي مستقبل ضيق نطاق التردد، يتعيّن أن يبدل عرض نطاق التردد التماثلي ترددا تلو التردد.

ولا تلزم القياسات عالية الدقة - بما فيها من دقة التردد والمستوى - لمعدل الإشغال والمراقبة الأوتوماتية. فالمعلمة الرئيسية هي سرعة المسح الإجمالية وعرض النطاق الآني الأقصى:

- كلما قصر وقت استقرار مركّب الترددات، كان قياس الإشغال أسرع. ويجبذ أن يقل وقت الاستقرار عن 5 ميكروثانية في نطاقي الترددات المترية والديسيمترية (VHF/UHF)، وعن 10 ميكروثانية في نطاق الترددات الديكامترية (HF)؛
- يتيح عرض النطاق الآني الواسع تحويل فورييه سريع (FFT) عريضاً، مقللاً من تبديل مركّب الترددات. ويمكن استعمال عرض نطاق آني في حدود 20 MHz في النطاقين VHF/UHF، و2 MHz في النطاق HF.

المعالجة الرقمية: تقنيات FFT مهيئة جيداً لأداء قياسات الإشغال، وهي تتمتع بالعديد من المزايا:

- تتيح طرائق FFT تحليلاً آنياً لعرض نطاق التردد المتوسط IF بأسره. وعند استعمال طرائق FFT مع مستقبل عريض النطاق، يمكن حساب جميع الإشارات الواقعة ضمن عرض نطاق التردد.
- يمكن مراعاة تشكيلات التردد الجديدة بواسطة مستقبلات المسح عالية السرعة المصاحبة لطريقة FFT. فقد لا تُرى تشكيلات مثل النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن (TDMA) بواسطة محلل طيف تردد مكنوس لأن نطاق التردد موضع الاهتمام قد يحتاج لمزيد من الوقت لمسحه. وعلاوة على ذلك، فإن تقنيات FFT أقدر على قياس الإشارات المتغيّرة بمرور الوقت (في شكل بوابات أو نبضات أو عابرة) والإشارات الدينامية ذات التشكيل المعقد، وذلك بالمعالجة المتزامنة لجميع ترددات الطيف المقيسة.
- تتيح طرائق FFT إجراء قياسات أخرى على التوازي. ففي حين يُطبَق قياس الإشغال على عرض النطاق برمته، يمكن لمحول رقمي خافض أن ينتقي إشارة محددة في عرض النطاق ثم يحدد التردد أو عرض النطاق.
- يُدعم قياس الإشغال بالحساب الإحصائي. وهو يقتضي ضمناً عدداً كبيراً من العينات تبعاً لمعدل الإشغال والعينات المستقلة والتابعة. وتسمح طريقة FFT بمستوى عال من الثقة في وقت قصير بفضل قِصَرْ فترات عدم التغطية فيها.
- وتمتاز قياسات الإشغال التي تستعمل تقنيات FFT على الطرائق التقليدية من حيث دقة التردد والسرعة والتخزين الرقمي لبيانات الطيف وإمكانية استنساخ النتائج والتمييز بين الموجات الحاملة القريبة جداً بعضها من بعض والبيئات الضوضائية.

وترد أمثلة عن بيانات الإشغال في الشكلين 5.3-1 و5.3-2. ومع أن تقنية FFT طريقة حديثة وفعالة، لا تزال هناك طرائق أخرى لإجراء قياسات الإشغال.

5.5.3 تجهيزات التسجيل

من المفيد تسجيل بيانات نظام مراقبة الطيف التي تحتوي على الطيف الراديوي والمعلومات السمعية. ويمكن استنساخ البيانات المسجلة والتحقق منها لاحقاً، كما يمكن استعمالها كأدلة ضد محطة راديوية غير قانونية. ويمكن بتسجيل نتائج البيانات أيضاً إجراء تشغيل نظام مراقبة للطيف الترددي بتكلفة مجزية وبصورة آلية.

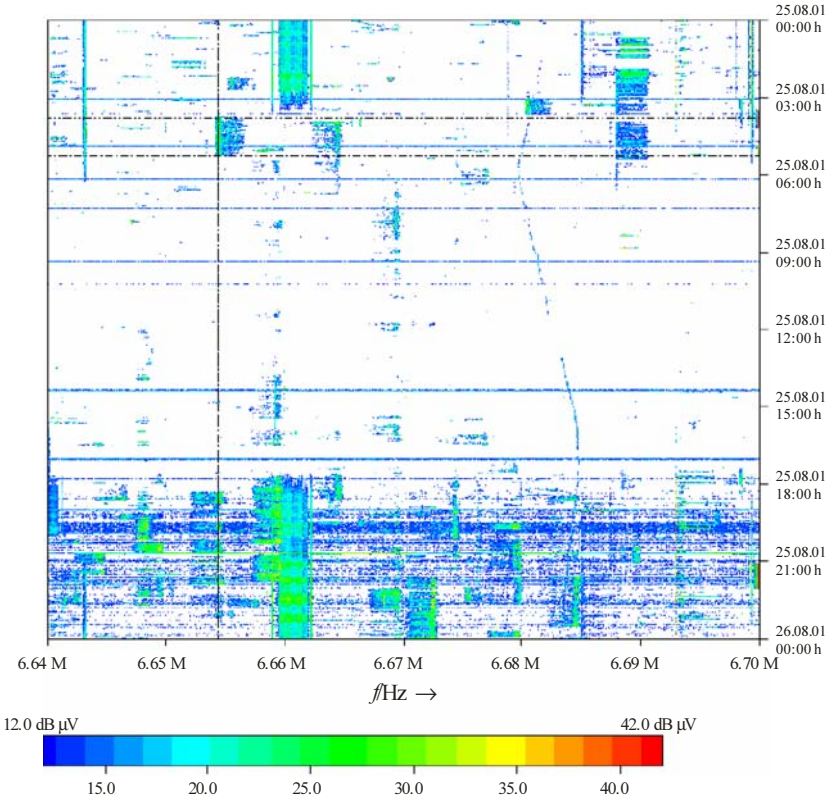
وبالإضافة إلى تسجيل الإشارة السمعية المستقبَلة في محطة مراقبة الطيف، ينبغي تدوين المعلومات عن وقت الكشف والتردد والتشكيل والاتجاه وشدة المجال والهوية.

1.5.5.3 وسائط التسجيل

تُفضَّل مسجلات البيانات المتينة القائمة على الأقراص بدلاً من مسجلات الأشرطة التقليدية. وينبغي لوسائط التسجيل أن توفر سعة كبيرة للتسجيل المستمر وأن تكون قادرة على النفاذ العشوائي كي تسمح بالاستعراض السريع للبيانات. ويُحبَّذ أن تتيح التجهيزات إمكانية تسجيل البيانات واستنساخها وتنقيحها.

الشكل 5.3-1

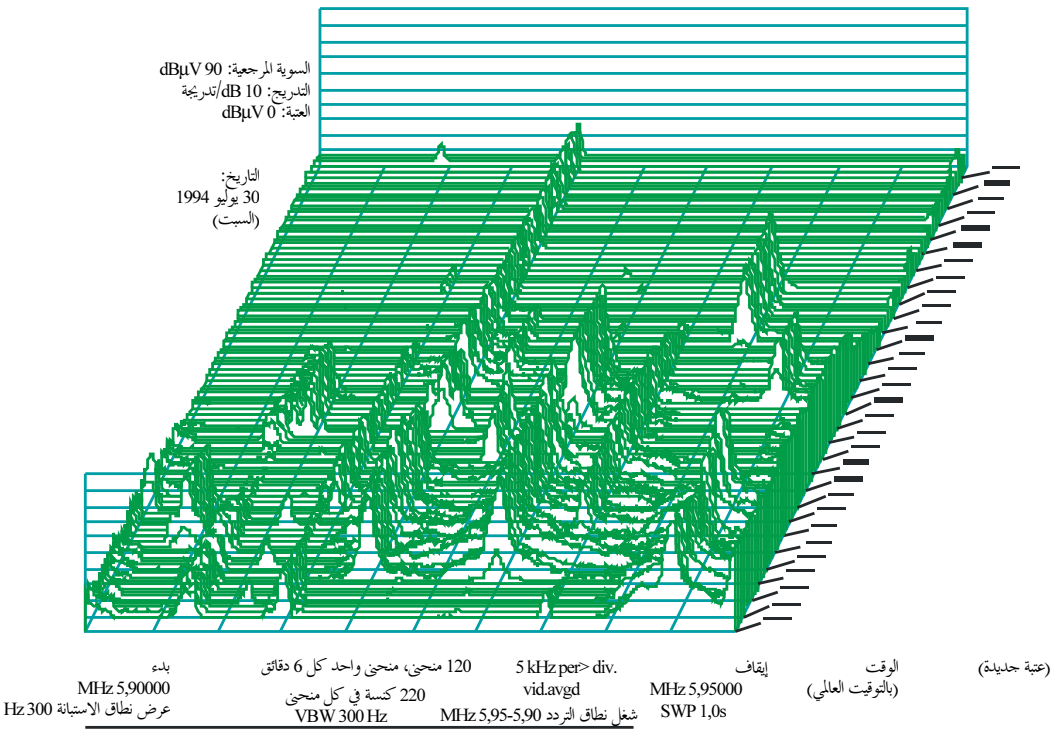
مثال لتمثيل مخطط طيفي



Spectrum-3.5-01

الشكل 5.3-2

مثال لتمثيل شلال



Spectrum-3.5-02

ويفضَّل تسجيل البيانات لفترة لا تقل عن 72 ساعة متواصلة. إذ تتيح مدة تسجيل طويلة كهذه فترات طويلة من التشغيل الآلي. وينبغي أن تبدأ وظيفة التسجيل عند استقبال البيانات المراقبة لتلتقط فوراً الإشارات غير المتوقعة، وينبغي أن تتوقف عند عدم استقبال البيانات المراقبة. ويتعين النظر بحرص في إنساق وسائط التسجيل لتسهيل استنساخ بيانات محددة. حيث ينبغي أن يتمكن المشغل من إدراج "علامة" في تدفق من البيانات المراقَبة، وينبغي أن يُحدَد موقع "العلامة" بسهولة، إذا لزم الأمر، أثناء استعادة التسجيل.

وينبغي لوظائف استنساخ البيانات أن تعيد إنتاج نفس البيانات المراقَبة بحذافيرها استناداً إلى البيانات المسجلة. وينبغي تحقيق التزامن بين معلومات الطيف الراديوي ومعلومات الصوت أثناء الاستنساخ. كما ينبغي لوظائف استنساخ البيانات أن تشمل وظائف البحث عن "علامة" والتقديم والإرجاع السريعين والبحث عن الرأسية.

وينبغي أن تكون وظيفة تنقيح البيانات قادرة على استخلاص بيانات معينة من البيانات المسجلة ونسخها. وينبغي أن يكون بوسع المشغل أن يعين بسهولة البيانات المرغوبة للاستخراج والنسخ.

2.5.5.3 تجهيزات تسجيل النطاق العريض

تتناول هذه الفقرة الاحتياجات من سعات تخزين البيانات الرقمية في محطات المراقبة. وهي لا تعرض أي مواصفات تقنية، بل تضع الخطوط العامة لكيفية تحديد سعات التخزين اللازمة. والواقع أن التطور التقني هو من السرعة في هذه الأيام بحيث أن المواصفات لا تلبث أن تتقادم في بضع سنوات.

1.2.5.5.3 بيانات التسجيل ونسقه

هناك خمسة أنماط من بيانات التسجيل والملفات المصاحبة لها في المحطات الحديثة:

النمط 1: بيانات رقمية، ويمثل النسق الشائع منها مكونات في الطور وفي التربيع (I/Q) من عينات تدفق مستمر أو أسلوب فدرة من نطاق التردد الأساسي أو خرج التردد المتوسط (IF). ويمكن إدخال هذه البيانات الخام لاحقاً في مستقبل لتحليل الإشارات المسجلة. ويستفاد من ذلك على نحو خاص في تسجيل إشارة خدمة متنقلة، حيث لا تتيسر دوماً تجهيزات التحليل الخاصة بمحطات المراقبة الثابتة. وتضم الأمثلة تحليل إشارات قصيرة الأمد وإشارات ملتقطة أثناء التسجيل الآلي.

النمط 2: بيانات الطيف الناتجة عن تحويل FFT لقياسات ميدان الزمن. ويمكن لمحطات المراقبة الحديثة أن تخرّج بضع مئات من تحويلات FFT في الثانية المصاحبة لقياسات عرض نطاق التردد الأوسع. وملف النصوص هو نسق الملفات المعياري.

النمط 3: بيانات مزالة التشكيل ومفكوكة الشفرة حيث نسق الخرج هو ملفات نصوص.

النمط 4: بيانات رقمية سمعية بنسق ملفات wav أو mp3 أو غيرها من نسق الملفات السمعية.

النمط 5: بيانات قياسات خام في ملفات نصوص.

ويتطلب تخزين البيانات الرقمية بنسق I/Q عموماً سعة عالية للتخزين وعرض نطاق كبير للتسجيل نظراً لمعدلات البيانات العالية المصاحبة له. ولأنماط التسجيل الأخرى متطلبات أقل تشدداً.

2.2.5.5.3 تسجيل البيانات الرقمية

بما أن السطوح البينية هي إما محولات تماثلية/رقمية A/D أو محولات رقمية خافضة، فإن اعتبارات مثل طول التسجيل ونمط البيانات (البايتات في كل عينة) وعرض نطاق الإشارة هي اعتبارات هامة. وتتيسر اليوم سعات تخزين كبيرة، وستستمر البحوث التكنولوجية في تطوير أنظمة سعات أكبر. ويمكن للمستقبلات الرقمية أن توصل بينياً مع المسجلة مباشرة، نظراً لتوفر دخل/خرج رقمي مناسب في المستقبل والمسجلة.

3.2.5.5.3 عرض نطاق تجهيزات التسجيل

لا يؤثر عرض نطاق الإشارة المزمع تسجيلها في متطلبات سعة التسجيل فحسب، بل في عرض نطاق التسجيل في النظام أيضاً. وقد يكون مستقبل التسجيل قطعة محلية من ضمن تجهيزات التخزين، أو قد يستعمل توصيلاً بينياً مع شبكة منطقة واسعة. وتستدعي الإشارات ذات عرض النطاق الأوسع (أكبر من 5 MHz مثلاً) نفاذاً إلى نظام تخزين سريع جداً بداعي معدلات البيانات العالية. وينبغي توخي الحذر عند انتقاء التوصيلات البينية للشبكة وتجهيزات التسجيل التي تتسم بصبيب معدل بيانات دائم وعال، أكبر من اللازم لتسجيل عرض النطاق الأقصى للإشارة دون زيادة الحمل على سعة التوصيل البيني (أكبر من 30% في بيئة مبدلة بالرزم).

4.2.5.5.3 متطلبات أداء تجهيزات التسجيل

يمكن حساب سعة التخزين ومتطلبات معدل البيانات كما يلي:

$$C\ (\text{Mbytes}) = F_s \times N_b_\text{Bytes_Per_Samples} \times \text{Rec_time}$$

حيث:

F_s: تردد الاعتيان لمحول التماثلي إلى الرقمي (ADC) أو محول بيانات رقمية (DDC) (MHz)

N_b _Bytes_Per_Samples: 4 بايتات عموماً لعينات I/Q طولها 16 بتة

Rec_time: وقت التسجيل (بالثواني).

حيث تتطلب إشارة عرض نطاقها 10 MHz مثلاً معدل اعتيان F_s = 25 MHz في نطاق التردد الأساسي أو 12,5 MHz بنسق I/Q. وتؤدي إشارة نطاق تردد أساسي ذات 16 بتة في العينة ووقت تسجيل قدره دقيقة واحدة إلى:

- معدل بيانات: 25 (MHz) × 2 (بايتة/العينة) = < 50 Mbyte/s.
- سعة التخزين/التسجيل: 50 (Mbyte/s) × 60 (s) = < سعات التخزين = 3 Gbytes.

6.5.3 تجهيزات قياس التشكيل

يرد وصف قياسات التشكيل المعيارية التي يوصي بها الاتحاد الدولي للاتصالات في الفقرة 6.4. وتتيح المستقبلات عريضة النطاق ومقدرات المعالجة للمحطات الحديثة قياس التشكيل، بما في ذلك قياسات التشكيل الرقمي. وقد تكون تجهيزات القياس المتخصصة محبذة عند استعمال مستقبلات ضيقة نطاق التردد بمخارج تردد متوسط. ويستفاد في قياس التشكيل الرقمي من محلل الإشارة المتجهية (VSA)، وهو محلل خارجي لطيف التردد قادر على تحليل المتجهات، أو من محطة المراقبة نفسها إذا كانت مزودة بالبرمجيات المناسبة.

وتتسم المستقبلات اللازمة لإزالة التشكيل وقياس n-PSK وQAM والمخططات الأخرى من أنماط المتجهات الموصوفة في الفقرة 6.4 بمحولات خافضة عالية الأداء لا يؤدي اتساع IF واستجابة تأخر الزمرة فيها إلى انحطاط الإشارة المقيسة. ويلي المحول الخافض أو المستقبل محلل VSA لتحليل التشكيل الرقمي [Blue *et al.*, 1993]. وينفّذ محلل VSA عروض نطاق IF النهائية باستعمال معالجة الإشارة الرقمية (DSP) بغية تحقيق استجابات تمرير نطاق IF مستقرة وعالية الأداء. وفوق ذلك، يمكن تركيب سلسلة من مراشيح الاستقبال بتغيير معامِلات DSP من أجل تغطية متعددة الجوانب لأنماط تشكيل متنوعة.

وإذا استُعمل المحول الخافض الخياري في الترددات الراديوية للمحلل VSA ولم يضم منتقي الترددات الراديوية الأولي، يجب استعمال منتق أولي خارجي أو مرشاح ذي نطاقات تردد في ظروف تتكاثف فيها الإشارات. وقد يتعين إدراج تصحيحات استجابة تمرير نطاق المنتقي الأولي في الإجراء التصحيحي لاستجابة تمرير نطاق مرشاح IF من أجل الحصول على الأداء الأعلى.

وبعد ضبط التردد المرغوب للموجة الحاملة ونمط التشكيل ومعدل الرموز، تقوم المعالجة DSP في المحلل VSA أو في محلل الطيف بإزالة التشكيل. وإلى جانب عرض الإشارة المشكَّلة، يوفر المحلل أيضاً تشكيلاً رقمياً لقياسات الخطأ. ويتم ذلك بإزالة تشكيل الإشارة وتوليد مرجع مثالي. ويقارَن الاثنان لتوليد نتائج قياس الخطأ.

وفيما يتعلق بجودة التشكيل في المراقبة 'على الهواء'، قد يكون مسير الإرسال هو العامل المهيمن عند قياس عوامل جودة التشكيل. وقد يجعل الانتشار متعدد المسيرات أو مصادر التداخل الأخرى في نفس القناة من قياسات جودة التشكيل موضع شك كبير أو عديمة الفائدة. ومن ثم، لا تصح قياسات التشكيل التفصيلية إلا في موقع المرسل، ويفضَّل أن تكون موصولة مباشرة بالمرسل. وتشمل هذه القياسات مقدار متجه الخطأ وخطأي الطور والاتساع وتسرب الموجة الحاملة وعدم توازن كسب I/Q وتراخي الاتساع وخطأ تردد الموجة الحاملة.

وتشمل القياسات العامة، التي تقدم مؤشراً عن جودة التشكيل بصفة عامة والتي يمكن إجراؤها في موقع المرسل أو 'خارج الهواء' على مسافة معينة من المرسل، قياس الطيف لمتجه الخطأ (تأكيداً للتداخل) ونسبة قدرة القناة المجاورة وعرض نطاق التردد المشغول وقناع بث الطيف ودالة التوزيع التراكمي التكميلي وتردد الموجة الحاملة وميدان الشفرة (القدرة والتوقيت والطور).

وليس قياس الاستجابة النبضية للقناة (CIR) [Riedel, 1991; Riedel and Bues, 1993] قياس تشكيل، بل هو قياس للانتشار متعدد المسيرات في القناة، حيث يؤثر بشدة في جودة التشكيل في موقع الاستقبال. ويمثل قياس معدل الخطأ في البتات (BER) قياساً آخر غير مباشر لجودة التشكيل في موقع الاستقبال. وترد تفاصيل أوفى لوصف قياسات الجودة هذه في الفقرتين 2.6.3.5 و3.6.3.5.

7.5.3 تجهيزات تعرّف الهوية

إن تعرّف هوية الإشارات الراديوية هو أحد أصعب مهام المراقبة. وتعود هذه الصعوبة، في جزء منها، إلى تباعد بث الرموز الدليلية للنداء، وفي جزء آخر، إلى استعمال رموز دليلية للنداء مختصرة أو غير مسجلة، وبقدر كبير، إلى صعوبة فك شفرة الإشارات جراء الاستعمال المتنامي لأنظمة الإرسال المعقدة، أي تعدد الإرسال بأسلوب زحزحة التردد و/أو تقسيم التردد و/أو تقسيم الزمن. وعلاوة على ذلك، ثمة أنظمة إبراق آلية تستعمل شفرات منوعة غير مورس وأنظمة الفاكس وأنظمة النطاق الجانبي الواحد والمستقل وأجهزة حماية الخصوصية.

وقد أتاحت تقنيات المعالجة الرقمية والحواسيب الصغرية الآن تصميم تجهيزات تعرّف هوية متعددة الأغراض قادرة على إزالة تشكيل معظم الإشارات وفك شفرتها، كما يمكن برمجتها للاستجابة لمخططات إرسال جديدة. ويرد بحث لهذا الموضوع في التوصية ITU-R SM.1600 - تعرّف هوية الإشارات الرقمية تقنياً.

وعلى ذلك، يتحتم على محطة مراقبة أن تتزود بتجهيزات لاستقبال و/أو تعرّف هوية أنماط متعددة من التشكيلات التماثلية والرقمية.

لمزيد من المعلومات عن تعرّف هوية الإشارة، انظر الفقرة 8.4.

المراجـــع

BLUE, K. et al. [December 1993] Vector Signal Analyzers for Difficult Measurements on Time-Varying and Complex Modulated Signals. *Hewlett-Packard J.*, Vol. 44, p. 6-47.

BUES, D. and RIEDEL, P. [1993] Planning digital radio networks using Impulse Response Analyzer PCS and test transmitter system. *News from Rohde & Schwarz*, **141**, p. 26-27.

RIEDEL, P. [1991] TS 9955 measures channel impulse response in GSM radio networks. *News from Rohde & Schwarz*, **137**, p. 12-14.

YANG Xuhai, Zhai Huisheng, Hu Yonghui, Li Zhigang, Li Xiaohui, Study on GPS Disciplined Rb Clock Based on New Frequency Accuracy Measurement Algorithm, National Natural Science Foundation of China (60172031), Chinese Journal of Scientific Instrument, 2005 Vol. 26-1.

ITU Handbook [2010] on Satellite Time and Frequency Transfer and Dissemination, available at: http://www.itu.int/publ/R-HDB-55.

توصيات قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد

ملاحظة – يشجع في كل حالة استعمال آخر طبعة من التوصية المشار إليها.

التوصية ITU-R SM.182 – المراقبة الأوتوماتية لشغل طيف الترددات الراديوية.

التوصية ITU-R SM.328 – أطياف وعرض نطاق البث.

التوصية ITU-R SM.377 – دقة قياسات الترددات في محطات المراقبة الدولية.

التوصية ITU-R SM.378 – قياسات شدة المجال بمحطات المراقبة.

التوصية ITU-R SM.443 – قياس عرض النطاق في محطات الرصد.

التوصية ITU-R SM.854 – معرفة الاتجاهات وتحديد المواقع بمحطات المراقبة.

التوصية ITU-R SM.1600 – تعرّف هوية الإشارات الرقمية تقنياً.

6.3 أتمتة المراقبة

1.6.3 مقدمة

من شأن الأتمتة، باستعمال الحواسيب ومعماريات العميل/المخدِّم الحديثة والاتصالات عن بعد، أن تبسِّط العديد من الواجبات والمسؤوليات في خدمة المراقبة. إذ توفر التجهيزات المحوسبة وسيلة لأداء مهام القياس العادية المتكررة بسرعة ودقة بحيث تمكن موظفي الخدمات من الاهتمام بمهام أكثر تعقيداً.

ومن شأن استعمال قواعد البيانات والنمذجة الحاسوبية أن يبسط وظائف إدارة الطيف وأن يساعد في الحيلولة دون التداخل.

ويتيح اقتران إدارة الطيف ومراقبة الطيف إقامة نظام متكامل يمكنه أن يستعمل أوتوماتياً البيانات المقيسة من نظام المراقبة ومعلومات الترخيص من قاعدة بيانات الإدارة لكشف الإرسالات غير المرخصة ومخالفات الترخيص الأخرى.

ويمكن لنظام المراقبة والإدارة المتكامل أن يوضع في مرفق إدارة مركزي تؤدى فيه الإدارة الشاملة لنظام المراقبة الراديوية ويتيسر فيه التحليل الإحصائي لبيانات القياس المختزنة في قاعدة بيانات لنظام المراقبة.

وتُستخدم هذه النتائج المحللة للتخطيط لإدارة الطيف (سحب وإعادة تخصيص الترددات مثلاً).

ويُعرض مخطط لنظام متكامل نمطي في الشكل 6.3-1 وويرد وصف أوفى له في التوصية ITU-R SM.1537.

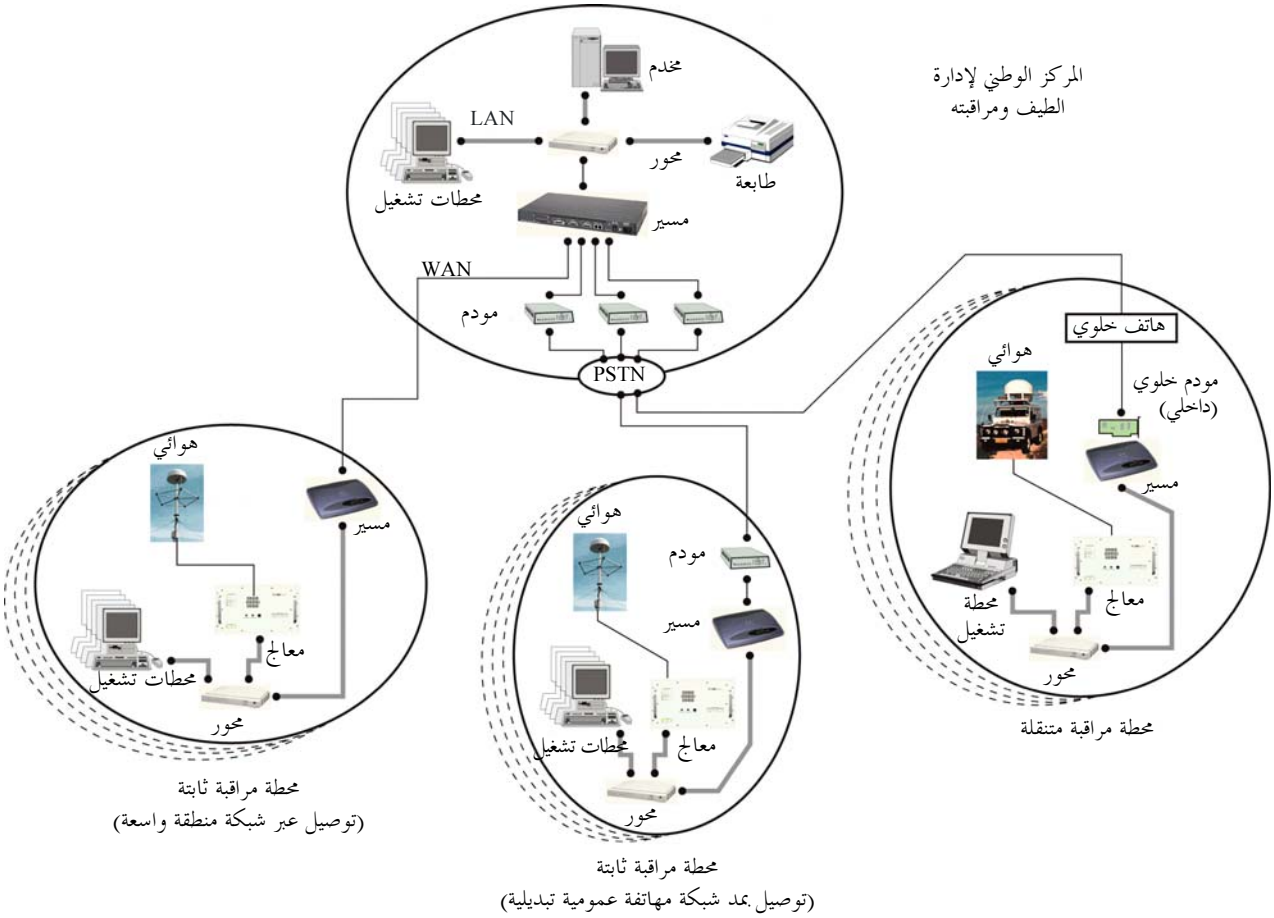
وتختلف التشكيلة (عدد مواقع التشغيل في كل محطة مراقبة وعدد محطات المراقبة، وما إلى ذلك) وطرائق الاتصال (بروتوكول التحكم في الإرسال TCP أو أي بروتوكول آخر؛ استعمال الشبكة الهاتفية العمومية التبديلية PSTN أو اللاسلكي أو الساتل) والتفاصيل الأخرى حسب التطبيق.

وتشمل تشكيلة النظام البديلة إضافة مركز مراقبة موصول مباشرة بمحطات المراقبة موصول بدوره بمركز الإدارة.

ويمكن لخدمة مراقبة كبيرة أن يكون لها مراكز مراقبة إقليمية فضلاً عن مركز مراقبة رئيسي أو وطني لتوزيع التحكم في عمليات المراقبة.

الشكل 6.3-1

مثال لنظام مراقبة متكامل مع نظام إدارة



Spectrum-3.6-01

2.6.3 أتمتة عمليات المراقبة

تؤدي المحطات المؤتمتة بصورة عامة وظائف محطة مراقبة ثابتة وفق الوصف الوارد في الفقرة 4.2. وكل القياسات الروتينية للمراقبة هي مهام متكررة تتقبل بسهولة عملية الأتمتة:

- *قياسات الإشغال*: إحدى المهام المناسبة جداً للأتمتة هي المسح دقيق الاستبانة لنطاقات التردد مع عمليات عرض مولدة حاسوبياً وسعة تخزين بشغل القناة على مدى عدة أيام.
- *قياسات التردد*: يمكن إجراؤها أوتوماتياً متى كانت النسبة *S/N* كافية وكذلك للإرسالات ذات تردد موجة حاملة. وفي نطاق الترددات الديكامترية (HF)، تكون القنوات عادة متقاربة جداً؛ لذا لا بد من توفير انتقائية ترددية حادة في حالة وجود ترددات متعددة في نفس القناة.
- قياسات السوية، وحسب الاقتضاء، قياسات شدة المجال أيضاً.
- قياسات عرض النطاق.
- قياسات معلمة التشكيل. أفضت التطورات في مجال معدات معالجة الإشارة الرقمية (DSP) وخوارزمياتها إلى تطوير أنظمة تمييز التشكيل التي تحدد أنماط التشكيل في الوقت الفعلي. ويمكن أن تنفَّذ هذه الأنظمة في شكل أجهزة قائمة بذاتها أو في شكل بطاقات إلكترونية تضاف إلى الحاسوب وما يرتبط بها من برمجيات، أو يمكن أن تُدمج في أجهزة أخرى (مثل المستقبلات أو المحللات). ويمكن استعمال هذه الأنظمة لتمييز مختلف أنساق التشكيل (الرقمي منها والتماثلي على السواء) وقياس المعلمات التقنية الشائعة وإزالة تشكيل أو فك شفرة الإشارات.

- *تحليل الإشارة*: لا يمكن، على أي حال، إجراء جميع جوانب تحليل الإشارة أوتوماتياً.
- *تحديد الاتجاه (DF)*.
- *تعرّف هوية المحطة*: من خلال الموقع أو معلومات متضمنة في رسالة أو التحليل الأوتوماتي للإشارة (تمييز الشفرة، عدد العناصر، معدل الإرسال).

ويمكن إجراء كل هذه القياسات أوتوماتياً بوجه عام، ولكن بعض القياسات، مثل قياسات عرض نطاق التردد والتشكيل، تتطلب إشارات ذات نسبة *S/N* جيدة لتحقيق دقة كافية. وتتيح مهام القياس هذه بيانات قياس تقنية يمكن مقارنتها مع المعلمات التقنية المسجلة في قواعد بيانات إدارة الطيف أو مع البيانات المرغوبة منها. وتشمل المعلمات التقنية المسجلة في قاعدة بيانات من هذا النوع بالنسبة لأي مرسل:

- التردد المخصص.
- شدة المجال المحسوبة.
- صنف البث.
- عرض النطاق المخصص.
- عرض النطاق للبث.
- الرمز الدليلي للنداء.

ولكل محطة مراقبة عادة قائمة من المرسلات والمشغلين تطابق معلمات المرسل المدرجة مقابل الرصدات التي سجلتها التجهيزات المؤتمتة. ويمكن للأنظمة المؤتمة المتكاملة أن تؤتمت مهمة المقارنة هذه بالإضافة إلى جمع البيانات، وهو ما يعد مثالاً للكشف الأوتوماتي للمخالفات الوارد بحثه أدناه. وفي كلا الحالين، يتعين إجراء المقارنة باستعمال هوامش تسامح في المعلمات المقيسة تتسق مع سويات دقة القياس التي يوصي بها الاتحاد الدولي للاتصالات لخفض معدل الإنذارات الكاذبة إلى أدنى حد ممكن. فالهدف هو تأكيد المطابقة مع الإجراءات المرعية والبيانات التقنية المدرجة في ملف البيانات الخاص بها. وعند اكتشاف أي تفاوت أو شذوذ، فهي تتضمن عادة:

- مرسلات أو ترددات غير قانونية أو غير مرخصة.
- فترات أو مواقع تشغيل غير مرخصة.
- أصناف إرسال غير قانونية أو جودة متدنية للتشكيل.
- تخالف تردد مفرط.
- غياب الرمز الدليلي للنداء أو عدم اكتماله.
- عرض نطاق كبير جداً.
- قدرة مفرطة (شدة مجال مفرطة).

1.2.6.3 مستويات الأتمتة

يمكن أتمتة عمليات المراقبة على عدة مستويات. فيمكن لمحطة تشغيل واحدة أن تجري مسحاً مؤتمتاً للإشغال باستعمال معلمات مبرمجة مسبقاً. ويمكن ربط محطات تشغيل متعددة في موقع ما مع مجموعة تجهيزات قياس واحدة بحيث تتقاسم موارد القياس هذه. ويمكن أتمتة محطة أو شبكة محطات بأكملها، ربما بداعي مواقعها النائية، ويمكن إعادة إرسال نتائج مراقبتها إلى محطة مركزية. ويمكن ربط مواضع فردية في مواقع متعددة معاً بحيث يولّف الموضع الواحد المواضع في المواقع الأخرى أوتوماتياً للحصول على قياسات متعددة متزامنة للإشارات محل الاهتمام. ويمكن برمجة تجهيزات يتحكم فيها الحاسوب لتحدد الترددات التي تبث عليها مرسلات غير مشمولة في قاعدة بيانات المرسلات المرخصة، ولتحدد المرسلات غير العاملة ضمن معلماتها المرخصة.

ويمكن للأتمتة أن تساعد في تقليل الوقت اللازم لتحديد موقع الإشارة وتعرّف هويتها، وفي خفض عدد الأفراد اللازمين لتشغيل المحطات وتفرغهم لوظائف أكثر أهمية، من قبيل إعانة محطة متنقلة في عمليات تحديد الاتجاه أو إجراء تحليل للبيانات، وزيادة الحصة من الطيف الراديوي التي يمكن لخدمة أن تراقبها بفعالية. ومن جهة أخرى، يمكن أن يؤدي غياب مشغّل أو عامل تقني في موقع ناءٍ إلى فترات توقف طويلة في حال حدوث عطل في التجهيزات. كما أن التجهيزات المؤتمتة قد لا تعطي حساسية التوليف التي يمكن الحصول عليها بالتوليف اليدوي بواسطة المشغل للإشارات التي يصعب استقبالها والتي تكثر في بيئة نطاق الترددات الديكامترية (HF). على أي حال ينبغي، عند أتمتة موضع أو محطة، أن تضم الخدمة خيار إعادة الموضع أو المحطة إلى التشغيل اليدوي، سواء محلياً أو عن بعد. وتتطلب التجهيزات الأقدم عادة حاسوباً منفصلاً، وكثيراً ما يلزم استبدال التجهيزات المتقادمة.

2.2.6.3 أتمتة المحطات

تتيح تقنيات معالجة الإشارة الرقمية (DSP) الحديثة أتمتة اقتصادية لمحطات بأكملها. وتتألف أي محطة مؤتمتة من:

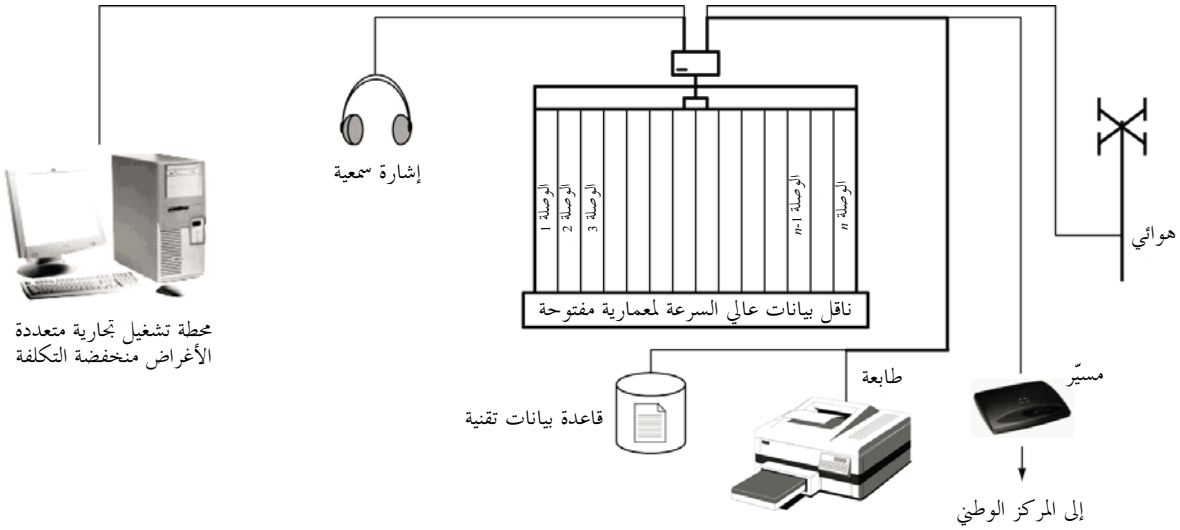
- مجموعة صغيرة من وحدات تجهيزات القياس المتطورة تضم مستقبلات رقمية يشغّلها حاسوب، وكثيراً ما يشار إليها بمخدّم القياس؛
- محطات تشغيل للمشغلين، كثيراً ما يشار إليها بالمحطات 'العميلة' وتُستعمَل كسطح بيني للمشغّل وتحتوي على برمجيات حاسوبية تسهّل استعمال النظام وصيانته.

ويمكن تشغيل المحطة محلياً أو بواسطة التحكم عن بعد من موقع أكثر ملاءمة. ويمكن أن تكون الوصلات بين محطات القياس ومحطات التحكم راديوية أو أرضية. وباختصار، تصبح المحطة عقدة في شبكة منطقة واسعة تديرها محطة التحكم.

ويبين الشكل 6.3-2 المعمارية النمطية لمحطة مؤتمتة بالكامل. وتتألف هذه المحطة من هوائيات، ومخدّم قياس مدمج عبارة عن مجموعة متكاملة من الناقلات عالية السرعة تضم معالجات ومستقبلات وإلكترونيات أخرى، ومن واحد أو أكثر من محطات التشغيل التجارية المخدومة قليلة التكلفة، ومن تجهيزات محيطية متنوعة تضم طابعات وهواتف ومودمات. وتشمل معمارية بديلة للمحطة، وإن كانت قريبة من هذه المعمارية، وحدات منفصلة ولكنها متكاملة بدرجة عالية تضم مستقبلات رقمية ومحددات اتجاه ومعالجات. وفي هذه الحالة، يستعاض، في الشكل 6.3-2، عن القسم المتضمن للناقل عالي السرعة للمعمارية المفتوحة مع مختلف الوحدات بوحدات منفصلة تضم مستقبلاً رقمياً ومحدد اتجاه ومعالجاً. ويمكن الاطلاع على الوضع الراهن لجميع الأجهزة بواسطة تجهيزات اختبار أوتوماتي مدمجة (BITE) تولد إنذاراً إذا ظهر خلل في أي جهاز.

الشكل 2-6.3

محطة متكاملة حديثة نمطية لمراقبة الطيف الراديوي



وتشمل وظائف محطة مراقبة مؤتمتة ما يلي:

- المراقبة وإزالة التشكيل وفك التشفير؛
- التسجيل الصوتي؛
- القياس التقني والتحليل، بما في ذلك التردد وتخالف التردد والسوية/شدة المجال ومعلمات التشكيل، بما فيها عمق تشكيل الاتساع (AM) وانحراف تشكيل التردد (FM) وعرض النطاق وتحليل الطيف؛
- شغل الطيف؛
- تحديد الاتجاه؛
- مقارنة أوتوماتية في الوقت الفعلي مع معلمات الترخيص؛
- توليد أوتوماتي للإنذار بشأن الإرسالات الشاذة أو المجهولة.

1.2.2.6.3 أساليب التشغيل النمطية لمحطة مؤتمتة

لمحطات المراقبة المؤتمتة نمطياً ثلاثة أساليب تشغيل تُستعمل لأداء المهام التالية:

الأسلوب 1: التفاعلي أو التشغيلي في الوقت الفعلي.

الأسلوب 2: الأوتوماتي أو المجدول زمنياً.

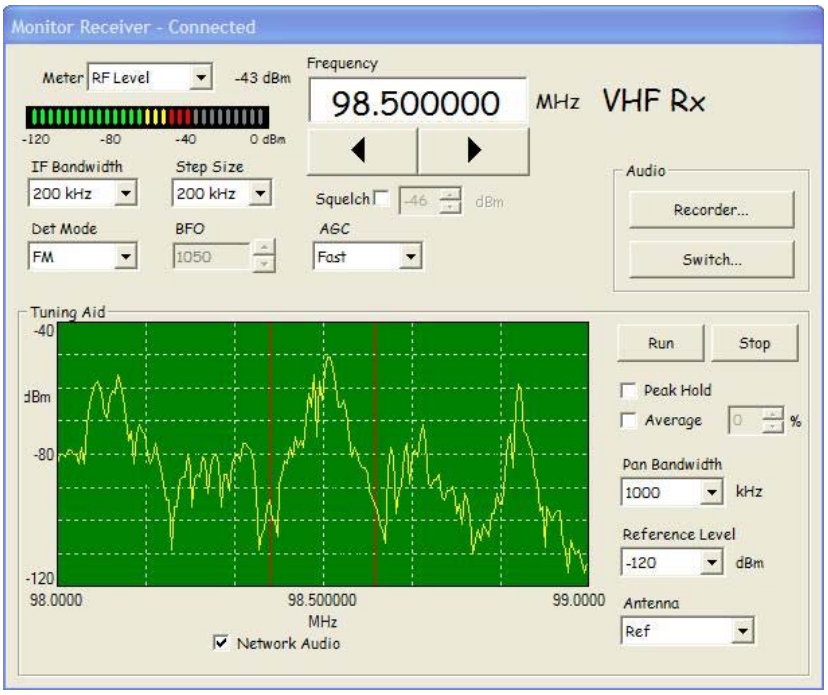
الأسلوب 3: الخلفية.

يتيح الأسلوب التفاعلي تفاعلاً مباشراً مع وظائف مختلفة توفر تقييماً آنياً من قبيل توليف مستقبل المراقبة وانتقاء إزالة التشكيل وانتقاء عرض بانورامي. ويلزم الأسلوب التفاعلي حتى في نظام مؤتمت لكي يتيح تدخل المشغّل عند الضرورة، كي يتسنى للمشغل التحكم بالتجهيزات عن بعد علاوة على برمجيات النظام المؤتمت. ويجري التحكم بالوظائف التفاعلية من "لوحات

تحكم افتراضية" في محطة التشغيل المخدومة باستعمال لوحات عرض كتلك المبينة في الشكل 3.6.3-3. وتُستحدث عروض مركّبة بانورامية وطيفية على محطة عمل المشغّل لتشمل عروضاً شلالية (عروض ثلاثية الأبعاد لاتساع الإشارة مقابل التردد ومقابل الزمن) وعروض مخططات طيفية (عروض ثنائية الأبعاد لتردد الإشارة مقابل الزمن، مع بيان اتساع الإشارة بالألوان).

الشكل 3.6.3-3

مثال للوحة تحكم افتراضية لمستقبلات المراقبة



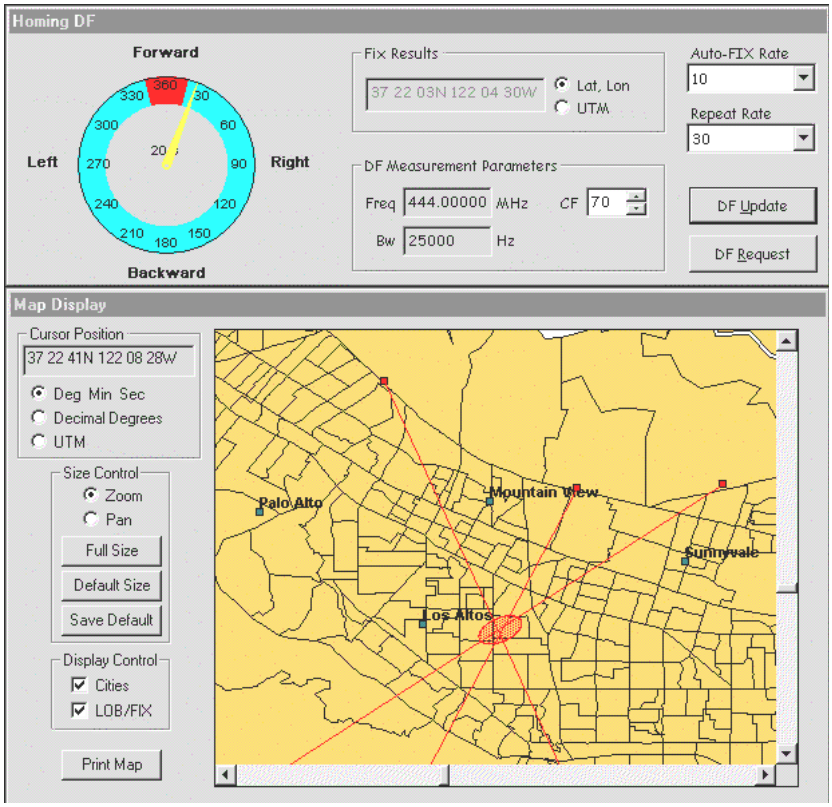
Spectrum-3.6-03

ويعتبَر التوجيه من أجل تحديد الاتجاه مثالاً هاماً للتشغيل التفاعلي. إذ يمكن توجيه عملية تحديد الاتجاه في وحدة متنقلة أثناء تحركها. وتعرض نتائج تحديد الاتجاه بالنسبة إلى مقدمة المركبة كما يبيّن الشكل 3.6.3-4، وتتيح للسائق تقرير الاتجاه الذي يسلكه للاقتراب من مرسل الإشارة المرغوبة. كما تُعرَض نتائج تحديد الاتجاه من مواقع مختلفة على خريطة جغرافية للسماح للنظام بإجراء تثليث لتحديد موقع مرسل الإشارة. ويقوم مستقبل GPS عالي الدقة بتحديث متواصل للموقع الفعلي للوحدة المتنقلة، بينما تقيس موصلة إلكترونية اتجاه المركبة بالنسبة إلى الشمال.

ويمكن للأسلوب الأوتوماتي أو المجدول زمنياً جدولة المهام المقرر تنفيذها فوراً أو في أوقات محددة مستقبلاً. وتضم الوظائف المؤداة بالأسلوب المجدول زمنياً القياس التقني والتحليل وتحديد الاتجاه. ويمكن توصيف معلمات القياس من قبيل طرائق القياس وحساب القيمة المتوسطة ووقت القياس (أو أوقات القياس في حال وجوب تكرار القياسات)، أو يمكن استعمال قيم بالتغيب يوفرها النظام. ويمكن للمشغل أن يستعمل لوحة عرض تحوي تقويماً بأيام الأسبوع والفواصل الزمنية المتعددة ضمن كل ساعة في اليوم لجدولة هذه الوظائف فيها. وتطلب المحطة العميل (محطة التشغيل) فترات زمنية للقياسات المرغوبة من مخدّم القياس. ويتيح نهج تخصيص الفاصل الزمني توصيل محطات عميلة متعددة بمخدّم واحد. وللتعامل مع محاولات جدولة قياسات متعددة في نفس الفاصل الزمني، ينبغي أن يدعم المخدّم أسلوب جدولة زمنية "مناسباً". فعندما يكون الفاصل الزمني المطلوب محجوزاً بالفعل، يُنقل طلب المحطة العميل بتخصيص فاصل بيني لدى المخدّم إلى أول فاصل زمني متاح. ويمكن للمخدّم أن يبحث عن فاصل زمني متاح خلال فترة زمنية محددة ببضع دقائق عموماً. ويُجري مخدّم القياس القياسات المطلوبة باستعمال الخوارزميات الملائمة للجدولة الزمنية وتحديد الأولوية لحل أي تناقضات في الجدولة الزمنية وحفظ النتائج المقيسة إلى أن تطلبها المحطة العميل. ويمكن في بعض أنماط القياس أن تستوعب سعة المخدّم تسجيل الجزء السمعي من الإشارة إلى جانب القياسات المطلوبة.

الشكل 4-6.3

مثال للوحة عرض التوجيه من أجل تحديد الاتجاه والخريطة الجغرافية



Spectrum-3.6-04

ويُستعمل أسلوب الخلفية لأداء مهام من قبيل شغل الطيف والكشف الأوتوماتي للمخالفات، وهي مهام تنطوي على جمع البيانات خلال فترات زمنية طويلة. ويمكن توصيف مسح عريض النطاق للإشغال أو تحديد الاتجاه بالاقتران مع الإشغال (المدعو اصطلاحاً "مسح تحديد الاتجاه")، ويمكن جدولة النظام زمنياً لأداء مسح أوتوماتي عبر ترددات معيّنة أو وأمداء تردد، وللشروع بنشاط يحدده المشغّل عند كشف إشارة من قبيل تحديد الاتجاه أو القياس التقني.

ويعمل أسلوب الخلفية بأولوية أدنى من أولوية الأسلوب المجدول زمنياً، بحيث توقف القياسات المجدولة زمنياً أسلوب الخلفية لتستعمل مخدّم القياس.

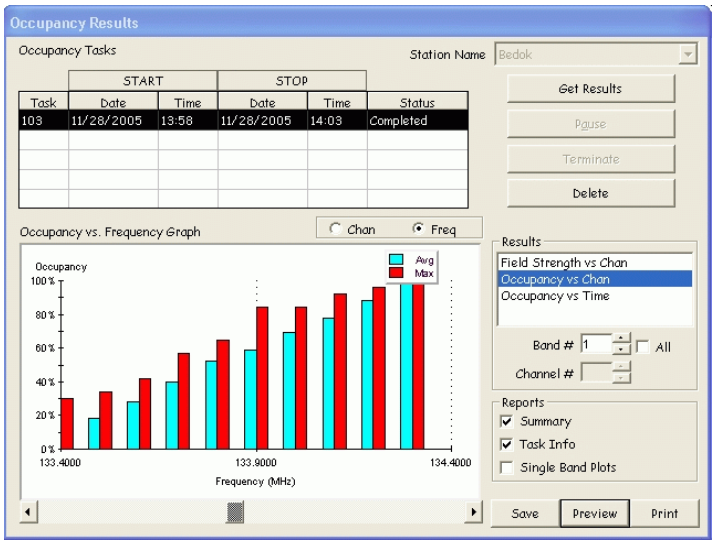
وبعد استكمال القياسات المجدولة زمنياً، يعود التحكم إلى أي قياسات كانت جارية بأسلوب الخلفية.

ومتى طلبت المحطة العميل نتائج القياسات، يمكنها رؤيتها معروضة بأنساق مناسبة.

ويُعرض قدر كبير من المعلومات بيانياً في شكل مخططات مدرجة للإشغال (انظر الشكل 5-6.3)، ومخططات بيانية لشدة المجال مقابل التردد، وعروض لخرائط جغرافية تظهر نتائج الموقع (انظر الشكل 4-6.3)، وأشكال أخرى للعروض البيانية.

الشكل 5-6.3

مثال لمخطط قضباني للإشغال



Spectrum-3.6-05

وتستطيع هذه الأنظمة تحديد الاتجاه على العديد من الترددات بصورة متزامنة وتقديم مخططات بيانية للسمت مقابل التردد (انظر الشكل 6-6.3) يستفاد منها في اعتراض التشكيلات الرقمية الحديثة ومعالجتها؛ ومن شأن نتائج تحديد الاتجاه في لوحة عرض كهذه على نفس السمت من مختلف الترددات أن تنبئ بوضوح بوجود إشارة بقفزات ترددية.

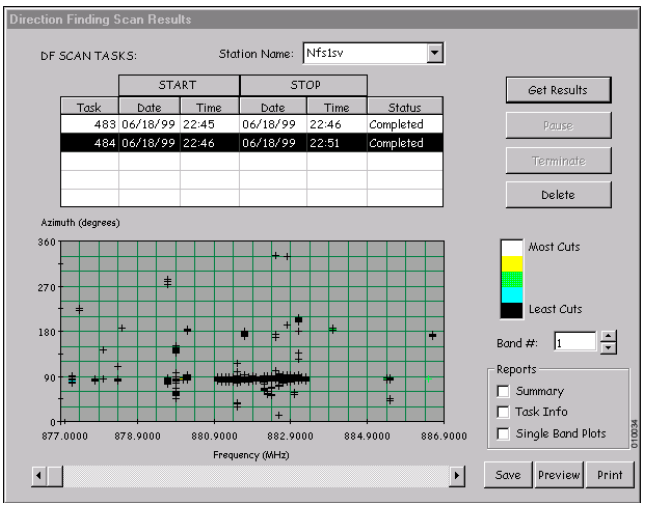
ويمكن تصميم أنظمة عميل/مخدّم متطورة بحيث تكون أسهل استعمالاً من الأنظمة ذات وحدات التجهيزات المنفصلة أو القائمة بذاتها مثل المستقبلات ومحللات الطيف.

وبفضل أيقونات مهام وأشرطة أدوات على شاشة الحاسوب يستطيع المشغّل النفاذ إليها بالتأشير والنقر بفأر حاسوب، يمكن لهذه الأنظمة أن تكون بديهية جداً ويمكن تعلمها بسهولة.

وبساطة تشغيل نظام المراقبة هي اعتبار هام جداً للإدارات التي تعاني من صعوبة في الحصول على مشغّلين مؤهلين.

الشكل 6-6.3

مثال لنتائج عرض مسح لتحديد الاتجاه



Spectrum-3.6-06

2.2.2.6.3 أمثلة للعروض المؤتمتة لعرض نطاق التردد الواسع

تستطيع مخدمات القياس الحديثة القائمة على معالجة الإشارة الرقمية أن تقدم عروض نطاق آنية عريضة جداً تصل حتى 20 MHz وفقاً للتوصية ITU-R SM.1794، إلى جانب مدى دينامي عال بحيث لا تقف الإشارات القوية ضمن عرض النطاق هذا حائلاً دون استقبال الإشارات الضعيفة في عرض النطاق ومعالجتها.

ويمكن للأنظمة المؤتمتة ذات عروض النطاق الآنية العريضة جداً أن تمسح الطيف بمعدلات سريعة جداً مولّفةً المستقبل أوتوماتياً وجامعةً بيانات الإشغال وموفرةً مراجعات وتحديدات لعروض البيانات بتواتر عال جداً بحيث تقدم للمشغّل فهماً أفضل للطيف الراديوي.

وهي تستطيع، على نحو فعال، أن تلتقط وتقيس الإشارات المتقطعة وعريضة النطاق والرشيقة ترددياً التي يمكن أن تظهر كضوضاء عند مراقبتها بنظام عرض نطاق ضيق.

ولتوفير أعلى درجة من الأداء عند الرغبة في عروض نطاق قياس أضيق، يمكن الانتقاء الأوتوماتي لعرض نطاق آني أصغر يقلل من الضوضاء ويحسن من النسبة *S/N* بدلاً من عرض النطاق الأعرض.

ويمكن للمشغل مشاهدة لوحة عرض بانورامية بعرض نطاق عريض جداً لتحسين قدرته على تحديد مواقع مصدر التداخل وأنواع الإشارات والتداخلات الجاري مراقبتها.

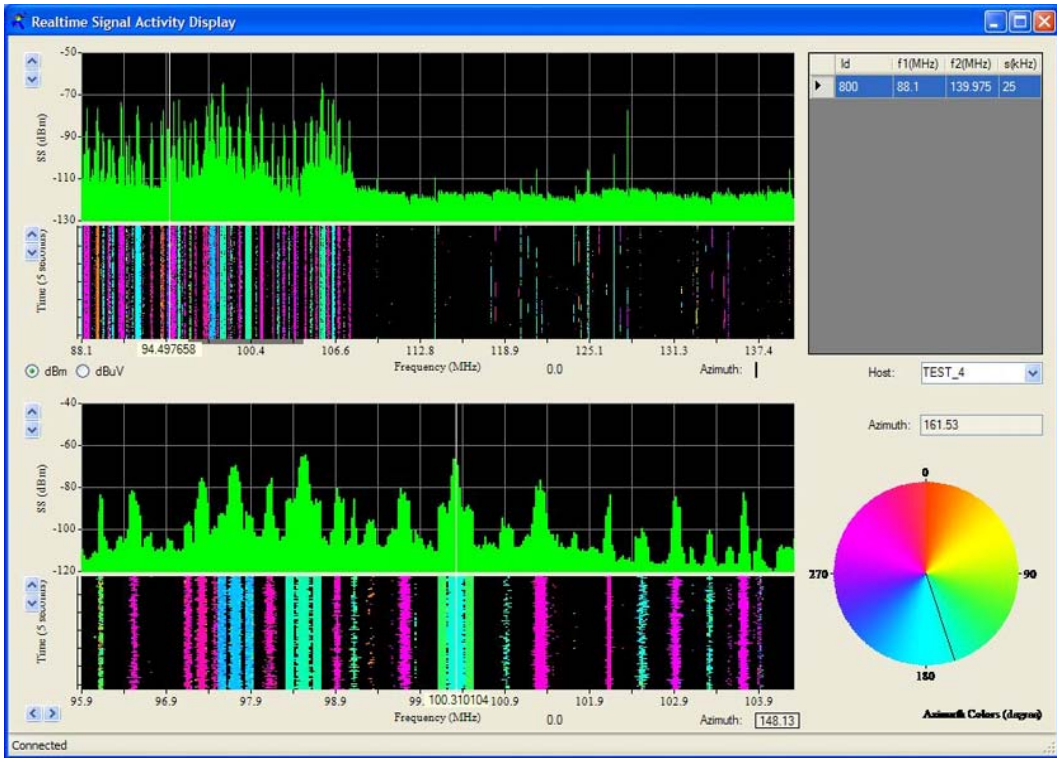
ويبين الشكل 6.3-7 عرضاً نمطياً من هذا النوع. ويغطي هذا العرض تحديداً ما يزيد عن 50 MHz من الطيف بعرض بانورامي في أعلى الشاشة، ويقدم تحته عرضاً لمخطط طيفي يبين نشاط الإشارة خلال الثواني الخمس الأخيرة مع الترميز اللوني للإشارات وفق اتجاه وصولها. ويمكن تغيير عرض اتجاه الوصول المرمز لونياً إلى عرض شدة الإشارة المرمز لونياً بأمر من المشغّل.

ويقدم الجزء الأسفل من اللوحة عرضاً بانورامياً مكبراً مع مخطط طيفي، حيث يمكن للمشغل مجرد النقر على لوحة العرض العلوية للإشارة إلى منطقة التردد المراد تكبيرها فيقوم النظام أوتوماتياً بإنتاج عرض مكبر، وتم في الشكل تكبير حصة قدرها 8,5 MHz من العروض العليا لتملأ المنطقة الأفقية المتاحة للعرض.

ويجري تحديث لوحة العرض بشكل متواصل في الوقت الفعلي، مع التقدم المستمر زمنياً لعرض المخطط الطيفي كي يبيّن النشاط الراهن للإشارة مع اتجاهات الوصول.

الشكل 7-6.3

عرض نمطي لقياسات عرض النطاق العريض جداً

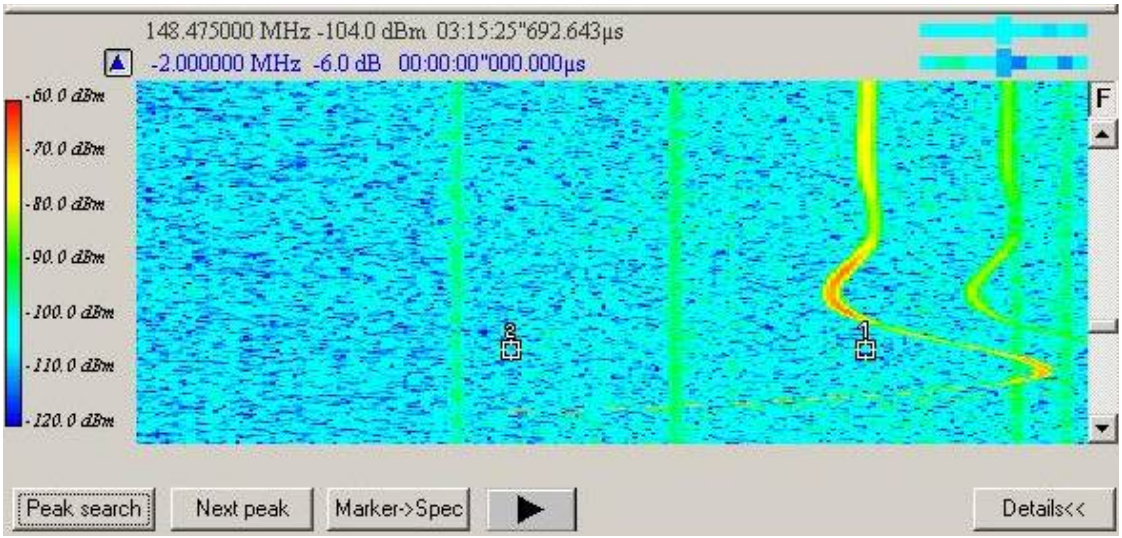


Spectrum-3.6-07

تبين لوحة العرض في الشكل 8-6.3 إشارة مرسل دون استقرار. ولا يستطيع إلا مستقبل عريض النطاق كشف إشارات كهذه يمكنها التشويش على إشارات القناة المجاورة. فالمستقبل ضيق النطاق إما يكون بطيئاً جداً بحيث يعجز عن كشف هذه الإشارات أو ضيقاً جداً بحيث لا يستطيع رؤية تقلباتها.

الشكل 8-6.3

عرض نمطي لإشارة عريضة النطاق ذات تقلب سريع جداً اكتشفها مستقبل عريض النطاق

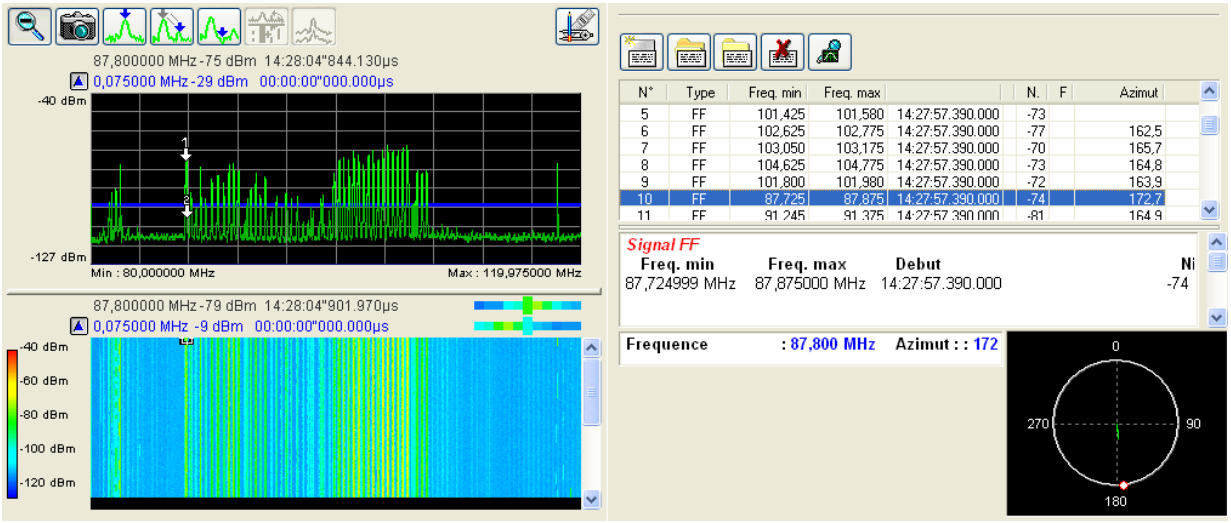


Spectrum-3.6-08

ويمكن للمشغل مشاهدة لوحة عرض بانورامية بعرض نطاق عريض جداً مما يعزز قدرته على تحديد مواقع مصدر التداخل وأنواع الإشارات والتداخلات الجاري مراقبتها. ويبيَّن عرض من هذا النوع في الشكل 9-6.3 وهو يظهر عرض نطاق آنياً في الوقت الفعلي قدره 40 MHz دون أي مسح. ويتيح عرض النطاق الآني الواسع كشف إشارات أمدها قصير جداً خلال بضع ميكروثوان.

الشكل 9-6.3

عرض نمطي لقياسات عرض نطاق عريض جداً



Spectrum-3.6-09

وتتيح معالجة الإشارة الرقمية مرونة كبيرة في إضافة قدرات إلى أي نظام مراقبة في المستقبل. فإذا بدا أن هناك أنماطاً جديدة من الإشارات تتطلب معالجة خاصة، أو كانت هناك رغبة في عروض نطاقات جديدة، أمكن إضافة هذه القدرات إلى نظام قائم على معالجة الإشارة الرقمية بمجرد تغيير برمجيات حاسوب نظام المراقبة.

3.2.2.6.3 أمثلة تحليل النتائج المقيسة

يمكن لمحطات المراقبة المؤتمتة أن تعمل بأسلوب تشغيل تحليل النتائج المقيسة، وهو أسلوب يُستعمل لتحليل النتائج المقيسة بواسطة تجهيزات القياس في ظروف مختلفة. ويمكن إجراء التحليل في مركز إدارة الطيف.

وتُعرض نتائج قياس الجودة الراديوية بيانياً في شكل رسوم بيانية للقيم المقيسة (شدة المجال وتخالف التردد وانحراف التردد وعرض نطاق الإشغال) مقابل الزمن، وفي شكل مخططات بيانية لتوزيع الانحراف أو مخططات بيانية للتوزيع التراكمي للانحراف والمخطط الطيفي. ويرد في الشكل 10-6.3 عرض لمخطط طيفي نمطي. وفيما يستفاد بأكبر قدر من الرسوم البيانية للقيم المقيسة مقابل الزمن في إجراء تحليل خلال فترات قصيرة من الوقت، يستفاد من مخططات توزيع الانحراف أو مخططات التوزيع المتراكم للانحراف في إجراء التحليل على فترات أطول.

ويمكن عرض النتائج المقيسة لشغل نطاق التردد في مخطط بياني للزمن مقابل التردد، وتُعرض شدة المجال بالألوان عموماً. ويبيّن الشكل 11-6.3 عرضاً نمطياً من هذا النوع.

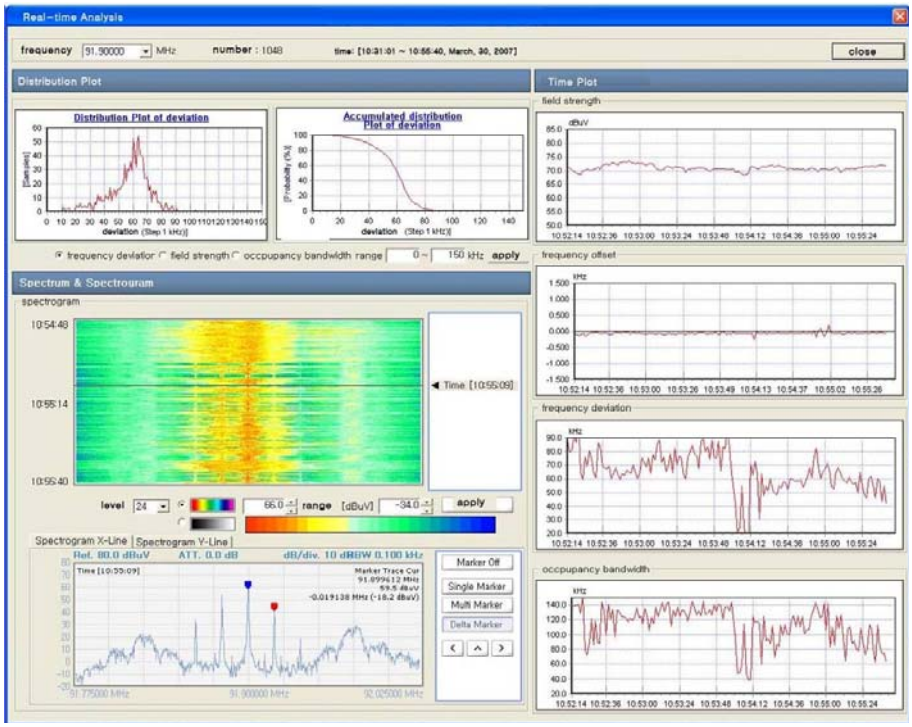
إذ يبيّن المخطط القضباني لشغل النطاق مع المخطط الطيفي للإشارة معدل ظهور الإشارة ومعدل شغل الطيف وشدة المجال.

ويمكن تحليل الطيف عبر دالات متنوعة باستعمال نتائج قياس الطيف المنتجة على عجل. ويقارَن نطاق الطيف مع مخطط توزيع التردد ويُعرض تردد الإشارة وفقاً لما يشير إليه الواسم.

ويبيّن الشكل 12-6.3 عرضاً نمطياً من هذا النوع. وتُستعمل النتائج المقيسة والمحللة للتنبؤ بالتداخلات المحتملة وكشف الموجة الراديوية الواصلة.

الشكل 10-6.3

رسم بياني نمطي لتحليل النتائج المقيسة في الوقت الفعلي



Spectrum-3.6-10

4.2.2.6.3 التشغيل في الوقت الفعلي مع المسح السريع للطيف وتحديد الاتجاه آنياً وإنذارات المشغلين

ثمة نطاقات تردد يكون فيها شرطاً أساسياً الحفاظ على التحكم في نشاط الإرسال الراديوي في الوقت الفعلي في جميع الأوقات. ويشمل ذلك تعرّف الهوية السريع، وتحديد موقع المرسلات المشروعة وتعرّف هويتها سريعاً، وتحديد موقع مصادر التداخل وإزالتها. ومن أمثلة نطاقات التردد التي تتطلب حماية كهذه نطاق التردد للطيران ونطاق التردد للملاحة البحرية ومختلف قنوات الطوارئ اللازمة لعمليات البحث والإنقاذ. ويتطلب هذا النمط من حماية الطيف نظام مراقبة راديوية قادراً على العمل في الوقت الفعلي مع المسح السريع للطيف والقياسات الآنية لتحديد الاتجاه لجميع الإشارات النشطة. ولدى كشف نشاط إشارة في أي من قنوات الطوارئ، ينبغي للنظام أن يكون قادراً على إصدار إنذارات في الوقت الفعلي إلى المشغلين المحليين أو النائين.

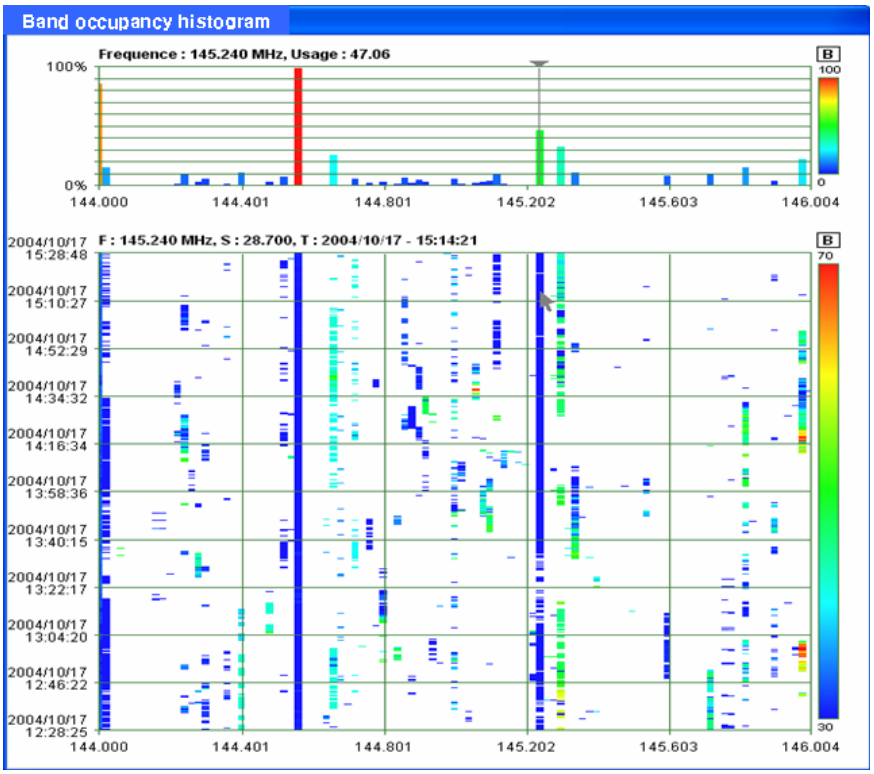
ويتيح دمج وظائف البحث عن الإشارة وتحديد اتجاهها ومراقبتها في معالج واحد المسح السريع للطيف مع قياسات تحديد إتجاهات متزامنة لكل الإشارات المكتشفة. ويمكن للأنظمة العادية أن تعاود معاينة بضع عشرات من القنوات المتنقلة البحرية وقنوات الطوارئ عشر مرات على الأقل في كل ثانية، وأن تكتشف الإشارات وتقيسها في ما لا يزيد عن 10 ميكروثوان.

وتقاس نتائج تحديد الإتجاه بصورة متزامنة لما يصل إلى بضع عشرات من القنوات، وتُعرض على لوحة عرض المشغل في الوقت الفعلي. وتُعرض خطوط اتجاهات السمت (LoB) للقنوات المختارة على خريطة رقمية كبيرة وعلى مخطط قضباني قطبي. وإذا عملت محطتا مراقبة أو أكثر في تشكيلة شبكية (حسبما جاء في الفقرة 3.6.3)، فلن يقتصر عرض النظام على خطوط اتجاهات السمت في محطة عمل المشغل، بل سيشمل أيضاً تحديد الموقع بالتثليث الناتج للمرسل المقابل.

ويمكن للنظام أن يؤدي هذه العملية أوتوماتياً دون تدخل المشغّل، ويُعرَض تقدير تحديد الموقع على لوحة المشغّل خلال جزء من الثانية بعد بدء الإرسال.

الشكل 11-6.3

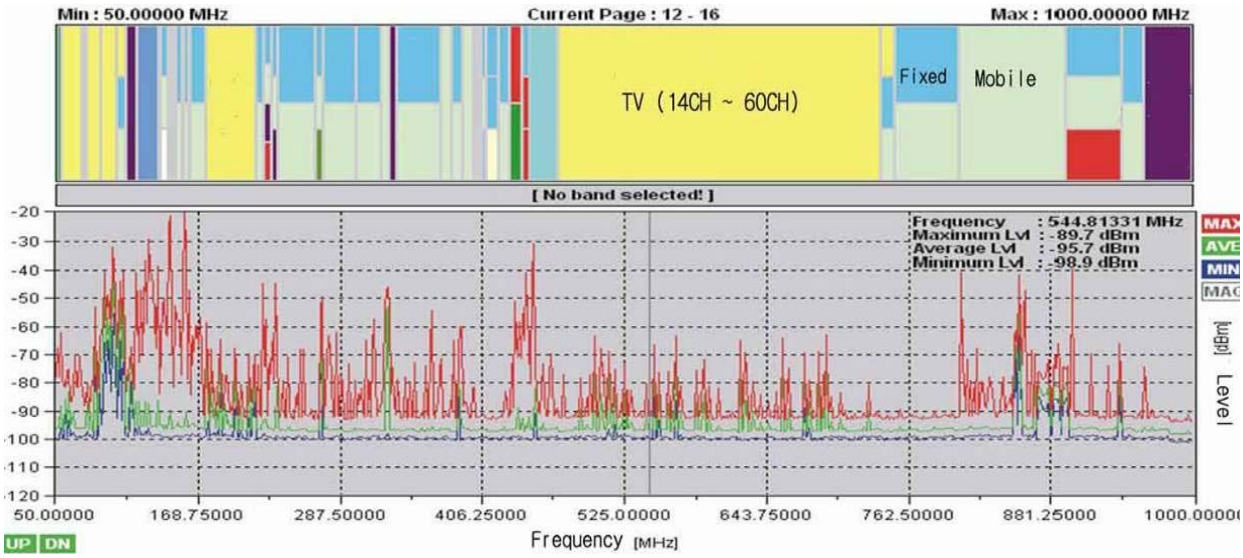
المخطط القضباني لإشغال النطاق مع مقياس طيف الإشارة



Spectrum-3.6-11

الشكل 12-6.3

نطاق الطيف مقارنة بمخطط توزيع التردد



Spectrum-3.6-12

ويمكن تخزين جميع قياسات تحديد الاتجاه أوتوماتياً في قاعدة بيانات محلية في محطة عمل المشغّل وحفظها هناك لفترة معقولة من الزمن، 48 ساعة مثلاً. ويمكن للمشغّل أن يؤدي وظائف مختلفة من حاسوب محطة العمل، بما فيها:

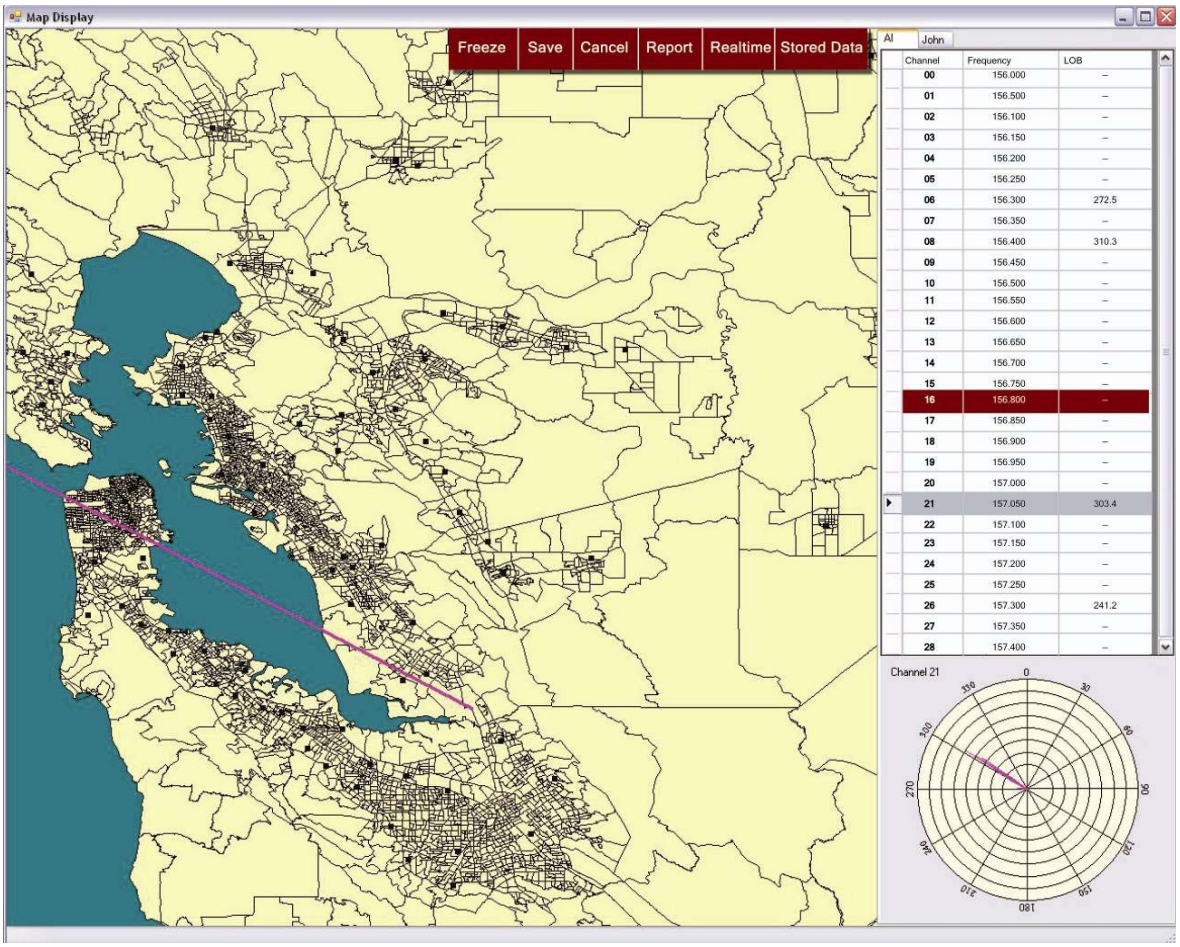
– المراقبة المستمرة لنشاط الإشارة وخطوط اتجاهات السمت (LoB) وتحديد المواقع في جميع قنواته المخصصة.

- تجميد نتائج تحديد الاتجاه وإعداد تقرير عن موقع المرسل يُخزَّن أوتوماتياً في قاعدة بياناته.
- مراجعة نتائج تحديد الاتجاه والمواقع المخزنة في حاسوبه واستعراضها.
- مراجعة نتائج تحديد الاتجاه المخزنة في حاسوبه ووضع قوائم بنشاط الإشارات.

ويبيّن الشكل 13-6.3 مثالاً عن التشغيل في الوقت الفعلي في نطاق التردد المخصص للملاحة البحرية مع المسح السريع للطيف وتحديد الاتجاه آنياً. ويمكن قياس خطوط اتجاهات السمت بصورة متزامنة لما يصل إلى 29 قناةً في الوقت الفعلي، وعرض هذه الخطوط رقمياً على الشاشة (في الركن العلوي الأيمن).

الشكل 13-6.3

نتائج تحديد الاتجاه المقيسة آنياً لقنوات متعددة تستحدث في الوقت الفعلي (أعلى اليمين)؛
وتُعرض خطوط السمت للقنوات المختارة على الخريطة (يساراً) وعلى مخطط قضباني قطبي (أسفل اليمين)



Spectrum-3.6-13

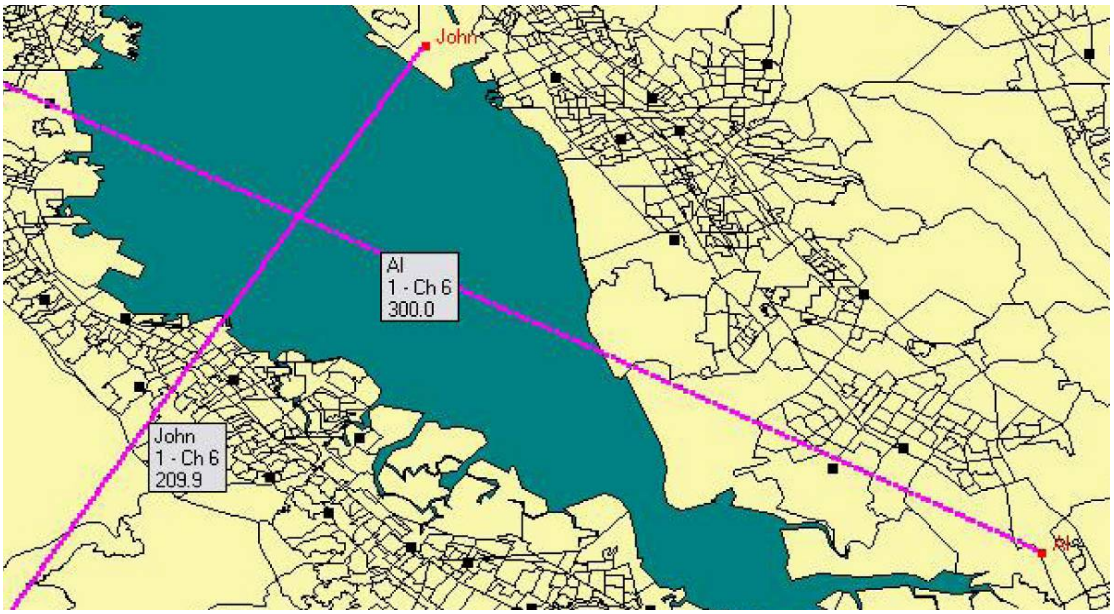
وتُعرض خطوط السمت للقنوات المختارة على الخريطة (يساراً) وعلى مخطط قضباني قطبي (أسفل اليمين). وفي هذا المثال، اختار المشغّل القناة 21 ليراقبها، ومن ثم هذا هو خط السمت الظاهر على الخريطة وعلى المخطط القطبي. وتتوفر للمشغّل مفاتيح الوظائف الخاصة وهي تظهر أعلى الشاشة.

ويبيّن الشكل 14-6.3 الحالة التي تقاس فيها الإشارة من أكثر من محطة راديوية واحدة. وهناك محطتان في هذا المثال. ويقوم النظام بحساب الموقع أوتوماتياً ويعرض النتائج على الخريطة في الوقت الفعلي.

ويمكن للبرمجيات أن تتيح للمشغل تحديد العديد من القنوات ذات "الأولوية العالية". فإذا اكتُشف نشاط أي إشارة على القنوات عالية الأولوية، تنبه البرمجيات المشغّل أوتوماتياً على الشاشة، فتصدر إنذاراً مسموعاً في محطة التشغيل ويمكن جدولتها لإرسال رسالة إلى عنوان بريد إلكتروني أو إلى رقم هاتف خلوي خارج المحطة.

الشكل 14-6.3

الحساب الأوتوماتي للموقع وعرضه في الوقت الفعلي لإشارة تقاس من أكثر من محطة



Spectrum-3.6-14

5.2.2.6.3 مثال أتمتة التوجيه لتحديد الاتجاه

توفر البرمجيات المتقدمة لأتمتة المراقبة [Rembovsky *et al.*, 2006] معالجة إحصائية أيضاً مع اتجاهات سمت تُستقى باستمرار من محطات المراقبة المتنقلة تبسيطاً لأنشطة المشغّلين المتصلة بالبحث عن مرسلات الإشارات.

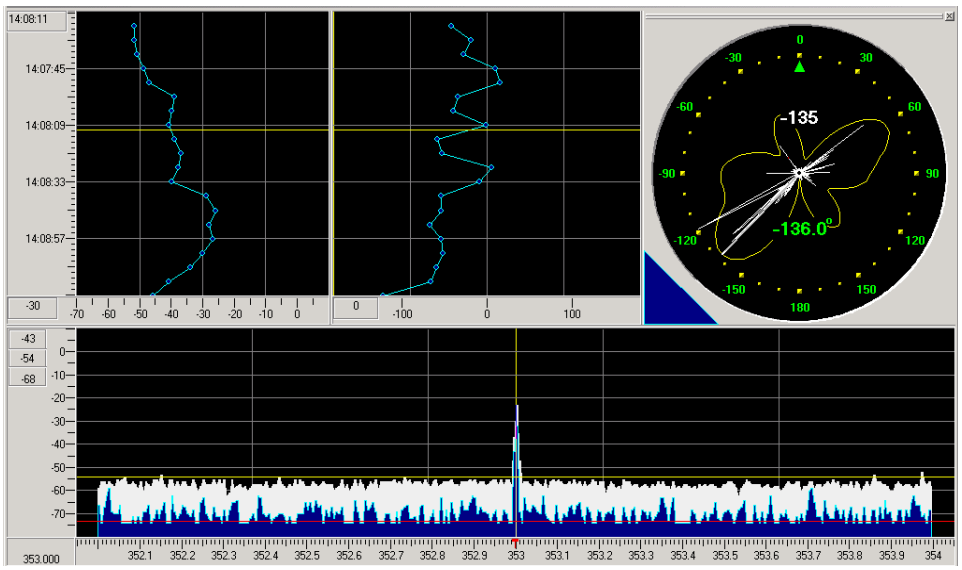
ويبيّن الشكل 15-6.3 نافذة عرض نمطية لبرمجيات التحكم في التجهيزات العاملة على إشارة واحدة موضع الاهتمام. وتحتوي على مخطط لتاريخ الاتساع (الظاهر في الركن العلوي الأيسر من الشكل 15-6.3) ومخطط لتاريخ اتجاهات السمت (الظاهر في وسط الشكل). ولكلا المخططين إحداثي رأسي زمني مشترك. أما الإحداثي الأفقي لتاريخ الاتساع فهو مستوى إشارة اتجاهات السمت (بوحدة dB)، والإحداثي الأفقي لتاريخ اتجاهات السمت هو زاوية هذه الاتجاهات (بالدرجات).

ويتيح مخططا التاريخ تتبع تغيّر اتساع الإشارة واتجاهاتها السمتية مع مرور الوقت. علاوة على ذلك، يبيّن الضلع الدائري أعلى يمين النافذة آنياً قيم اتجاهات السمت ومنحني كثافة توزيع زاوية هذه الاتجاهات (المخطط القضباني لاتجاهات السمت) الذي تقابل القيمة القصوى فيه اتجاه الوصول الأرجح للاتجاهات السمتية. وينعكس تغيّر اتجاه القيمة القصوى لهذا المنحني في مخطط تاريخ اتجاهات السمت. وفي ظروف التداخل القوي، تبين القيمة الزاويّة القصوى الاتجاه المفضل لحركة محدد الاتجاه.

وتقدم مخططات تاريخ الاتساعات والاتجاهات السمتية في الشكل 15-6.3 معلومات مفيدة جداً للتوجيه في الوقت الفعلي. ففي هذا المثال، تؤكد الزيادة التدريجية في اتساع الإشارة من –50 dB(mV) إلى –30 dB(mV) وقيم اتجاهات السمت في بداية المخططات، أن محطة المراقبة المتنقلة اقتربت من مرسل الإشارة خلال هذه الفترة (من الساعة 14:07:45 حتى قرابة الساعة 14:08:45 في الشكل 15-6.3). ثم (اعتباراً من قرابة الساعة 14:08:45 في الشكل 15-6.3) أصبح مرسل الإشارة إلى يسار المركبة لأن الاتجاهات السمتية انزاحت إلى اليسار بانتظام وبدأت اتساعات الإشارة بالتناقص بانتظام. ولتحديد موقع مرسل الإشارة، ينبغي لمحطة المراقبة المتنقلة أن تدور 180° وأن تعود لتبحث عن المرسل في الجانب الأيمن للمحطة.

الشكل 15-6.3

نافذة البرنامج في أسلوب التوجيه



Spectrum-3.6-15

وتشمل مزايا التوجيه بواسطة مخططي تاريخ الاتساع والاتجاهات السمتية زيادة الاعتمادية واختصار وقت البحث وتقليل أثر الأخطاء الناجمة عن الأشياء المحيطة، لأن محطة المراقبة المتنقلة في حركة مستمرة، ويُحدَد الاتجاه الأرجح لمرسل الإشارة بالمعالجة الإحصائية لبيانات الاتجاهات السمتية المستقاة باستمرار.

6.2.2.6.3 البحث المؤتمت عن مواقع مصادر البث الكهرمغنطيسية

يمكن استعمال محطة متنقلة مجهزة بنظام عالي السرعة لتحديد اتجاه الارتباط/قياس التداخل وقادر على تقديم معلومات تحديد الاتجاه (سمت وارتفاع) لتحديد موقع جهاز إرسال أو مستهلك لنطاق ترددات ديكامترية (HF) أو تجهيزات طبية وغيرها من مصادر التداخل الراديوي [Ashikhmin *et al.*, 2003]، [Rembovsky *et al.*, 2006]. كما ينبغي تجهيز المحطة المتنقلة بآلة تصوير فيديوية وبرمجيات مكيّفة بما يلائم المهمة المنوطة بها.

وتتألف عملية دراسة مدى تردد معيّن من خطوات ثلاث:

الخطوة 1: جمع أرتال البيانات الخام.

الخطوة 2: تحليل الأرتال وتحديد الترددات التي يتعيّن التدقيق في دراستها.

الخطوة 3: تحليل الترددات في القائمة والتحديد الدقيق لمواقع المصار.

ويتم وضع المحطة المتنقلة في عدة نقاط على مقربة من الموقع قيد البحث، فيما تبعد محطات أخرى مسافات كبيرة نسبياً (الشكل 16-6.3). ويتم جمع "رتل" واحد من البيانات الخام لكل موقع.

أما البيانات فهي كما يلي:

- أطياف ترددية وبانوراما الاتجاهات السمتية (التردد والسوية والسمت والارتفاع)؛
- وصور ملتقطة بآلة تصوير رقمية للموقع تصف التخوم الزاويّة للموقع كما تُرى من موقع المحطة.

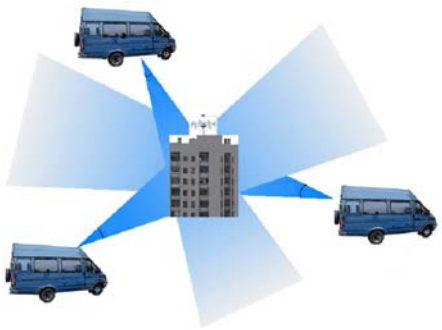
وفي ظروف بيئة حضرية، يعتمد تحليل الاتجاهات السمتية على طرائق علم الاحتمالات بحكم مؤثرات الانتشار متعدد المسيرات والمؤثرات المحلية الأخرى. وينبغي في الأحوال المثالية اختيار المكان بحيث يكون الموقع قيد الاستطلاع على امتداد خط البصر (LoS) مع عدم وجود لأي شكل من المباني المرتفعة أو الهياكل المعدنية الكبيرة قرب المحطة المتنقلة. وكلما زاد عدد الأرتال المستقاة من مواقع مختلفة، زادت دقة تحديد الموقع.

وخلال *الخطوة* 2، تُستعمل البيانات الخام التي جُمعت للحصول على قائمة بالترددات التي تتعين دراستها استناداً إلى المعايير التالية: يتعين وقوع السمت والارتفاع المقيسين على تردد ما ضمن التخوم الزاويّة للموقع في رتلين أو أكثر؛ ويتكون سوية الإشارة المقيسة من مكان بعيد أضعف بكثير من تلك المقيسة من مكان قريب. ويبيّن الشكل 17-6.3 شاشات برمجيات في حالات تستند فيها قائمة الترددات المستقاة إلى ثلاثة أرتال لمواضع بعيدة وثلاثة أرتال لمواضع قريبة. ويظهر البرنامج الصور الرقمية للموقع المستقاة من أقرب مكان للموقع. وقد أفضى التحليل إلى تعرّف هوية إشارة مرسَلة بتردد 300,25 MHz، وموجودة في الأرتال الستة جميعها بزاوية وصول من داخل التخوم الزاويّة للموقع. أما الموقع الأرجح للمرسل فهو في الطابق الأول من بناء (النافذة الرابعة أو الخامسة إلى اليسار).

وخلال *الخطوة* 3، تُحلَل قائمة الترددات استناداً إلى تحديد الاتجاه من مواضع قريبة. وتُراكب بيانات تحديد الاتجاه فوق الصورة الفيديوية للموقع في الوقت الفعلي، ويستمع المشغّل إلى الإشارة. وزيادةً في الاعتمادية، يمكن وضع المحطة في مواقع متعددة.

الشكل 16-6.3

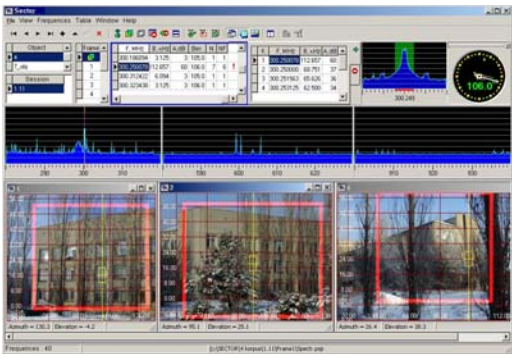
دورة تشغيلية واحدة للمحطة المتنقلة تقابل عدة "أرتال"



Spectrum-3.6-16

الشكل 17-6.3

منظر شاشة وحدة التحليل بعد الخطوة الثانية



Spectrum-3.6-17

7.2.2.6.3 التجسيد المرئي لمناطق تغطية محطات مراقبة الطيف في النطاقين VHF/UHF

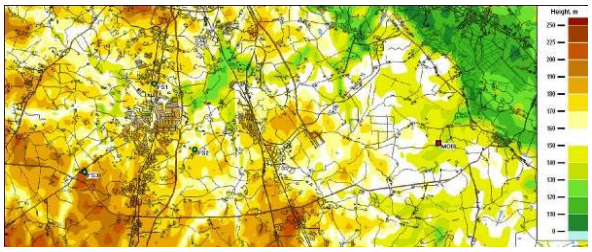
تمكن برمجيات التنبؤ في محطات مراقبة الطيف من تحديد مناطق التغطية الخاصة بها، وهي ميزة مفيدة بشكل خاص من أجل المحطات المتنقلة. وتبيّن التجربة [Bondarenko et al., 2008] إمكانية الاستعمال الناجح لمنهجية تخطيط شبكات مراقبة الطيف وتصميمها [Kogan and Pavlyuk, 2004]، وللبرمجيات المتصلة بها (انظر "دراسة الحالة 9" في الفصل 5 من كتيب تقنيات إدارة الطيف بمساعدة الحاسوب، طبعة 2005)، في أتمتة التجسيد المرئي لمناطق تغطية محطات المراقبة الثابتة والمتنقلة للطيف في نطاقي الترددات المترية والديكامترية (VHF/UHF) خلال تشغيلاتها. كما تتيح هذه الأداة تحديد ظروف تفاعل محطات المراقبة الثابتة والمتنقلة عند إجراء وظائف المراقبة المختلفة، وهو ما يزيد من الكفاءة التشغيلية للمحطات.

ويبيّن المثال المعروض في الشكل 18-6.3 هذه الوظائف. وتجرى الحسابات باستعمال مجموعة من المعلمات الواردة في المرجع [Kogan and Pavlyuk, 2004].

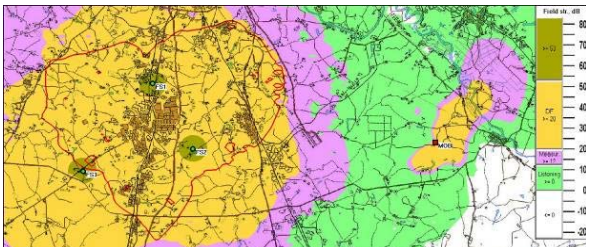
ويبيّن الشكل 18-6.3 أ) طوبوغرافيا المنطقة قيد الاعتبار. وهي تضم بعض التلال التي يبلغ حد التفاوت في ارتفاعاتها 120 متراً. ولنفترض وجود ثلاث محطات ثابتة للمراقبة/تحديد الاتجاه حول مدينة ما (FS1 وFS2 وFS3) مع عدم يقين في تحديد الاتجاه يبلغ 1° لجذر متوسط التربيع ووجود محطة متنقلة واحدة مع عدم يقين في تحديد الاتجاه يبلغ 2° لجذر متوسط التربيع أي أنها، في الحالة الأولى، بعيدة إلى حد ما عن مجموعة المحطات الثابتة.

الشكل 18-6.3

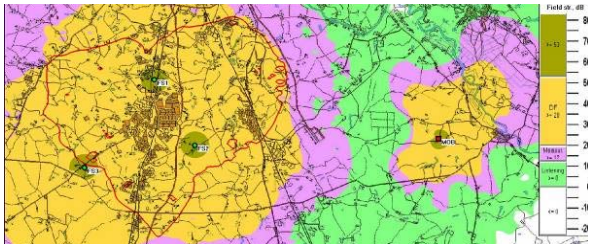
مثال لتجسيد مرئي لمنطقة تغطية



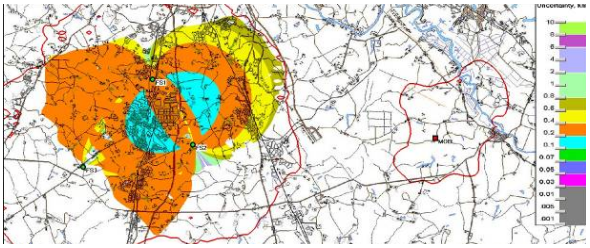
أ)
طبوغرافيا المنطقة قيد البحث



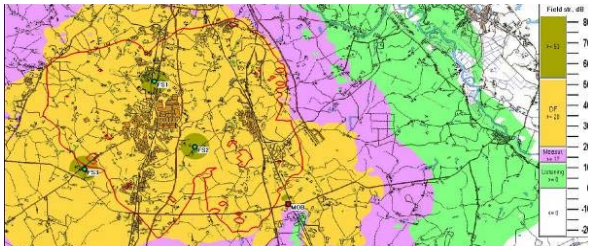
ب)
مناطق تغطية مشتركة في إطار الحالة الأولى حيث H_a = 2 m



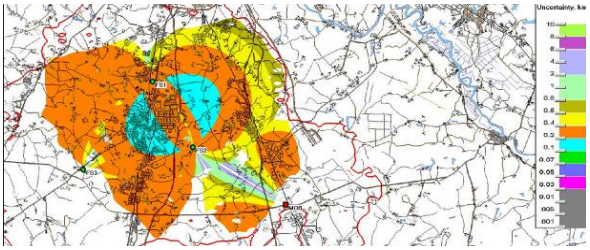
ج)
مناطق تغطية مشتركة في إطار الحالة الأولى حيث H_a = 10 m



د)
نموذج عدم اليقين في تحديد الموقع للحالة الأولى حيث H_a = 10 m



هـ)
مناطق تغطية مشتركة في إطار الحالة الثانية حيث H_a = 2 m



و)
نموذج عدم اليقين في تحديد الموقع للحالة الثانية حيث H_a = 2 m

Spectrum-3.6-18

ويعرض الشكلان 18-6.3 ب) و18-6.3 ج) مناطق تغطية المحطات كافة عندما تبتعد المحطة المتنقلة نوعاً ما عن مجموعة المحطات الثابتة. ويقابل الشكل 18-6.3 ب) ارتفاع هوائي المحطة المتنقلة البالغ H_a = 2 m (منصوباً على سطح المركبة)، ويقابل الشكل 18-6.3 ج) H_a = 10 m (صارية هوائي منصوبة). ويبيّن خط أحمر ضمن منطقة تغطية تحديد الاتجاه حدود المنطقة التي يتوفر فيها تحديد الموقع بطريقة التثليث.

ويبيّن الشكلان 18-6.3 ب) و18-6.3 ج) أيضاً أن المحطة المتنقلة في هذا الموقع، بما أنها موصولة بشبكة مراقبة محلية مشتركة مع المحطات الثابتة، لا يمكن أن تتفاعل مع هذه المحطات إلا عند أداء وظيفة الاستماع ضمن الأراضي التي تتقاطع معها مناطق التغطية ذات الصلة. ويبيّن رفع صارية الهوائي إلى ارتفاع 10 أمتار زيادةً كبيرة في تغطية كل وظائف المراقبة باستثناء تحديد الموقع.

ويعرض الشكل 18-6.3 د) نموذج تغطية تحديد الموقع الذي تقابل حدوده الخارجية الخط الأحمر ضمن مناطق تغطية تحديد الاتجاه في الشكلين 18-6.3 ب) و18-6.3 ج). وتُظهر المناطق مختلفة الألوان ضمن النموذج تدرّج عدم اليقين في تحديد الموقع (بالكيلومترات) وفق ما تعطى بمؤشر الألوان إلى يمين الشكل. ولا تؤثر المحطة المتنقلة على النموذج مطلقاً. ويقابل الخط الأحمر الخارجي هنا حدود مناطق تغطية تحديد الاتجاه المشتركة الواردة في الشكلين 18-6.3 ب) و18-6.3 ج).

أما الشكل 6.3-18 هـ) الذي يتعامل مع الحالة الثانية، فهو يعرض تغطية المحطات كافة عندما تبقى المحطة المتنقلة التي يبلغ ارتفاع الهوائي فيها مترين فوق تلة على مسافة قريبة جداً من مجموعة المحطات الثابتة. وتظهر الحسابات في هذه الحالة أن نصب صارية هوائي على ارتفاع 10 أمتار لا يحسن الوضع كثيراً.

وفي الحالة الثانية، تتقاطع مناطق تغطية تحديد الاتجاه الخاصة بالمحطات الثابتة والمتنقلة، مما يعني إمكانية تفاعل المحطات الثابتة والمتنقلة باستعمال طريقة التثليث لتحديد الموقع. ويبيَّن ذلك في الشكل 6.3-18 و) الذي يُظهر توسيع النموذج في الاتجاه الجنوبي الشرقي. وترد تفاصيل وشروح أوفى في المرجع [Bondarenko *et al.*, 2005].

ويبيّن الوصف الموجز أعلاه الإمكانية العالية لأداة التجسيد المرئي لمنطقة تغطية المراقبة في دعم العمليات الروتينية لمحطات المراقبة الثابتة والمتنقلة منها على وجه الخصوص. فبمثل هذه الأدوات، يكتسب مشغلو محطات المراقبة "عيوناً" لرؤية مناطق التغطية الفعلية لفرادى المحطات أو مجموعات المحطات المجتمعة في شبكة محلية مشتركة عبر مختلف وظائف المراقبة، فضلاً عما يوفره لهم تفاعل المحطات المتنقلة مع أقرب المحطات الثابتة أثناء أداء مهامها. ويمكن في الوقت الراهن أن نحدد بسرعة الكسب الذي تستطيع محطة متنقلة تحقيقه، وذلك بنشر هوائي مرتفع شبه ثابت ونقرر من خلال ذلك ألا نضيع الوقت في إجراء كهذا إذا كان الكسب في موقع معين مهملاً. وعليه، يكون المشغلون وللمرة الأولى على دراية كاملة بالوضع الذي يتعاملون معه. وتتيح هذه التقنية أيضاً القدرة على مسح مسير مستقبلي لمحطة مراقبة متنقلة قبل الشروع الفعلي بمهمة واختيار أفضل مواقع الرصد على امتداد المسير وذلك في سبيل جني الفائدة المثلى من المهمة واختصار مدتها.

3.6.3 شبكات المراقبة المحوسبة

1.3.6.3 مقدمة

ينبغي توصيل محطات مراقبة الطيف فيما بينها عبر شبكة محوسبة، وينبغي توصيلها شبكياً مع نظام إدارة الطيف الوطنية طبقاً للتوصية ITU-R SM.1537. وتضم إدارة الطيف ومراقبته مجموعة من الأنشطة الإدارية والتقنية التي يمكن أداءها بيسر في إطار نظام متكامل موصول شبكياً.

وتخلص *أنشطة إدارة الطيف* في نهاية المطاف إلى إصدار تراخيص أو تصريحات. ولا بد من قاعدة بيانات حاسوبية لأداء مهام الإدارة هذه. وتشكّل قاعدة البيانات، التي تضم بيانات إدارية وتقنية مثل الترددات المخصصة وأصحاب التراخيص وخصائص التجهيزات، نواة نظام إدارة الطيف المؤتمت والمحوسب.

وتتيح *مراقبة الطيف* التحقق من أن هذه الترددات تُستعمل طبقاً لأحكام التصريح أو الترخيص، وتقيس شغل الطيف بواسطة محطات المراقبة.

وثمة علاقة هامة وطيدة بين إدارة الطيف ومراقبة الطيف؛ وينبغي إقامة تعاون وثيق مستمر بينهما بحيث يستفاد من مهام مراقبة الطيف في إدارة الطيف.

وميادين التفاعل الرئيسية بين إدارة الطيف ومراقبة الطيف هي:

- تحدد إدارة الطيف القائمة الرسمية بالترددات المخصصة لمراقبة البث؛
- تقدم إدارة الطيف التعليمات العامة بشأن نطاقات التردد الواجب مسحها والمهام المحددة للمراقبة؛
- تتلقى مراقبة الطيف طلبات لأداء مهام معينة من إدارة الطيف: مثال ذلك مراقبة شكاوى التداخل لحل المشكلة، وقياس الإشغال على الترددات المقرر تخصيصها؛
- تتيح مراقبة الطيف قياس معلمات تقنية والتحقق من المطابقة التقنية للمرسلات وتعرّف هوية المرسلات غير المرخصة أو غير الممتثلة وكشف مشاكل محددة.

ويتيح التفاعل بين إدارة الطيف وأنظمة مراقبة الطيف المحوسبة التشغيل الأمثل من حيث الكفاءة وتكلفة النظام على السواء. وينتظم النظام حول قاعدة بيانات محوسبة باستعمال الحواسيب الشخصية. وقاعدة البيانات هي في صميم كل الوظائف والتطبيقات المصاحبة، من تحديث البيانات إلى الفوترة وتخصيص الترددات وما إلى ذلك، علاوة على تحديث المعلمات التقنية المتعلقة بالترددات والمرسلات.

2.3.6.3 الأنظمة الوطنية المحوسبة المتكاملة

يعتمد أي نظام وطني كامل متكامل ومحوسب لإدارة ومراقبة الطيف على واحد أو أكثر من مخدمات البيانات في إطار شبكة، بحيث يمكن لمحطات التشغيل أو المحطات العميلة في كل مكان في النظام النفاذ إلى قاعدة البيانات. وتضم مخدمات نظام الإدارة مخدّماً رئيسياً، وأحياناً مخدماً واحداً أو أكثر لقاعدة بيانات مستخرجة من قاعدة البيانات الرئيسية و/أو قاعدة بيانات مكرّسة لتطبيق ما أو موجودة في مركز قيادة محلي. ولكل محطة مراقبة، سواء كانت ثابتة أم متنقلة، مخدم قياس وواحدة أو أكثر من محطات التشغيل، كما يبيّن الشكل 6.3-2. وتستعمل كل محطة معمارية قياسية تقوم على مخدم وحواسيب محطة تشغيل موصولة بينياً عبر شبكة إثرنت محلية.

وتوصل جميع المحطات على امتداد شبكة منطقة واسعة. وينبغي لهذا النظام المتكامل تماماً أن يوفر لأي موقع مشغل نفاذاً سريعاً إلى أي من وظائف المخدم المتيسرة في النظام. ويبيّن المخطط الوظيفي في الشكل 6.3-1 تشكيلة النظام هذه.

ويحتوي المخدم الرئيسي على قاعدة بيانات مترابطة محملة ببيانات إدارية وتقنية للشبكة الإقليمية أو الوطنية ومحتوى بيانات يتماشى مع ما يوصي به كتيب الاتحاد الدولي للاتصالات عن تقنيات إدارة الطيف بمساعدة الحاسوب ومع التوصية ITU-R SM.1370. وهذا المخدم هو بصفة عامة نظام قائم على لغة الاستجواب المهيكلة (SQL) التي تتيح للمستعمل ذي النفاذ المناسب استجواب قاعدة البيانات بسهولة. وتقدم قواعد البيانات الحديثة أنظمة وبيانات وفيرة بالاقتران مع نسخ احتياطي دوري. وتتيح قاعدة البيانات ذات الشبكة المحوسبة الموزعة تنفيذ معمارية العميل/المخدم ونظام محوسب موزع:

- تتمركز إدارة البيانات في مخدم قاعدة البيانات مما يسهل الأمن والحفاظ على مستوى عال من السلامة؛ فهي تحتوي على بيانات التطبيقات والتراخيص والمواقع والتجهيزات والفوترة وتخصيص الترددات، وما إلى ذلك. ويمكن، خياراً، نسخ أجزاء من قاعدة البيانات هذه إلى مخدمات محلية أو متنقلة من أجل تطبيقات محددة؛
- محطات تشغيل الإدارة والإشراف وإدخال البيانات هي حواسيب شخصية تتيح تحميل قاعدة البيانات بمعلمات إدارية وتقنية يستعملها موظفو الإدارة والمراقبة لإدارة التردد والمراقبة التقنية، وما إلى ذلك.

وينبغي لبرمجيات قاعدة البيانات أن تتيح إدخال بيانات إلكترونية من قاعدة بيانات قائمة، إن وُجدت، إما مباشرة أو عبر برنامج تحويل بيانات يعد خصيصاً لهذا الغرض.

1.2.3.6.3 تشغيل شبكة المحطات المؤتمتة

ينبغي، في نظام متكامل، ربط نظام الإدارة بينياً مع محطات المراقبة عبر شبكة منطقة واسعة (WAN) للتمكن من تكليف محطات المراقبة بمهامها محلياً وعن بعد فضلاً عن إرسال التقارير منها. وتشمل المهام التي تُكلَّف بها محطات المراقبة قياسات نظامية طبقاً لتوصيات قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد، من قبيل شغل الطيف ومعلمات الإشارة وقياسات تحديد الاتجاه على تردد معيّن نتيجة لشكوى. وتقوم مخدمات القياس (التي يرد وصفها في الفقرة 2.2.6.3)، في المحطات المكلفة بذلك، بالتنفيذ الأوتوماتي للقياسات المطلوبة. وتقدَم هذه المعلومات إلى موظفي الإشراف في تقارير هجائية رقمية أو بيانية.

ويمكن لتقارير المراقبة أن تضم نتائج القياسات والعروض الجغرافية لمنطقة تغطية أو إقليم، بما فيها:

- مواقع محطات المراقبة؛
- مواقع المرسلات المعروفة؛
- نتائج الاتجاهات السمتية في محطات تحديد الاتجاه بالنسبة إلى موقع المرسل.

ويمكن لمحطات المراقبة أن تكون ثابتة أو متنقلة، يفضل وجود كلا النمطين في نظام وطني محوسب. فالمحطات الثابتة مناسبة لمراقبة الإشارات على فترات زمنية طويلة، أو في نطاق الترددات الديكامترية (HF)، حيث تتسم متطلبات حيز الهوائي بالأهمية ويكون الانتشار نمطياً طويل المدى عبر الموجات الأيونوسفيرية. كما يستفاد من المحطات الثابتة قرب المناطق الحضرية في مراقبة نطاقي الترددات المترية والديسيمترية (VHF/UHF) في المناطق الحضرية.

أما المحطات المتنقلة والقابلة للنقل فهي مناسبة لمراقبة نطاقات التردد المترية والديسيمترية والسنتيمترية (VHF/UHF/SHF) (والموجات الأرضية في نطاق الترددات الديكامترية (HF))، ونظراً للانتشار الأقصر مدى في هذه الحالات، لا بد، بصفة عامة، من نقل نظام القياس إلى المنطقة موضع الاهتمام. كما تلزم هذه المحطات في العديد من الحالات التي تقتضي التحديد الدقيق لمواقع المحطات غير المشروعة أو مصدر التداخل.

2.2.3.6.3 النفاذ عن بعد إلى موارد النظام

تتيح الأنظمة المتكاملة الموصولة شبكياً والمتعددة المهام، ذات معمارية العميل/المخدم الموصوفة في الفقرة 2.2.6.3 أعلاه، لأي محطة عميل النفاذ عموماً إلى موارد أي من مخدمات القياس أو جميعها، سواء كانت تشارك موقع المحطة العميل أم في محطات أخرى. وهكذا تتيسر جميع موارد الشبكة متعددة المحطات لأي مشغّل بشرط أن يكون لديه التصريح الملائم بالنفاذ إلى كل هذه الموارد.

ويمكن التحكم بمحطات المراقبة عن بعد من محطة تشغيل في مركز مراقبة الطيف أو مركز إدارة الطيف أو مركز قيادة محلي أو محلياً في المحطة نفسها، ويمكن موافاة محطة التشغيل المذكورة بنتائج المراقبة. ويراعي هذا التحكم عن بعد مشغلي مراقبة الطيف الذين قد يحتاجون إلى العمل من موقع مركزي بدلاً من الانتقال إلى مواقع مراقبة نائية، شريطة ألا يتطلب هذا الوضع وجود مشغل مراقبة خبير في هذا الموقع. وجدير بالذكر أن المشغلين بحاجة دوماً إلى تحليل البيانات المقيسة وإقرارها قبل إدخالها في قاعدة بيانات مركزية.

ولا تلزم وصلات الاتصالات بين المحطات إلا عندما تصدر المحطة العميل أوامر بمهام إلى المخدمات النائية، وفيما بعد عندما تطلب المحطة العميل نتائج المهام التي كلّفت بتنفيذها، وذلك طالما تيسرت وصلات الاتصال عند صدور أوامر المهام، فإذا لم تتيسرعندئذ فإن نتائج القياس لا تُفقد وإنما تُحفظ في مخدم القياس حتى تُطلب.

3.2.3.6.3 كشف المخالفات الأوتوماتي

يمكن لنظام متكامل لإدارة الطيف ومراقبته أن يقارن القياسات الواردة من نظام المراقبة مع معلومات الترخيص الواردة من نظام الإدارة ليكشف المخالفات أوتوماتياً - حيث يحدد الترددات التي تعمل عليها مرسلات ليست ضمن قاعدة بيانات التراخيص ويحدد المرسلات غير العاملة ضمن المعلمات المرخصة لها. ويتيح كشف المخالفات الأوتوماتي للمشغّل أن يحدد المدى المراقَب بتحديد ترددات بداية ونهاية النطاق أو النطاقات المزمع البحث فيها، وأن يحدد معلمات البحث بما فيها الفترة الزمنية التي يمكن أن يجرى فيها البحث.

وينبغي أن يكون النظام قادراً على أداء مسح في مدى التردد المحدد وخلال الفترة الزمنية المحددة. ويستعمل النظام القياسات الناتجة عن المسح ثم يستعمل المعلومات المدرجة في قاعدة بيانات التراخيص لكي يحدد الإشارات الموجودة في الطيف المقيس وغير المدرجة في قاعدة بيانات التراخيص، منتجاً بذلك أوتوماتياً قائمة بالترددات المستعمَلة وغير الواردة في قاعدة البيانات. ويقوم النظام كذلك بالتحقق من المعلمات الأخرى للإشارة مثل عرض نطاق التردد وانحراف التشكيل عن التردد المركزي المرخص، ثم إصدار إنذارات أو تقارير حيثما وُجدت مخالفات. ومن ثم فإن التقارير تنبه المشغّل إلى الإشارات غير المتوقعة أو غير الممتثلة استناداً إلى معايير فرضية أو معايير يحددها المشغّل، وتشكّل أساساً لدراسة أوثق من قبل المشغّل. وتُعرض نتائج كشف المخالفات الأوتوماتي، بما فيها من معلومات عن المرسلات غير المرخصة أو غير الممتثلة حسب التردد أو القناة، على شاشة النتائج. ويمكن لعرض خريطة جغرافية مشابه للعرض الوارد في الشكل 6.3-4 أن يعرض مواقع المحطات المرخصة ومواقع المرسلات غير المرخصة أو غير الممتثلة للقواعد.

وتسهيلاً لعملية كشف المخالفات الأوتوماتي وضماناً لاستمرارها في العمل حتى في حالة عدم تيسر الاتصالات بين المحطات، ينبغي لكل محطة عميل، سواء في محطة ثابتة أو متنقلة، أن تحتفظ بقاعدة بيانات خاصة بها تضم المحطات المرخصة في منطقة عملها. وينبغي استخراج قاعدة البيانات هذه من قاعدة بيانات نظام الإدارة. وبتيسر قاعدة البيانات المحلية هذه، يمكن لكل محطة عميل أن تواصل التشغيل وأداء كشف المخالفات الأوتوماتي حتى لو لم تتيسر الاتصالات.

4.2.3.6.3 مثال على بروتوكول نقل المراقبة الراديوية لتشغيل العديد من محطات المراقبة من محطة تحكم

يمكن أن يشتمل نظام لإدارة ومراقبة طيف التردد على تجهيزات من جهات مصنّعة مختلفة.

ولبناء نظام متكامل من هذه التجهيزات، من المستصوب أن تعمد محطة تحكم واحدة، لها مستعملون محليون أو عن بعد، إلى تشغيل محطات مراقبة ثابتة ومتنقلة نائية توفرها تلك الجهات المصنعة. ولما كانت الجهات المصنعة ترى عموماً أن اتصالاتها وبروتوكول التحكم لديها مسجلة الملكية، فقد أنشئ في هذا المثال بروتوكول نقل مراقبة راديوية (RMTP) يستخدمه مركز التحكم. ويبين الشكل 19-6.3 هيكل تدفق البيانات في هذا المقام.

الشكل 19-6.3

هيكل شبكة المراقبة



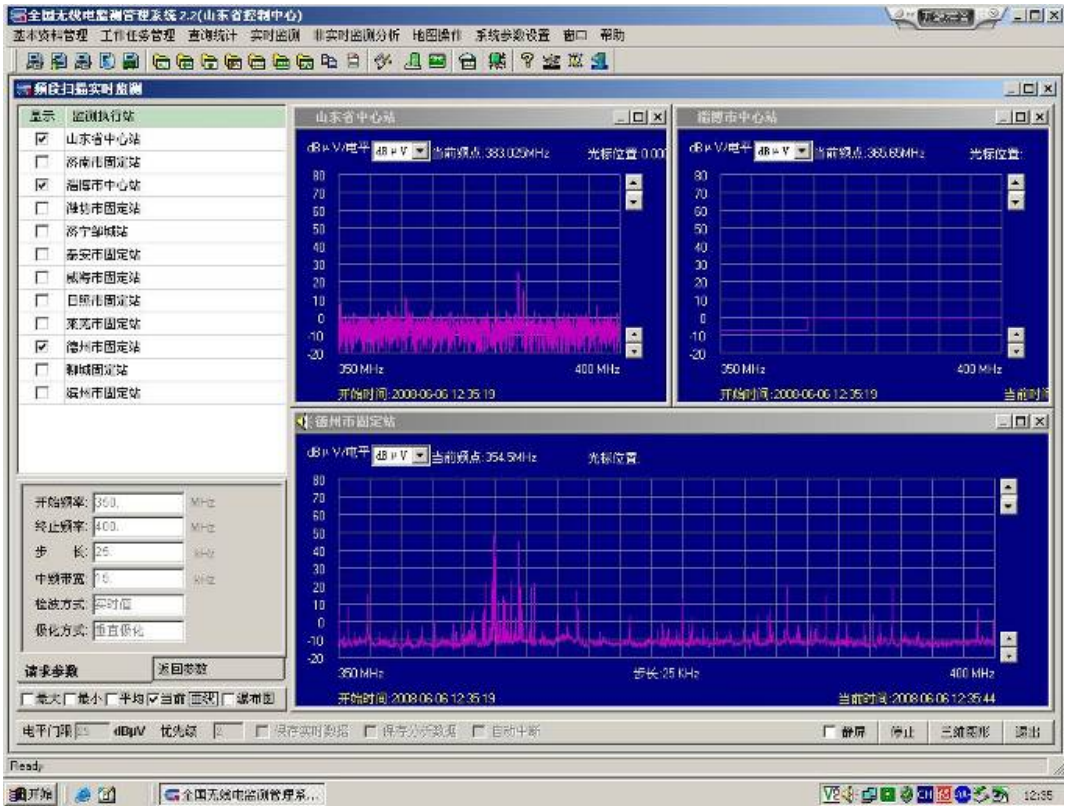
Spectrum-3.6-19

ويستطيع مركز التحكم الحصول على معلومات عن حالة مختلف المحطات البعيدة الموجودة 'على الخط'، وفتح نوافذ للتحكم بمستقبلاتها ولتحديد معلمات تكليف المهام للمحطات النائية، مع طلب إجراء قياسات تقنية وقياسات تحديد الاتجاه، ومسح عبر نطاقات تردد محددة باستعمال عروض نطاق محددة، والقيام بوظائف أخرى معتادة لنظام المراقبة.

ويمكن لمركز التحكم أن يحصل على نتائج القياس وأن يعرض معلومات تحديد الاتجاه المقيسة ومعلومات تحديد الموقع على خرائط جغرافية، مع مشاهدة عروض بانورامية (شرط أن يتوفر في قنوات الاتصالات ما يكفي من عرض النطاق لتحديث هذه العروض البانورامية في الوقت الفعلي)، ويمكنه أن يرى عروض الطيف والعروض الشلالية وبيانات مراقبة الطيف الأخرى. وبوسع مركز التحكم أن يقارن القياسات مع قاعدة بيانات التراخيص لتحديد الترددات التي يرجح أن تكون عليها محطات غير مرخصة وللوقوف على الترددات المرخصة غير المستعمَلة.

الشكل 20-6.3

أمثلة الأطياف الترددية المقيسة من ثلاث محطات مراقبة



Spectrum-3.6-20

ورغم إمكانية قياس بيانات المراقبة في التجهيزات المورّدة من مصنعين مختلفين، تُستقى البيانات جميعها من محطات المراقبة النائية باستعمال بروتوكول RMTP وتُعرض على شاشات في مركز التحكم وفيها ما يصل إلى تسع محطات مراقبة على الشاشة. ويورد الشكل 20-6.3 مثالاً عن شاشة مركز تحكم تشتمل على عروض طيفية من ثلاث محطات مراقبة نائية أنتجتها مستقبلات واردة من جهات تصنيع مختلفة. وفي بعض الحالات، تتباين أطياف التردد كثيراً لتباعد بعض المحطات بعضها عن بعض كثيراً. ويبدو في الركن العلوي الأيسر من الشاشة قائمة بجميع المحطات 'على الخط' التي يمكن انتقاؤها من مركز التحكم لأداء مهمة ما في المراقبة أو تحديد الاتجاه، ويسمح الركن السفلي الأيسر بإدراج المعلمات بما فيها ترددات البدء والإيقاف للترددات وخطواتها التدريجية، وعرض النطاق والاستقطاب وإزالة التشكيل، وما إلى ذلك.

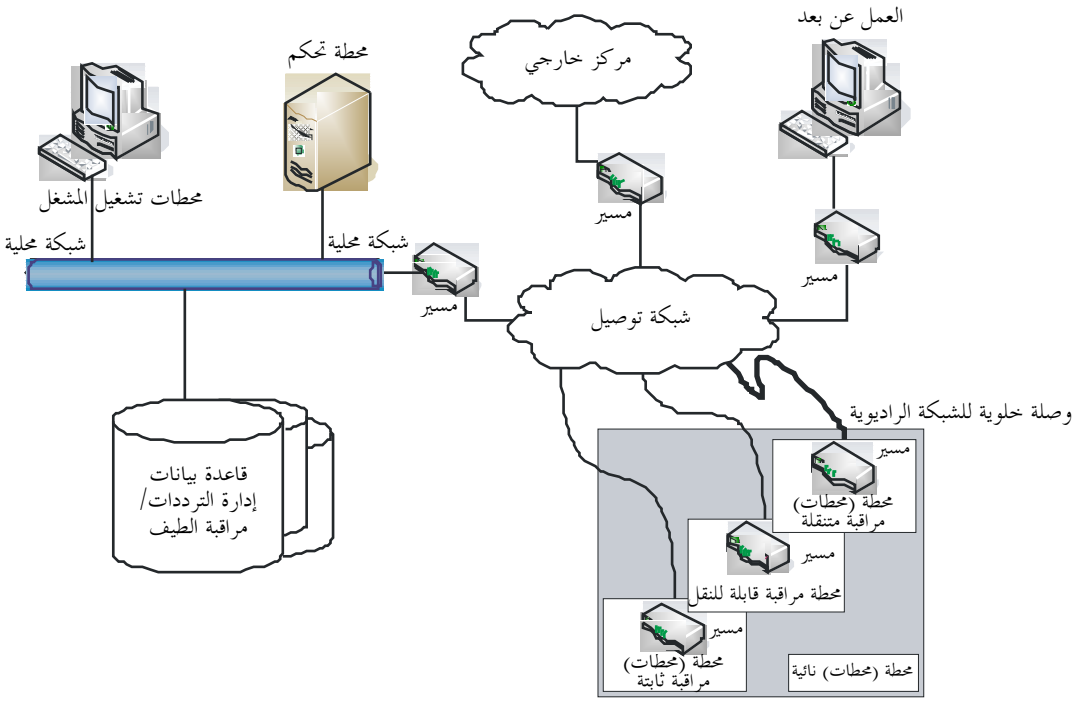
وفي حين أن هذا المثال هو لمحطات مراقبة ضمن بلد واحد، يمكن استعمال بروتوكول RMTP نفسه للتوصيل الشبكي لمحطات في بلدان متعددة بحيث يمكن التحكم فيها من مركز تحكم واحد أو أكثر. ومن شأن ذلك أن يتيح للإدارات في مختلف البلدان تقاسم الموارد، لاستعمال محددات الاتجاه في بلدان أخرى مثلاً للمساعدة في تحسين دقة تحديد موقع مرسل غير مرخص.

3.3.6.3 مثال لنظام مؤتمت في نطاقات التردد HF/VHF/UHF

هناك شبكة مراقبة تقنية (انظر الشكل 21-6.3) لمراقبة الطيف في هذا المثال، وهي تتألف من عدد من المحطات النائية الموصولة بمحطة تحكم عبر شبكة اتصالات عادية.

الشكل 21-6.3

مثال لنظام محوسب في النطاقات HF/VHF/UHF



Spectrum-3.6-21

وتتسم مختلف العناصر التي يتألف منها هذا النظام بالخصائص التالية:

أ) تتولى محطات تشغيل المشغّل تنفيذ مهام المراقبة الراديوية الوارد وصفها في الفصل 2 من هذا الكتيب.

ب) تتولى محطات التحكم إدارة النظام والإشراف عليه، وتخطيط الموارد وتوزيعها، وتسيير الرسائل وإدارة أساليب العطب وإدارة ساعات تشغيل النظام.

ج) يمكن للمحطات النائية أن تشمل تجهيزات مراقبة مختلفة لضمان أداء مهام المراقبة الوارد وصفها في الفصل 2 من هذا الكتيب بصورة جزئية أو كلية.

ويمكن إقامة محطات نائية ضمن أربعة أنماط في مختلف نطاقات التردد كما يلي:

- محطة ثابتة بمشغلين أو آلية.
- قابلة للنقل في ملجأ متنقل وموصولة بمحطة التحكم عبر وصلة بيانات ثابتة أو لا سلكية.
- متنقلة في مركبة وموصولة بمحطة التحكم عبر وصلة بيانات ثابتة أو لا سلكية.
- محمولة في صندوق وموصولة بمحطة التحكم عبر وصلة بيانات ثابتة أو لا سلكية.

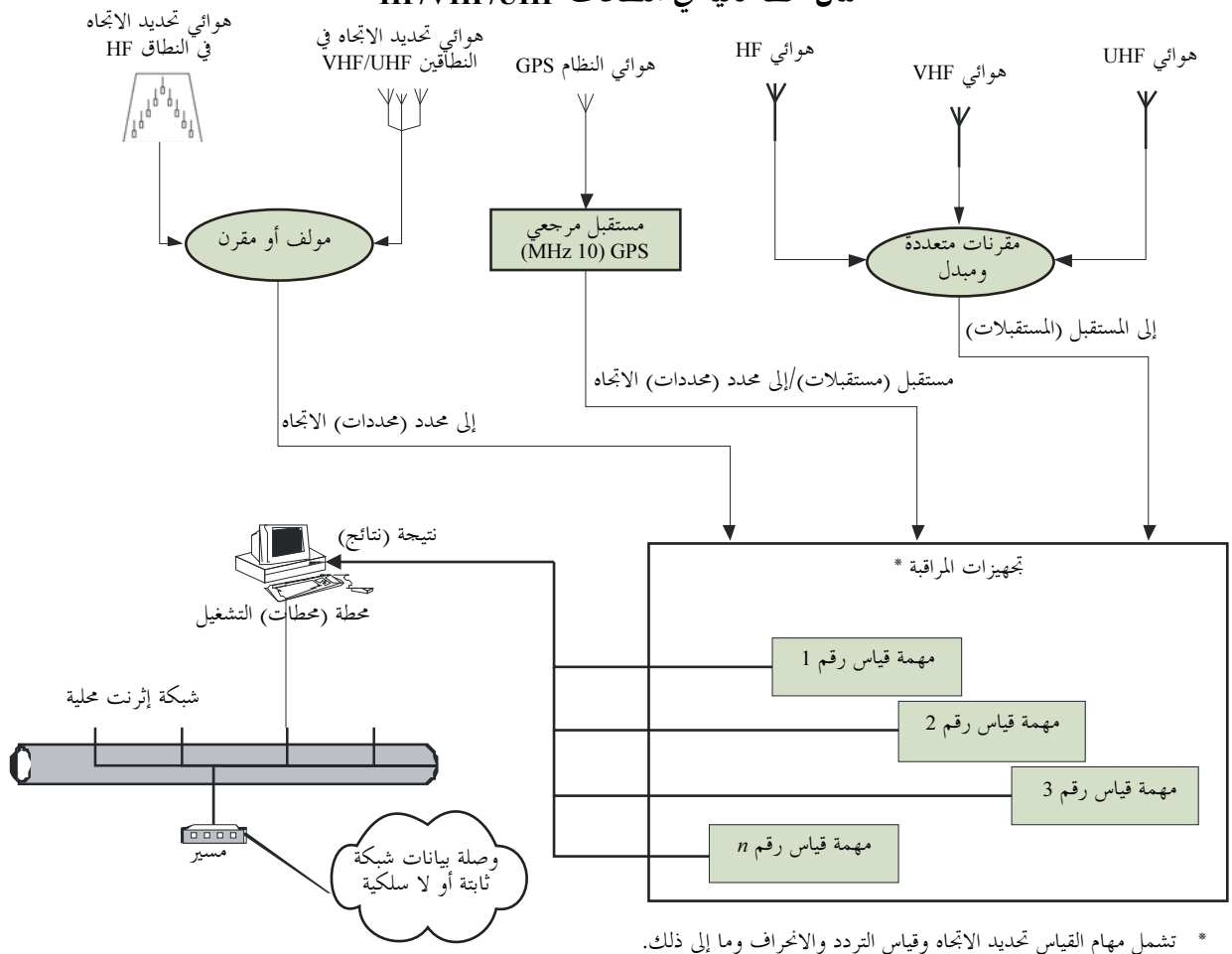
وجميع المحطات أوتوماتية بالكامل ويشرف عليها مشغّل في مركز التحكم العامل. وقد وضعت طريقتان مختلفتان للعمل في كل محطة مراقبة:

- أولاً، هناك تحكم 'على الخط' في المحطة مما يمكّن المشغّل من استعمال المحطة النائية وكأنها محطة محلية.
- ثانياً، تستطيع المحطة النائية العمل بالأسلوب المجدول زمنياً أو بأسلوب الدفعات، مما يمكّن من تحميل مجموعة من المعلمات لتخضع لحملة من القياسات الأوتوماتية أثناء فترة معينة.

ويبين الشكل 6.3-22 مثالاً لمحطة نائية في النطاقات HF/VHF/UHF.

الشكل 6.3-22

مثال لمحطة نائية في النطاقات HF/VHF/UHF



Spectrum-3.6-22

4.6.3 تجهيزات التقارير وبرمجياتها في الأنظمة المؤتمتة

تولّد التقارير في الأنظمة الحديثة لمراقبة الطيف ببرمجيات حاسوبية. وهي تستند إلى القياسات ولكنها يمكن أن تُستمد من مختلف سجلات البيانات المتيسرة في قواعد بيانات مراقبة الطيف وإدارة الطيف. وينبغي أن تتيسر طائفة شتى من التقارير، بما فيها معلومات الأثر الخام وتحليل الموجة الحاملة وفق التاريخ أو نطاق التردد وإحصاءات شغل القناة وتيسرها وإحصاءات طول الرسالة، وإحصاءات قدرة القناة وسجلات النظام والإنذارات وتقارير خطة المراقبة والجدول الزمني.

ويرد في الشكل 6.3-23 تقرير نمطي مولد حاسوبياً. وينبغي للنظام أن يتيح تكييف التقارير أو تهيئتها وفقاً لمتطلبات المشغّل.

وينبغي إنتاج التقارير أوتوماتياً من أي لوحة من لوحات النتائج. ويحدد المشغل نمط التقرير المطلوب وبيانات القياس التي يتعين استعمالها، ويقوم بتفعيل وظيفة "تقرير" لتوليد التقارير النصية أوتوماتياً على شاشته.

وغالباً ما تكون التقارير المكونة من الرسوم البيانية طريقة مفضلة لدراسة البيانات، لأنها تقدم عرضاً يلخص المعلومات ويجعل من السهولة بمكان تحديد الاتجاهات والاستثناءات. ويمكن، باستعمال الألوان، عرض المزيد من المعلومات في مخطط بياني واحد.

وينبغي لأي نظام حديث أن يقدم نفس قدرات التوليد الأوتوماتي للتقارير، سواء كان في وحدة متنقلة أو محطة ثابتة أو نظام إدارة. وتستند القدرة على توليد تقرير عن بعد إلى أن البيانات الموضوعة في موقع مختلف تمثل في الوقت ذاته جزءاً من برمجية نمطية للنظام.

الشكل 23-6.3

جانب من تقرير نمطي مولد حاسوبياً عن شغل الطيف

الإشغال مقابل القناة

Task No.:	433	Storage Interval:	15 secs
Operator ID:	TRN1	Msb Length:	15 secs
Schedule Time:	05/02/2010 2:45:49 PM	Threshold Method:	Noise Riding 10 dB
Completion Time:	05/02/2010 3:15:50 PM	Duration:	Fixed: 30 mins
Site Location:	S 23 24' 47.5"	Band No.:	1
	W142 01' 56.8"	Bandwidth:	12.5 kHz
StartFreq:	152.112500 MHz		
StopFreq:	152.450000 MHz	NumChannels:	28

Channel:	Frequency:	Maximum occupancy (%):	Average occupancy (%):	Field strength (dB(µV/m))	
				Max.	Avg.
1	152.112500	0	0	0	0
2	152.125000	0	0	0	0
3	152.137500	53	6	5	4
4	152.150000	48	9	20	15
5	152.162500	100	100	8	7
6	152.175000	40	8	33	26
7	152.187500	37	6	28	21
8	152.200000	0	0	0	0
9	152.212500	0	0	0	0
10	152.225000	13	1	5	4
11	152.237500	20	4	39	38
12	152.250000	20	4	39	38
13	152.262500	90	71	21	17
14	152.275000	100	91	29	25
15	152.287500	0	0	0	0
16	152.300000	23	2	7	5
17	152.312500	0	0	0	0
18	152.325000	26	3	9	8

Spectrum-3.6-23

المراجـــع

ASHIKHMIN, A., KOZMIN, V., SHADRIN, I., STOPKIN, V. and ZHUKOV, A. [2003] Detection of EM-Wave Transmitters by means of Mobile Radio Control and Direction Finding Stations. *Spetsialnaya Tekhnika*, **5**, (http://www.ircos.ru/en/articles.html).

BONDARENKO, K., KRUTOVA, O. and PAVLYUK, A. [June, 2008] Visualization of coverage areas of VHF/UHF spectrum monitoring stations in the course of their routine operations. Proceedings of the Nineteenth International Wroclaw Symposium on EMC, Wroclaw, Poland.

KOGAN, V. and PAVLIOUK, A. [June, 2004] Methodology of spectrum monitoring networks planning. Proceedings of the Seventeenth International Wroclaw Symposium on EMC, Wroclaw, Poland.

REMBOVSKY, A., ASHIKHMIN, A. and KOZMIN, V. [2006] *Radiomonitoring: Problems, Methods and Equipment*. Moscow, Goriachaya Liniya-Telekom press, (http://www.ircos.ru/en/articles.html).

توصيات قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد:

ملاحظة – يشجع في كل حالة استعمال آخر طبعة من التوصية المشار إليها.

التوصية ITU-R SM.1050 – مهام خدمة المراقبة.

التوصية ITU-R SM.1370 – مبادئ توجيهية للتصميم لتطوير أنظمة مؤتمتة متقدمة لإدارة الطيف.

التوصية ITU-R SM.1537 – أتمتة ودمج أنظمة مراقبة الطيف مع الإدارة المؤتمتة للطيف.

التوصية ITU-R SM.1794 – أنظمة مراقبة النطاق الواسع للطيف الآني في النطاق العريض.

الفصـــل 4

القياسات

الصفحة

1.4 الاعتبارات العملية بشأن القياسات 205
1.1.4 المفهوم الأساسي للقياس 205
1.1.1.4 النعت أو الظاهرة المنشود قياسها 205
2.1.1.4 شروط العمليات 205
3.1.1.4 نظام القياس 205
4.1.1.4 تسلسل العمليات التقنية 206
5.1.1.4 تقدير النتائج وحالات عدم اليقين 206
2.1.4 البيئة التي يُجرى فيها القياس 207
1.2.1.4 البيئة المختبرية 207
2.2.1.4 القياس في الموقع 207
3.1.4 مبادئ القياس 208
1.3.1.4 قياسات ميدان الزمن والتردد 208
2.3.1.4 القياسات (المتجهية) لميداني الاتساع والطور 211
4.1.3.3 تحليل تحويل "فُورييه" السريع FFT 212
4.1.4 حالات عدم اليقين في القياس 212
2.4 قياس التردد 213
1.2.4 اعتبارات عامة 213
2.2.4 طرائق قياس التردد التقليدية الأكثر شيوعاً المستخدمة في محطات المراقبة الدولية 216
1.2.2.4 طريقة Lissajous المباشرة 216
2.2.2.4 طريقة عدّاد التردد 216
3.2.2.4 طريقة محلل الطيف المكنوس 217
3.2.4 طرائق قياس التردد القائم على معالجة الإشارات الرقمية (DSP) المستخدمة في محطات المراقبة الدولية 218
1.3.2.4 طريقة قياس التردد اللحظي 218
1.1.3.2.4 المبدأ 218
2.1.3.2.4 أداء تقنيات قياس الترددات اللحظية (IFM) 219
2.3.2.4 طريقة تحويل فُورييه السريع 220
4.2.4 مرحلة التحكُّم الكوارتزي لتجهيزات قياس التردد إزاء تردد معياري 222

الصفحة

3.4 قياس مستوى الترددات الراديوية (RF) 224
1.3.4 مقدمة 224
2.3.4 مكاشيف القياس..... 224
4.3.3 تعاريف السويات 225
4.3.4 تأثير التشكيل..... 226
5.3.4 عرض نطاق القياس الضروري 227
6.3.4 إجراء القياس باستخدام جهاز الاستقبال للقياس..... 228
7.3.4 إجراءات القياس بمحلل الطيف المكنوس 229
8.3.4 القياس بمحلل تحويل فُورييه السريع FFT..... 230
9.3.4 التصحيح بشأن إشارات النطاق العريض..... 231
10.3.4 المشاكل النموذجية المواجَهة 232
1.10.3.4 الإشارات غير المطلوبة على الترددات المجاورة 232
2.10.3.4 نِسَب الإشارة إلى الضوضاء المنخفضة 232
11.3.4 معايرة مستقبلات القياس..... 234
12.3.4 أخطاء القياس 234
4.4 قياس شدة المجال وكثافة تدفق القدرة..... 235
1.4.4 اعتبارات عامة..... 235
1.1.4.4 كميات القياس ووحداته 236
1.1.1.4.4 شروط القياس..... 236
2.1.1.4.4 شدة المجالين الكهربائي والمغنطيسي 237
3.1.1.4.4 شدة المجال الوارد المُكافئ..... 239
4.1.1.4.4 متوسط قدرة المستقبل المتاحة 239
5.1.1.4.4 كثافة تدفق القدرة 240
2.1.4.4 التقسيم إلى أمداء ترددية..... 241
2.4.4 اختيار مواقع القياس..... 241
1.2.4.4 المنشآت الثابتة..... 242
2.2.4.4 المنشآت المتنقلة 242
1.2.2.4.4 التطبيقات في حالة مستقرة 242
2.2.2.4.4 القياسات بجهاز متنقل لقياس شدة المجال..... 243
3.4.4 طرائق القياس..... 243
1.3.4.4 القياسات في نقطة قياس ثابتة 244
1.1.3.4.4 القياسات الآنية..... 244
2.1.3.4.4 القياسات لفترات قصيرة أو طويلة..... 244
3.1.3.4.4 قياس التوزُّع الفضائي لشدة المجال..... 244

الصفحة

2.3.4.4 القياسات بمحاذاة طريق 245
1.2.3.4.4 نتائج قياسات شدة المجال المتنقلة 245
2.2.3.4.4 العدد اللازم من نقاط القياس والفترة الفاصلة لحساب المتوسط..... 245
3.2.3.4.4 سرعة المركبة 245
4.2.3.4.4 هوائيات القياس 245
5.2.3.4.4 أنظمة الملاحة وتحديد الموقع 246
6.2.3.4.4 جمع نتائج القياس مع تخفيض البيانات 246
7.2.3.4.4 عرض البيانات..... 247
3.3.4.4 مقارنة البيانات المقيسة والمحسوبة 247
1.3.3.4.4 مقارنة شدة المجال المتوقعة والمقيسة في الإذاعة بتشكيل التردد (FM)..... 248
2.3.3.4.4 تخطيط البرمجيات وقواعد البيانات 248
3.3.3.4.4 شدة المجال المتنبأ بها من محطات المراقبة النائية 248
4.3.3.4.4 شدة الإشارة المقيسة من محطات المراقبة النائية 248
5.3.3.4.4 مقارنة القيم المتنبأ بها والقيم المقيسة..... 249
4.4.4 تقييم نتائج القياسات ومعالجتها وتوثيقها 250
1.4.4.4 تحديد المعلمات الإحصائية لشدة المجال وكثافة تدفق القدرة..... 250
2.4.4.4 تقييم اعتماد شدة المجال على الفضاء والزمن..... 251
3.4.4.4 القائمة المرجعية لبيانات التنسيق 251
5.4.4 معايرة أجهزة القياس والهوائيات..... 253
1.5.4.4 معايرة مستقبِلات القياس 253
2.5.4.4 معايرة هوائيات القياس 253
1.2.5.4.4 طريقة المجال المعياري (المعايرة المباشرة) 253
2.2.5.4.4 المعايرة غير المباشرة للهوائيات..... 253
3.2.5.4.4 طريقة الهوائي المعياري (طريقة الاستبدال)..... 254
4.2.5.4.4 طريقة المسافة المعيارية أو الموقع المعياري 254
5.2.5.4.4 حساب عامل الهوائي من الأبعاد وتوزُّع التيَّار..... 254
3.5.4.4 معايرة منشآت التسجيل الثابتة..... 255
5.4 قياس عرض النطاق 257
1.5.4 اعتبارات عامة..... 257
1.1.5.4 تأثيرات عرض النطاق على خدمات الاتصالات الراديوية..... 257
2.1.5.4 تعاريف عرض النطاق..... 257
3.1.5.4 مراقبة عرض نطاق البث في محطات المراقبة..... 259
4.1.5.4 اعتبارات الدقة..... 260

الصفحة

2.5.4 طرائق قياس عرض النطاق 260
1.2.5.4 قياس عرض النطاق المشغول 260
1.1.2.5.4 الطريقة القائمة على استخدام محلل للطيف 261
2.1.2.5.4 الطرائق المعتمدة على تحويل فورييه السريع 263
2.2.5.4 الطرائق المباشرة لقياس عرض النطاق "*x*-dB" 266
1.2.2.5.4 طريقة مرشاح تمرير النطاق الوحيد (تحليل الطيف التتابعي) 268
2.2.2.5.4 عدم اليقين في قياسات عرض النطاق "*x*-dB" 269
3.5.4 الشروط التي يتعين النظر فيها لدى قياس عرض النطاق 269
1.3.5.4 تأثير التداخل 269
2.3.5.4 تأثيرات الضوضاء 272
4.5.4 القياس العملي لعرض النطاق 273
1.4.5.4 الشروط اللازمة للقياس العملي 273
2.4.5.4 المتطلبات من التجهيزات المستعملة في المراقبة 274
1.2.4.5.4 المتطلبات من تجهيزات الاستقبال 274
2.2.4.5.4 تجهيزات من أجل تحليل الطيف 274
3.2.4.5.4 تجهيزات طريقة نسبة القدرة 274
4.2.4.5.4 تجهيزات تقنيات تحويل فورييه السريع 275
3.4.5.4 طريقة قياس عرض النطاق المشغول باستخدام محلل للطيف 275
6.4 قياس التشكيل 277
1.6.4 مقدمة 277
2.6.4 مجموعات الأدوات الرئيسية 277
3.6.4 التشكيل التماثلي 277
1.3.6.4 تشكيل الاتساع 277
2.3.6.4 تشكيل التردد والطور 279
3.3.6.4 قياس AM وPM/FM المتآون 279
4.3.6.4 تشكيلات تماثلية خاصة 280
1.4.3.6.4 تشكيلات الإذاعة التلفزيونية 280
2.4.3.6.4 تشكيل نطاق جانبي وحيد مع كبت الحمالة 280
3.4.3.6.4 تشكيل النطاق الجانبي المستقل 280
4.4.3.6.4 تشكيل الاتساع الدينامي 280
4.6.4 تشكيل رقمي وحيد الحمالة 280
1.4.6.4 معدل الرموز 281
2.4.6.4 تعرّف هوية التشكيل وعدد حالات الكوكبات 281
3.4.6.4 ترشيح النطاق الأساسي 285

الصفحة

4.4.6.4 خطأ التشكيل 287
5.6.4 تشكيل رقمي متعدد الحمالات..... 288
1.5.6.4 نمط التشكيل 288
2.5.6.4 عدد الحمالات وتباعد الحمالات 289
3.5.6.4 زمن الرمز..... 289
6.6.4 أخطاء القياس 291
7.4 تحديد الاتجاه والموقع راديوياً 292
1.7.4 اعتبارات عامة..... 292
2.7.4 تحديد الاتجاه راديوياً 292
1.2.7.4 مناقشة المعمارية الأساسية والأداء والمشكلات..... 293
1.1.2.7.4 الدقة..... 294
2.1.2.7.4 الحساسية..... 295
3.1.2.7.4 تأثير الانتشار في تعدد المسيرات وتعدد المصادر 295
4.1.2.7.4 تأثير إزالة الاستقطاب 297
5.1.2.7.4 مدة الإشارة الدنيا 298
2.2.7.4 تقنيات DF مختلفة 298
1.2.2.7.4 الهوائي الدوار..... 298
2.2.2.7.4 دوبلر وشبه دوبلر..... 299
3.2.2.7.4 Adcock/Watson Watt 300
4.2.2.7.4 مقياس التداخل في الطور 301
5.2.2.7.4 مقياس التداخل الترابطي..... 303
6.2.2.7.4 تقنيات الاستبانة المعززة 304
7.2.2.7.4 مقارنة تقنيات زاوية الوصول (AOA)..... 305
8.2.2.7.4 تقنيات تحديد الاتجاه المتوالفة..... 307
3.2.7.4 أثر البيئة..... 307
1.3.2.7.4 دقة الاتجاهات الزاوية لمحدد اتجاهات يعمل دون 30 MHz..... 307
2.3.2.7.4 دقة الاتجاهات الزاوية لمحدد اتجاهات يعمل فوق 30 MHz..... 309
4.2.7.4 التوصيل الشبكي بالتحكم عن بعد من أجل محطات DF..... 309
3.7.4 تحديد الموقع..... 309
1.3.7.4 طريقتا تحديد الموقع بالتثليف وتعدد الزوايا 309
1.1.3.7.4 اعتبارات عامة..... 310
2.1.3.7.4 سمات تحديد الموقع اعتماداً على التردد 311
3.1.3.7.4 خطوات حساب تحديد الموقع..... 311
4.1.3.7.4 توزيع قيم عدم اليقين بخصوص الموقع..... 315

الصفحة

5.1.3.7.4 عرض الخرائط 318
2.3.7.4 طريقة تفاضل زمن الوصول 318
1.2.3.7.4 مبادئ عامة 318
2.2.3.7.4 أحوال تنفيذ تفاضل زمن الوصول 319
3.2.3.7.4 العوامل التي تؤثر على الدقة 320
4.2.3.7.4 اعتبارات النظام 324
3.3.7.4 طرائق توجيه زاوية الوصول والتعادل 326
4.3.7.4 طريقة تحديد موقع وحيد بشأن إرسالات الترددات الديكامترية (HF) 327
1.4.3.7.4 تقدير ارتفاع الأيونوسفير 328
2.4.3.7.4 برمجية تحديد الموقع 328
3.4.3.7.4 برمجية توليد التنبؤات 328
4.4.3.7.4 حساب مدى تحديد الموقع 329
5.4.3.7.4 الصلاحية 330
6.4.3.7.4 زاوية ارتفاع موقع المحطة الواحدة (SSL) 330
5.3.7.4 مقارنة طرائق تحديد الموقع 331
6.3.7.4 الطرائق المولفة لتحديد الموقع 331
8.4 تحليل الإشارات وتعرّف هوية المرسل 335
1.8.4 مقدمة 335
1.1.8.4 تعرف الهوية في إطار لوائح مراقبة الطيف 335
2.1.8.4 الحاجة إلى تعرف الهوية لأنشطة مراقبة الطيف 335
3.1.8.4 تطبيقات تحليل الإشارة في مراقبة الطيف 336
2.8.4 تعرف الهوية باستخدام الرمز الدليلي للنداء أو القياسات الأساسية للإشارة 337
1.2.8.4 طريقة التعرف على معرف الهوية أو التعرف على الهوية من خلال التعرف على الرمز الدليلي للنداء 337
2.2.8.4 القياسات الأساسية للإشارة لتعرّف هوية المرسلات بدون رمز دليلي للنداء 338
3.8.4 النهج العام لعملية تحليل الإشارات 339
4.8.4 الاعتبارات المتعلقة بقدرات نظام ما لأداء تحليل الإشارات 339
5.8.4 أدوات تحليل الإشارات 341
1.5.8.4 تحديد المعلمات الأساسية للإشارة 343
2.8.5.4 تحديد المعلمات المتقدمة للإشارات 346
3.5.8.4 فك التشكيل وفك التشفير 348
4.5.8.4 الترابط البيني مع إشارة اختبار 348
5.5.8.4 تقنيات الترابط التقاطعي لتحليل التداخل 350
6.5.8.4 تقنيات الترشيح التكيفية لفصل مصدر إشارات النفاذ المتعدد بالتقسيم الزمني (TDMA) وإشارات النفاذ المتعدد بالتقسيم الشفري (CDMA) 351

الصفحة

7.5.8.4 قياسات (كثافة تدفق القدرة) أقل من ضوضاء الخلفية 351
6.8.4 تحليل الإشارات لغرض تعرّف هوية الإشارات المرسلة 353
1.6.8.4 التجهيزات المطلوبة 353
2.6.8.4 ممارسة تعرف الهوية 353
1.2.6.8.4 تعرف الهوية المعلمي 354
2.2.6.8.4 تعرف الهوية بواسطة الإشارة 357
1 تشكيل أرقام النداء المنتقاة لمحطات السفن والمحطات الساحلية 359
2 هويات الخدمة المتنقلة البحرية في الخدمات البحرية 359
3 هويات الخدمة المتنقلة البحرية في الخدمة الساتلية المتنقلة البحرية 360
4 النظام الآلي لتحديد هوية الجهاز المُرسل 360
5 هويات المنار الراديوي للاستدلال على موقع الطوارئ (EPIRB) 361
9.4 قياسات النبضات 364
1.9.4 المقدمة 364
2.9.4 معلمات النبضات الأساسية 364
3.9.4 القياسات في المجال الزمني 366
4.9.4 القياسات في مجال التردد 368
5.9.4 خاصيات النبضات الخاصة 369
6.9.4 متطلبات التجهيزات 369
10.4 قياسات شغل الطيف 371
1.10.4 ملاحظات عامة 371
2.10.4 تقنيات القياس 371
3.10.4 مستقبلات لمراقبة شغل الطيف 374
4.10.4 المبادئ الأساسية ومعلمات القياس 374
1.4.10.4 مبادئ الاعتيان 374
2.4.10.4 معلمات النظام 376
1.2.4.10.4 طول مدة الإرسال 376
2.2.4.10.4 العلاقة بين بعض المعلمات ذات الصلة 376
3.4.10.4 خشونة القياسات 377
4.4.10.4 اعتبارات الموقع 377
5.4.10.4 قيود المراقبة والحلول الممكنة 377
1.5.4.10.4 الإشارات غير المطلوبة 378
2.5.4.10.4 الشغل الكلي 379
4.10.4.6 ضبط العتبة 379
5.10.4 القياسات في نطاقات التردد 381

الصفحة

1.5.10.4 الترددات دون 30 MHz 381
2.5.10.4 الترددات فوق 30 MHz 381
1.2.5.10.4 قياس شغل قنوات التردّد 382
2.2.5.10.4 الخدمات 382
3.2.5.10.4 معلومات إضافية عن مستعملين معيّنين 382
4.2.5.10.4 المسح البطيء للقنوات 382
5.2.5.10.4 مراقبة القنوات الساكنة 383
6.2.5.10.4 قياسات شغل نطاق التردد 384
6.10.4 عرض البيانات المجمعة وتحليلها 385
7.10.4 تبادل البيانات 389
11.4 قياسات التغطية 391
1.11.4 مقدمة 391
2.11.4 التنبؤ بالتغطية 391
3.11.4 المبدأ الأساسي للقياس 391
4.11.4 معدات القياس 392
5.11.4 المعلمات التي ينبغي تسجيلها لأغراض قياسات التغطية 394
6.11.4 التحقق من التغطية 394
12.4 قياسات البث غير المطلوب 395
1.12.4 مقدمة 395
2.12.4 التعاريف والمصطلحات 395
3.12.4 أمداء التردد للبث غير المطلوب 396
4.12.4 القياسات في مجال البث الهامشي 397
5.12.4 القياسات في مجال البث خارج النطاق 397
1.5.12.4 قياسات قدرة القناة المجاورة 397
2.5.12.4 قياسات قناع الطيف 399
6.12.4 متطلبات التجهيزات وتكوينها وقيود القياس 402
7.12.4 الوصول بالمدى الدينامي لتكوين القياس إلى الحد الأمثل 402
8.12.4 التجهيزات المطلوبة 402
9.12.4 الجوانب العملية للقياس 403

1.4 الاعتبارات العملية بشأن القياسات

1.1.4 المفهوم الأساسي للقياس

يمثل القياس عملية لتحديد قيمة لنعت أو ظاهرة. ولا تعتمد نتيجته، من حيث المبدأ، على الإجراء المستخدم في هذه العملية. ومع ذلك، تُعتبَر دقة عملية القياس ضرورية للحصول على قيمة موثوقة يمكن الاعتماد عليها.

وينبغي أن تحدّد عملية القياس ما يلي:

- النعت أو الظاهرة المراد قياسها.
- شروط العمليات.
- نظام القياس والبارامترات التي يتعيّن استخدامها.
- تسلسل العمليات التقنية التي يتعيّن تطبيقها.
- حساب النتائج وحالات عدم اليقين.

1.1.1.4 النعت أو الظاهرة المنشود قياسها

تستهدف عملية القياس أساساً، في إطار رصد الطيف، قياس المجالات الكهرمغنطيسية التي يمكن وصفها إمّا بأنها قيمة لأي من المجالين E أو H، أو بأنها خصائص لإشارة (مثلاً، التردد، الاتساع، الطور، عرض النطاق، وغيرها).

ويمكن، فضلاً عن ذلك، أن تُنفذ من هذه القياسات الأساسية عملية قياس أكثر تعقُداً لتحديد الجودة والأداء المميِّزين للنظام أو للإرسال، مثلاً بقياسات إشغال الطيف. وتكون النتيجة، في هذه الحالة، توليفة من قياسات عدة بيانات، متعلقة مثلاً بالوقت والتردد والمستوى، وما إلى ذلك.

2.1.1.4 شروط العمليات

ينبغي تحديد شروط العمليات لأنها تؤثر تأثيراً مباشراً على نتائج القياس. فهي تتوقف على البيئة، ولابدّ لذلك من معرفة تفاصيل جميع الشروط لضمان إمكانية استنساخ القياس وتكراره.

وتكمن ميزة إجراء العمليات في مختبر (القياس بالتوصيل أو القياس بالإشعاع في غرفة غير صدويَة) في أن جميع البارامترات تكون معروفة، كما تكون شروط العمليات خاضعة للتحكُّم.

بيد أن معظم المهام التي تضطلع بها الإدارة المعنية بمراقبة الطيف تُنفّذ في الموقع وتتعرّض إلى تأثيرات كثيرة نتيجة للبنية التحتية المحيطة بالموقع، والطقس والقيود التي يفرضها ضِيق الحيِّز المتاح لمعدات القياس (مثلاً حجم الهوائي، والمعدات المدمجة).

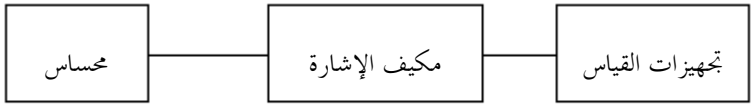
وينبغي اتخاذ جميع الاحتياطات اللازمة للحد من التأثيرات الخارجية، كما ينبغي تحديد شروط العمليات الضرورية لعمية القياس لضمان إمكانية استنساخ القياسات وتكرارها.

3.1.1.4 نظام القياس

يشمل نظام القياس جميع المعدات التي تستخدم في إجراء القياسات. ويمكن تقسيمه إلى ثلاثة أجزاء:

الشكل 1.4-1

نظام القياس الأساسي



Spectrum-4.1-01

المحساس هو جهاز يقوم بتحويل المجال الكهربائي أو المغنطيسي إلى إشارة كهربائية. وفيما يتعلق بمراقبة الطيف، يكون المحساس عادة مِسبار أو هوائي.

مكيِّف الإشارة يُستخدم لإعداد الإشارة التي ينتجها المحساس لتحقيق قياس أفضل. ويمكن أن تؤدي دوره المرشحات أو مضخِّمات التردد أو الموهِّنات أوالمِقرنات أوالخلاطات، وما إليها.

تجهيزات القياس وهي الجهاز الذي يعالج الإشارة ويقوم بعرضها أو تسجيلها لاستعمالها. ويمكن أن يؤدي هذا الدور محللُ الطيف أو المستقبِل مثلاً.

وينبغي أن يتم، ضِمن وصف عملية القياس، تعيين جميع الأجهزة المستخدمة في القياس لكي تُراعى جميع البارامترات في نتيجة القياس (نمط التجهيزات والخصائص وحالات عدم اليقين).

4.1.1.4 تسلسل العمليات التقنية

يرد في ما يلي وصف عام لكيفية تنفيذ القياسات:

- وصف بنية سلسلة القياسات، بما في ذلك تحديد التجهيزات المستخدمة.
- وصف القياسات الأولية المزمع إجراؤها (مثلاً، القياسات الرامية إلى ضمان أنه لا يوجد في مكان القياس مصدر إرسال قوي من شأنه أن يؤدي إلى نتيجة خاطئة).
- تركيبات أجهزة القياس المستخدمة ومعايرتها (مثلاً، نطاق التردد، وعرض نطاق الاستبانة، وامتداد الفترة، وما إلى ذلك).
- المهام التي يتعين تحقيقها لتنفيذ القياس.
- اتساق النتيجة (مثلاً، التحقق من النتيجة من خلال مقارنتها بالتقديرات النظرية، وحساب حالات عدم اليقين، وما إلى ذلك).

5.1.1.4 تقدير النتائج وحالات عدم اليقين

يلزم لتوفير قيمة موثوقة للقياس، إجراء معالجة لاحقة بحيث تؤخذ في الاعتبار أوجه عدم اليقين في سلسلة القياسات من أجل تقييم عدم التيقُّن في النتيجة النهائية.

ويمكن أن تكون الخطوة الأخيرة، إذا لزم الأمر، أن يُحدَّد شكل نشر النتائج.

2.1.4 البيئة التي يُجرى فيها القياس

قد تختلف بيئة القياس بحسب المهمة.

فمن ناحية، يلزم لاختبار المعدات الراديوية إجراء بعض القياسات في غرفة غير صدوية، ولكن من ناحية أخرى، يستلزم حل حالات التداخل إجراء القياسات في الموقع. وفي كلٍّ من الحالتين، يكون نهج القياس مختلفاً في الواقع.

1.2.1.4 البيئة المختبرية

على الرغم من أن البيئة المختبرية لا تُشترَط لأداء المهام التنظيمية، فإن عدداً متزايداً من الأنشطة قد يتطلبها.

وخلافاً للبيئة الحقيقية، يكمن سبب الاهتمام الرئيسي بالبيئة المختبرية في أنها لا تنطوي على أي بارامترات غير خاضعة للتحكم.

وعندما يقتضي الأمر إجراء اختبارات، مع التحكُّم في البيئة الكهرمغنطيسية دون التعرُّض لتشوُّش من الإشعاعات الخارجية، يمكن النظر في حالتين:

- القياس بالتوصيل؛
- القياس بالأشعة في بيئة مُتحكَّم فيها.

وتُجرى القياسات بالتوصيل أساساً لاختبار إشارة من مصدر في دائرة الخرج (قبل الهوائي مباشرة).

بيد أنه يجري ضم مكوِّنات النظام على نحو متزايد، وبالتالي قد لا تتاح إمكانية الوصول إلى أيّ من الخرج أو الدخل في الجهاز قيد الاختبار. وفي هذه الحالة، لا يمكن أن يتم بالتوصيل تحليل إشارة الجهاز الجاري اختباره بالأشعة.

وبالنسبة لقياس بالأشعة، يتم تحقيق بيئة كهرمغنطيسية مُتحكَّم فيها بواسطة قفص محجَّب. ويتطلب الأمر تنفيذ بعض الاختبارات دون أي مسارات متعددة، وفي هذه الحالة، تكون الغرفة غير الصدوية بيئة مناسبة لذلك.

وترد فيما يلي الأنشطة الرئيسية المضطلع بها في هذه الظروف:

- قياسات التوافق بين الأنظمة (مثلاً، إجراء دراسة أولية لإدخال نظام جديد ينبغي أن يعمل بنفس النطاق الترددي مع نظام آخر، أو أن يستخدم نطاق ترددات مجاور)؛
- التحقق من مواصفات معدات القياس (مثل كسب الهوائي)؛
- امتثال البث المشَع للجهاز قبل التسويق (مثلاً، البث خارج النطاق، والبث الهامشي، وما إلى ذلك).

ومع ذلك، فإن أكبر نسبة من قياسات المراقبة تتم في الميدان في بيئة كهرمغنطيسية واقعية.

2.2.1.4 القياس في الموقع

تشمل الأنشطة الرئيسية التي تضطلع بها منظمة معنية بمراقبة الطيف التحقق من امتثال البث (مقارنة بالإعلانات)، لتحديد مصادر التداخل، من أجل تنفيذ القياس الشامل أو القياسات المتصلة بجودة الخدمة. وهذا القياس يجب أن يتم في الميدان.

ويجري ضمان هذه المهام بواسطة محطة مراقبة ثابتة ومحطات متنقلة ومعدات قياس متنقلة. وبحسب المهمة المنشود تنفيذها، فإن مزايا حلول المحطة المتنقلة تكمن في تحقيق مرونة أكبر فيما يتعلق باختيار موقع القياس. بيد أن ميزة محطة المراقبة الثابتة هي أن موقع القياس قد يكون معروفاً بشكل أفضل فيما يتعلق بإشغال طيف التردد.

وحتى لو كانت البيئة غير خاضعة للتحكم، ينبغي اتخاذ بعض الاحتياطات في الاعتبار للحد من التفاعلات والتمكّن من إجراء القياس. ومن بين الاحتياطات الأكثر شيوعا التي ينبغي النظر فيها، يمكن التركيز على ما يلي:

- ضمان الوجود في الميدان متى اقتضى الأمر ذلك؛
- ضمان ارتفاع كاف لفك الاقتران لتجنب تأثير التربة أثناء عملية القياس؛
- اختيار موقع متميِّز بأقل قدر ممكن من العقبات (الإنشاءات، والأشجار، وغير ذلك) لتجنب الانعكاسات وغيرها من التأثيرات المتعددة المسارات؛
- التحقق من عدم وجود مجال كهرمغنطيسي قوي في المنطقة المجاورة لموقع القياس.

3.1.4 مبادئ القياس

1.3.1.4 قياسات ميدان الزمن والتردد

يمكن تمييز الإشارات الواردة إلى محطة المراقبة باستخدام ميدان الزمن أو التردد أو الطور.

وهذه الأساليب الثلاثة للنظر إلى مشكلة ما قابلة للتبادل إلى حد ما، علماً بأن ميزة استعمال هذه الميادين الثلاثة تكمن في تغيير المنظور. وباستبعاد منظور ميدان الوقت، يصبح حل المشاكل الصعبة واضحاً تماماً في كثير من الأحيان، في ميدان التردد أو في ميدان الطور. وبعد تناول مفاهيم كل ميدان، سنتناول أنماط الأجهزة المتاحة. وتُناقَش مزايا كل نمط من الأجهزة النوعية لإعطاء القارئ تقييماً لمزايا وعيوب كل نهج. ويبيِّن الشكلان 1.4-2 و1.4-3 مثالين للإشارات الدورية واللادورية في ميداني الزمن والتردد.

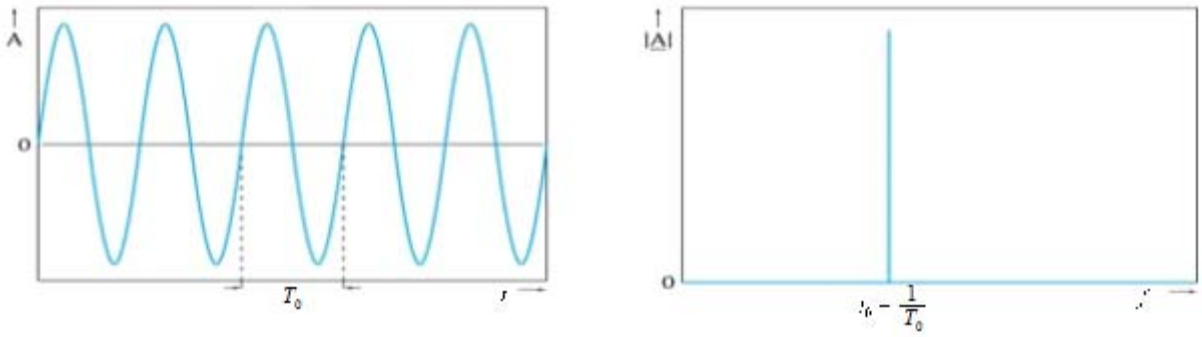
وتمثيل ميدان التردد مناسب بصورة خاصة لمراقبة إشغال القناة والتداخل والمنتجات التوافقية والبث الهامشي. وفضلاً عن ذلك، فإن عروض الطيف النمطية لمختلف أساليب التشكيل تتيح أحياناً إمكانية تمييز نمط التشكيل. ويساعد تمثيل ميدان الزمن في فهم اعتماد تبعية الزمن في اتساعات الإشارة وفي تحديد زمن القياس المطلوب (مثلاً لكاشف الذروة) من أجل القياس الصحيح لاتساع الإشارة. وعلى وجه التحديد، يساعد ميدان الزمن، لدى فحص البث من الأنظمة الرقمية، على قياس بارامترات تعدد الإرسال بتقسيم الزمن، مثلاً زمن الرشقة وزمن الخمول، وعدد فواصل الزمن المشغولة وانحدار القدرة.

الشكل 2-1.4

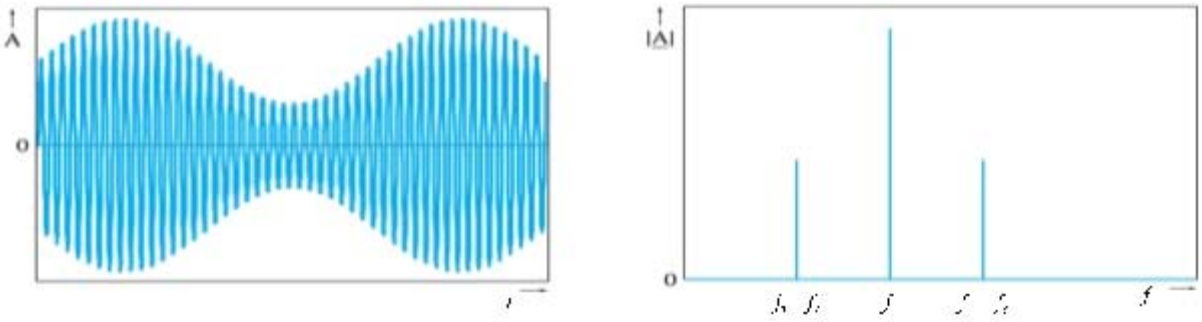
بعض الإشارات الدورية في ميداني الزمن والتردد

ميدان الزمن ميدان التردد

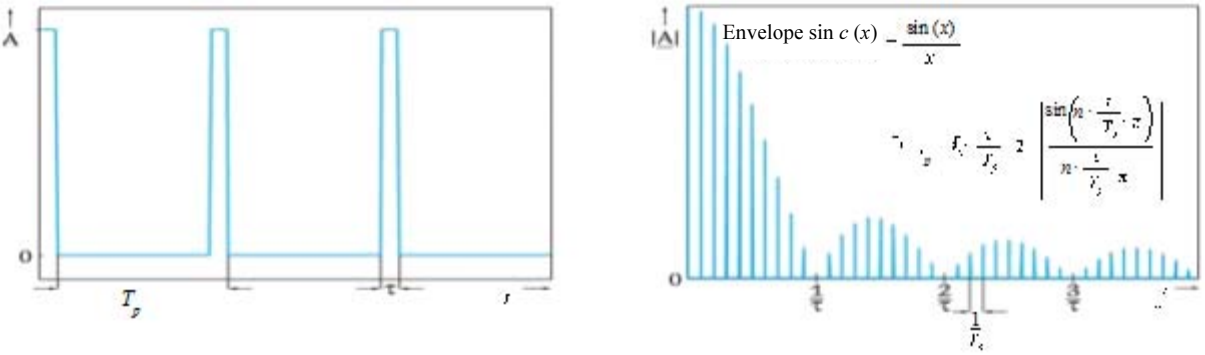
إشارة موجة جيبية



إشارة مشكلة الاتساع



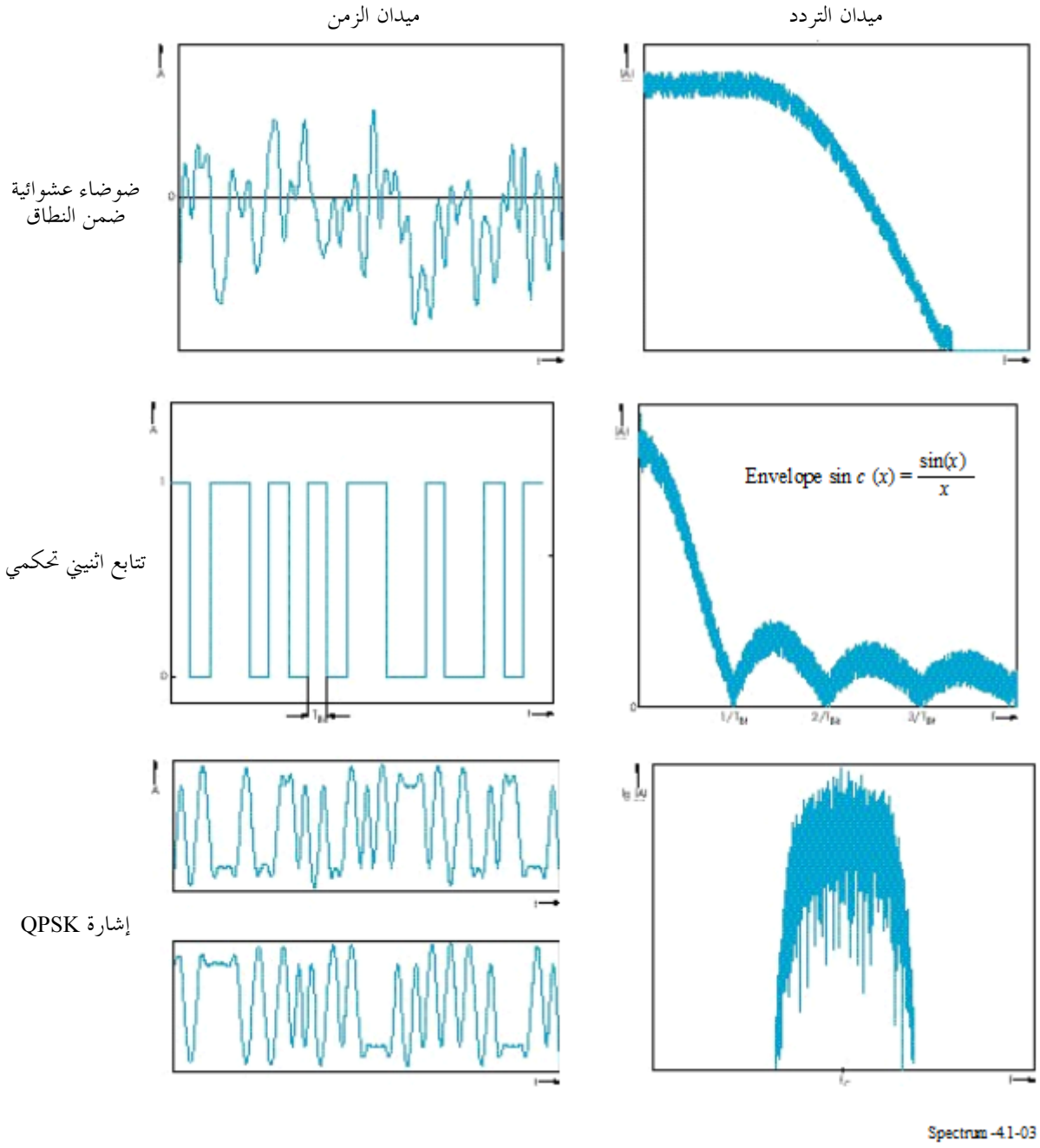
نبضات مستطيلة دورية



Spectrum-4.1-02

الشكل 3-1.4

بعض الإشارات اللادورية في مجالي الوقت والتردد



يتميّز تمثيل ميدان التردد بكونه مناسباً بشكل خاص لمراقبة إشغال القناة والتداخل والمنتجات التوافقية والبث الهامشي. وعلاوة على ذلك، فإن العروض النمطية للطيف في مختلف أساليب التشكيل تتيح أحياناً إمكانية تحديد نمط التشكيل. ويساعد تمثيل ميدان الزمن في فهم تبعية اتساعات الإشارة للزمن وفي تحديد زمن القياس المطلوب (مثلاً لكاشف الذروة) من أجل القياس الصحيح لاتساع الإشارة.

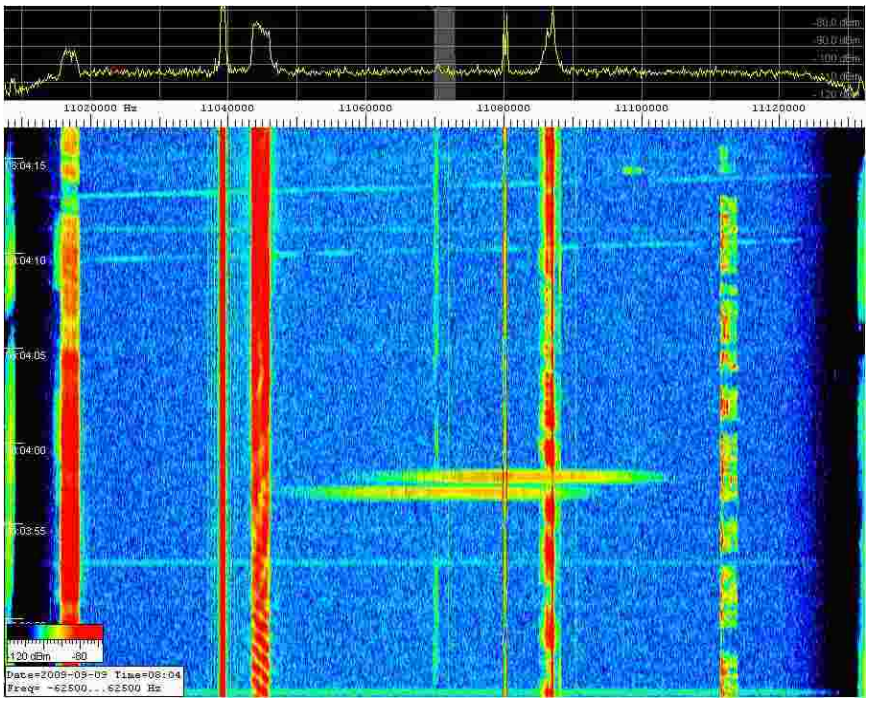
وعلى وجه التحديد، يساعد ميدان الزمن، لدى فحص البث من الأنظمة الرقمية، على قياس بارامترات تعدد الإرسال بتقسيم الزمن، مثلاً زمن الرشقة وزمن الخمول، وعدد فواصل المشغولة وانحدار القدرة.

وقد يكون ميدان الزمن مناسباً لكشف وتحليل الإشارات التي تتميز بمدة رشقة قصيرة أو التأثيرات العابرة التي لا يمكن كشفها بالمحلل التقليدي للطيف.

تناولت المناقشة أعلاه التردد مقابل الاتساع، والزمن مقابل الاتساع. وثمة وجهة نظر أخرى مفيدة لمراقبة الطيف تتمثل في الصورة الطيفية (انظر الشكل 4-1.4) مثلاً لتقييم انشغال الطيف الترددي. ويستند هذا التمثيل إلى تناول التردد مقابل الزمن. وفي وجهة النظر هذه يتم توفير قيم الاتساع بفضل مقياس لوني إضافي. وهذا التمثيل مفيد لالتقاط البث في النطاق العريض أو لتتبُّع بث بانجراف في التردد أو بث بقفزات في التردد.

الشكل 4-1.4

مثال للصورة الطيفية



Spectrum-4.1-04

2.3.1.4 القياسات (المتجهية) لميداني الاتساع والطور

تقوم معظم أنظمة الاتصالات الراديوية الرقمية بتشكيل طور الموجة الحاملة للتردد الراديوي (PSK، QPSK، وغير ذلك)، أو الطور والاتساع معاً (QAM). بيد أن ميدان التردد لا يستطيع أن يُظهر معلومات الطور. ويقتضي استرجاعها عادة عرض البث في رسم بياني في شكل كوكبة. ويمثل طول المتجِّه من المنشأ إلى كل نقطة من نقاط الرسم البياني للكوكبة اتساع الإشارة، في حين أن الزاوية بين المحور الموجب والمتجِّه (الزاوية الموجبة) تمثل الطور إذا قيست في اتجاه عكس عقارب الساعة، علماً بأن مكوِّن الطور الداخلي ("I") للإشارة يتم تمثيله على المحور X (الحقيقي) (REAL)، في حين أن المكوِّن التربيعي ("Q") يتم تمثيله على المحور Y–(التخيُّلي) (IMAG). وتستخدم محللات الإشارات المتجهية لإظهار الميدان الطوري لإشارة في بعض النقاط المحددة في مجال الزمن (انظر الشكل 4-1.4).

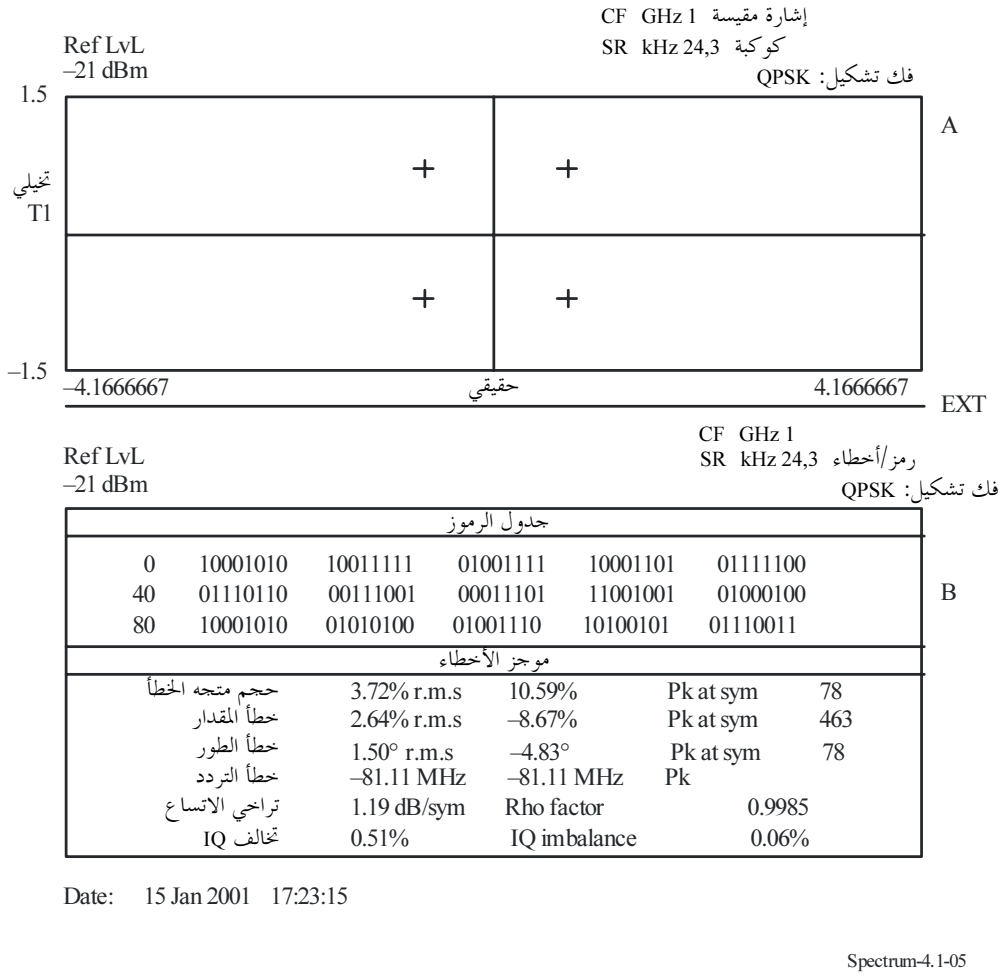
ويجب أن يكون تردد تكرار هذا العرض مساوياً لمعدل الرمز المرسل. كما يجب أن يتزامن المحلل مع الإشارة لكي يكون العرض مستقراً. وتيسيراً لهذا، يجب أن يكون نمط الإشارة، أو معدل الرمز على الأقل، معروفاً.

وفي الحالات البسيطة، عندما يكون أسلوب التشكيل ومخطط التشفير معروفين، يمكن إجراء التحليل في الوقت الفعلي. وبالتالي، تكون المحللات المتجهية الحديثة قادرة على عرض عملية تتابع الإشارات الإثنينية، أو سمات المعلومات المفككة الشفرة.

ولكن، إذا كان نظام التشكيل أكثر تعقُّداً، وكان أيٌّ من مخطط التشكيل أو التشفير غير معروف وقت استقبال الإشارة، يصبح من الضروري إجراء معالجة لاحقة من أجل الحصول على الشفرة المُرسَلة.

الشكل 5-1.4

إشارة QPSK في شكل رسم بياني لكوكبة (ميدان الاتساع – الطور)



4.1.3.3 تحليل تحويل فُورييه السريع FFT

تحويل فُورييه السريع (FFT) هو خوارزمية لتحويل البيانات من مجال الزمن إلى مجال التردد. ويرد وصف تقنية FFT بالتفصيل في الفقرة 7.6.

4.1.4 حالات عدم اليقين في القياس

ينبغي لكل نتيجة قياس، لكي تكون كاملة، أن يُرفق بها بيان عن حالات عدم اليقين. كما ينبغي أن تتولى محطة المراقبة مهمة تحديد عدم اليقين لكل نمط من أنماط القياس. ويجب أن يؤخذ البيان في الاعتبار عند إقرار الامتثال أو عدم الامتثال لحد تنظيمي ما. وتشمل القياسات التنظيمية قياس التردد وسويات الإشارات وعرض النطاق المشغول. وفي هذه الحالات، تحدد الحدود التنظيمية القِيَم القصوى لتخالف التردد والقدرة المشعة الفعّالة (e.r.p.) وعرض النطاق المشغول.

لمزيد من التفاصيل، انظر الفقرة 9.6 بشأن حسابات حالات عدم اليقين.

2.4 قياس التردد

1.2.4 اعتبارات عامة

أصبحت معالجة الإشارات الرقمية الآن (مثل تحويل فُورييه السريع (FFT) وقياس التردد الآني (IFM)) معممة في تجهيزات القياس. وقد أسفر هذا عن زيادة كبيرة في دقة القياس وسهولة التكيُّف، وبالتالي في سرعة القياس. وتجدر الإشارة هنا إلى التوصية ITU-R SM.377 لقياسات التردد.

وجميع قياسات التردد التي أجريت في محطات المراقبة هي عملياً قياسات تمت عن بعد، وتطلَّب إجراؤها الاستعانة بمستقبلات. ورغبة في الحصول على نتائج لا يمكن الطعن فيها، ينبغي أن تتوفر في المستقبلات الخصائص التالية:

- حساسية دخل عالية؛
- رفض مرض لتردد الصورة؛
- انخفاض التشكيل المتصالب والتشكيل البيني؛
- مراشيح دخل مناسبة (انتقاء مسبق) لحماية نطاق التردد المستخدم للقياس من الترددات غير المطلوبة؛
- دخل تردد خارجي معياري؛
- انخفاض ضوضاء الطور من المذبذبات الداخلية؛
- تحكُّم في الكسب إمّا يدوياً أوعن بعد أو أوتوماتياً؛
- شفافية خرج التردد المتوسط (IF) من أجل قياسات إضافية.

ويجب أن تكون الحمالة (الحمالات) الداخلية المستخدمة في الخلاط (الخلاطات) في المستقبل، مشتقة من معيار تردد.

وينبغي أن تتميز مولِّدات الإشارات الخارجية أو الداخلية لقياس التردد بالسمات التالية:

- أن تكون الإشارة مركبة معيار تردد؛
- ألا يتجاوز خطأ معيار التردد الداخلي 10^{-7} للتردد نفسه ولجميع خطوات التردد؛
- أن تكون أصغر خطوة 1 Hz أو أقل؛
- أن يكون هناك دخل معيار تردد خارجي من أجل 1 أو 5 أو 10 MHz؛
- أن تكون هناك إمكانية لحالة تأهُّب لتشغيل معيار التردد الداخلي؛
- أن يشمل مدى الترددات جميع الترددات التي يتعين قياسها؛
- أن يجري توهين التوافقيات بما لا يقل عن 30 dB؛
- أن يجري توهين اللاتوافقيات بما لا يقل عن 80 dB؛
- أن تكون ضوضاء الطور منخفضة (أقل من –100 dBc/Hz في الحالة التي يكون فيها تخالف التردد من الحمالة 10 kHz)؛
- أن تكون فُلطية الخرج متغيِّرة من 1 mV إلى 1 V فوق مقاومة تعادل 50 Ω.

الكميات المؤثرة التي يتعين أخذها في الاعتبار لقياس التردد هي:

- المذبذب المرجعي؛
- إجراءات القياس؛
- استبانة القراءة (مثلاً، عدد محدود من الأرقام)؛
- استقرار الإشارة المُراد قياسها؛
- مدة القياس بالنسبة إلى الإشارة المُراد قياسها.

إجراءات القياس المبينة أدناه هي أساليب يدوية إلى حد ما. وعلى الرغم من أن الأساليب المؤتمتة قد حلت محلها جزئيا، فإنها لا تزال مهمة للأغراض التالية:

- منشآت القياس البسيط والمنخفض التكلفة؛
- تدريب مشغلي المراقبة؛
- خدمة المراقبة في بداية تشغيلها؛
- الحالات التي تستلزم قياس إشارات ضعيفة و/أو متداخلة لأن النظام المؤتمت غالباً ما يفشل في هذه الظروف.

ويعني قياس التردد عادة عملية هدفها إجراء مقارنة بين تردد غير معروف وتردد معروف (تردد مرجعي). واستناداً إلى عملية المقارنة هذه، يتم تطبيق طرائق قياس التردد التالية في محطة مراقبة (تُستخدم بعض المختصرات في حينها تيسيراً لعملية الرجوع، وذلك فقط في الجدول 2.4-1):

- الطرائق التقليدية هي:
  - طريقة تردد الخفقان (BF).
  - طريقة تخالف التردد (OF).
  - طريقة Lissajous المباشرة (DL).
  - طريقة عدّاد التردد (FC).
  - طريقة مميِّز التردد (FD).
  - طريقة تسجيل الطور (PR).
  - طريقة محلل الطيف المكنوس (SSA).
- الطرائق القائمة على معالجة الإشارة الرقمية (DSP):
  - طريقة قياس التردد الآني (IFM).
  - طريقة تحويل فُورييه السريع (FFT).

ملاحظة 1 - ينبغي تفضيل استخدام طرائق DSP في محطات المراقبة الدولية.

يبيِّن الجدول 2.4-1 طرائق قياس التردد الممكن تطبيقها باعتبارها دالَّة معتمدة على نمط البث.

الجدول 1-2.4

طرائق قياس التردد

	BF	OF	DL	FC	FD	PR	SSA	IFM	FFT
الحمالة المتواصلة (NON)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
الإرسال البرقي بطريقة مورس (A1x)	X	X	X		X		X	X	X
الإرسال البرقي بطريقة مورس (A2x؛ H2x)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
الإرسال البرقي اللاسلكي (F1B؛ F7B)	X	X	X		X		X	X	X
الإرسال بطريقة الفاكس (F1C)	X	X	X		X		X	X	X
الإذاعة والطريقة الهاتفية اللاسلكية (A3E)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
الإذاعة والطريقة الهاتفية اللاسلكية (H3E؛ R3E؛ B3E)	X	X	X		X	X	X	X	X
الإذاعة والطريقة الهاتفية اللاسلكية (F3E)				X	X		X	X	X
الطريقة الهاتفية اللاسلكية (J3E)							X		X
الإذاعة الرقمية (COFDM)							X		X
الإذاعة التلفزيونية التماثلية (C3F)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
المُرحِّل الراديوي FDM (F8E)				X			X	X	X
الإشارات الرادارية النبضية					X		X	X	X
الأنظمة الهاتفية اللاسلكية (F1D، F2x، F3E، G3E)							X	X	X
الأنظمة النقطية - المتعددة النقاط TDMA							X	X	X
الأنظمة الهاتفية الخلوية							X	X	X

ينبغي لطريقة تحديد دقة قياسات التردد تلبية الشروط التالية:

- أن تتم القياسات في ظروف استقبال مثلى، وذلك لتفادي حدوث أيِّ متغيِّرات جديدة بسبب خبوٍّ أو تداخل.
- ألا تكون القيَم الحقيقية للتردد المُراد قياسه معروفة للمشغلين، بقدر الإمكان، تفادياً لإغرائهم باتجاه تصحيح النتائج المحرزة.
- أن يجري، تيسيراً لتلبية الشروط المذكورة أعلاه، استخدام الترددات المعروفة المولَّدة محلياً بدلاً من إرسالات التردد النمطية المنتشرة.
- أن تبيِّن الطريقة خطأ طريقة القياس (باستثناء الخطأ الذي يُعزى للمعيار) لا الأخطاء الجزئية.
- أن يُحدَّد الخطأ لكل صنف، لأنه ربما يكون مختلفاً بالنسبة لمختلف أصناف الإرسال.
- أن يكون من الممكن معالجة النتائج إحصائياً، لأن الخطأ سيختلف من قياس إلى آخر بالنسبة لصنف معين من البث، علماً بأن الأخطاء لا يمكن أن تكون أقل من التمييز في تجهيزات القياس.
- أن تحدد النتائج المحرزة الخطأ أو الطريقة المستخدمة لصنف معين من البث، وأن يُستبعَد الخطأ الذي يعزى لعوامل معيارية.
- أن يُبيَّن الخطأ لكلٍّ من العوامل ذات الصلة عندما توصف دقة نظام القياس (معيار التردد بالإضافة إلى أجهزة القياس وطريقته). وبالتالي يكون الخطأ الأقصى للنظام كله عبارة عن مجموع القيم المطلقة للأخطاء التي تعزى لعوامل معيار التردد وطريقة القياس.

وقياسات التردد معرَّضة للأخطاء، شأن كل قياس آخر. ويجب النظر في المسائل التالية:

- الأخطاء التي تعزى إلى طريقة القياس ($\Delta f_M/f$)؛
- الأخطاء التي تعزى إلى تشكيل الإشارة المُراد قياسها ($\Delta f_{mod}/f$)؛
- الأخطاء من التردد المرجعي لترتيب القياس ($\Delta f_R/f$)؛
- الأخطاء التي تعزى إلى الخصائص التقنية لترتيب القياس بما في ذلك عدم دقة القراءة ($\Delta f_A/f$)؛
- الأخطاء على مسير الإرسال (انظر أدناه) ($\Delta f_T/f$).

ويمكن تقدير الخطأ الأقصى $\Delta f/f$ من مجموع الأخطاء الإفرادية:

$$\Delta f/f = \pm\left(|\Delta f_T/f| + |\Delta f_R/f| + |\Delta f_M/f| + |\Delta f_A/f| + |\Delta f_{mod}/f|\right) \quad (4.2\text{-}1)$$

إن دقة قياسات التردد في النطاق 7 (HF)، وإلى حد أقل حتى في النطاقات 6 (MF) و5 (LF) و4 (VLF)، ليست محدودة بسبب طريقة قياس نمط تشكيل المرسل فحسب، بل أيضاً بسبب تغيُّرات التردد الناجمة عن مسير الإرسال. ولدى إجراء الاختبارات في النطاق 7 (HF)، شوهدت في الليل انحرافات وصلت إلى ± 3 أجزاء في 10^{12} بين الترددات الواردة والترددات الإشعاعية الصادرة، في مسير الإرسال لما يزيد عن 000 1 كيلومتر. وهناك أيضاً تغيُّر متوسط نهاري في الترددات. ويُتوقَّع حدوث أصغر الاختلافات عندما يكون المُرسِل والمستقبِل في منطقة ضوء النهار. وفي هذه الحالة، غالباً ما تكون الانحرافات أقل من 3 أجزاء في 10^8. وتوجد تغيُّرات نهارية أيضاً مع الإرسالات في النطاقين 5 و4. وتكون لتغيُّرات في هذه الحالة عادة في حدود جزء واحد في 10^9 شرط ألا تتجاوز مسافة الإرسال بضع مئات من الكيلومترات. بيد أن هذه التقييدات قليلة الأهمية في كثير من الحالات.

2.2.4 طرائق قياس التردد التقليدية الأكثر شيوعاً المستخدمة في محطات المراقبة الدولية

1.2.2.4 طريقة Lissajous المباشرة

تُطبَّق هذه الطريقة للقياس في خرج التردد المتوسط IF في المستقبِل. وإذا تم تحديد ترددات مذبذبات المستقبِل بواسطة مركب للترددات محكوم بذبذبة كوارتز، فإن إزاحة التردد المتوسط IF من قيمته الاسمية تعادل إزاحة التردد المستقبَل من التردد المحدد. ولقياسات التردد يطبَّق خرج المستقبل في مرحلة التردد المتوسط على المضخِّم Y، كما يطبَّق تردد محكوم بذبذبة كوارتز (مناظر لقيمة IF الاسمية) على المضخِّم X (انظر الشكل 2.4-1).

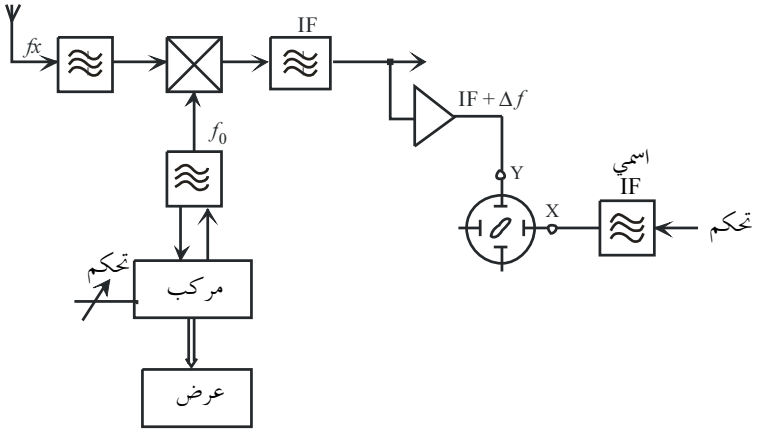
ويسفر هذا عن عرض شكل بيضاوي على الشاشة. وإذا كان مركب التردد مزوَّداً بمقياس استكمال، يلزم إجراء القياس عندما يبدو الشكل البيضاوي ثابتاً.

2.2.2.4 طريقة عدّاد التردد

إن دقة عداد التردد مقيَّدة بحدود ± 1 من الرقم الأخير، بغض النظر عن السمة المتمثلة في عدم الدقة الذاتية للمعيار الكوارتزي. وتتطلب عدادات التردد، للعمل بشكل صحيح، مُدخَل فلطية نظيفة وعالية بقدر كاف طوال فترة القياس.

الشكل 2.4-1

طريقة Lissajous المباشرة



Spectrum-4.2-01

تتمثل أحدث التقنيات في أجهزة الاستقبال التي يتم تركيب واشتقاق ترددات المذبذب فيها من معيار تردد داخلي. ولذا فإن تردد الدخل، الذي يساوي ضبط التردد في المستقبل، سيتم تحويله إلى القيمة الاسمية للتردد المتوسط (IF). وبالتالي فإن عداد التردد المتوسط، الذي يتم تصحيح قراءته بتردد (أو ترددات) المذبذب المستخدم، سيبيِّن تردد الدخل.

وبالنظر إلى خاصية عداد التردد التكاملية، تعتبَر هذه الطريقة مناسبة جداً لقياس إشارات تشكيل التردد FM، طالما أن وقت بوابة العداد يظل أطول بكثير من مدة تردد التشكيل الأدنى.

3.2.2.4 طريقة محلل الطيف المكنوس

يُستخدَم محلل الطيف المكنوس أحياناً كثيرة في محطات المراقبة لقياس ترددات الإشارات المستقبلة. ويستخدم المذبذب المركب، الذي يُشتق تردد خرجه من معيار تردد داخلي أو خارجي، لتوليف محلل الطيف الحديث.

وخلافاً لمعظم عمليات التشكيل التماثلية، من الصعب في حالة بعض عمليات التشكيل الرقمي أن يتم العثور على تردد مميز في طيف الإرسال (مثلاً، الموجة الحاملة في عديد من حالات التشكيل التماثلي). ويمكن حساب تردد مركزي في هذه الحالات من القيمتين العليا والدنيا لعرض النطاق المشغول (انظر الشكل 2.4-2).

الملاحظة 1 – يرد وصف قياس عرض النطاق المشغول في الفقرة 5.4.

يُعبَّر عن التردد المركزي على النحو التالي:

$$f_c = (f_l + f_u)/2 \qquad (4.2\text{-}2)$$

حيث:

f_c: التردد المركزي للأطياف

f_l: قيمة التردد الأدنى لعرض النطاق المشغول

f_u: قيمة التردد الأعلى لعرض النطاق المشغول

3.2.4 طرائق قياس التردد القائم على معالجة الإشارات الرقمية (DSP) المستخدمة في محطات المراقبة الدولية

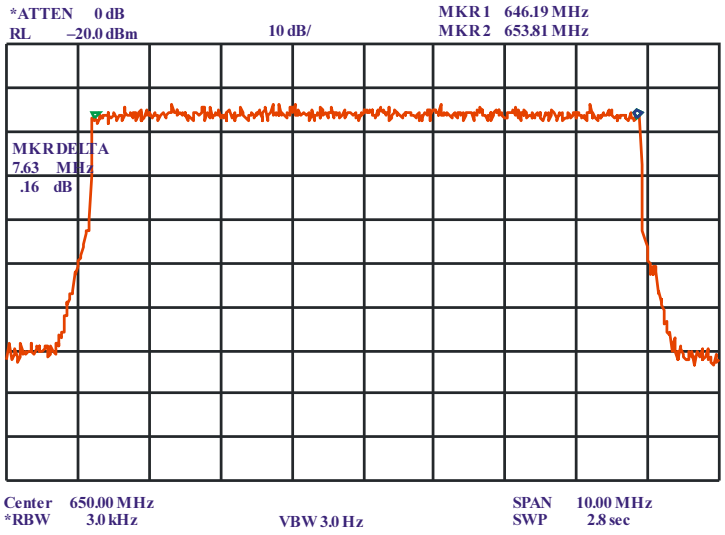
1.3.2.4 طريقة قياس التردد الآني

نظراً لفوائد التقنيات الرقمية في القياس، والتقدم المحرز في تقنيات التقاط الإشارة ومعالجتها، أصبح من الممكن من الآن فصاعداً أن يتم في محطات المراقبة تحقيق مستوى عال من الدقة مع الحفاظ على سرعة قياس لا بأس بها.

وعلى وجه التحديد، يمكن باستخدام المستقبلات الرقمية للقياس كمحاسيس مجهزة بإمكانيات لمعالجة الإشارات الرقمية واستخدام تقنيات قياس مثل قياس الترددات الآنية (IFM)، ضمان مستويات الدقة والأداء السريع، مع توفير مزايا عديدة في الوقت ذاته: دقة الأداء وإمكانية تكرار القياسات ووظائف حساب المتوسط، والترشيح، وأتمتة القياس، وما إلى ذلك.

الشكل 2-2.4

أطياف إشارة DVB-T



Spectrum-4.2-02

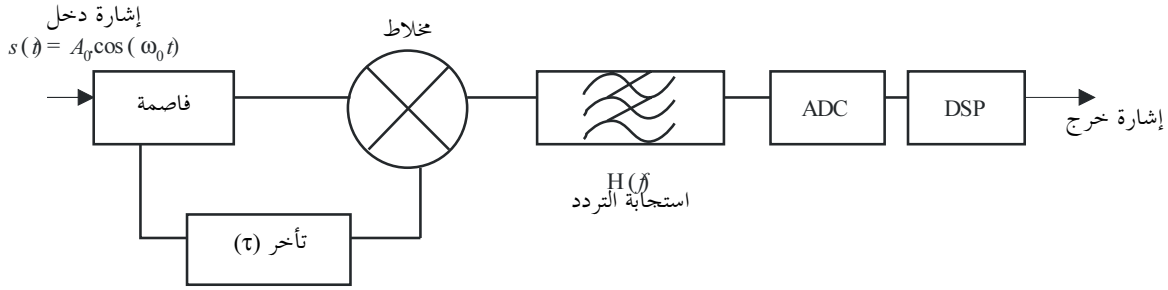
1.1.3.2.4 المبدأ

يتمثل مبدأ من مبادئ تقنيات قياس التردد الآني (IFM) في عملية الترابط التلقائي للإشارة المُلتَقَطة. ويجري بعد الترشيح رقمنة نتيجة العملية ومعالجة الإشارة الرقمية (DSP) لتحديد تردد الإشارة بالضبط.

ويمكن توضيح المبدأ الأساسي بالرسم البياني التالي:

الشكل 3-2.4

المبدأ الأساسي لتقنية قياس التردد الآني



Spectrum-4.2-03

تتمثل معالجة الإشارات، في مجال الزمن، في تقسيم إشارة الدخل إلى إشارتين.

وفيما بعد يتم خلط الإشارة نفسها والإشارة المؤخرة ذاتها. وتسفر هذه العملية عن حدَّين رياضيين على النحو التالي:

$$S_{MixOUT}(t) = \left(\frac{A_0}{2}\right)^2 \left[\cos(\omega_0 \tau) + \cos(2\omega_0 t - \omega_0 . t . \tau)\right] \quad (4.2\text{-}3)$$

الحد الأول متناسب مع التردد والتأخُّر المطبق على الإشارة، في حين أن الحد الثاني يمثل التوافقية الثانية للإشارة المكبوتة بمرشاح التمرير المنخفض.

وعلى إثر الرقمنة، يمكن تقدير التردد الآني بواسطة DSP وفقاً للعلاقة التالية:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\tau} \arccos\left[\frac{8 . s_{MixOUT}(t)}{A_0^2 . H(f_0)}\right] \quad (4.2\text{-}4)$$

ويمكن وصف مبدأ آخر لقياس التردد الآني IFM كتحليل لطور الإشارة.

وتتم رقمنة إشارة الدخل، وترشيحها وإزالة تشكيلها في I/Q.

ويجري تقدير طور الإشارة الآني φ عن طريق حساب قوس التماس Arctg (Q/I) لكل عينة. ويتم استنتاج تردد الإشارة الآني من العلاقة التالية:

$$f_n = \frac{\varphi(n) - \varphi(n-1)}{2\pi\tau_s} \quad (4.2\text{-}5)$$

حيث τ_s هي مدة العينة.

ويمكن حساب التردد المركزي للدخل بمعالجة متوسط الترددات الآنية المحسوبة.

2.1.3.2.4 أداء تقنيات قياس الترددات الآنية (IFM)

من الممكن عادة إحراز نتيجة قياس في كل ثانية، وحتى في أقل من ثانية واحدة (200 ميلليثانية) مع الحفاظ على دقة في حدود 1 Hz، وحتى أفضل من ذلك بكثير في حمالات نقية أو حمالات إشارات مع تشكيل الاتساع.

وأوقات القياس هذه تتوافق مع إشارات التردد المركزي ذات الانسياق البطيء وتجعل من الممكن تبيُّن خصائص الانسياق عن طريق إجراء قياسات متتالية.

وتُيسِّر تقنيات معالجة الإشارات الرقمية إجراء القياسات بدقة عالية جداً مع إمكان تكرارها بتكاليف معقولة. فيمكن بسهولة بلوغ دقة في حدود 10^{-10} في حمالة نقية، بشرط إرجاع تجهيزات القياس إلى معيار ترددي مناسب. وتوجد حالياً معايير ترددات بتحكُّم GPS (النظام العالمي لتحديد الموقع) مقابل جزء صغير جداً من السعر الذي كان مطلوباً في الماضي لمعايير الروبيديوم، بحيث يمكن الآن تحقيق دقة عالية دون تكلفة زائدة في محطات المراقبة الثابتة والمتنقلة على السواء. كما يمكن باستخدام معيار تردد GPS حل مشكلة تتبُّع القياسات والتحقق المتواتر من دقة مركب التردد في المرسل.

ولذا، يمكن أن تبلغ دقة قياسات التردد في محطات المراقبة الحديثة 1 Hz تقريباً من 9 kHz إلى الترددات الديسيمترية (UHF) (3 GHz) في حمالات نقية. وهذا الأداء متوافق ومطلوب حتى لو اقتصر ذلك على التحقق من أحد احتياجات دقة التردد الأكثر صرامة الوارد وصفها في توصيات قطاع الاتصالات الراديوية، أي ضبط ترددات أجهزة البث التلفزيوني التماثلي في الشبكات العالية الكثافة (التوصية ITU-R BT.655).

وتتوقف دقة قياسات التردد في إشارات مشكّلة عشوائياً على إحصاءات الإشارة ومدة العينة. وتكون دقة الإشارة المشكلة عشوائياً أدنى بحدود مقدار واحد مقارنة بموجة جيبية نقية (±10 Hz عند تثبيت معيار التردد على 10^{-10}). بيد أن التجربة والمحاكاة تبيِّنان أن قيم مدة القياس الموصى بها أعلاه تكفل دقة قياس التردد على الأقل بمقدار أفضل - حتى بالنسبة إلى الإشارات المشكلة عشوائياً – مقارنة بالدقة المطلوبة للمرسلات فبمختلف فئات الخدمات المحددة في لوائح الراديو.

وينبغي إجراء المعايرة والتحقق من الدقة على إشارات موجات جيبية نقية لتحقيق توصيف قابل للتكرار بشأن أداء محطة المراقبة.

وينبغي أيضاً أن يوصى بحد أدنى لعرض نطاق الاحتياز الآني من أجل قياس التردد في محطات المراقبة، بحيث يمكن استيعاب الإشارات المراد قياسها استيعاباً كلِّياً في مرشاح القياس. وينبغي عملياً إجراء القياس في مرشاح واسع إلى درجة كافية لاحتواء البث المزمع قياسه، ولكن ضيِّق أيضاً إلى درجة كافية لنبذ أيِّ مساهمات من إرسالات مجاورة.

وتشمل المستقبلات الحديثة عدة مراشيح (10 أو أكثر غالباً) كافية عادة لتوفير عملية ترشيح جيدة للإشارات العادية. بيد أنه ينبغي الحذر في اختيار تجهيزات ذات نطاق عريض إلى حد كاف لاستيعاب الإشارات المراد مراقبتها. وبما أن إحدى الإشارات الأكثر شيوعاً المزمع مراقبتها تتمثل في بث تشكيل التردد FM، الذي ينبغي ألا يتجاوز انحراف تردد قدره ±75 kHz، يمكن أن يشترط المرء أن يتوفر في محطة المراقبة على الأقل عرض نطاق ترددات آنية من ±200 kHz إلى ±300 kHz تقريباً، علماً بأن عرض نطاق التردد البالغ ±300 kHz متوافق مع العديد من الإشارات الرقمية الحديثة، بما فيها GSM، ولكن لا يشمل هذا إشارات من قبيل إشارات DAB، أو IS95 أو بعض الأنظمة العالية السرعة من نقطة إلى نقطة أو من نقطة إلى نقاط متعددة، مثل تجهيزات الهاتفية الريفية التي تُستخدَم بما هو دون 3 GHz ويكفيها عادة أن يكون نطاق التردد 2 MHz. ونظراً إلى أن عرض النطاق الأعلى يتطلب أجهزة رقمنة ومعالجة أكثر تكلفة، يمكن أن يوصى بالنسبة لعرض نطاق الحيازة الآنية من أجل القياس بلوغ القيم التالية بحسب أهداف محطات المراقبة:

- حوالي ±200 kHz لمحطة المراقبة من الدرجة المنخفضة التي تغطي من 9 kHz إلى 3 GHz؛
- حوالي ±2 MHz لمحطة المراقبة من الدرجة الرفيعة التي تغطي من 9 kHz إلى 3 GHz.

وقد يكون من المستصوب في بعض الحالات استخدام عرض نطاق ترددات آنية أعلى مثلاً من ±8 MHz إلى ±10 MHz لا سيما في حالة المراقبة التي تتجاوز 3 GHz أو في حالة مراقبة إشارات إذاعة فيديوية رقمية أو W/CDMA.

2.3.2.4 طريقة تحويل فُورييه السريع

طريقة تحويل فُورييه السريع (FFT) هي طريقة فعالة لتحويل الاتساع الرقمي مقابل سجل الزمن إلى الاتساع مقابل العرض الطيفي للتردد، وهي طريقة مناسبة يمكن تحقيقها باستخدام مُعالِج صغري.

وينبغي أن تتوفر في محللات FFT لقياس التردد السمات التالية:

- مقدرة ZOOM FFT للتردد المتوسط للمستقبل المستخدم، أو استبانة تردد عالية للمرسل؛
- مقدرة النافذة (Windowing-) Hann-؛

- دخل تردد خارجي معياري من أجل 5 أو 10 MHz؛
- استبانة لا تقل عن 16 بتة؛
- استيفاء مدى الترددات لتغطية مدى الترددات IF في المستقبل المراد قياسها؛
- سطح بيني للتحكم عن بعد؛
- إمكانيات حساب المتوسط لقياس ترددات الإشارات الضوضائية.

ويستخدَم تحويل فورييه السريع حالياً بصورة عادية في تجهيزات القياس (المستقبل أو محلل الطيف). ويمكن، لتحقيق دقة تردد أفضل، استخدام معيار تردد عن طريق جهاز استقبال GPS مدمج في تجهيزات. كما يمكن تحقيق استبانة ممتازة باستخدام FFT-ZOOM مع وظيفة مقدرة 'النوفذة' Hann-weighting (انظر الفقرة 7.6).

وتتوفر إمكانية لزيادة استبانة قياس التردد على أساس تحويل فُورييه السريع بتقدير لحساب عد التردد الصحيح من قدرة خطوط الطيف المحيطة بالذروة المكتشفة في طيف القدرة.

$$\text{Estimated frequency} = \frac{\sum_{i=j-3}^{j+3} (\text{Power}(i) \cdot i \cdot \Delta f)}{\sum_{i=j-3}^{j+3} \text{Power}(i)} \tag{4.2-6}$$

حيث:

j: مؤشر الصفيف لذروة التردد الظاهرة المعنية

$$F_s/N = \Delta f$$

حيث:

F_s: تردد الاعتيان،

N: عدد النقاط في إشارة مجال الزمن المكتسبة.

إن الباع $j \pm 3$ معقول لأنه يمثل انتشاراً أوسع من الفص الرئيسي لنافذة Hann المستخدمة عادة. ومن شأن هذا الحساب أن يخفض وقت القياس إلى حد كبير.

مزايا نظام القياس القائم على تحويل فُورييه السريع:

- استبانة الترددات العالية جداً والدقة؛
- إمكانية قياس ترددات إشارات القنوات المشتركة؛
- سرعة أكبر لعرض نطاق الاستبانة الضيق؛
- تحسُّن حساسية المستقبل واستبانة الإشارة مقارنة بمرسل تماثلي (على أساس ظروف قابلة للمقارنة وتحليل الإشارة).

ويمكن تحقيق المزايا الإضافية التالية في عملية تنفيذ معيّنة:

- سهولة التوليف والتكيف مع نطاقات التردد المزمع مراقبتها (عبر مطراف حاسوب)؛
- مرونة عالية فيما يتعلق باعتماد نطاقات التردد المختلفة؛

- التخزين الرقمي لبيانات الطيف؛
- موثوقية عالية نظراً لقلة عدد المكونات الآلية؛
- إمكانية استنساخ جميع مواضع النظام نتيجة المعالجة الرقمية؛
- إمكانية نقل البيانات عبر خطوط الهاتف من أجل إجراء تقييم إضافي و/ أو معالجة إضافية لمصلحة مستخدمي الطيف من الأفراد والمكاتب المركزية، وغير ذلك.

الملاحظة 1 - يجب أن يؤخذ في الحسبان وضع الأطياف في خرج التردد المتوسط للمستقبل عند حساب التردد الصحيح.

لمزيد من التفاصيل بشأن معالجة تحويل فُورييه السريع انظر الفقرة 7.6: "تحويل فورييه السريع".

يوضِّح الشكل 2.4-4 قياس تردد إشارة مستقرة حتى على مسافات (فصل) ترددات منخفضة جداً.

4.2.4 مرحلة التحكُّم الكوارتزي لتجهيزات قياس التردد إزاء تردد معياري

يتم تزويد جميع أجهزة قياس التردد بمعيار كوارتزي، بغض النظر عما إذا كان من الممكن معايرة مقياس مذبذب متغيِّر في نقاط معينة عن طريق مقارنة مع توافقيات، أم إذا كان التردد النهائي مشتقاً من المعيار الكوارتزي، على غرار مركبات التردد.

ويتوقف تردد الخرج لمرحلة التحكُّم الكوارتزي على درجة الحرارة المحيطة وفلطية التشغيل.

وحتى بعد فترة الإحماء، يُظهر المولِّد الكوارتزي تغيُّراً ثابتاً في تردد الخرج.

وفي الوقت الحاضر، يتراوح مقدار هذه التغيُّرات من 10^{-8} إلى 10^{-12}.

ويتراوح التغيُّر الثابت في التردد الكوارتزي في حالة الجهاز الجيد من 10^{-10} إلى 10^{-9} في اليوم بعد فترة إحماء مستمرة مدتها عدة أسابيع.

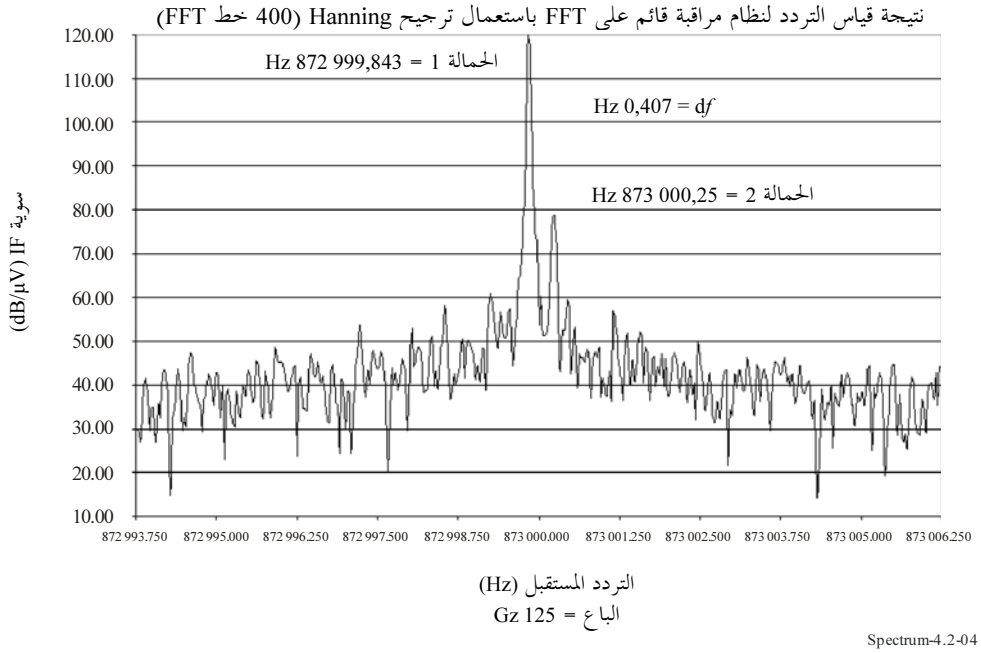
وبالتالي، يجب مقارنة مراحل التحكّم الكوارتزي للجهاز بصورة متكررة مع معيار تردد، أو يجب التحكُّم بها بواسطة إرسال تردد معياري.

والبديل للمقارنة الدورية هو قفل التحكُّم الكوارتزي بشكل دائم على معيار ذرِّي، وبذلك يمكن دمج الاستقرار القصير الأجل للمذبذب الكوارتزي مع الاستقرار الطويل الأجل للمعيار الذرِّي.

وفي الأجهزة ذات الدقة العالية للقياس، ينبغي تشغيل المذبذب الكوارتزي الخارجي، أو على الأقل فرن المذبذب الداخلي، تشغيلاً مستمراً لتفادي تأثيرات الإحماء المزعجة وانقطاع معدل التقادم.

الشكل 4.2-4

طيف تحويل فُورييه السريع لقناة إذاعية هكتومترية (MF)
(الباع 12,5 Hz؛ الاستبانة 400 خط)



بيبليوغرافيـــا

Application Note 150 [2000] Spectrum Analysis Basics. Agilent Technologies, Polo Alto, United States of America, downloadable at: http://www.agilent.com/.

Application Note 243 [2000] The fundamentals of signal analysis. Agilent Technologies, Santa Rosa, United States of America, downloadable at: http://www.agilent.com/.

Application Note 1298 [2001] Digital Modulation in Communications Systems – An Introduction. Agilent Technologies, Santa Rosa, United States of America, downloadable at: http://www.agilent.com/.

ITU-R Handbook [1997] Selection and Use of Precise Frequency and Time Systems. Geneva.

KUSTERS J. A. [December 1996] The Global Positioning System and HP Smart Clock. *Hewlett-Packard J.*

توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

ملاحظة – يُشجَّع في كل حالة استخدام آخر طبعة من التوصية.

التوصية ITU-R SM.377 – دقة قياسات التردد في محطات المراقبة الدولية.

التوصية ITU-R BT.655 – نسب حماية التردد الراديوي من أجل أنظمة تلفزيون للأرض ذات تشكيل اتساع بنطاق جانبي متبق وتعاني من التداخل الناجم عن إشارات مرئية تماثلية غير مطلوبة وإشارات صوتية مصاحبة لها.

التوصية ITU-R TF.768 – الترددات المعيارية والإشارات الزمنية.

3.4 قياس مستوى الترددات الراديوية (RF)

1.3.4 مقدمة

على الرغم من أن محطات المراقبة تتطلب في كثير من الحالات معرفة شدة المجال أو كثافة تدفق قدرة إرسال RF، فإن المعلمة الوحيدة التي يمكن قياسها بشكل مباشر هي سوية RF، إمّا من حيث فلطية دخل المستقبل أو قدرة الدخل. وفي ظروف معيّنة، يمكن حساب شدة المجال من نتيجة قياس السوية.

ويمكن إجراء قياسات سوية RF للإرسالات المستمرة إمّا بمستقبل للقياس أو بمحلل للطيف. بيد أن بعض الاعتبارات تنطبق في حالة تشكيل الإشارة المراد قياسها. وفضلاً عن ذلك، فإن الإشارات التي يجري تشكيلها رقمياً تستخدم في كثير من الأحيان تعدد النفاذ بتقسيم الزمن (TDMA) و/أو الإرسال المزدوج بتقسيم الزمن (TDD). وتكون الإرسالات الناتجة نبضية، مما يزيد من تعقيد قياس سوية RF. ويرد في القسم 3.4 وصف الطرائق والتجهيزات التي يتعيّن على خدمة المراقبة استخدامها لقياس سوية RF للإشارات المستمرة والنبضية.

2.3.4 مكاشيف القياس

تكون مستقبلات القياس ومحللات الطيف قادرة عادة على تفسير أو وزن سوية RF باستخدام مكاشيف مختلفة للقياس. وعلى الرغم من أن الاتساع الآني لإشارة RF يتغيَّر باستمرار، فإن المكشاف ينظر إلى الاتساع الآني لوقت معيَّن (زمن القياس)، ويعرض قيمة مفردة وحيدة كنتيجة لذلك. وفيما يلي أهم المكاشيف المستخدمة:

– *مكشاف الذروة (Pk)*

يختار مكشاف الاتساع أعلى قيمة من بين قيم الاتساع الآني كافة في وقت القياس ويتر جميع القيم الأخرى.

– *مكشاف جذر متوسط التربيع (RMS)*

يقوم هذا المكشاف بحساب القدرة المتوسطة من جميع سويات RF الآنية. وهي مكافئة للقدرة الحرارية للإشارة RF.

– *مكشاف المتوسط (AV)*

يحسب مكشاف المتوسط فلطية الدخل المتوسطة من جميع سويات RF الآنية.

– *مكشاف شبه الذروة (QP)*

يقوم مكشاف شبه الذروة بدمج تكاملي لجميع سويات RF الآنية كشبكة وزن بأوقات صعود وهبوط محددة للإشارات النبضية. ويرد تعريف خصائصه في المعيار CISPR-16 الصادر عن اللجنة الدولية الخاصة بالتداخل الراديوي.

– *مكشاف العينات (SA)*

يُعتبر هذا في كثير من الأحيان الكاشف المعياري في محللات الطيف. وفي حالة محللات الطيف المكنوس، يكون زمن قياس كل إشارة عبارة عن الوقت الضروري للكنس من نقطة عرض إلى النقطة التالية (*زمن الكنس/عدد نقاط العرض على المحور x*). ومن جميع السويات الآنية المتاحة خلال هذا الوقت، يتم اختيار السوية الأولى فقط وتُبتَر جميع السويات الأخرى.

ومن المهم فهم أن مكاشيف الذروة ومكشاف RMS تُبيِّن سوية RF *الفعّالة*. وهذا يعني أن قراءة مكشاف الذروة ستبيِّن قيمة جذر متوسط التربيع للإشارة الجيبية ذات سوية الذروة نفسها للإشارة الخاضعة للقياس، أي $U / \sqrt{2}$.

يُبيِّن الشكل 3.4-1 مثالاً للسوية المبينة للمكاشيف المختلفة عند قياس إشارة RF تتمتع بتشكيل اتساعي AM بنسبة 100%.

3.3.4 تعاريف السويات

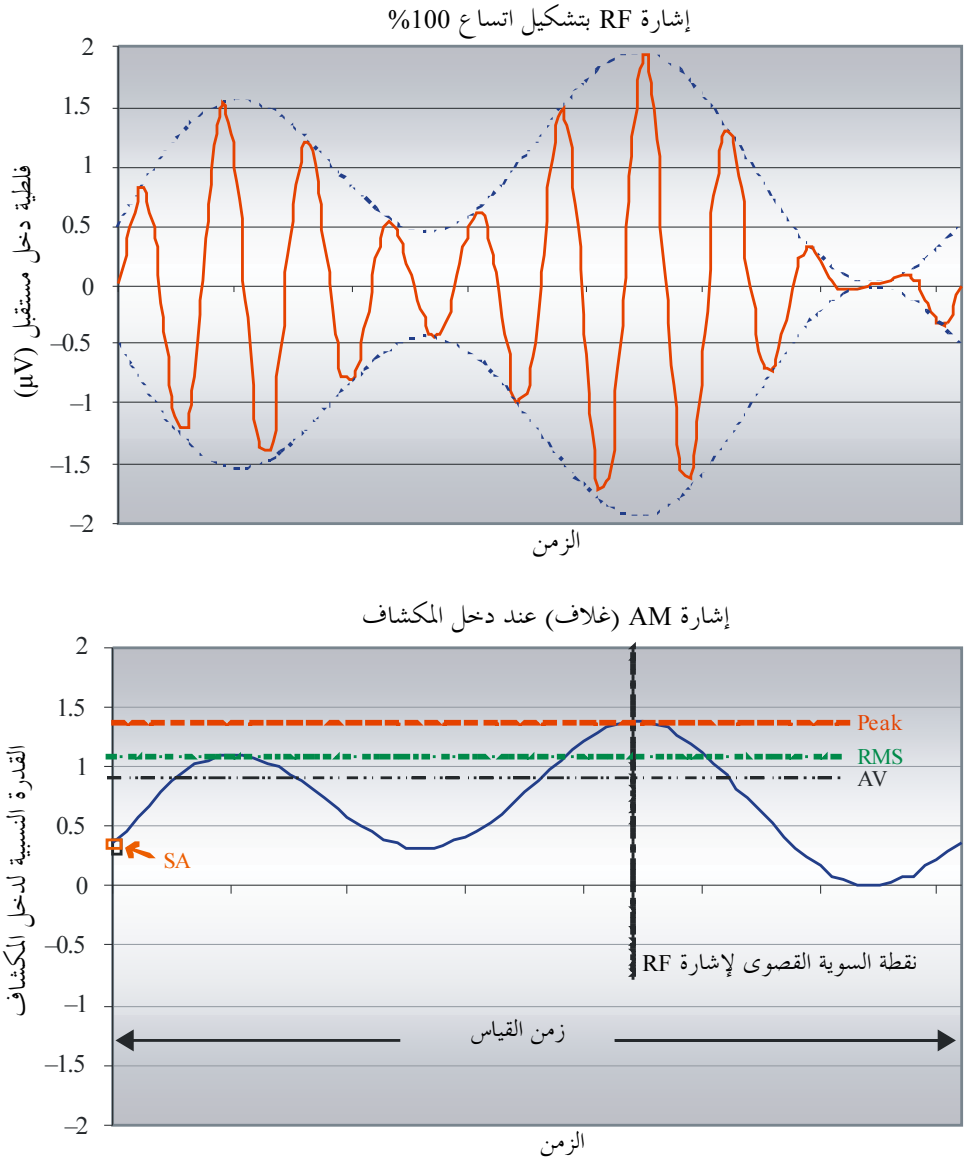
إن العديد من عمليات التشكيل التماثلية والرقمية مثل AM وASK وPSK وQAM وOFDM تُغيِّر من اتساع إشارة RF. ولذا، يجب عند قياس هذه الإشارات النظر في نوع السوية التي ينبغي قياسها. وفيما يلي السويات المهمة في هذا الصدد:

– *مستوى الذروة:*

هذه هي أقصى سوية للإرسال. وهي مهمة عندما تُعتبَر الإشارة متدخلة، لأن سوية الذروة عادة تحدد درجة التداخل. وهي تقاس بمكشاف الذروة ودالّة الاستبقاء الأقصى MaxHold (في حالة استخدام محلل للطيف). وإجراءات القياس هي الإجراءات نفسها لجميع الإشارات، سواء كانت نبضية أم متواصلة.

الشكل 1-3.4

سويات RF المبينة عند قياس إشارة مشكلة الاتساع بنسبة 100%



Spectrum-4.3-01

- *سوية جذر متوسط التربيع (RMS):*

هذه السوية هي القدرة المتوسطة المرسلة. وهي تحدد الطاقة التي تحتويها الإشارة، ولذا تحدد ما إذا كان بإمكان المستقبل فك شفرتها أم لا. وهي أهم سوية للإشارات المتواصلة. وما لم يُحدَّد خلاف ذلك، يُقصَد دائماً سوية RMS. وهي أيضاً السوية المرجعية لتخطيط الشبكة وتنسيقها ودراسات توافقيتها، ولتراخيص الإشارات المتواصلة. وتعادل هذه السوية عادة ما يُسمّى قدرة القناة. وتقاس بمكشاف RMS وزمن تكامل طويل.

- *سوية متوسط الرشقة:*

هي متوسط القدرة (RMS) *أثناء رشقة* في حالة الإشارة النبضية (من أنظمة TDMA مثلاً). فقياس RMS في زمن تكامل طويل يقترن عادة برشقات ونبضات متوسطة، مما يسفر عن نتائج تتوقف على التوقيت. بيد أن أهم سوية للإشارات الرقمية النبضية هي سوية RMS التي تقاس فقط خلال الرشقة وتترك النبضات جانباً. وما لم يُحدَّد خلاف ذلك، يقصَد متوسط سوية الرشقة في حالة الإشارة النبضية. وهي أيضاً السوية المرجعية لتخطيط الشبكة وتنسيقها ودراسات توافقيتها، ولتراخيص الإشارات النبضية. وهي تقاس بمكشاف RMS وزمن تكامل أقصر من حالة الرشقة (أو يعادله). ويجب تحقيق التزامن القياس مع نبضات الإشارة.

- *مستوى شبه الذروة:*

تستخدم هذه السوية بصورة خاصة لتمييز تأثير الإشارات غير المطلوبة المزعج بغض النظر عن كونها نبضية أو متواصلة. وتُحدَّد سوية QP الأقصى للأجهزة الكهربائية في المعايير ذات الصلة. ونظراً لخصائص الوزن المحددة للمكشاف، فإن سوية QP للإشارة النبضية تتوقف على سوية الذروة أثناء النبض وعلى طول النبضة وتواتر تكرارها. وهي تقاس بعرض نطاق يُحدَّد مسبقاً (200 Hz أو 9 kHz أو 120 kHz بحسب مدى التردد) وزمن التكامل، علماً بأن مرسلات القياس تحدد عادة المعلمتين أوتوماتياً عندما يُستخدَم مكشاف QP.

4.3.4 تأثير التشكيل

تُغيِّر بعض عمليات التشكيل اتساع الإشارة بينما لا تغيِّرها عمليات تشكيل أخرى. وهذا يؤثر تأثيراً كبيراً على أسلوب قياس سوية الإشارة.

وفي حالة الإشارات غير المشكّلة والإشارات المتواصلة بتشكيل ثابت الاتساع مثل FM وMSK وFSK، تُظهر جميع المكاشيف القراءة نفسها. وفي هذه الحالة، تكون سويات Pk وRMS وAV وQP متساوية.

وإذا غيَّر التشكيل اتساع RF مثل AM وSSB وASK وPSK وQAM وOFDM، تُظهر جميع المكاشيف قراءات مختلفة. وفي هذه الحالة، من الضروري النظر بعناية في السوية المطلوبة عند اختيار مكشاف القياس وتجهيزاته وطريقته.

ويتطلب قياس متوسط الرشقة للأنظمة التي تُغيِّر الاتساع تزامن القياس، والتأكُّد من استثناء حالات التوقُّف. وهذه الوظيفة ليست متاحة دائماً في محللات الطيف أو مستقبلات القياس.

ولكن من السهل تحديد ما إذا كان التشكيل يُغيِّر الاتساع أم لا. واستخدام محلل الطيف بأسلوب باع صفري (حيث يكون عرض نطاق الاستبانة أكبر من عرض نطاق الإشارة أو مساوياً له)، يتم (بالنسبة للإشارات النبضية: رشقة واحدة على الأقل) التقاط فترة زمنية معيّنة في أسلوب ClearWrite. وإذا ظلّ الاتساع ثابتاً عبر الزمن، يكون التشكيل FM أو FSK أو MSK وإلاّ يحدث تشكيل الاتساع (AM وSSB وASK وPSK وQAM وOFDM).

ويبيِّن الشكل 3.4-2 مثالاً لإشارة GSM/EDGE في مجال الزمن (باع صفري). ويمثل فاصل الزمن (الرشقة) الأول رشقة GSM معيارية بتشكيل GMSK (اتساع ثابت)؛ أما فاصل الزمن الثاني فهو رشقة EDGE تستخدم التشكيل 8-PSK الذي يُغيِّر الاتساع.

5.3.4 عرض نطاق القياس الضروري

يتعين، في حالة قياسات السوية المباشرة للإشارات المشكلة، أن يكون عرض نطاق القياس مساوياً على الأقل لعرض نطاق الإشارة المشغول. ويمكن أن تُطلق على عرض نطاق القياس التسميات التالية، تبعاً لنمط التجهيزات المستخدمة فيه:

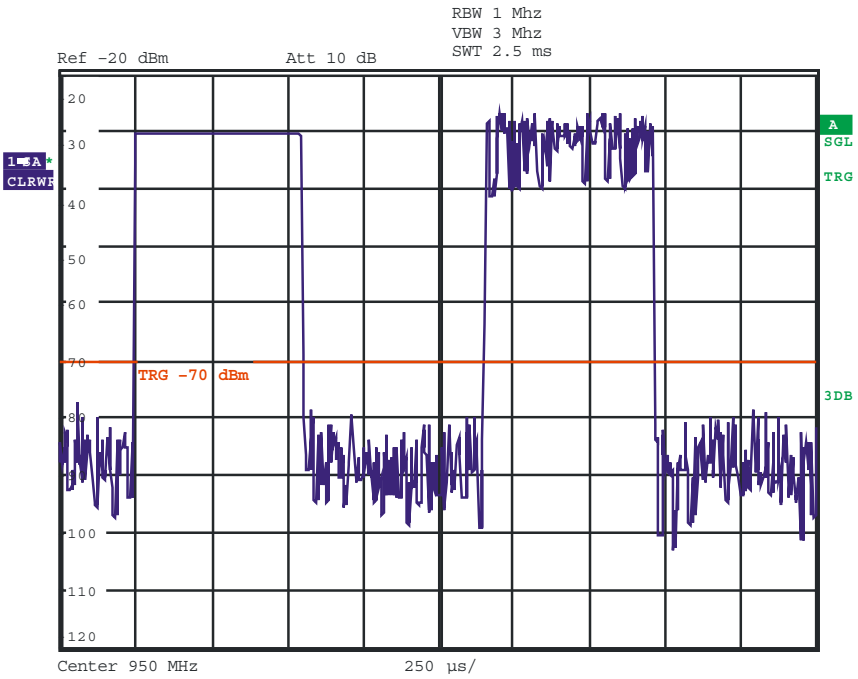
- عرض نطاق التردد المتوسط IF (في حالة استخدام مستقبل تقليدي للقياس).
- عرض نطاق الاستبانة RBW (في حالة استخدام محلل للطيف).
- عرض نطاق الحيازة (في حالة استخدام محلل تحويل فُورييه السريع FFT).

ولذا، فإن معرفة عرض النطاق المشغول ضرورية قبل قياس سوية الإشارة المشكلة. ويحد عرض نطاق القياس الأوسع المتاح للتجهيزات أعرض الإشارات التي يمكن قياسها. وثمة استثناء واحد يتمثل في قياس مستوى RMS للإشارات المتواصلة داخل قناة مستعملة. ومعظم محللات الطيف الحديثة يمكنها أن تقيس هذا المستوى باستخدام عروض نطاق استبانة أصغر وتحقيق تكامل السويات الطيفية عبر مدى تردد واسع (أسلوب قدرة القناة).

ويبيِّن الجدول 1-3.4 عروض نطاقات القياس الضرورية لبعض الأنظمة الراديوية الشائعة.

الشكل 2-3.4

الإشارة النبضية بتشكيل الاتساع وبدونه



Spectrum-4.3-02

الجدول 3.4-1

عروض نطاقات القياس الضرورية

النظام	عرض نطاق القياس الضروري	ملاحظات
نطاق جانبي AM مزدوج	9 أو 10 kHz	إرسالات (صوتية) ضيقة النطاق
نطاق جانبي AM مفرد	2,4 kHz	إرسالات (صوتية) ضيقة النطاق
نطاق ضيق FM بمباعدة للقنوات: 12,5 kHz 20 أو 25 kHz	 7,5 kHz 12 kHz	
إذاعة صوت FM	120 kHz	عرض النطاق المشغول الأقصى 180 kHz، ولكن تكاد الطاقة كلها تقع في حدود 120 kHz
T-DAB، T-DMB	1,5 MHz	
تلفزيون تماثلي	120 kHz	عرض النطاق المشغول أكبر ولكن تكاد تكون كل الطاقة في حمالة الرؤية، ويكفي لذلك 120 kHz
تلفزيون رقمي للأرض	6 أو 7 أو 8 MHz	يساوي عرض نطاق القناة المستخدم
TETRA	30 kHz	
GSM	300 kHz	المباعدة بين القنوات تساوي 200 kHz، لكن عرض النطاق المشغول لإشارات GSM أكبر
UMTS	4 MHz	
WiMAX، LTE	3 أو 5 أو 10 أو 20 MHz	يتوقف على تشكيل النظام (يساوي عرض النطاق الأقصى للإرسال)

6.3.4 إجراء القياس باستخدام مستقبل للقياس

يستطيع مستقبل القياس أن يقيس عادة الذروة وسويات إشارة RMS وAV وQP. ويمكن قياس جميع السويات الأربع مباشرة باستخدام عرض نطاق القياس الصحيح (انظر الفقرة 5.3.4)، والمكشاف ذي الصلة، وزمن تكامل طويل (زمن القياس).

وفي حالة الإشارة النبضية، لا توفِّر قراءة RMS سوى متوسط القدرة "الطويل الأجل" حيث يحتسب متوسط النبضات وفترات التوقف. وعندما يتم تشكيل الإشارة بعملية FSK أو MSK، تُعبِّر قراءة الذروة أيضاً عن متوسط سوية الرشقة. ويمكن حساب سوية الرشقة من قراءة RMS الطويلة الأجل لعمليات التشكيل الأخرى، بشرط بقاء نسبة النبض/التوقف ثابتة طوال وقت القياس:

$$P_{av\text{-}burst} = P_{RMS} + 10*\log(T/\tau) \quad (4.3\text{-}1)$$

حيث:

$P_{av\text{-}burst}$: متوسط سوية الرشقة

P_{RMS}: قراءة RMS الطويلة الأجل في المستقبل بوحدة dBm

T: مدة الرشقة (s)

τ: طول الرشقة (s)

إذا كانت مدة الرشقة وطولها غير معروفين، يمكن قياسهما باستخدام أي محلل طيف معياري في أسلوب الباع الصفري أو مذبذب يتم توصيله بالتردد المتوسط لمستقبل القياس.

7.3.4 إجراءات القياس بمحلل الطيف المكنوس

يبلغ عرض نطاق الاستبانة (RBW) الأمثل لإظهار الطيف الفعلي لإشارة بواسطة محلل حوالي بضع *نقاط من الباع/الكنس*. ولكن لا يمكن استخدام هذا الموضع في القياس المباشر لسوية أي إشارة مشكّلة. وفي قياس السوية، يجب أن يكون عرض نطاق الاستبانة مساوياً لعرض نطاق الإشارة على الأقل. ولن تُظهِر النتيجة المعروضة الطيف الحقيقي، ولكنها تتيح قراءة السوية باستخدام واسم موضوع إزاء أعلى نقطة في الرسم المعروض.

ويمكن قياس سوية ذروة الإرسالات النبضية والمتواصلة بمكشاف الذروة ودالة الاستبقاء الأقصى MaxHold، إما في مجال التردد أو في مجال الزمن (في الحالتين، يكون عرض نطاق الاستبانة أكبر من عرض نطاق الإشارة أو مساوياً له).

ويمكن قياس سوية RMS للإشارات المتواصلة بمكشاف RMS ودالة ClearWrite (وليس دالة MaxHold) وزمن كنس طويل. وإذا لم يتوفر أي مكشاف RMS حقيقي، يمكن استخدام مكشاف العينات أيضاً مع متوسط التتبُّع الخطي.

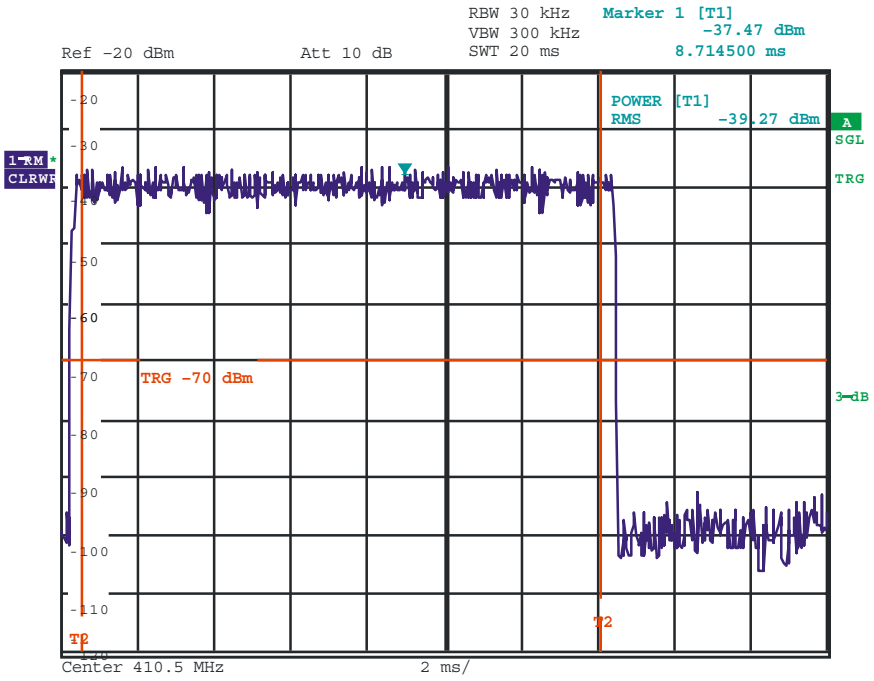
وفيما يتعلق بقياس سوية RMS، فإن معظم محللات الطيف الحديثة تنطوي على وظيفة ملازمة لها تقيس القدرة داخل حدود تردد معينة. وكثيراً ما تُطلق على هذه الوظيفة تسمية قياس قدرة القناة. وهي تسجِّل الطيف الآني (دالة ClearWrite) بعرض نطاق استبانة صغير، وتدمج سويات القدرة الطيفية على مدى التردد المنشود. وعلى الرغم من جودة أداء هذه الوظيفة في الإشارات المتواصلة، حتى لو كانت الترددات المجاورة مشغولة، فإنها تخفق في حالة الإشارات النبضية. ويُعزى هذا إلى أن الوقت الذي يتطلبه المحلل لكنس القناة أطول من النبضة. ولذا تنخفض السوية المسجّلة إلى ضوضاء الخلفية خلال كل توقُّف، مما يؤدي إلى طيف زائف، وبالتالي إلى تكامل قدرة خاطئ. ويحتاج هذا القياس إلى مكشاف RMS أو مكشاف العينات. ولا يمكن استخدام وظيفة MaxHold.

والأسلوب المفضَّل لقياس متوسط سوية الرشقة بمحلل الطيف هو في مجال الزمن. وفي هذه الحالة أيضاً، إذا كان تشكيل الإشارة FM أو FSK أو MSK باتساع ثابت، فإن متوسط سوية الرشقة يساوي سوية الذروة، وليس من الضروري إجراء قياسات إضافية. ولكن في حالة عمليات التشكيل الأخرى، لا بد من تزامن القياس مع الإشارة للتأكد من أن القياس يجري خلال الرشقة فقط. ويمكن أن تُطلق على هذه الوظيفة تسمية "قياس القدرة في مجال الزمن". ويتم التقاط رشقة واحدة على الأقل للإشارة في الباع الصفري بعرض نطاق استبانة أكبر من عرض نطاق الإشارة أو مساو له، ومكشاف RMS أو مكشاف العينات. ثم تَحسب وظيفة القياس سوية RMS طوال فترة الرشقة. ويمكن القيام بهذه العملية إما بتعديل وقت الكنس بحيث تغطي الرشقة الشاشة كلها، أو بوضع حدود زمنية تبيِّن نقطتي البداية والنهاية للحساب، إذا أتاح المحلل هذه الإمكانية.

ويبيِّن الشكل 3.4-3 قياس القدرة في مجال الزمن لإشارة TETRA. ويمثِّل كل بيكسل في الرسم المعروض على الشاشة سوية آنية من RMS نتيجة لاستخدام مكشاف RMS. ولا تُدمج سوى البيكسلات الواقعة بين خطي الزمن T1 وT2 وتسفر عن قدرة متوسط رشقة بمقدار –39,27 dBm.

الشكل 3-3.4

قياس القدرة في مجال الزمن لسوية متوسط الرشقة



Spectrum-4.3-03

8.3.4 القياس بمحلل تحويل فُورييه السريع FFT

يحصل محلل تحويل فُورييه السريع أو المحللات الحديثة في الوقت الفعلي على الإشارة عادة في عرض نطاق أوسع من عرض نطاق الإشارة على أيّ حال، وهي تحسب السويات الطيفية والإجمالية باستخدام خوارزميات FFT. ويتمتع المستعمل بمرونة عظيمة خلال وقت الحيازة وعرض النطاق وطول التحليل. والسوية المبيَّنة بالتغيب هي متوسط القدرة أثناء وقت الحيازة وهي تقابل سوية RMS.

ويمكن قياس سوية الذروة باختيار أقصر زمن حيازة ممكن واستخدام وظيفة MaxHold للتتبُّع خلال تحليلات FFT متعددة متتالية.

إن زمن الحيازة المتغيِّر، إلى جانب إمكانية إحداث الحيازة في مستهل الرشقة، يجعل من الممكن تحقيق تزامن التجهيزات بطريقة تتيح قصر التحليل على الرشقات فقط واستبعاد حالات التوقف. وخلافاً لمحلل الطيف المكنوس، حيث يحدد مرشاح الاستبانة RBW أقصر وقت للكنس، فإن محلل FFT يستطيع أن يعرض طيف الإشارة الحقيقي، حتى لو كان وقت التقاط الصورة قصيراً جداً. ويكون زمن الحيازة الضروري عادة أقصر بكثير من أطوال رشقات الإشارات ذات التشكيل الرقمي، وبالتالي يستطيع محلل فُورييه أيضاً قياس سوية متوسط الرشقة في مجال التردد باستخدام وظيفة قياس قدرة القناة.

ويبين الشكل 4-3.4 رشقة من مسيّر 802.11g WLAN ذي تشكيل COFDM. وتبيِّن النافذة اليسرى (نظرة شاملة للزمن) الاتساع مقابل الزمن للإشارة لمحمل اللقطة أو الحيازة. ويبيِّن الخط الأزرق في الأعلى وقت إجراء تحليل الإشارة (50 µs) الذي لا يمثل سوى جزءاً من محمل زمن الحيازة.

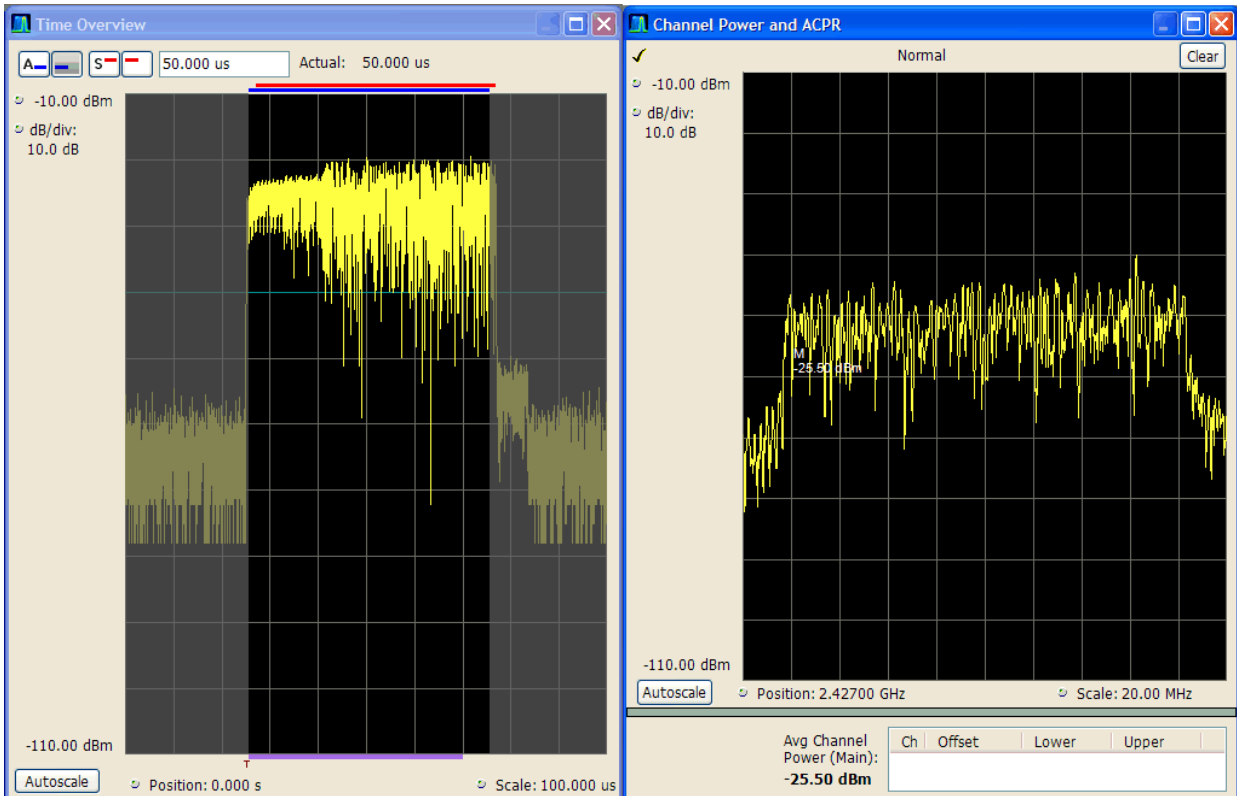
وقد وُضِع زمن التحليل في نافذة زمن الحيازة بحيث يقتصر التحليل على الرشقة فقط. ويبيِّن الجانب الأيمن في الشكل 4-3.4 قياس قدرة القناة في زمن التردد.

وهذ الأسلوب مناسب لمحلل تحويل فُورييه السريع، لأن القياس الفعلي يُجرى خلال زمن التحليل فقط (الذي يساوي زمن الرشقة). ولذا، فإن قدرة القناة المبيَّنة (–25,5 dBm) هي في الواقع قدرة متوسط الرشقة.

وجدير بالملاحظة أن بعض المستقبلات الحديثة المستخدمة في مراقبة النطاق العريض هي كذلك قادرة على أداء وظائف محلل FFT. وهذا النوع من التجهيزات مناسب كذلك للقياسات الموصوفة في هذا القسم.

الشكل 4.3-4

قياس متوسط الرشقة في مجال التردد باستخدام محلل FFT



Spectrum-4.3-04

9.3.4 التصحيح بشأن إشارات النطاق العريض

يكون عرض نطاق الإشارات الرقمية بوجه خاص أوسع أحياناً من أكبر عرض نطاق قياس متاح للتجهيزات. وإذا كانت قدرة RF منتشرة في الإشارة بالتساوي على عرض النطاق بأكمله، مثلما في الأنظمة OFDM، يمكن قياس جميع السويات أيضاً باستخدام عرض نطاق أصغر للقياس وتصحيح النتيجة المحرزة بالصيغة التالية:

$$P = P_m + 10*\log(\text{signal bandwidth/RBW}) \quad (4.3\text{-}2)$$

حيث:

P: سوية الإشارة الكلية بوحدة dBm

P_m: السوية المقيسة في عرض نطاق استبانة أصغر

يمكن أن تكون هذه الطريقة مفيدة أيضاً في حالة وجود إشارات قوية في ترددات مجاورة من شأنها أن تؤثر على النتيجة.

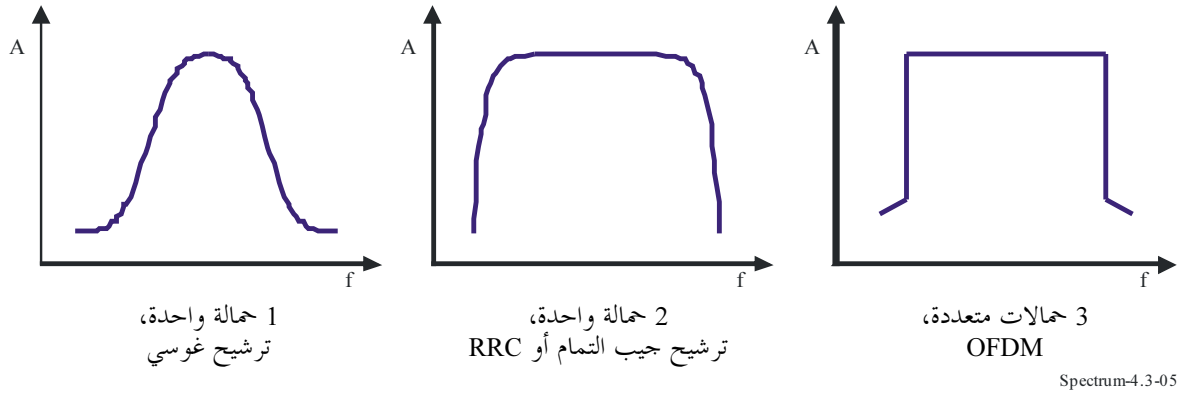
بيد أنه لا يمكن تطبيقها إلاّ على إشارات تم تشكيلها على أساس OFDM – (وإن جاز تطبيقها مع بعض الخطأ عادة في حدود أقل من 1 dB) وعلى إشارات رقمية وحيدة الحمالة ذات ترشيح جيب التمام أو جيب التمام المرفوع الجذر (RRC). ولا يمكن تطبيقها على إشارات رقمية بترشيح غوسي.

ويبيِّن الشكل 5-3.4 الأطياف النموذجية للإشارات الرقمية.

ويمكن أن يكون للإشارات ذات التشكيل التماثلي أشكالاً طيفية متنوعة، ولكن لا يمكن عموماً القياس بعروض نطاقات صغيرة وإجراء تصحيح لعرض نطاق الإشارة.

الشكل 3.4-5

الأطياف النموذجية للإشارات الرقمية



10.3.4 المشاكل النموذجية المواجَهة

1.10.3.4 الإشارات غير المطلوبة على الترددات المجاورة

إن قياسات السوية باستخدام مستقبل للقياس، أو القياسات المباشرة بمحلل طيف مكنوس لا توفر نتائج دقيقة إلاّ إذا تم كبت الإشارات الناجمة عن الترددات المجاورة كبتاً كافياً. ولا يُستوفَى هذا الشرط في أوضاع المراقبة النموذجية في كثير من الأحيان لأن عرض نطاق القياس يجب أن يكون على الأقل مساوياً لعرض نطاق الإشارة، ولأن مرشاح القياس يكون عادة على شكل غوسي ويمتص مقداراً كبيراً من الطاقة من القنوات المجاورة كذلك. فإذا كانت هناك إشارة على قناة مجاورة أقوى من الإشارة المطلوبة، فإن قياس السوية المباشر يمكن أن يصبح مستحيلاً.

وثمة وسيلة للتغلب على هذه المشكلة وهي أن يُستخدم في القياس عمداً عرض نطاق صغير للقياس وإجراء تصحيح لعرض نطاق الإشارة باستعمال الصيغة (3.4-2)، ولكن هذا الحل مناسب فقط للإشارة ذات الطاقة المنتشرة بالتساوي على الطيف كله (مثلاً في حالة OFDM والإشارات العريضة النطاق بترشيح جيب التمام أو RRC).

وثمة طريقة أخرى مناسبة في حالة وجود إشارات مجاورة، وهي وظيفة قدرة القناة المعمول بها في معظم محللات الطيف، ولكنها يمكن أن تُستخدَم فقط لقياس مستوى RMS وهي مقصورة على الإشارات المتواصلة.

إن محلل FFT هو الوحيد الذي يستطيع قياس جميع السويات بما فيها سوية متوسط الرشقة على أيّ حال. وهو يعمل مهما كان نوع التشكيل، ويكاد لا يتوقف على عرض نطاق الإشارة، كما يعمل حتى في وجود إشارات قوية على الترددات المجاورة.

2.10.3.4 نِسَب الإشارة إلى الضوضاء المنخفضة

يتطلب كلٌّ من طرائق القياس التي نوقشت أعلاه أن تكون نسبة الإشارة إلى الضوضاء *(S/N)* عالية بما فيه الكفاية لتحقيق نتائج دقيقة. بيد أن بعض مهام المراقبة تتطلب أيضاً قياس سوية إشارات ضعيفة جداً وقريبة من ضوضاء النظام. وفي هذه الحالات، يمكن تطبيق تصحيح لضوضاء النظام تحت ظروف معيَّنة. ويتوقف هذا التصحيح على نسبة الإشارة إلى الضوضاء، والمكشاف، وشكل مرشاح القياس، وبل أحياناً على تشكيل الإشارة المطلوبة.

ويبيِّن الشكل 3.4-6 التصحيحات الضرورية للذروة وسوية RMS وسوية متوسط الرشقة للإشارات المتواصلة عندما يكون لمرشاح القياس خاصة غوسية.

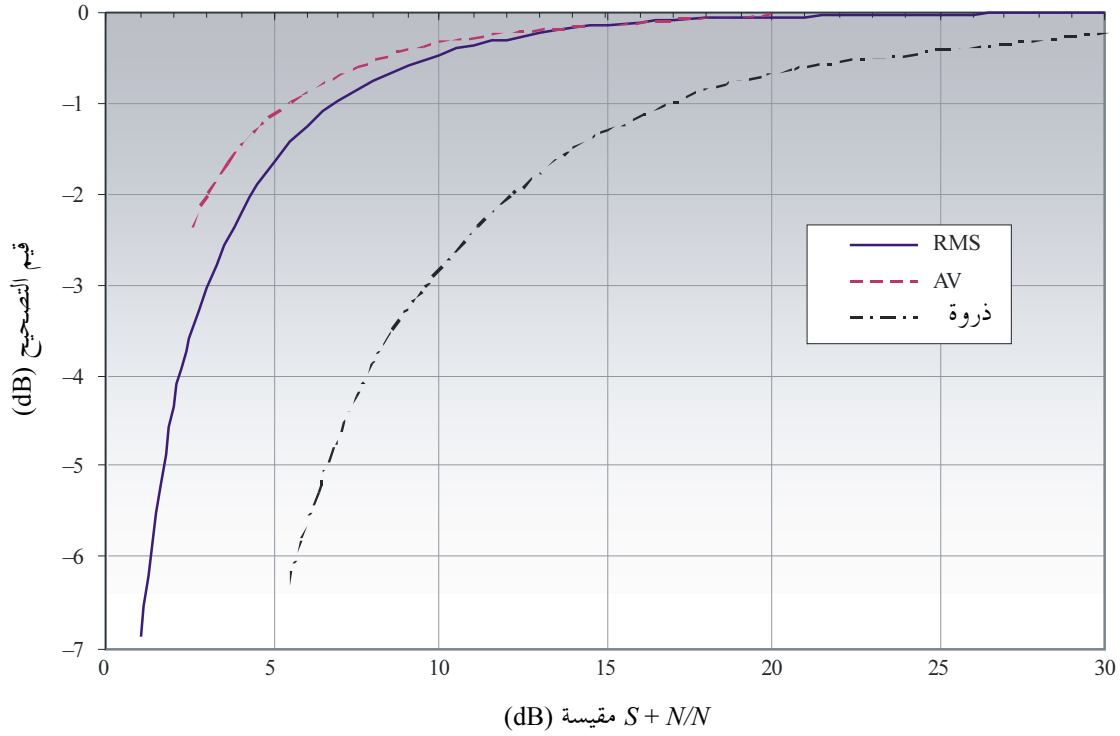
والقيم الموضَّحة في الشكل 3.4-6 بالنسبة إلى متوسط الرشقة ومكشاف الذروة تنطبق حصراً على الإشارات المطلوبة ذات الاتساع RF الثابت (الحمالات غير المشكلة وFM وFSK وMSK(G)). وفي حالة الإشارات ذات الاتساع المشكل، يتوقف تصحيح قيم مكشاف متوسط الرشقة ومكشاف الذروة على الإشارة الفعلية (مثلاً نوع التشكيل والتشفير)، ولا يمكن تعميمها.

وينطبق تصحيح RMS على متوسط سويات الرشقة.

ولا يمكن تصحيح سويات RMS أو متوسط الرشقة للإشارات النبضية لأن قيمة التصحيح الضروري ستتوقف أيضاً على طول النبضة وتواتر تكرارها. وينطبق هذا أيضاً على سويات QP.

الشكل 6-3.4

التصحيحات للمستوى ذي الصلة المقيس في ظروف نِسَب الإشارة إلى الضوضاء المنخفضة



Spectrum-4.3-06

يجب إضافة قيم التصحيحات الواردة في الشكل 6-3.4 إلى سوية الإشارة المقيسة. ونظراً لأن التصحيح سالب، فإن سوية الإشارة الفعلية أدنى من تلك المقيسة.

ويلخص الجدول 2-3.4 شروط (*S+N/N*) الدنيا التي يمكن في ظلها إجراء قياسات للسوية دون تصحيح بشرط أن تكون دقة القياس أفضل من 1 dB.

الجدول 2-3.4

الحد الأدنى (*S+N/N*) لدقة قياس سوية 1 dB

تشكيل	الحد الأدنى (*S+N/N*) لدقة 1 dB		
	AV (dB)	RMS (dB)	ذروة (dB)
حمالة غير مشكلة (N0N)	6	8	18
اتساع ثابت (FM، FSK، MSK)	6	8	18
اتساع مشكل (AM، ASK، PSK، QAM، OFDM)	6	8	14

11.3.4 معايرة مستقبلات القياس

إذا استخدمت تجهيزات استقبال لا توفر معايرة داخلية، يمكن تحقيق معايرة الكسب بمولِّد إشارة معيارية في الموجة المستمرة قابل للتوليف على مدى التردد المُراد، وهو مولِّد نبضي أو مولِّد ضوضاء عشوائية متميِّز بخصائص خرج معروفة ومستقرة، وبمعاوقة خرج تعادل معاوقة دخل المستقبل الذي ستُستخدَم معه. ويمكن معايرة مولِّدي الإشارة في الموجة المستمرة باستخدام أجهزة قياس قدرة التردد الراديوي. ورغبة في تكييف قدرة الخرج على مستوى دخل المستقبل المطلوب، يوصى باستخدام موهنات تمت معايرتها. وليست المعايرة عادة نتيجة قياس وحيد، بل هي نتيجة سلسلة قياسات لأن خصائص الجهاز الذي ستجري معايرته تكون دائماً دالاّت ذات علاقة بالتردد ومستوى الإشارة. ويمكن أن تؤدي لاقطات الإرسال الشاردة، نتيجة لضعف التدريع عبر كبلات دارة الطاقة الكهربائية والثغرات في تدريع المقصورات وما إلى ذلك، إلى تخفيض دقة القراءات في بعض الحالات.

وفي التجهيزات الأوتوماتية الحديثة يدمج مصدر المعايرة عادة ضمن مستقبل/محلل القياس وتتوفر إجراءات أوتوماتية تمكن من معايرة مستقبل القياس على امتداد كامل مدى التردد والسوية من أجل كل عروض نطاق المستقبل ووظائف الكاشف. وفي هذه الحالات يوصى بإجراء تفحص منتظم لمرجع المعايرة المدمج، كل عامين مثلاً. وتستخدم التجهيزات الحديثة التي تحكمها المعالجات الصغرية أيضاً وظائف مدمجة ذاتية الاختبار بغية كشف مبكر لأخطاء التجهيزات الحاسوبية، وبالتالي تجنب جمع بيانات خاطئة على امتداد فترة طويلة من الزمن.

12.3.4 أخطاء القياس

تحتوي الدقة التي يمكن تحقيقها على أخطاء منهجية وأخطاء احتمالية عفوية. فاستجابة اتساع مكشاف متزامن وجيد التصميم لا تحتوي على أيّ أخطاء منهجية.

أما أجهزة قياس السوية الانتقائية التماثلية ومحللات الطيف، فيمكن أن تحتوي على أخطاء منهجية يسببها شكل منحنى الانتقائية ومعدل الكنس واستجابة المكشاف. وتتوقف الأخطاء الفعلية على التصميم المعيَّن وطريقة التطبيق.

وتنطوي محللات الإشارة المستندة إلى FFT على خطأ في الاتساع متأصل ولكنه يمكن التنبؤ به، وسببه الفترة الزمنية المحدودة للاعتيان. ويتوقف اتساع الخطأ على نسبة تردد اعتيان القناة الرقمية إلى تردد الإشارة، بالإضافة إلى عامل الوزن الفعلي المستخدَم في التجهيزات. وفي أسوأ الفروض، فإن خطأ الاتساع المتصل بأسلوب المعالجة المتبع في FFT، عندما يُستخدَم وزن Hamming، لا يتجاوز 1,5 dB [Randall, 1977]، ويمكن تعويض هذا الخطأ المنهجي بسهولة أثناء معالجة الإشارة بواسطة برنامج حاسوبي.

وجدير بالذكر أنه طالما أن المستقبل مولف على تردد ثابت، بينما يقوم محلل الإشارة بمسح نطاق تمرير المستقبل، فإن أيّ تموُّج في استجابة هذا النطاق في المرسل سيكون مصدر خطأ.

بيبليوغرافيـــا

RANDALL, R. B. [1977] *Application of B&K Equipment to Frequency Analysis*. Brüel & Kjaer, 17-089.

4.4 قياس شدة المجال وكثافة تدفق القدرة

1.4.4 اعتبارات عامة

مقدِّمة

يتعين على خدمة المراقبة، في كثير من الحالات، تحديد شدة المجال أو كثافة تدفق القدرة لإرسال ما. وتُحسَب هاتان المعلمتان عموماً من قياسات سوية التردد الراديوي، التي يرد وصفها في الفقرة 3.4. وتستند إجراءات تحديد شدة المجال أو كثافة تدفق القدرة إلى إجراءات قياس سوية التردد الراديوي ونتائجه.

وينطبق تعبير "قياس شدة المجال" و"قياس كثافة تدفق القدرة"، كما هو مُستخدَم هنا، على أربع فئات عامة للقياس:

- قياسات تُجريها مرافق محمولة أو متنقلة للحصول على بيانات آنية أو قصيرة الأجل نسبياً في موضع أو في عدة مواضع؛
- قياسات تُجريها مرافق متنقلة للحصول على معلمات إحصائية للتغطية في مجال الراديو المتنقل؛
- قياسات قصيرة الأجل في موضع ثابت، دعماً لعمليات مراقبة أخرى بوجه عام؛
- قياسات طويلة الأجل تشمل تسجيلات شدة المجال وتحليل سجلات بيانية، وتخزين البيانات المقيسة وتحليلها باستخدام الحاسوب، على التوالي.

الغرض من القياسات

تُجرى قياسات شدة المجال وكثافة تدفق القدرة عموماً لغرض أو لعدة أغراض تشمل ما يلي:

- تحديد مدى كفاية قوة الإشارة الراديوية وفعالية مصدر إرسال (مثلاً، المرسِل) لخدمة معيَنة؛
- تحديد تأثيرات التداخل الناجم عن إرسال راديوي متعمَّد (التوافق الكهرمغنطيسي)؛
- تحديد قوة الإشارة وتأثيرات التداخل الناجم عن إرسالات غير متعمَّدة لأيِّ شكل موجي من تجهيزات تطلق أشعة طاقة كهرمغنطيسية، وتقييم فعالية تدابير الكبت؛
- قياس ظواهر الانتشار لاستحداث نماذجه والتحقق منها؛
- ضمان الامتثال للحكم ذي الصلة في لوائح الراديو؛
- تقييم التعرُّض البشري للمجالات الكهرمغنطيسية.

ويمكن الحصول على قيم تقريبية لشدة المجال بشأن موقع مستقبِل محدد باستخدام طرائق التنبؤ والنماذج الحاسوبية. ولكن من المهم ألا يغيب عن الأذهان وجود عوامل مجهولة كثيرة تستلزم و/أو تبرِّر القياسات في الموقع. ويُظهِر انتشار الموجات الراديوية، في الظروف الواقعية، سلوكاً حتمياً مقترناً بمساحة عشوائية متراكبة وتبعية للوقت.

وينبغي أن تؤخذ في الاعتبار لدى قياس شدة المجال وكثافة تدفق القدرة الكميات المؤثرة التالية:

- قراءة المستقبِل؛
- توهين التوصيل بين الهوائي والمستقبِل؛
- عامل الهوائي؛
- دقة فلطية الموجة الجيبية للمستقبِل؛
- انتقائية المستقبِل بالنسبة لعرض النطاق المشغول؛
- ضوضاء خلفية المستقبِل؛

- تأثيرات عدم ملاءمة التزاوج بين منفذ الهوائي والمستقبِل؛
- استيفاء تردد عامل الهوائي؛
- تغيُّر عامل الهوائي بحسب الارتفاع فوق سطح الأرض وتأثيرات الاقتران المتبادل الأخرى؛
- اتجاهية الهوائي؛
- استجابة الاستقطاب المتقاطع للهوائي؛
- توازن الهوائي؛
- الحجب والانعكاسات نتيجة للعقبات.

يوائم هذا القسم المتعلق بقياسات شدة المجال وكثافة تدفق القدرة ما بين إجراءات القياس بحيث يمكن تبادل بيانات شدة المجال وكثافة تدفق القدرة بين الإدارات.

ويجب في بعض الحالات، كتدبير احتياطي، استكمال قياسات شدة المجال أو كثافة تدفق القدرة بقياسات أخرى لجودة الإشارة، مثل التحويل من تشكيل التردد (FM) إلى تشكيل الاتساع (AM) في انتشار إرسالات FM، ومعدل الخطأ في البتات (BER)، واستجابة نبضة القناة (CIR) لأنظمة الاتصالات المتنقلة الرقمية بسبب إرسال متعدد المسيرات.

1.1.4.4 كميات القياس ووحداته

1.1.1.4.4 شروط القياس

يتم عادة تقسيم المساحة المحيطة بهوائي عبور إلى ثلاث مناطق:

1 منطقة تفاعلية قريبة من المجال.

2 منطقة مُشعَة قريبة من المجال (Fresnel).

3 منطقة بعيدة عن المجال (Fraunhofer).

وتُعرَّف المنطقة التفاعلية القريبة من المجال بكونها "ذلك الجزء من المنطقة القريبة من المجال المحيطة بالهوائي مباشرة، حيث يسود المجال التفاعلي".

وتُعرَّف المنطقة المشعة القريبة من المجال بكونها "تلك المنطقة من مجال الهوائي الواقعة بين المنطقة التفاعلية القريبة من المجال والمنطقة البعيدة عن المجال، حيث تسود المجالات الإشعاعية، وحيث يتوقف توزُّع المجال الزاويّ على بُعد المسافة من الهوائي".

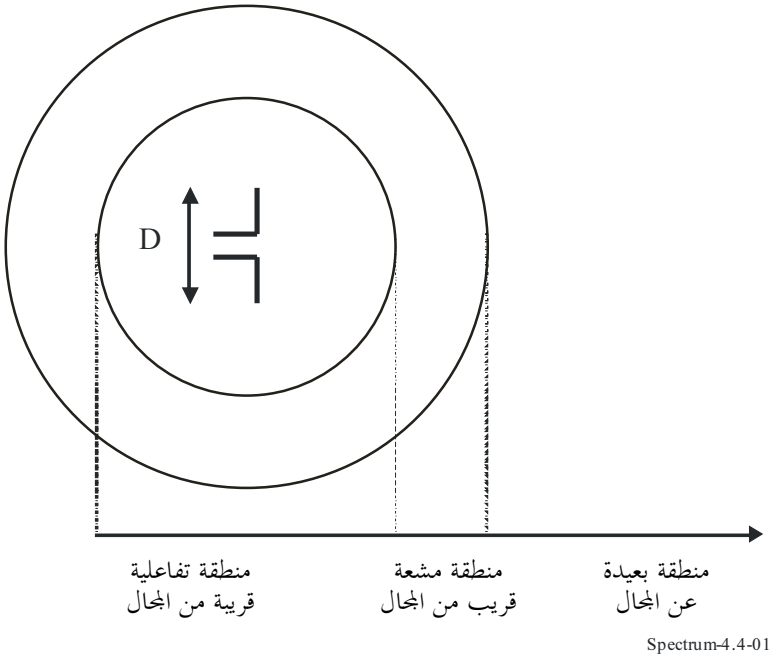
وتُعرَّف المنطقة البعيدة عن المجال بكونها "تلك المنطقة من مجال الهوائي حيث لا يتوقل توزُع المجال الزاويّ أساساً على المسافة من الهوائي".

ومعلمات الهوائي التي يوفرها المصنعون متاحة في هذه المنطقة، ونسبة E إلى H تساوي 337 Ω.

ويبيِّن الشكل 4.4-1 كيف يمكن تعيين حدود كل منطقة.

الشكل 1-4.4

تعريف مناطق المجالات



ويوفر الجدول 1-4.4 بعض القيَم لتعيين الحدود بين كلّ منطقة.

2.1.1.4.4 شدة المجالين الكهربائي والمغنطيسي

الوحدة المستخدمة عادة لقياس شدة المجال هي (V/m) ومضاعفات كسورها العشرية.

ولا تُطبّق هذه الوحدة بشكل صارم سوى على المكوِّن الكهربائي (E) في المجال ولكنها تُستخدَم أيضاً بشكل عام للتعبير عن قياسات شدة المجال المغنطيسي أو المكونات المغنطيسية للمجالات المشعّة بالنسبة إلى معاوقة الانتشار، التي تكون عادة في الفضاء الحر (377 Ω)، وفي هذه الحالة يُعبَّر عن المجال المغنطيسي (A/m) (H) في المنطقة البعيدة عن المجال بما يلي:

$$H = \frac{E}{377\ \Omega} \qquad (4.4\text{-}1)$$

الجدول 4.4-1

تعريف مناطق المجالات

المنطقة	المنطقة التفاعلية القريبة من المجال	المنطقة المشعة القريبة من المجال	المنطقة البعيدة عن المجال
أطراف المنطقة المقيسة من الهوائي حيث: λ: طول الموجة D: أكبر بُعد للهوائي	$0 \ldots \max.\begin{pmatrix}\lambda\\ D\\ \frac{D^2}{4\lambda}\end{pmatrix}$	$\max.\begin{pmatrix}\lambda\\ D\\ \frac{D^2}{4\lambda}\end{pmatrix} \ldots \max.\begin{pmatrix}5\lambda\\ 5D\\ \frac{0.6D^2}{\lambda}\end{pmatrix}$	$\max.\begin{pmatrix}5\lambda\\ 5D\\ \frac{0.6D^2}{\lambda}\end{pmatrix} \ldots \infty$
$E \perp H$	لا	نعم بشكل فعّال	نعم
$\eta = E / H$	$\neq \eta_0$	$\approx \eta_0$	$= \eta_0$
المُكوِّن المُراد قياسه	E وH	E أو H	E أو H

وفي حالة الإشعاع أو المناطق البعيدة عن المجال في الفضاء الحر، تكون الطاقة متساوية في المجالين (لتعريف المناطق القريبة من المجال والمناطق البعيدة عن المجال، انظر Kraus [1950]). وينبغي أن يكون نمط الهوائي المختار مناسباً للإشارات المعيَّنة ذات الصلة. وإذا كان عرض نطاق الإرسال الجاري قياسه أوسع من عرض نطاق تجهيزات شدة المجال، يجب إعطاء الاعتبار لمدى تأثير مقياس عرض نطاق شدة المجال المحدود على قراءة الشدة الفعلية لمجال الإشارة المعترَضة.

ويجري قياس شدة المجال باستخدام هوائيات متميِّزة بعاملين معروفين. فعامل الهوائي الكهربائي K_e لهوائي مستقبل هو شدة المجال الكهربائي E لموجة مستوية مقسومة على فلطية الخرج V_o للهوائي في مقاومة حمولته الاسمِيَّة (وهي عادة 50 Ω).

$$K_e = E/V_o \tag{4.4-2}$$

وعلى العكس، فإن عامل الهوائي المغنطيسي بالنسبة لهوائي عروة هو شدة المجال المغنطيسي H لموجة مستوية مقسومة على فلطية الخرج V_o للهوائي في مقاومة حمولته الاسميَّة (التي تساوي عادة 50 Ω).

$$K_h = H/V_o \tag{4.4-3}$$

والعلاقة بين عامل الهوائي الكهربائي وعامل الهوائي المغنطيسي في المنطقة البعيدة عن المجال وفي الفضاء الحر يُعبَّر عنها بما يلي:

$$K_e = 120\pi \cdot K_h \text{ or } K_e = K_h + 51{,}5 \text{ dB} \quad \text{dB/(m)} \tag{4.4-4), (4.4-4}bis\text{)}$$

وفي كثير من الأحيان، يُعطى كسب الهوائي G بالنسبة إلى الهوائي المتناحي، بدلاً من عامل الهوائي. وتُشتَق العلاقة بين كسب الهوائي المتناحي G وعامل الهوائي الكهربائي K_e بما يلي:

$$K_e = \frac{1}{\lambda\sqrt{G}} \cdot \sqrt{\frac{4\pi Z_0}{R_N}} = \frac{9.73}{\lambda\sqrt{G}} = \frac{f/\text{MHz}}{30.81\sqrt{G}} \tag{4.4-5}$$

حيث:

$$Z_0 = 377\ \Omega \text{ و } R_N = 50\ \Omega$$

وبالنظر إلى أن قيمة الفلطية وقيمة شدة المجال تقاسان عادة باعتبارهما سويتين ويُعبَّر عنهما بالوحدتين dB(μV) وdB(μV/m)، فإن عاملي الهوائي يُستخدمان أيضاً في شكلهما اللوغاريتمي:

حيث:

$$K_e \log 20 = K_e \quad \text{و} \quad G \log 10 = G$$

وتُحسب قيمة العامل الهوائي الكهربائي k_e بوحدة dB/(m) كما يلي:

$$K_e = -29{,}77 \text{ dB} - g + 20 \log (f/\text{MHz}) \tag{4.4-6}$$

ومن ثم يمكن قياس شدة المجال الكهربائي e من سوية فلطية دخل الهوائي v_o باستخدام المعادلة:

$$e(\text{dB}(\mu\text{V/m}) = v_o(\text{dB}(\mu\text{V})) + k_e(\text{dB/(m)}) \tag{4.4-7}$$

وبما أن k_e لا يحتوي عادة على التوهين a_c لكبل الإرسال بين الهوائي ومستقبِل القياس، يتعين توسيع المعادلة (نظراً لأن v_o هي الآن الفلطية عند دخل مستقبِل القياس) كما يلي:

$$e(\text{dB}(\mu\text{V/m})) = v_o(\text{dB}(\mu\text{V})) + k_e(\text{dB/(m)}) + a_c(\text{dB}) \tag{4.4-8}$$

مثال: الهوائي الذي يعادل كسبه dB 6,5 عند تردد MHz 100 يكون عامله dB 3,7 عند هذا التردد. وإذا كانت فلطية دخل الهوائي v_o بمقدار dB(μV) 33,4 وتوهين الكبل a_c بمقدار dB 1,1 تكون شدة المجال dB(μV/m) 38,2.

3.1.1.4.4 شدة المجال الوارد المُكافئ

يمكن التعبير عن الفلطيات المقيسة في دخل المستقبِل بالفلطيات المناظرة المستحثة في الهوائي المستقبِل ومن ثم شدة المجال المرتبطة بها.

وفي حالة الهوائيات البسيطة، كالهوائي القضيبي العمودي أو الهوائي العروي، التي لا تستجيب إلاّ للموجات ذات الاستقطاب الوحيد الاتجاه الرأسي أو الأفقي على سبيل المثال، يكون من المناسب استخدام مفهوم شدة المجال الوارد المكافئ. وهو يُستخدم بصورة خاصة في مدى الترددات الديكامترية (HF). وهو يشير إلى المجال الناشئ بالاستقطاب نفسه الذي يستجيب له الهوائي. ويمكن أن يُعتبَر، بالنسبة إلى أي إشارة، تعبيراً عن مجموع الموجة السماوية والموجة المنعكسة عن الأرض.

والأجهزة التجارية المحمولة لقياس شدة المجال والتركيبات الكهربائية الثابتة المجهزة بهوائيات عمودية قصيرة أو هوائيات عروية تعاير عادة على أساس شدة المجال الوارد المكافئ. ولكن، تجدر الإشارة إلى أن الأهمية الفزيائية لمفهوم شدة المجال الوارد المكافئ ضئيلة عند استخدامه في حالة الهوائيات الموسعة ذات الأطراف المنشورة في اتجاهات مختلفة، مثل المعيَّنيّ الشكل أو المستقبِل بعيداً عن المحور لدى استخدام ثنائي القطب في الهوائيات العروية.

والعلاقة بين شدة المجال الوارد المكافئ والفلطية المستحثة في الهوائي المستقبِل هي دالّة معبِّرة عن التردد وهي، خلافاً للعلاقة المناظرة لشدة مجال الموجة السماوية، مستقلة عن اتجاه وصول الموجة والثوابت الأرضية.

ولذا فإن شدة المجال الوارد المكافئ هي معلمة أنسب لاستخدامها لدى مقارنة نتائج القياسات التي أُجريت في مواضع مختلفة وبتجهيزات مختلفة. وسيتطلب استخدام جذر متوسط تربيع شدة مجال الموجة السماوية معرفة مكوِّنات مجال الموجة السائدة والاستقطابات وزوايا الوصول، بالإضافة إلى معرفة دقيقة بنمط الهوائي (انظر التوصية ITU-R P.845).

4.1.1.4.4 متوسط قدرة المستقبل المتاحة

يوفر أسلوب التنبؤ الموصى به (في التوصية ITU-R P.533) من أجل تقدير شدة إشارة الموجة السماوية قِيَماً تعبر عنها بشدة المجال أو متوسط قدرة المستقبِل المتاحة في غياب أيّ خسائر في نظام الاستقبال. والمعلمة المُفضَّلة لشدة الإشارة من أجل

مقارنة النتائج المتوقعة والنتائج المقيسة هي متوسط قدرة المستقبِل المتاحة لأنها مستقلة عن اتجاهات وصول الموجة والاستقطاب (انظر التوصية ITU-R P.845).

5.1.1.4.4 كثافة تدفق القدرة

في الترددات الأعلى، وخاصة الترددات فوق 1 GHz، يوفر القياس من حيث كثافة تدفق القدرة (S)، في كثير من الحالات، مزيداً من المعلومات التقليدية بشان الشدة الفعّالة للإرسال. ووحدة قياس كثافة تدفق القدرة هي (W/m^2).

وبالنسبة إلى الموجة المستقطَبة خطياً في الفضاء الحر $S = E^2/Z_0$

حيث:

E: شدة المجال (V/m).

Z_0: قيمة معاوقة الفضاء الحر 377 Ω.

وتُعرَّف المنطقة الفعّالة A_e لقياس كثافة تدفق القدرة على النحو التالي:

عندما تعبِّر P عن القدرة المستقبَلة (W)، وS عن كثافة تدفق القدرة (W/m^2) وG تعبِّر عن كسب الهوائي المتناحي (dB)، تكون المنطقة الفعالة A_e كما يلي:

$$A_e = P/S \frac{\lambda^2 G}{4\pi} = \frac{\lambda^2 G}{12.57} = \frac{(84.62\ \text{m})^2}{(f/\text{MHz})^2} G \qquad (4.4\text{-}9)$$

حيث:

$$S = P/A_e$$

وباستخدام $p = P \log 10$ و$s = S \log 10$، تكون المنطقة الفعّالة a_e بالكميات اللوغاريتمية ($dB(m^2)$) كما يلي:

$$a_e(\text{dB}(\text{m}^2)) = 38{,}55 + g - 20 \log (f/\text{MHz})$$

وبالتالي $s(\text{dB}(\text{W/m}^2)) - p(\text{dB}(\text{W})) = a_e(\text{dB}(\text{m}^2))$.

فإذا كانت القدرة المستقبلة p بوحدة dBm يمكن اشتقاق كثافة تدفق القدرة s ($dB(W/m^2)$) على النحو التالي:

$$s(\text{dB}(\text{W/m}^2)) = p(\text{dBm}) - a_e(\text{dB}(\text{m}^2)) - 30\ \text{dB}$$

وبما أن المنطقة الفعّالة a_e لا تحتوي عادة على التوهين a_c في كبل البث بين الهوائي ومستقبِل القياس، يتعين توسيع المعادلة على النحو التالي:

$$s(\text{dB}(\text{W/m}^2)) = p(\text{dBm}) - a_e(\text{dB}(\text{m}^2)) - 30\ \text{dB} + a_c(\text{dB}) \qquad (4.4\text{-}10)$$

مثال: إذا حقق الهوائي كسباً g مقداره 15 dB وكان التردد 1 GHz، فإن المنطقة الفعّالة a_e ستكون –6,45 ($dB(m^2)$). وإذا كانت القدرة الواردة –73,6 dBm وتوهين الكبل 3,5 dB فإن كثافة تدفق القدرة (s) pfd ستكون –106,6 ($dB(W/m^2)$) أو +13,4 ($dB(pW/m^2)$).

الملاحظة 1 – من المفيد أحياناً حساب المنطقة الفعّالة من عامل هوائي ما أو العكس بالعكس. ولهذا الغرض تُطبّق المعادلتان التاليتان (بالكميات المحددة أعلاه):

(4.4-11), (4.4-12) $$A_e = \frac{1}{K_e{}^2}\frac{Z_0}{R_N} \text{ and } a_e(\text{dB}(\text{m}^2)) = 8.77\ \text{dB} - k_e(\text{dB}/(\text{m}))$$

2.1.4.4 التقسيم إلى أمداء ترددية

يُستحسن أحياناً تصنيف تقنيات قياس شدة المجال وكثافة تدفق القدرة إلى ثلاثة أمداء تردد:

- دون حوالي 30 MHz؛
- ما بين حوالي 30 MHz و1 000 MHz؛
- فوق حوالي 1 GHz.

وهذا التقسيم مفيد لأن التقنية المثلى تختلف بالنسبة لهذه الأمداء. ويُعزى هذا إلى حد ما إلى العلاقة بين أبعاد الهوائيات العملية وأطوال موجات الإشارات المزمع قياسها، وكذلك إلى تأثيرات قُرب التضاريس التي تؤثر على القياسات في جوانب مختلفة في الأمداء الثلاثة. ففي المدى دون حوالي 30 MHz (حيث تتجاوز أطوال الموجات 10 أمتار تقريباً)، تكون الهوائيات العملية صغيرة عادة (0.1 λ) بالمقارنة بطول الموجة. وهوائي القياس الأكثر شيوعاً هو عبارة عن عروة مؤلَفة من دورة واحدة أو عدة دورات محميَّة كهربائياً، قطرها في حدود 0,6 متر، أو هوائي قضيبي عمودي قصير بالمقارنة برُبع طول الموجة. وقد تكون هذه الهوائيات فعّالة أو منفعلة. وفي حالة استخدام هوائي فعّال، يجب الحرص على تفادي الحمل المفرط. ويُستخدم الهوائي القضيبي العمودي مع وزن مكافئ على الأرض. ويتميّز الهوائي القضيبي بأنه هوائي شامل الاتجاهات.

وفي المدى دون حوالي 30 MHz، من الضروري عادة قياس شدة المجال على ارتفاعات قريبة كهربائياً من سطح الأرض. فخصائص الأرض والطبقة النباتية والأسلاك والمنشآت الموجودة في المحيط المجاور تمارس تأثيرات مختلفة على شدة مكوِّنات المجال الكهربائية والمغنطيسية وعلى زاوية الاستقطاب، كما يمكن أن تؤثر على معاوقة الهوائي. والقياسات التي تستخدم هوائيات العروة المحمية كهربائياً يكون تأثُّرُها بالأجسام المجاورة أقل عادة من تأثُّر القياسات التي تستخدم الهوائيات القضيبية.

أما في المدى ما بين حوالي 30 MHz إلى 1 000 MHz (حيث يتراوح طول الموجة من 10 أمتار إلى 30 سنتيمتراً)، فتكون أبعاد الهوائيات العملية قابلة للمقارنة بطول الموجة. وبالنسبة لتردد ثابت في هذا المدى، فإن الهوائي الشائع الاستخدام لقياسات شدة المجال هو الهوائي الثنائي القطب الرنّان الذي يكون طوله نصف طول الموجة. حيث يجري توصيل الثنائي القطب بجهاز قياس بواسطة مُحوّل متوازن إلى غير متوازن وخط إرسال متَّحد المحور. ويختلف الهوائي الثنائي القطب الرنّان عن هوائي العروة والهوائي القضيبي القصير من حيث كفاءته العالية (خسارة مقاومة منخفضة جداً بالنسبة إلى المقاومة الإشعاعية). وفي حالة استخدام الهوائي الثنائي القطب، يجب الحرص على تفادي (أو تخفيض) الاقتران المتبادل مع البيئة وكبل الهوائي كمصدر لعدم اليقين. وتُستخدم الهوائيات ذات النطاق العريض أو الهوائيات الاتجاهية في كثير من الأحيان في الجزء العلوي من هذا المدى الترددي، لا سيما النوع اللوغاريتمي الدوري والحلزوني اللوغارتمي المخروطي، علماً بأن الاتجاهية تجنح عادة إلى تفادي الاقتران المتبادل مع البيئة أو تخفيضه.

وفي المدى فوق حوالي 1 GHz (طول الموجة أقصر من 30 سنتيمتراً)، تصبح فتحة الثنائي القطب صغيرة إلى درجة لا توفر الحساسية اللازمة. والممارسة العادية في هذه الترددات هي استخدام هوائيات تستجمِع الطاقة من فتحات أكبر بالنسبة إلى طول الموجة، مثل أنظمة الهوائيات البوقية والعاكسات المكافئيَّة. فهذه الهوائيات تتميّز عادة بكفاءة عالية (أعلى من 50%) كما تتميّز باتجاهية لا بأس بها. وتُستخدم خطوط الإرسال متحدة المحور أو الأدلة الموجية.

2.4.4 اختيار مواقع القياس

تتوقف شدة المجال في موقع المستقبل، كما وُصِف آنفاً، على المساحة والزمن. ولهذا، فإن قياسات شدة المجال باستخدام هوائي في موضع ثابت (ثابت على الأرض وثابت الاتجاه والارتفاع) لن تبين سوى اعتماد شدة المجال على الزمن.

1.2.4.4 المنشآت الثابتة

ينبغي، بقدر الإمكان، اختيار موقع يكفل لمجالات الإرسالات المُراد تسجيلها، نسبياً، ألا تتعرَّض لتشويش من الهياكل المحلية أو التضاريس الأرضية. فالمُوصِّلات المعلقة القريبة والمباني والأشجار الكبيرة والهوائيات الأخرى والصواري والتلال وغيرها من المعالم الطبيعية والاصطناعية، يمكن أن تؤدي إلى تشويه أو تشويش الجبهة الموجية للإرسال، علماً بأن مدى تأثير هذه الظروف على صحة القياسات يتوقف على عدة عوامل، منها مدى التردد ونمط وتوجُّه الهوائي المستخدم ضِمن تجهيزات قياس شدة المجال. ومن الشائع في حالة الترددات الديكامترية (HF) والأمداء الأدنى استخدام هوائيات عمودية وحيدة القطب، أو صفيفات عريضة النطاق ذات خصائص استقبال باستقطاب رأسي أساساً، ولكن في بعض الحالات، مثلاً عندما يُستخدم هوائي ثنائي القطب، رأسي أو أفقي، فوق سطح المبنى، يجب الحذر نظراً لصعوبات المعايرة. وهذه الهوائيات معرَّضة بشكل خاص لتأثيرات الموصِّلات المعلقة والهياكل المحيطة بالموقع.

وفي حالة الترددات الأعلى، حيث تُستخدم هوائيات اتجاهية للغاية، من المهم أن يكون المسير في الاتجاه العام لمصدر الإشارة حراً. كما يجب أن يُخفَّض إلى أدنى حد الاستقبال المتعدد المسيرات الذي يُعزى إلى انعكاس محلي أو إعادة إشعاع للإشارة المطلوبة. وعندما يُستخدم هوائي تكون فيه نسبة الكسب الأمامي إلى الخلفي عالية (مثلاً الهوائيات المركَّبة في عاكسات مكافئيّة أو رُكنية)، فإن مصادر الانعكاس أو إعادة الإشعاع خلف الصفيف لا يُرجَّح كثيراً أن تُسبِّب إشكالاً كما يحدث في حالة الهوائيات التي تكون خصائص اتجاهيتها محدودة أكثر.

وتُستخدم المواقع الثابتة بالدرجة الأولى لقياسات المدى دون حوالي 30 MHz. وتُقترَح لهذا الغرض المعايير التالية:

- أن تتكون المنطقة المجاورة للموقع مباشرة من أرض مستوية في منطقة مُسطَّحة نسبياً؛
- أن تكون التربة متميّزة بموصّلية عالية نسبياً وخالية من الحصى والنتوءات الصخرية، من أجل الهوائيات العمودية الوحيدة القطب في أرض مستوية؛
- أن يُحبَّذ عدم وجود موصّلات معلقة (مثل الهوائيات أو الخطوط الكهربائية والهاتفية أو المباني ذات السقوف المعدنية أو الأخدودية) قريبة من موقع الهوائي في حدود 100 متر. وفي حالة الترددات الأدنى، حيث تمثل مسافة 100 متر نصف طول الموجة أو أقل، في التردد التشغيلي، يُستحسن إبعاد الموصّلات المعلقة عن هوائي الاستقبال بمقدار 20 متراً أو أكثر من هوائي الاستقبال لكل متر من ارتفاع موصّل معلق فوق الأرض، بحيث تساوي مسافة الإبعاد نصف طول الموجة على الأقل.

2.2.4.4 المنشآت المتنقلة

تتمتع المنشآت المتنقلة، أي تجهيزات قياس شدة المجال في مركبة مراقبة، بالمزايا التالية بالمقارنة بالمنشآت الثابتة: فهي يمكن استخدامها في تطبيقات في حالة مستقرة عندما تكون المركبة غير متحركة، وفي تطبيقات في حالة حركة، وبالتالي يمكن استخدامها لمراقبة توزُّع المساحة والزمن على السواء بشأن شدة المجال.

1.2.2.4.4 التطبيقات في حالة مستقرة

في عديد من الحالات، تكون قياسات شدة المجال في نقاط متعددة ولكن بارتفاع مُتغيِّر لهوائي القياس هي الحل المُفضَّل لإيجاد القيمة المتوقَّعة لشدة المجال لا سيما في مدى الترددات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF). ويمكن تحقيق ذلك بتحريك المركبة من نقطة إلى نقطة وبقياس شدة المجال في الترددات موضع الاهتمام على ارتفاعات مختلفة. فيتم تركيب الهوائي في قمة دعامة تلسكوبية مثبتة على المركبة على ارتفاع 10 أمتار عادة من سطح الأرض. وبالنظر إلى خصائص الانتشار في هذه النطاقات، يجب ضبط الهوائي وفقاً لاتجاه واستقطاب الإشارة المستقبلة.

2.2.2.4.4 القياسات بجهاز متنقل لقياس شدة المجال

تتم القياسات بجهاز متنقل لقياس شدة المجال يدوياً، حيث يكون الهوائي قريباً من الشخص المعني بقراءة قِيَم شدة المجال. ولكن يجب وضع الهوائيات القضيبية على الأرض. وعموماً، تسري على هذه القياسات المعايير المستصوبة نفسها التي تُطبَّق على المنشآت الثابتة، إلاّ أنه يمكن أن يُسمح بنطاق أكبر إذا استُخدمت تقنية تشمل "مجموعة قياسات". فهذه التقنية تنطوي على إجراء عدة قياسات منفصلة، حيث يكون الهوائي في مكان مختلف قليلاً لكل قياس (بفواصل في حدود متر إلى خمسة أمتار بحسب التردد، حيث تُطبَّق الفواصل الأكبر على الترددات الأخفض). وتكون النتيجة مجموعة قياسات حول نقطة مركزية، ثم يُحسَب متوسط قِيَمها الفردية للحصول على قيمة نهائية. وفي حالة القياسات التي تُستخدَم فيها هوائيات عروية محمية، تكفي عادة بضعة قياسات، لأن هذه الهوائيات التي تستجيب لمكوِّنة الموجة المغنطيسية تكون عادة أقل تأثُّراً بالظروف المشوّشة محلياً (تأثيرات الانعكاس وإعادة الإشعاع) بالمقارنة بالهوائيات القضيبية أو الثنائية القطب. وإذا استُخدِم مقياس شدة المجال هوائي عروي أو هوائي اتجاهي آخر، وكان معروفاً السمت التقريبي للمحطة قيد القياس بالنسبة لموقع القياس، يمكن في كثير من الأحيان كشف وجود تشوشات محلية بضبط الهوائي لتعزيز التقاط الإشارات إلى أقصى درجة ومراقبة ما إذا كان اتجاه الوصول المبيَّن متفقاً مع اتجاه المحطة الفعلي. وإذا كان الاختلاف بين الاتجاه المبيِّن والاتجاه الحقيقي كبيراً، يُستحسَن اختيار موقع آخر للقياس. وقد يتبين، بالنسبة للقياسات في الترددات المترية (VHF) والترددات الأعلى، أن من الصعب العثور على موقع غير مُشوّش، وفي هذه الحالة، قد يستدعي الأمر استخدام مجموعة من عشرة قياسات فردية متسقة أو أكثر، بغية التوصل إلى نتائج دقيقة بشكل معقول.

وفي حالة القياس الذي يُجرَى باستخدام تجهيزات قائمة بذاتها، فإن تأثير الحركة السريعة للتجهيزات وقُرب مستعملها، يمكن أن يؤدي إلى نتيجة خاطئة. ولذلك يستلزم القياس الجيِّد تركيب هذه التجهيزات على حامل ثلاثيِّ القوائم لإجراء القياس.

ويمكن في حالة إشارات الموجات السماوية ذات الترددات الديكامترية (HF) أن يُستعاض عن "تقنية مجموعة القياسات" بمتوسط زمني لقياسات في موقع واحد.

3.4.4 طرائق القياس

يمكن استخدام طرائق كثيرة لإجراء قياسات شدة المجال في محطات الرصد تبعاً للمعلومات المطلوبة، ومنها:

- التسجيل المتواصل طوال فترات ممتدة (جُمِعت بيانات في مسيرات معيّنة في نطاق الترددات الهكتومترية (MF) طوال ثلاثين سنة تقريباً في معرض الحصول على معلومات الانتشار فيما يتعلق بالتغيُّرات الموسمية ودورة البُقَع الشمسيّة)؛
- التسجيل المتواصل خلال فترات أقصر لتحديد التغيُّرات في سوية الإشارة بين الليل والنهار أو في فترات أخرى قصيرة الأجل؛
- اعتيان في فترات زمنية قصيرة (لمدة 5 ثوان كل دقيقتين مثلاً)؛
- اعتيان في فترات زمنية أطول (لمدة 10 دقائق كل تسعين دقيقة مثلاً).

وفي بعض الحالات، خاصةً عند مراقبة موجة أرضية، قد يكفي قياس وحيد لفترة قصيرة بحسب غرض القياس المطلوب. وفي حالات معيّنة، مثل القياسات لأغراض الدراسات الخاصة بانتشار الترددات الديكامترية (HF)، قد يحتاج المرء إلى معلومات عن ظروف الانتشار عموماً على امتداد نطاق ترددات ما.

ولهذا، قد يكون من المناسب إجراء تسجيلات قصيرة مدتها 10 دقائق تقريباً، على نطاق الترددات HF كله في فواصل زمنية مدتها 90 دقيقة تقريباً في محطات تعمل عادة 24 ساعة يومياً، يتم اختيارها بحيث يُراعَى تمثيل نطاقات التردد والمسافات موضع الاهتمام تمثيلاً جيداً. وفي حالة إشارات الموجات السماوية، قد يكون من الضروري أيضاً أخذ قياسات في أيام مختلفة لمراعاة التغيُّرات في الأيونوسفير من يوم إلى يوم.

ويوصَى في التوصية ITU-R SM.378، باستثناء الحالة التي تنطوي على تقييدات تُعزى إلى سوية ضوضاء المستقبل أو ضوضاء الغلاف الجوي أو التداخل الخارجي، بأن تكون الدقة المتوقّعة في قياسات شدة المجال أفضل من ±2 dB للترددات الأدنى من 30 MHz و±3 dB للترددات الأعلى من 30 MHz.

وتستطيع التجهيزات التي يتحكم فيها المُعالِج الصغري تبديل الترددات، وتبديل الهوائيات إذا اقتضى الأمر، وتفريغ الطاقة المتبقية في نطاق تمرير المستقبل، وإجراء القياس على تردد جديد بما في ذلك تطبيق عوامل تصحيحية، كما تستطيع إجراء تسجيل رقمي للنتائج في غضون بضع عشرات ميلليثوان. وهذا النظام مفيد عندما تكون هناك حاجة إلى قياس عدة ترددات، أو عندما يكون من شأن الاعتيان الطويل الأجلَ أن ينتج بيانات كثيرة يصعب تخزينها وتحليلها يدوياً. ويتم تخزين النتائج في حاسوب، بالطبع، نظراً للكمية الكبيرة من البيانات التي يتم جمعها في فترة زمنية قصيرة.

1.3.4.4 القياسات في نقطة قياس ثابتة

1.1.3.4.4 القياسات الآنية

من الممكن، في نقطة قياس معيَّنة على بُعد مسافة معيَّنة من المرسل، أخذ عينات لتوزُّع شدة المجال. وينبغي في الارتفاع المطلوب تحويل الهوائي في اتجاه المرسل. وينبغي أثناء فترة القياس، تغيير ارتفاع الهوائي وتوجُّهه لقراءة وتسجيل شدة المجال القُصوى.

2.1.3.4.4 القياسات لفترات قصيرة أو طويلة

رغبة في قياس التوزُّع الزمني لشدة المجال، من الممكن إجراء قياسات لفترات قصيرة أو طويلة بواسطة نظام مُنشأ بشكل دائم، في محطة ثابتة أو محصورة في حاوية مثلاً. ويمكن أن تكون القياسات متواصلة أو مُتكرَّرة في فواصل زمنية منتظمة تتيح إمكانية مراقبة عدة ترددات. ومن شأن برنامج قياس منفّذ وفقاً لخطة أن يوفِّر نتائج كافية لتحديد خصائص الانتشار المتغيِّرة بحسب الوقت من اليوم أو الفصول أو البُقَع الشمسية. وتتطلب القياسات الممتدة لفترة طويلة جداً عمليات تحقق من المعايرة متكررة في فواصل زمنية قصيرة. والقياسات لفترات طويلة ممكنة أيضاً باستخدام تجهيزات قياس يدوية مع مُسجِّل للبيانات.

3.1.3.4.4 قياس التوزُّع الفضائي لشدة المجال

ينبغي للمرء، من أجل تقدير شدة المجال المتوقعة بموثوقية عالية في نقطة على بُعد مسافة معيَّنة من المرسل، أن يعرف التوزُّع الفضائي لشدة المجال في البيئة المحيطة بنقطة القياس. ولهذه الغاية، ينبغي أخذ قياسات في عدة نقاط في مساحة مرسومة الحدود. واستناداً إلى توزُّع عادي، يتوقف عدد العينات المطلوب، من أجل درجة معيّنة من الموثوقية ولكي تقع شدة المجال ضِمن مدى قِيَم معيَّن حول شدة المجال المتوقعة، على الانحراف المعياري σ. ويمكن بالعثور على نقطتي الاستقبال الأفضل والأسوأ قياس E_{max} وE_{min} في تلك المساحة المحددة. واستناداً إلى الخبرة العملية، يمكن تقدير الانحراف المعياري باستخدام المعادلة: $E_{max} - E_{min} = 5\sigma$.

ويمكن تحديد عدد العينات المطلوب من الجدول 4.4-2 (علماً بأن D هي الدقة المحرزة):

الجدول 4.4-2

عدد العينات المطلوب تبعاً للعلاقة $E_{max} - E_{min}$

		$E_{max} - E_{min}$ (dB)			
سوية الثقة (%)	D (+/–dB)	0 إلى 5	5 إلى 10	10 إلى 15	15 إلى 20
90	1	3	11	24	43
90	1,5	2	5	11	19
95	1	4	15	35	61
95	1,5	2	7	15	27

2.3.4.4 القياسات بمحاذاة طريق

يمكن أن تختلف القِيَم الحقيقية لشدة المجال اختلافاً كبيراً عن القِيَم المتوقعة، وذلك تحت تأثير ظروف الاستقبال المحلية. ولذا، يجب التحقق منها بإجراء قياسات لترسيخ التغطية الراديوية لشدة المجال في مساحة واسعة.

ويجب تسجيل نتائج الاختبارات مع بيانات إحداثياتها الجغرافية لتحديد مواقع القياسات على الطبيعة ومقابلة النتائج التي جمعت على الطرق الأيسر وصولاً في المنطقة المعنية.

وبدلاً من قياس شدة المجال الفعلية، من الضروري أحياناً قياس فلطية خرج الهوائي لدى مستعمل ما (الهوائي النموذجي للخدمة موضع البحث) من أجل تقييم التغطية الراديوية.

إن الأنظمة الشبكية الرقمية (مثل GSM أو UMTS أو DAB) حسَّاسة لتأثيرات الاستقبال المنعكس. وفي هذه الحالة، يلزم أيضاً، إلى جانب قياس شدة المجال، قياس جودة الاستقبال عن طريق قياس نسبة الخطأ في البتات (BER) أو قياس الاستجابة النبضية للقناة (CIR)، من أجل تقييم أداء النظام. ويمكن إجراء هذه القياسات باستخدام النداءات الأوتوماتية من خلال الشبكات الهاتفية الخلوية دون التأثير على التشغيل الاعتيادي.

ويلزم لأغراض القياس بمحاذاة طريق ما أن يكون الإرسال متواصلاً.

1.2.3.4.4 نتائج قياسات شدة المجال المتنقلة

تُظهر شدة المجال بمحاذاة طريق ما تقلّبات حادة تُعزى لتأثير الإشارات المنعكسة. إذ يمكن أن تتطابق نتيجة قياس وحيد مع قيمة الانعكاس الدنيا أو القصوى وأن تتأثر أيضاً بالارتفاع المختار لهوائي المستقبل والفصل من السنة والطقس والبيئة النباتية ورطوبة البيئة المحيطة، مما يجعل النتيجة مغلوطة.

ويمكن، بمراعاة العوامل المذكورة أعلاه، أن تُحسب نتائج اختبارات شدة المجال القابلة للتكرار من عدد كبير من قراءات البيانات الخام وذلك بمعالجتها إحصائياً.

2.2.3.4.4 العدد اللازم من نقاط القياس والفترة الفاصلة لحساب المتوسط

ينبغي، من أجل التقييم الإحصائي (بطريقة Lee)، اختيار عدد العينات من النقاط بحيث تُظهر النتائج عملية التغيُّر البطيء في شدة المجال (تأثير الخبو الطويل الأجل)، وأن تعكس أيضاً إلى حد ما الطبيعة الإفرادية المحلية (الآنية) (تأثير الخبو القصير الأجل) لتوزُع شدة المجال.

وينبغي، من أجل الحصول على فترة ثقة تساوي 1 dB حول متوسط القيمة الحقيقي، أن يجري اختيار عينات نقاط الاختبار عند كل 0,8 λ (طول الموجة)، خلال فترة لحساب المتوسط طولها 40 λ (أي 50 قيمة مقيسة في غضون 40 λ).

3.2.3.4.4 سرعة المركبة

يجب أن تكون سرعة المركبة مناسبة لطول الموجة (بمراعاة طريقة Lee)، وعدد الإشارات الاختبارية ذات الترددات المختلفة المقيسة في وقت واحد، وأقصر وقت قياس يمكن تطبيقه بالنسبة لمستقبل الاختبار.

$$v = \frac{864}{(f\,(\text{MHz})) \cdot (t_r\,(\text{s}))}\ (\text{km/h}) \qquad (4.4\text{-}13)$$

حيث t_r هي الحد الأدنى للزمن المذكور في مواصفات المستقبل للعودة إلى تردد وحيد.

4.2.3.4.4 هوائيات القياس

يتراوح الارتفاع المختار لهوائي الاختبار خلال القياس من 1,5 إلى 3 أمتار. ويُعتبَر أن النتيجة أُحرِزت على ارتفاع 3 أمتار.

وتأتي الإشارة المستقبَلة من زوايا مختلفة إلى هوائي الاختبار، ولذلك ينبغي أن يكون تأثير مخطط الهوائي على نتيجة اختبار شدة المجال معروفاً.

وينبغي أن تكون دقة عامل الهوائي (k) في حدود 1 dB.

وينبغي ألا يتجاوز انحراف مخطط الإشعاع الأفقي لهوائي القياس عن مخطط لا اتجاهي مقدار 3 dB.

5.2.3.4.4 أنظمة الملاحة وتحديد الموقع

نظام التقدير

تقدر المسافة من نقطة البدء بالاستعانة بمُحوِّل طاقة من مسافة إلى نبضة مُلحق بعجلة غير مدفوعة بمُحرِّك في مركبة الاختبار، بينما يوفِّر جيروسكوب آلي معلومات الوجهة. وتتوقف دقة تحديد الموقع على دقة تسجيل نقطة البدء والمسافة التي تقطعها مركبة الاختبار.

النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS)

يكفي تماماً التوصل إلى دقة في حدود 100 أو 200 متر في اختبار تغطية الإرسال من محطة إرسال تلفزيوني أو إذاعي. ويمكن تحقيق ذلك باستخدام الأجهزة العادية في النظام العالمي لتحديد المواقع.

ويتطلب اختبار نظام خلوي صغري رقمي في منطقة حضرية دقة في معلومات تحديد الموقع في حدود بضعة أمتار. وفي هذه الحالة، ينبغي استخدام أنظمة تفاضلية لتحديد الموقع.

نظام الملاحة المعقد

هذا النظام مُركَّب من مجموعة الأنظمة المذكورة أعلاه. فأنظمة الملاحة هذه توفِّر، دون الحاجة إلى تدخل مشغل يدوي، بشكل متواصل بيانات بشأن الموقع والزمن ومعلومات عن الوجهة ونقاط التقدم.

6.2.3.4.4 جمع نتائج القياس مع تخفيض البيانات

تتيح هذه الطريقة، من خلال المعالجة الإحصائية، إمكانية إجراء تخفيض كبير في كمية البيانات الخام المسجلة.

القَيم المتوسطة

يستطيع بعض مستقبلات الاختبار إجراء تصنيف داخلي لنتائج الاختبار على مدى فترات يحددها المستعمل مُسبقاً. ويمكن أن يختار المستعمل فترات تقييم عينات مقيسة يصل عددها إلى حوالي 10 000 عينة، ولكن يجب أن تحتوي كل فترة على مائة قيمة على الأقل.

وتُقتصَر عملية التخزين على القِيَم المتوسطة الحسابية فقط للعدد المحدد مُسبقاً من نتائج الاختبار وهي مبينة على الخريطة النهائية للتغطية الراديوية.

تصنيف النتائج وفقاً لاحتمال تجاوز السوية

تُصنَّف النتائج أثناء القياسات وفقاً لاحتمال تجاوز السوية، ما بين 1% و99%. وتمثل هذه القِيَم المعبَّر عنها بالنسبة المئوية احتمال تجاوز السوية المرعية لشدة المجال. والقِيَم النموذجية هي 1% و10% و50% و90% و99%. والقيمة المتوسطة، وهي 50%، مفضلة لدراسات الانتشار.

وجدير بالاهتمام أن المستقبلات تتطلب بضعة ميلليثوان لتقييم التصنيف، ولذا من الممكن تجاهل نبضة الإطلاق خلال هذا الوقت من الميلليثواني، ومن ثم لا حاجة لإجراء قياسات جديدة.

7.2.3.4.4 عرض البيانات

ينبغي أن تكون أشكال العرض التالية ممكنة باستخدام مرقاب مُدمَج في جهاز التحكم في العمليات أو مرقاب لوني موصول بحاسوب شخصي خارجي أو طابعة أو راسم منحنيات:

عرض البيانات الخام في شكل جدولي

المأخذ: ضخامة حجم البيانات، وعدم إمكان تكرار النتائج الإفرادية.

الميزة: توفير معلومات تفصيلية عن تأثير الخبو المحلي؛ إمكانية تحويل النتائج إلى أيّ نوع نتائج يمكن رؤيتها بسهولة عن طريق عملية حسابية رياضية أو إحصائية.

رسم نقاط في إحداثيات ديكارتية

تمثيل بيانات شدة المجال المعالَجة في رسم بياني بتحديد نقاط في إحداثيات ديكارتية مقابل المسافة مع إظهار هذه القِيَم المتوسطة المحسوبة.

المأخذ: صعوبة ربط النتائج بالمواضع الفعلية للقياسات.

الميزة: توفير نتيجة سريعة يمكن رؤيتها بسهولة عن التوزُّع والمواضع دون سوية عتبة مُعيَّنة لشدة المجال.

التقابل

يُعرض خط متعدد الألوان لتمثيل مستويات شدة المجال المعالَجة (مثلاً بسلّم 10 dB(μV/m)) أو احتمالات تجاوز السوية (بين 1% و99%) على خارطة الطريق.

وينبغي أن يكون مقياس الخارطة المختارة متوافقاً مع مساحة المنطقة المشمولة بالإشارة الراديوية الخاضعة للبحث والاستبانة المطلوبة لنتائج شدة المجال المعالَجة. ونظراً لمقياس الخريطة، يمكن أن تشمل الفترات الممثّلة أضعاف متوسط الفترات. وينبغي اختيار استبانة النتيجة المعروضة بحيث يمكنها رسم الخصائص المحلية دون الإفراط في تلوين الخط المتعدد الألوان.

وإذا كانت هناك حاجة إلى تمثيل متوسط الفترات باستبانة أعلى (مثلاً عند تمثيل النتائج في خلايا صغرية)، ينبغي أن يكون النظام قادراً على 'تزويم' الخارطة المتاحة.

وإذا جرى خلال القياسات تسجيل سلسلتي بيانات معاً في وقت واحد (مثلاً شدة المجال ونسبة الخطأ في البتات)، من المناسب تمثيلهما معاً بخطين ملونين متوازيين بمحاذاة طرق الخارطة المرسومة (انظر الفقرة 2.6 لمزيد من التفاصيل بشأن الخرائط).

المأخذ: يمكن أن تكون استبانة الفترة المرسومة بيانياً أكبر مقارنة بالفترة المعالَجة. ولذا يمكن أن يؤدي هذا إلى حجب الخصائص المحلية لشدة المجال.

الميزة: يمكن ربط نتائج الاختبار بموضع القياسات على وجه الدقة. وهذا يوفِّر نتائج سريعة يمكن رؤيتها بسهولة بخصوص التوزُّع والهبوط إلى ما دون سوية عتبة معيَّنة لشدة المجال.

3.3.4.4 مقارنة البيانات المقيسة والمحسوبة

تُستخدَم القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) للمرسِل لحساب تغطية المحطة.

ويمكن استخدام البيانات المراقبة لما يلي:

- تقدير القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.)؛
- تقييم نموذج الانتشار والنماذج الطوبوغرافية الرقمية (DTM).

ويمكن استخدام البيانات المحسوبة لما يلي:

- تقدير معايرة الاتساع لنظام الاستقبال: الهوائي والكبلات والمستقبِل؛
- تقييم المعايرة.

1.3.3.4.4 مقارنة شدة المجال المتوقعة والمقيسة في الإذاعة بتشكيل التردد (FM)

تتغيَّر الإشارات الراديوية بحكم الزمن وبحكم اختلافات صغيرة في الموضع. وهذا التغيُّر مُدرَج في عديد من طرائق التنبؤ بالانتشار. وفي معظم الحالات، تتم قياسات المراقبة في موضع واحد وفي فترة زمنية قد تكون قصيرة جداً إلى درجة لا تسمح بتحديد التغيُّر بحكم الوقت تحديداً تامّاً. ونتيجة لذلك، يجب مراعاة القياسات بعناية عند مقارنتها بالتنبؤات. ويتعلق المثال هنا بوضع يمكن أن يكون فيه التغيُّر صغيراً ويمكن إجراء المقارنات بثقة. ولكن هنالك حالات كثيرة يكون فيها التغيُّر أكبر ويجب إجراء المقارنات بمراعاة الاختلافات الملاحظة بعناية.

ويحتوي الاتفاق الإقليمي (جنيف، 1984) على أسس التخطيط لمحطات الإذاعة بتشكيل التردد (FM) في الإقليم 1. وتُحدَّد في هذه الخطة أيّ البلدان يمكن أن تستعمل أيّ الترددات بمعلمات مثل القدرة وارتفاع الهوائي ومخطط الهوائي والاستقطاب، وما إلى ذلك. ويعكس السجل الأساسي الدولي للترددات (MIFR) الحالة الراهنة في النشرة الإعلامية الدولية (IFIC) نصف الشهرية للاتحاد الدولي الاتصالات التي يصدرها مكتب الاتصالات الراديوية في قرص DVD.

وتقع على عاتق الإدارات الوطنية مهمة التحقق، بواسطة خدمتها المعنية بالمراقبة، من امتثال هذه المحطات الإذاعية للمعلمات المخصصة للترددات. ويمكن أداء ذلك من خلال التفتيش المادي في جميع المحطات بشكل منتظم، مثلاً مرة كل سنة (أو كل سنتين). وحرصاً على ادِّخار الوقت وتخفيض التكاليف يقيس نظام المراقبة المحطات الإذاعية من محطة مراقبة واحدة ثابتة أو أكثر، ويقارن النتائج مع القِيَم المتوقعة. فإذا دلَّت نتائج المقارنة على أن القدرة التي تبثها المحطة عالية بشكل مفرط (أو أن الهوائي مُركَّب على ارتفاع أعلى من المسموح به) يمكن القيام بتفتيش مادي.

2.3.3.4.4 تخطيط البرمجيات وقواعد البيانات

تستخدم إدارة الترددات في كثير من الأحيان برمجيات لحساب المعلمات الضرورية لتخطيط محطاتها أو التحقق من طلبات التنسيق من البلدان المجاورة. ويمكن لبرمجيات التخطيط أيضاً أن تنتج ما يُسمّى مسح الترددات. وفي هذه الحالة، يقوم البرنامج بمسح قاعدة البيانات المحتوية على معلومات النطاق من 87,5 MHz إلى 108,0 MHz، ويولِّد أوتوماتياً قائمة لموضع معيَّن يحتوي على جميع القنوات وعددها 204 المتميزة بشدة المجال المتوقعة لجميع المحطات العاملة في ذلك التردد. ويتوقف عدد المحطات المدرجة في تلك القائمة والمتميزة بشدة المجال المحسوبة في تردد معيَّن على حجم قاعدة البيانات المستخدمة وعلى سوية محددة مسبقاً لشدة المجال التي ينبغي أخذها في الاعتبار.

3.3.3.4.4 شدة المجال المتنبأ بها من محطات المراقبة النائية

تُستخدَم، على سبيل المثال، شبكة مؤلفة من 12 محطة نائية في بلد واحد. ويمكن أن تنتج أداة التخطيط لكل موضع من مواضع هذه المحطات للمراقبة النائية، قائمة بالقِيَم المتنبأ بها لشدة المجال لجميع القنوات الإذاعية بتشكيل التردد (FM) وعددها 204. ولا حاجة سوى إلى أقوى محطة في كل قناة. ولكن من المستصوب إعداد قائمة أوسع، لأن المحطة المتميِّزة بأقوى شدة مجال محسوبة يمكن أن تعمل بقدرة مُنخفِضة بحيث يمكن أن تُستقبَل محطة أخرى بدلاً منها. وقد استُنتِجت التنبؤات لهذا المثال باستخدام نموذج الانتشار الوارد في التوصية ITU-R P.370 الملغاة. ويمكن استنتاج التنبؤات المستقبلية على سبيل المثال باستخدام التوصية ITU-R P.1546.

4.3.3.4.4 شدة الإشارة المقيسة من محطات المراقبة النائية

تشتمل كلُّ محطة من محطات المراقبة النائية على مُستقبِلين يستخدمان الهوائي نفسه عن طريق فالق. ويقوم المستقبِل الأول بمسح نطاق الترددات في جميع المحطات بشكل تعاقبي. وتُعرض النتائج في 12 نافذة على شاشتي عرض يبلغ قطر كلٍّ منهما 21 بوصة. ويمكن استخدام المستقبِل الثاني للاهتداء إلى المحطات المعروضة على الشاشة نتيجة لقياسات المستقبِل الأول. ويجري

مسح النطاق بكامله كل 10 ثوان. وتخزن قِيَم شدة الإشارة المقيسة لجميع الخطوات بعد كل عملية مسح. ويواصل النظام عملية القياس طوال 24 ساعة (ولكن يمكن أن يُقصَر القياس مثلاً على ساعات النهار فقط). ويبلغ الفصل بين القنوات الإذاعية بتشكيل التردد (FM) في الإقليم 1 مقدار 100 kHz. وبالتالي، لن تلزم لمعالجة قيم شدة الإشارات المقيسة بغية المقارنة مع شدة المجال المتنبأ بها سوى القيم المتاحة في القنوات الصحيحة بالضبط (87,6 MHz و87,7 MHz و87,8 MHz، وهلمّ جرّاً). ويؤخذ من كل قناة متوسط القيم المقيسة خلال 24 ساعة. وبهذه الطريقة تُخفَّض إلى أدنى حد تأثيرات تغيُّر الانتشار خلال اليوم كله.

5.3.3.4.4 مقارنة القيم المتنبأ بها والقيم المقيسة

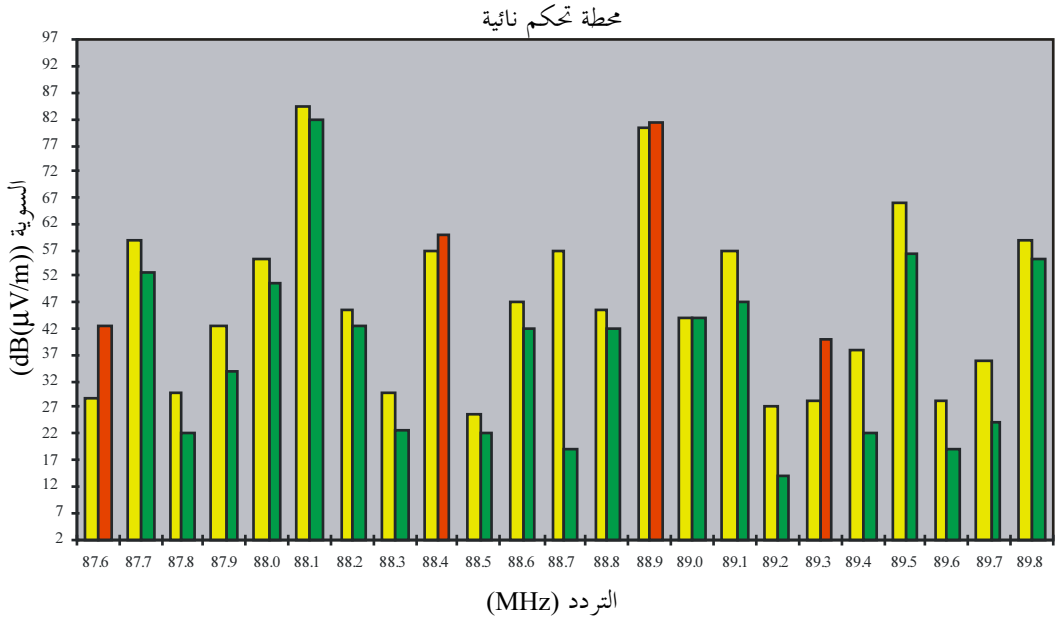
إن القيم المتوسطة المقيسة والمتنبأ بها متاحة لكلٍّ موضعٍ من المواضع البالغ عددها 12. ويمكن مقارنة هذه القيم فيما بينها أوتوماتياً وعرضها على شاشة في أجزاء من 23 قناة مثلاً (انظر الشكل 4.4-2).

وتتغيَّر القضبان الخضر (السويات المقيسة) إلى قضبان حمر إذا كانت القيمة المقيسة تساوي أو تتجاوز القيمة المتنبأ بها. ويمكن من هنا 'التزويم' في المُرسِل موضع الاهتمام. وتتوفر معلومات تفصيلية تتضمن قياسات سابقة في المحطة التي موضع الاهتمام. ويمكن النظر في تلك الحالات بعين الاعتبار فيما إذا أُوفِد مهندس تفتيش إلى محطة (أو أكثر) من المحطات التي تجاوزت القيم المتنبأ بها. وينبغي تكرار القياسات المذكورة بشكل منتظم بغية إعطاء معلومات إضافية، من قبيل:

- تقديم عروض تحتوي على اتجاهات تاريخية بشأن كل قناة لكل موضع، في شكل رسم بياني أو نص عادي؛
- عرض القيم المقيسة مع الوقت على مُنحنى توزُّع؛
- حساب جميع القيم المقيسة المتجاوزة في كل محطة نائية؛
- الكشف أوتوماتياً عن المحطات غير المرخَّصة لكل قياس/محطة، وتقديم صُوَر شاملة عن الاتجاهات في الاستعمال غير المشروع. وبهذه الطريقة يمكن عرض تأثيرات جهود الإنفاذ؛
- القيام بفحص مخططات الهوائيات في المحطة الإذاعية بمقارنة قيم شدة المجال المتنبأ بها من محطة إذاعية مقيسة من أكثر من محطة نائية (من أكبر عدد ممكن منها) من اتجاهات مختلفة.

الشكل 2-4.4

السويات المتنبأ بها (أصفر) والسويات المقيسة (أخضر أو أحمر)
بين MHz 87,6 وMHz 89,9 من محطة مراقبة نائية



Spectrum-4.4-02

4.4.4 تقييم نتائج القياسات ومعالجتها وتوثيقها

1.4.4.4 تحديد المعلمات الإحصائية لشدة المجال وكثافة تدفق القدرة

تتوقف الطريقة المستخدمة في استخلاص البيانات من التسجيلات بالدرجة الأولى على الغرض المستهدف من استخدام هذه البيانات. ومن الشائع، في دراسات الانتشار، تحديد سوية الإشارة المتجاوَزة أثناء نسبة مئوية محددة من الزمن، أو القيمة القصوى أو الدنيا أثناء فترة زمنية محددة مسبقاً؛ مثلاً:

- القيمة المتوسطة (تجاوز السوية بنسبة 50% من الزمن)؛
- القيمة البالغة نسبتها 90%؛
- القيمة البالغة نسبتها 10%؛
- أعلى سوية للإشارة؛
- أدنى سوية للإشارة.

وتمثل القيمة المتوسطة (dB(µV/m)) شكلاً مستصوباً لعرض القياسات في ترددات منفصلة من أجل دراسات الانتشار. وعلى الرغم من استخدام فترات 60 دقيقة بشكل واسع (في الترددات الديكامترية HF) باعتبارها الفترة الزمنية الأساسية من أجل التحليل، يمكن في حالات محددة تفضيل فترات زمنية أقصر أو أطول (مثلاً دقيقة واحدة أو 10 دقائق أو عدة ساعات). وفي الترددات الأدنى، خصوصاً دون MHz 30، حيث يحدث تغيُّر كبير في سوية الإشارة بحسب الوقت من اليوم، كما يحدث في نطاقات الإذاعة الهكتومترية (MF) والديكامترية (HF)، يمكن إجراء التحليل في كل ساعة أثناء فترات تتمحور حول موعد شروق الشمس وغروبها في النقطة الوسطية من المسير بين المرسِل والمستقبِل. ويساعد استعمال الحاسوب لهذا الغرض على تيسير عمليات التحليل وتسريعها.

وكثيراً ما تُظهر سوية شدة المجال في القيمة المتوسطة dB(µV/m) منحنى توزُّع غوسي (عادي) مع اعتماد على الزمن والفضاء على السواء. انظر التوصية ITU-R P.1057 بشأن توزُّعات أخرى.

وتوزُّع قيَم شدة المجال المقيسة، المعبَّر عنها بوحدات خطية (مثلاً V/m أو mV/m أو µV/m)، يتبع منحنى توزُّع لوغاريتمي عادي. وعندما تُحوَّل هذه البيانات إلى وحدة dB، فإن منحنى التوزُّع يتبع منحنى توزُّع (غوسي) عادي، مما يستلزم صيغ مختلفة. وفي حالة منحنى توزُّع غوسي، تسري التعاريف التالية:

التباين التجريبي المصَوِّب لشدة المجال:

$$s*^2 = \frac{n}{n-1} s^2 \qquad \text{dB} \tag{4.4-14}$$

حيث:

n: عدد العينات

s^2: القيمة التجريبية.

$$s^2 = \sum_{i=1}^{n} (e_i - \bar{e})^2 \qquad \text{dB} \tag{4.4-15}$$

حيث:

e_i: قيمة اعتيان شدة المجال (dB(µV/m))

$\bar{e}$: المتوسط الحسابي للعينات (dB(µV/m)).

2.4.4.4 تقييم اعتماد شدة المجال على الفضاء والزمن

يمكن اشتقاق دالّة التوزُّع $N(\bar{e}\ \sigma_L)$ في منطقة تقع على بُعد L من المرسِل، حيث يوجد عدد كاف من العينات، شرط معرفة القيمة المتوسطة لشدة المجال (المتوسط الحسابي $\bar{e}$ للعينات) والانحراف المعياري بحسب الموضع σ_L. كما يمكن اشتقاق دالّة التوزُّع $N(\bar{e}\ \sigma_t)$ بشكل كاف، خلال فترة زمنية طويلة نسبياً، حيث يوجد عدد كاف من العينات شرط معرفة القيمة المتوسطة لشدة المجال (المتوسط الحسابي $\bar{e}$ للعينات) والانحراف المعياري بحسب الزمن σ_t.

ويمكن أيضاً تحديد دالّة التوزُّع $N(\bar{e}\ \sigma_{L,t})$ بالقيمة المخفَّضة للانحراف المعياري بحسب الموضع والتباين بحسب الزمن.

$$\sigma_{L,t} = \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_t^2} \qquad \text{dB} \tag{4.4-16}$$

لمزيد من التفصيل، انظر التوصيتين ITU-R P.1546 وITU-R P.845.

3.4.4.4 مثال لقائمة مرجعية لبيانات التنسيق

نص اتفاق التعاون الأوروبي [اتفاق فيينا، 2000]، ضِمن أمور أخرى، على الإجراء التالي فيما يخص القياس في حالات الاختلاف بخصوص نتائج التقييم المتعلق بطلب تنسيق محدد، لتيسير تحسين الشبكات القائمة وفي حالات التداخل الضار بين المحطات في المناطق الحدودية في مدى الترددات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF). ويجب تبادل نتائج قياسات شدة المجال، ولذلك وُضِعت معايير ناظمة لإجراءات القياس.

ويجب اختيار مواقع القياس بحيث لا تكون هناك أجسام عاكسة أو يكون عددها قليلاً بقدر الإمكان في حدود عشرة أضعاف طول الموجة (10 λ). وينبغي أن تتوفر إمكانية رؤية الهوائي المرسِل حيثما أمكن ذلك.

ويجب، حسب ظروف القياس، تنظيم سجلات مختلفة للقياس بما في ذلك تفاصيل الوضع، بحيث يمكن استنساخ النتائج. كما يجب تحديد مواصفات التجهيزات بكاملها.

وفي حالات قياسات النقاط الثابتة، يجب تغيير ارتفاع هوائي(هوائيات) القياس من الأرض بين 3 و10 أمتار. ويجب في حدود هذا المدى تسجيل أعلى قيمة لشدة المجال وكذلك ارتفاع الهوائي حيثما يكون قد تم قياس هذه القيمة. ويجب اعتبار أن هذه القيمة تساوي قيمة شدة المجال على ارتفاع 10 أمتار.

ويجب أن يُخزن في قاعدة بيانات سجل لكل نظام قياس ولكل قياس. كما يلزم تدوين جميع البيانات ذات الصلة لشرح نتائج القياس من أجل الحسابات اللاحقة.

بيانات القياسات ذات الصلة (في حالات التداخل الضار):

تخصيص متداخِل:

- الإدارة؛
- التردد (MHz)؛
- الموضع المفترَض أو الاتجاه المفترَض للتخصيص المعرّض للتداخل؛
- تسمية الإرسال؛
- شدة المجال المقيسة (dB(μV/m))؛

التخصيص المعرَّض للتداخل:

- الرقم المرجعي للإدارة؛
- التردد (MHz)؛
- اسم الموضع؛
- إحداثيات الموضع (الدرجة/الدقيقة/الثانية)؛
- صنف المحطة.

نمط القياس:

- نقطة ثابتة، عدد النقاط؛
- خلال فترة زمنية أطول؛
- متنقل.

بيانات القياس:

- رقم القياس
- التردد المقيس
- عرض النطاق المقيس
- التاريخ (اليوم/الشهر/السنة)
- الفترة الزمنية (من/إلى) (الساعة/الدقيقة إلى الساعة/الدقيقة)
- اسم الموضع
- الموضع الجغرافي (الدرجة/الدقيقة/الثانية)
- ارتفاع الموضع (بالأمتار فوق سوية البحر)
- ارتفاع هوائي القياس (بالأمتار فوق سطح الأرض)
- استقطاب هوائي القياس (أفقي/رأسي)

- هوائي الزبون □ نعم □ لا
- وصف مسير الإرسال
- ظروف الانتشار (الطقس)
- ملاحظات (عرض نطاق التردد المتوسط، التشكيل، معدل الخطأ في البتات، عند الاقتضاء)

نتائج القياس: (في حالة القياسات خلال فترة زمنية أطول)

- شبه أقصى قيمة (10%): (dB(μV/m)).
- شبه أدنى قيمة (90%): (dB(μV/m)).
- القيمة (المتوسطة) المقيسة: (dB(μV/m)).

5.4.4 معايرة أجهزة القياس والهوائيات

تشمل معايرة أجهزة قياس شدة المجال عادة المعايرة المنفصلة لمستقبِل القياس ولهوائي القياس بما في ذلك كبل الإرسال.

و لم يكن الهوائي جزءاً من دارة التوليف و لم تشمله إجراءات المعايرة إلاّ في أمثلة مبكرة للأجهزة (اليدوية) لقياس شدة المجال في نطاق الترددات الديكامترية (HF).

ويعتمد تواتر المعايرة على التجهيزات المستعملة والبيئة التي تُستعمَل فيها، مثلاً قد يستلزم الأمر إعادة معايرة الهوائي مراراً للعملية المتنقلة أو للمواضع المعرّضة لتغيُّرات موسمية في الموصلية الأرضية.

1.5.4.4 معايرة مستقبِلات القياس

يرد وصف معايرة مستقبِلات القياس في الفقرة 11.3.4.

2.5.4.4 معايرة هوائيات القياس

يُسمِّي الجزء من عامل المعايرة، الذي تحدده خصائص نظام الهوائي (أي الكسب مع خسائر الخطوط والمحوِّلات) عامل الهوائي (انظر الفقرة 2.1.1.4.4). وعموماً، يتغيِّر عامل المعايرة بتغير التردد. ويمكن تصنيف أساليب المعايرة تحت ثلاث فئات أساسية، وهي طريقة المجال المعياري وطريقة الهوائي المعياري وطريقة المسافة أو الموقع المعياري. ويجب أن توفر جميع الطرائق عوامل هوائية تسري في الفضاء الحر تحت ظروف مجال بعيد. ومن المهم تركيب الهوائيات من أجل القياس بحيث لا تتأثر خصائصها بالصواري أو الكبلات، أو بهوائيات أخرى أو أجسام عاكسة من البيئة المحيطة.

1.2.5.4.4 طريقة المجال المعياري (المعايرة المباشرة)

طريقة المجال المعياري هي الطريقة الأساسية إلى أبعد حد. وتُشتَق مباشرة من معادلة تعريف عامل الهوائي. حيث يُعرَّض الهوائي لمجال كهرمغنطيسي شدته معروفة بدقة. ويمكن تحديد شدة المجال بحسابات مستندة إلى التيَّار الكهربائي المقيس في هوائي إرسال أبعاده معروفة، وتوزُّع تيَّاره معروف أيضاً. ولأسباب عملية، تقتصر هذه الطريقة على معايرة هوائيات العروة، نظراً لوجود طرائق أخرى للهوائيات الأخرى تحرز نتائج أكثر دقة.

2.2.5.4.4 المعايرة غير المباشرة للهوائيات

لا تُستخدَم المعايرة المباشرة عادة لمعايرة الأجهزة ذات الهوائيات القضيبية القصيرة، لأنه سيكون من الضروري تحديد مجالات متسقة ومعروفة بدقة داخل منطقة اختبار واسعة يشغلها الجهاز والهوائي التابع له. ويُحسَب عامل المعايرة في هذه الطريقة من خصائص الهوائي المحسوبة أو المقيسة وخصائص الأجهزة المقيسة. ويُزال المشع المنفعل من تجهيزات قياس شدة المجال ويحل محله مولِّد إشارة قياسي مُعايَر يشمل معاوقة مساوية أساساً لمعاوقة الهوائي. ويُستعمَل عادة هوائي اصطناعي مناسب لمعايرة بقية التجهيزات (جهاز ملائم للمعاوقة بالإضافة إلى مستقبِل للقياس)، مثل مقياس فلطية بالترددات الراديوية (أو مقياس للقدرة)

إزاء مولِّد الإشارة المعياري. ويُحسَب عامل هوائي لكل تردد من أبعاد الهوائي وتوزُّع تيَّاره، باعتبار الهوائي بمثابة فتحة، أو من كسب الهوائي المقيس. وإذا استُعمِل كبل إرسال، قد يكون من المناسب اعتباره في بعض الحالات جزءاً من المستقبِل، وتوصيل مولِّد المعايرة به لتفادي الحاجة إلى تحديد خسارة الكبل بشكل منفصل وتفادي تعويضها. ويمكن استخدام مقياس لشدة المجال مجهَّز بهوائي عروي محمي للتحقق من معايرة الهوائي القضيبي في المجال البعيد غير المشوَّش لمحطة راديوية.

3.2.5.4.4 طريقة الهوائي المعياري (طريقة الاستبدال)

تقاس بطريقة الهوائي المعياري موجة مستوية شدة مجالها مجهولة باستخدام هوائي ذي عامل معروف بدقة (هوائي كسب معياري، مثلاً ثنائي القطب المعياري)، ثم يستعاض عنه بالهوائي المطلوب معايرته. ويمكن تحديد عامل الهوائي بوحدة dB من الفرق في سويات فلطية دخل المستقبِل. أمّا العوامل الهوائية لهوائيات الكسب المعيارية ذاتها فيجري حسابها من أبعادها والخصائص المقيسة لعناصر التكييف (مثلاً التوازن وعدم التوازن)، أو تُحدَّد باستخدام إجراء معايرة دقيق. ومقارنةً بالطريقة الموصوفة في الفقرة 4.2.5.4.4 فإن ما يؤخذ على طريقة الاستبدال هو أن خطأ عامل الهوائي يسهم في مجمل خطأ الطريقة. ويمكن أن تنتج أخطاء أخرى من الأشكال المختلفة لهوائي الكسب المعياري والهوائي المطلوب معايرته عندما لا يكون المجال موجة مستوية مثالية. وعلاوة على ذلك يؤخذ على الهوائيات الثنائية القطب نصف الموجية المستعملة كهوائيات كسب معيارية أن عملية توليفها آلية بالضرورة لكل تردد جديد.

4.2.5.4.4 طريقة المسافة المعيارية أو الموقع المعياري

عندما تُطبَّق طريقة المسافة المعيارية، تُخفَّض معايرة الهوائي لقياس دقيق للتوهين بين هوائيين متماثلين، وتُقارَن النتيجة بالقيمة المحسوبة للتوهين الموقعي. ويُستخدَم لتحديد عامل الهوائي في الفضاء الحر، إذا أمكن، ترتيب للمعايرة في الفضاء الحر لتحقيق أفضل دقة ممكنة للنتائج. وفي هذه الحالة يجب تركيب الهوائيين بحيث يمكن تجاهل الانعكاسات من أجسام محيطة. وهذا ممكن عادة للهوائيات الاتجاهية. وإذا تعذَّر تحقيق ظروف الفضاء الحر، يمكن مثلاً استخدام طريقة انعكاس بتركيب الهوائيين فوق مستوي أرضي عاكس، ومقارنة التوهين بالقيمة النظرية بافتراض إضافة الموجة المباشرة والموجة المنعكسة في موضع الهوائي المستقبِل. ويجب تطبيق هذه الطريقة بعناية فائقة لأن الاقتران المتبادل بين الهوائي والمستوي الأرضي يمكن أن يؤثر على عامل الهوائي. ولهذا يجب أن تكون المسافة المباعِدة بين الهوائيين وبين كلٍّ منهما والمستوي الأرضي كبيرة بقدر كاف بحيث يمكن تجاهل تأثيرات الاقتران المتبادل. ويجب الاهتمام على وجه التحديد بموقع مراكز الطور للهوائيين، لأن هذا المصدر الكامن للخطأ يمكن إزالته بالمراعاة الكافية لتأثير حساب توهين الموقع على التوهين المقيس.

وفيما يتعلق بتقييم نتائج طريقة المسافة المعيارية، يجب التمييز بين نتائج طريقة الهوائيين وطريقة الهوائيات الثلاثة. فإذا أُجري قياس للتوهين بهوائيين فقط، فلا يمكن حقاً سوى تحديد مجموع كسب الهوائيين بوحدة dB. ولا يمكن أن يُعزى عامل الهوائي المزمع حسابه سوى إلى هوائي واحد عندما تكون بيانات الهوائي الآخر معروفة مسبقاً. ويمكن تفادي هذا التقييد بتطبيق طريقة الهوائيات الثلاثة، حيث تُنفّذ ثلاثة قياسات توهين بدمج ثلاثة هوائيات مع ثلاثة أزواج متبادلة بشكل دوري (a+b، b+c، c+a). ويمكن تحديد الكسب (وعامل الهوائي أو المساحة الفعّالة) لكل هوائي على حدة.

5.2.5.4.4 حساب عامل الهوائي من الأبعاد وتوزُّع التيَّار

يتيسر حساب عامل الهوائي باستخدام أنماط هوائيات بسيطة. وهكذا يُفترض مثلاً أن يكون توزُّع تيّار الهوائي القضيبي الرأسي القصير والرفيع (أقصر من 0,1 من طول الموجة)، الموجود فوق مستوي أرضي ممتد، خطياً مما يجعل طوله الفعّال يساوي نصف طوله المادي. ويمكن محاكاة معاوقته تقريباً بمكثِّف موصول بشكل تسلسلي بين مولِّد الإشارة المعياري ودخل جهاز القياس. وثمة مثال آخر يجسده هوائي رفيع ثنائي القطب بنصف موجة، بتوزُّع تيَّار جيبي مفترض، يُستخدَم لأغراض المعايرة في كثير من الأحيان. ولهذا الهوائي طول فعّال محسوب قدره λ/π ومقاومته الإشعاعية 73,3 Ω في الفضاء الحر. ويجب قطع ثنائي قطب اسطواني عملي بحيث يكون أقصر بشكل ملحوظ من نصف طول الموجة لتحقيق الرنين. وتكون قيمة مقاومته الإشعاعية وطوله الفعّال أقل من القيمة المناظرة لهما في حالة هوائي رفيع جداً. وتعزى هذه الفروق إلى تأثير الثخانة المحدودة في توزُّع التيّار. بيد أن النمط الاتجاهي لثنائي القطب العملي لا يختلف كثيراً عن نمط ثنائي القطب الرفيع النظري،

ويُستنتج من هذه الملاحظة أن كسبه وقدرته المتاحة يظلاّن قريبين جداً من قيم الهوائي الرفيع النظري. وتدل هذه الاعتبارات على أن ثنائي القطب العملي يمكن أن يُعتبَر مكافئاً للهوائي الرفيع النظري مشفوعاً بمحوِّل لمراعاة التغيّر في المقاومة الإشعاعية. والتوازن/عدم التوازن (balun) هو محوِّل إضافي يمكن أن يؤدي استعماله إلى أخطاء كبيرة ما لم تُستمثل خصائصه المناسبة للمعاوقة وما لم تؤخذ الخسارة في الاعتبار. وتنطوي الهوائيات الثنائية القطب الدقيقة المتاحة تجارياً على موهنات لتحقيق استقرار معاوقة حمل ثنائي القطب، مما يوفر ميزة لمعايرة الهوائي. وتحسب طريقة العزوم (MoM) [Harrington, 1968] عامل الهوائي عندما تكون أبعاد الهوائي معروفة. ويجب الحرص على حسن تطبيق طريقة العزوم على هذه المشكلة، ومن المستصوب ممارسة التحقق المتبادل المقيس كلما أمكن ذلك.

3.5.4.4 معايرة منشآت التسجيل الثابتة

لتحقيق سويات الدقة المطلوبة في التوصية ITU-R SM.378، يمكن إجراء المعايرة الأولية لهذه المنشآت بمقارنتها بمقياس معايَر ومعروف الدقة لشدة المجال وفي ظل شروط محكمة. ولن تكون هذه المعايرة صالحة إلاّ إذا ظلت بدون تغيير كل الظروف التي جرت فيها المعايرة الأولية. ولهذا، فإن التغيُّرات الكبيرة في الهوائيات أو خطوط الإرسال أو أجهزة مواءمة المعوّقات أو في الموقع ذاته (من قبيل إضافة أو إزالة هوائيات مجاورة أو أي موصِّلات معلقة أو عراقيل أخرى) ستستلزم عادةً إعادة معايرة المرفق. وينبغي، بالإضافة إلى ذلك، القيام بعمليات تحقق دورية (يومياً عادة) إزاء مصدر المعايرة المحلي (مولِّد الإشارة المعياري أو مولِّد الضوضاء أو مصدر المعايرة المبيَّت). ويمكن استخدام المحطات الإذاعية المحلية بعناية باعتبارها إمكانية معايرة أخرى. وإذا كان من المزمع إجراء قياسات لمدى ترددات موسَّع، يمكن إعداد منحنى معايرة استناداً إلى قياسات مقارنة على فترات زمنية متكررة ضمن مدى الترددات موضع الاهتمام. وعند إجراء هذه المقارنات، ينبغي الحفاظ على نفس استقطاب هوائي محطة المراقبة وهوائي مقياس شدة المجال (مثلاً، يبقى كلا الهوائيين مكيَّفين لاستقبال إرسالات مستقطبة رأسياً أو كلاهما لاستقبال إرسالات مستقطبة أُفقياً).

ويمكن إحراز نتائج مرضية عادة بمقياس لشدة المجال على ارتفاع مناسب من سطح الأرض (حوالي متر مثلاً)، لقياسات ترددات دون 30 MHz، يُستخدم فيها مقياس لشدة المجال بهوائي عروة محمي يُستخدَم عادة لمعايرة منشأة تسجيل تحتوي على هوائي عمودي وحيد القطب. أمّا بالنسبة إلى الترددات فوق 30 MHz، حيث تُستخدم عادة الهوائيات الثنائية القطب أو غيرها من الهوائيات الرنينية وحيث لا يكون للأرض دور كبير في الانتشار، فمن المستصوب تركيب هوائي مقياس شدة المجال على نفس ارتفاع هوائي التسجيل (حوالي 10 أمتار عادة فوق سطح الأرض). وتفادياً للتفاعل بين هوائي مقياس شدة المجال وهوائي التسجيل، قد يكون من المستصوب إزالة هوائي التسجيل مؤقتاً ووضع هوائي مقياس شدة المجال في الموضع نفسه للحصول على شدة المجال المرجعية؛ ثم يُستبعَد هوائي مقياس شدة المجال ويتم تركيب هوائي التسجيل مرة أخرى. وتفترض هذه العملية مسبقاً ثبات سوية مصدر الإشارة المستخدَم خلال إجراء المعايرة. وإذا استلزم الأمر استخدام إشارة متغيِّرة الشدة، ينبغي إجراء قياسات في آن واحد بهوائيين قريبين أحدهما من الآخر، ولكن على بُعد مسافة كافية للحد من التفاعل بينهما بقدر الإمكان.

بيبليوغرافيا

CENELEC European Standard EN50492 [November, 2008] Basic standard for the in-situ measurement of electromagnetic field strength related to human exposure in the vicinity of base stations.

CHAPIN, E. W. [1958] Field Strength Measurements. L. D. Report 6.3.1. Federal Communications Commission, Office of the Chief Engineer, Washington, DC, United States of America.

CONSTANTINE A.BALANIS [2005] *Antenna theory, third edition*. John Wiley & SONS, inc., United states of America, ISBN 0-471-66782-X.

EVERS, C. H. [1991] Communications & Spectrum Analyzers FSAD and FSBC. News from Rohde & Schwarz No. 134, p. 11 to 13.

HARRINGTON, R. F. [1968] *Field Computation by Moments Method*. Macmillan, New York, United States of America.

IEC 597-2 [1977 Areas for the reception of sound and television broadcasting in the frequency range 30 MHz to 1 GHz, Part 2: Methods of measurement of electrical performance parameters.

IEEE Standard 145 [1993] Antenna definitions.

IEEE Standard 211 [1991] Propagation definitions.

IEEE Standard 291 [1991] Methods for Measuring Electromagnetic Field Strength of Sinusoidal Continuous Waves, 30 Hz to 30 GHz.

IEEE Standard 302 [1969] Methods for Measuring Electromagnetic Field Strength for Frequencies below 1 000 MHz in Radio Wave Propagation, reaffirmed 1991.

IRPA [1991] Guidelines on Protection against Non ionizing Radiation. Pergamon Press Inc.

KANDA, M. [October 1993] Standard Probes for Electromagnetic Field Measurements. *IEEE Trans. Ant. and Prop.*, Vol. AP-41, No. 10, p. 1349-1364.

KRAUS, J. D. [1950] *Antennas*. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, NY, United States of America.

LEE, W. C. Y. [1986] *Mobile Communications Design Fundamentals*. Howard W. Sams & Co., Indianapolis, United States of America, ISBN 0-672-22305.

LORENZ, R. W. [March 1979] Theoretical distribution functions of multipath fading processes in the mobile radio and determination of their parameters by measurements. Technical Report FI 455 TBr 66, FI, FTZ, Deutsche Bundespost, Germany.

RANDALL, R. B. [1977] *Application of B&K Equipment to Frequency Analysis*. Brüel & Kjaer, 17-089.

ROHNER, C. H. and STECHER, M. [1993] Calibration of Antennas for the Measurement of Signals and Interference. News of Rohde & Schwarz, No. 143, p. 31 to 34.

TAGGART, H. E. [June 1965] Field-strength calibration techniques at the National Bureau of Standards. *IEEE Trans. Electro. Comp.*, Vol. EMC-7, p. 163-169.

Vienna Agreement, Annex 7 [2000] Provisions on Measurement Procedures in the Fixed Service and the Land Mobile Service.

WOLF, J. [1993] Test Receivers ESN and ESVN: Top Allrounders for Signal and EMI Measurements up to 2 GHz. News from Rohde & Schwarz, No. 141, p. 11 to 13.

توصيات وتقارير قطاع الاتصالات الراديوية

ملاحظة – يشجع في كل حالة استخدام أحدث طبعة من التوصية أو التقرير.

التوصية ITU-R SM.378 – قياسات شدة المجال في محطات المراقبة.

التوصية ITU-R P.529 – طرائق التنبؤ للخدمة المتنقلة البرية للأرض في نطاقي الترددات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF).

التوصية ITU-R P.533 – طريقة التنبؤ بأداء الدارات العاملة بالموجات الديكامترية (HF).

التوصية ITU-R BS.638 – المفردات والتعريفات المستعملة في تخطيط الترددات من أجل الإذاعة الصوتية.

التوصية ITU-R P.845 – قياس شدة مجال الترددات الديكامترية (HF).

التوصية ITU-R P.1057 – توزيعات الاحتمال المتعلقة بنمذجة انتشار الموجات الراديوية.

التوصية ITU-R M.1172 – مختصرات وإشارات متنوعة لاستعمالها في الاتصالات الراديوية للخدمة المتنقلة البحرية.

التوصية ITU-R P.1546 – طريقة التنبؤ من نقطة-إلى-منطقة لخدمات الأرض في مدى الترددات بين 30 MHz و3 000 MHz.

التقرير ITU-R BS.516 – شدة المجال الناتجة عن عدة مجالات كهرمغنطيسية.

5.4 قياس عرض النطاق

1.5.4 اعتبارات عامة

1.1.5.4 تأثيرات عرض النطاق على خدمات الاتصالات الراديوية

تنتج مختلف مخططات التشكيل التي تستخدمها خدمات الاتصالات الراديوية المختلفة مكونات طيفية ذات ترددات مختلفة.

ويستلزم تحقيق درجة معينة من جودة الخدمة بالضرورة استنساخ التوزُّع الطيفي للإشارة المرسَلة في موقع الاستقبال إلى حد معيّن من الدقة.

وكلّما كانت الفروق بين الطيف الأصلي والطيف المستنسَخ أكبر، كانت جودة الخدمة التي يمكن تحقيقها أضعف.

ومن جهة أخرى، من شأن المكونات الطيفية الواردة من مصادر إشارات أُخرى غير الإشارة المطلوبة أن تسبِّب أيضاً انحطاط الجودة بتشويه التوزُّع الطيفي الأصلي. ولكي يتسنَّى صوغ متطلبات الجودة من حيث الكميات المادية لا بد من تعريف عرض النطاق بشكل مناسب.

2.1.5.4 تعاريف عرض النطاق

عرض النطاق اللازم

التعاريف المستخدمة حالياً، وفقاً للمادة 1 من لوائح الراديو هي كما يلي:

"152.1 *عرض النطاق اللازم:* هو عرض نطاق الترددات الذي يكفي على الضبط، في صنف إرسال معطى، لتأمين إرسال المعلومات بالسرعة والجودة المطلوبتين في ظروف معينة."

الملاحظة 1 – يمكن حساب عرض النطاق اللازم باستخدام الصيغة الرياضية الواردة في التوصية ITU-R SM.328 بشأن مختلف أصناف البث.

الملاحظة 2 – يدعى البث من مرسل خارج عرض النطاق اللازم بثاً غير مطلوب ويتألف من جزأين (انظر الرقم 146,1 من المادة 1 من لوائح الراديو):

"144.1 *البث خارج النطاق:* هو بث بتردد واحد أو بترددات واقعة خارج عرض *النطاق اللازم*، ولكنها في جواره المباشر، وهو ناتج عن عملية التشكيل، باستثناء *البث الهامشي*."

تصف التوصية ITU-R SM.328 منحنيات تحديد بخصوص الطيف خارج النطاق لمختلف أصناف البث.

"145.1 *البث الهامشي:* هو بث بتردد واحد أو بترددات واقعة خارج عرض *النطاق اللازم*، ويمكن إنقاص سويته دون المس بإرسال المعلومات المقابلة. ويشمل البث الهامشي *الإرسالات* التوافقية، و*الإرسالات* الطفيلية، وأنتجة التشكيل البيني وتحويل التردد، باستثناء *البث خارج النطاق*."

الملاحظة 3 – يمكن أن تتراكب الترددات الناجمة عن البث خارج النطاق والبث الهامشي. ولذا يؤخذ بتعريفين آخرين كما يلي:

"146A.1 *مجال البث خارج النطاق* (لبث ما): هو مدى التردد، الواقع خارج عرض النطاق اللازم مباشرة ولكن لا يدخل فيه *مجال البث الهامشي* الذي يسود فيه *البث خارج النطاق* بصفة عامة. ويحدث البث خارج النطاق، الذي يعرف بحسب مصدره، في الميدان خارج النطاق، كما يحدث بدرجة أقل في *مجال البث الهامشي*. وبالمثل، قد يحدث البث الهامشي في مجال البث خارج النطاق وكذلك في *مجال البث الهامشي*." (WRC-03).

"146B.1 *مجال البث الهامشي* (لبث ما): هو مدى التردد الذي يتجاوز *مجال البث خارج النطاق* الذي يسود فيه *البث الهامشي* بصفة عامة." (WRC-03).

الملاحظة 4 – تحدد التوصية ITU-R SM.329 حدود البث الهامشي وتحتوي على مبادئ توجيهية بشأن الحدود ما بين المجال خارج النطاق والمجال الهامشي. ووفقاً للمبادئ الواردة في التذييل 3 من لوائح الراديو، يتألف البث الهامشي عموماً من ترددات مفصولة عن التردد المركزي للبث بمقدار 250% أو أكثر من عرض النطاق اللازم للبث. ولكن هذا الفصل بين الترددات قد يتوقف على نمط التشكيل المستخدم ومعدل البتات الأقصى في حالة التشكيل الرقمي ونمط المرسل وعوامل تنسيق الترددات.

عرض النطاق المشغول

تم التوصل إلى تعريف عرض النطاق المشغول كما هو وارد في الرقم 153.1 من المادة 1 من لوائح الراديو بعد سنين عديدة من خلال عملية تعديل دعت الحاجة إليها جراء تزايد ازدحام الطيف وتزايد إدراك المشكلات المصادفة في سبيل تطبيق التعريف على نحو أعم.

والتعريف المستخدم في الوقت الحاضر هو:

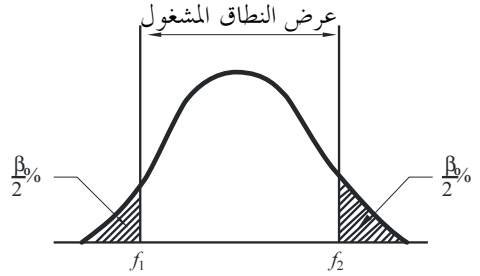
"153.1 *عرض النطاق المشغول:* هو عرض نطاق الترددات الذي تكون فيه القدرتان المتوسطتان المرسلتان تحت التردد *الحدي السفلي* وفوق التردد *الحدي العلوي* مساوية كل منهما لنسبة مئوية معطاة $\beta/2$ من *القدرة المتوسطة* الكلية *لإرسال* ما.

وفي غياب مواصفات محددة في توصية من التوصيات ITU-R بشأن *صنف الإرسال* المعني، تؤخذ القيمة $\beta/2$ مساوية 0,5%."

ويرد مفهوم هذا التعريف في الشكل 5.4-1.

الشكل 5.4-1

تعريف عرض النطاق المشغول كما هو وارد في الرقم 153.1 من المادة 1 من لوائح الراديو



Spectrum-4.5-01

ويمكن استخدام تقنيات معالجة الإشارة الرقمية (DSP) لحساب النسبة β% لعرض النطاق من كثافة القدرة الطيفية (PSD). أولاً، تقدر الضوضاء الخلفية للكثافة PSD باستخدام واحدة من عدة خوارزميات DSP. وتوضع قيم PSD عند الصفر إذا كانت القدرة أقل من Y dB فوق سوية الضوضاء الخلفية. وفي غالبية بيئات الإشارة، فإن Y = 6 dB تعطي نتائج ممتازة. وتحسب قدرة الإشارة الكلية، P، بحاصل قيم صناديق PSD التي تحتوي على قدرة الإشارة. ويحسب التكامل الجاري للكثافة PSD وتستقرأ البيانات للتوصل إلى التردد، f_1، حيث يساوي تكامل القدرة قيمة $P_{\beta/2}$. وتتكرر هذه العملية من الطرف الآخر من الطيف للحصول على التردد الأعلى، f_2، حيث يساوي تكامل القدرة قيمة $P_{\beta/2}$. ويكون عرض النطاق $f_1 - f_2$.

الملاحظة 1 – وفقاً للبند 2 من التوصية ITU-R SM.328 "يعتبر البث مثالياً من منظور اقتصاد الطيف عندما يطابق عرض نطاقه المشغول عرض النطاق اللازم لصنف البث المعني".

عرض النطاق "x-dB"

يعكس التعريفان الواردان أعلاه جوانب الجودة والتداخل على السواء في عرض النطاق. ولكن قد يكون من العسير تطبيقهما مباشرة لقياس عرض النطاق لإشارة معينة في بعض الحالات.

ولذلك ثمة تعريف ثالث وارد في التوصية ITU-R SM.328 كما يلي:

"*عرض النطاق* x-dB: هو عرض نطاق تردد ما تكون فيه أي مكونة طيف منفصلة أو كثافة قدرة طيفية مستمرة، فيما يتجاوز حديه الأدنى والأقصى، أخفض بما لا يقل عن x-dB من سوية مرجعية قدرها 0 dB محددة مسبقاً."

الملاحظة 1 – تبين نتائج البحوث أن من الممكن استخدام عرض النطاق "x-dB" لتقدير عرض النطاق المشغول في شروط محددة جيداً من حيث صنف البث وخصائص تشكيل الإشارة. ولكن هنالك حالات (في بعض مخططات التشكيل الرقمي مثلاً) لا يمثل فيها عرض النطاق "x-dB" تقديراً جيداً لعرض النطاق المشغول.

3.1.5.4 مراقبة عرض نطاق البث في محطات المراقبة

ينبغي أداء مراقبة عرض النطاق المشغول للبث وفقاً للتعريف الرسمي المحدد في الرقم 153.1 من المادة 1 من لوائح الراديو. وتتعلق هذه التعاريف بعرض نطاق آني. ولكن، بما أن قياس البث في محطة مراقبة يجب أن يتم تحت ظروف حركة فعلية في مسير انتشار مُعرَّض لتقلُّب القيم المقيسة، فإن تأثيرات الضوضاء والتداخل، وسرعة استجابة تجهيزات القياس، وما إلى ذلك، تستوجب صقل طرائق القياس بصورة متواصلة.

ويتغير عرض نطاق إشارة تشكيل التردد (FM) وإشارة تشكيل الاتساع (AM) باستمرار بحسب محتويات التشكيل. وفي هذه الحالات، تهتم محطات المراقبة بتعيين الحد الأقصى لعرض النطاق المشغول وعرض النطاق "x-dB" في إطار زمنيٍّ معيَّن. ولهذا، تسفر جميع طرائق القياس الموصوفة هنا عن عرض النطاق المشغول الأقصى.

ويُوصَى في التوصية ITU-R SM.443 بأن تعتمد محطات المراقبة، مؤقتاً، كتقدير لعرض النطاق، طريقة تنطوي على قياس عرض النطاق عند 26 dB (أي عرض نطاق "x-dB" حيث $x = 26$).

وتقوم المستقبِلات الحديثة المستعملة في القياس/المراقبة على أساس معالجة الإشارات الرقمية. ويتيح استعمال هذه التكنولوجيا إمكانية تحديدِ عرض النطاق بالطريقتين - طريقة "x-dB" أو طريقة β%. وتتيح طريقة β% قياسات عرض النطاق بشكل مستقل عن تشكيل الإشارة. ولذلك ينبغي أن تكون الطريقة المفضّلة، لاسيما لقياس عرض النطاق للإشارات الرقمية، عندما يكون تعرُّفها التقني غير متاح، وتكون نسبة الإشارة إلى الضوضاء (*S/N*) منخفضة. ولكن، في حالات التداخل، قد تكون قيم قياس "x-dB" أوثق صلة إلى حد كبير.

4.1.5.4 اعتبارات الدقة

فيما يلي العوامل المؤثرة على عدم اليقين في قياس عرض النطاق:

- مبدأ القياس (تحويل فورييه السريع (FFT) أم تحليل الطيف المكنوس)؛
- عرض نطاق الاستبانة؛
- لا خطِّية عرض الاتساع؛
- شكل الإشارة الطيفي؛
- إجراءات القياس (لإشارات تعدد النفاذ بتقسيم الزمن (TDMA) مثلاً)؛
- قراءة المستقبِل/المحلِّل؛
- خصائص المستقبِل/المحلِّل (الحساسية مثلاً)؛
- عدد القياسات؛
- البيئة الكهرمغنطيسية (الضوضاء والتداخل والقُرب من بث آخر، مثلاً).

2.5.4 طرائق قياس عرض النطاق

1.2.5.4 قياس عرض النطاق المشغول

تُجرَى قياسات عرض النطاق المشغول بالطرائق المباشرة على النحو المحدد في التوصية ITU-R SM.328. ويتم الحصول على العلاقة بين الأخطاء في قياس عرض النطاق المشغول (δ′) والأخطاء في مقارنة القدرة (υ) من قيمة تقريبية لغلاف الطيف على النحو الموصوف أدناه والمبيَّن في الشكل 5.4-2. وتقابل الخطوط المستمرة التقريب وفقاً للمعادلة (4.5-1):

$$S_1(f) = S(f_m)\left(\frac{f_m}{f}\right)^{\gamma} \qquad (4.5\text{-}1)$$

$$\gamma = 0.33\ N$$

حيث $S(f_m)$ هي القدرة في تردد معيَّن (f_m) وN عدد من الديسبيلات التي يخفض بها غلاف الطيف ضمن ثُمانيَّة وحيدة من توسيع النطاق. وتمثِّل الخطوط المتقطعة التقريب وفقاً للمعادلة (4.5-2):

$$S_2(f) = S(f_m)\exp\left[-\frac{0.23N_1}{f_m}(f - f_m)\right] \quad (4.5\text{-}2)$$

حيث N_1 هو عدد الديسبلات المقابلة لأول ثُمانيَّة من توسيع النطاق. ويبيِّن الشكل 5.4-2 أنه يكفي، بالنسبة للقيم الأكثر شيوعاً N = 12 إلى 20 dB للثُمانيَّة، إجراء مقارنة القدرة بدقة منخفضة جداً حوالي ±15% إلى 20% لضمان دقة لقياس عرض النطاق المشغول بنحو ±3% إلى 7%.

وتتألف هذه الطرائق من مقارنة قدرة البث الإجمالية بالقدرة المتبقية بعد الترشيح، إمَّا بمرشاحي تمرير منخفض أو بمرشاحي تمرير عال، أو بمرشاح تمرير عال، أو بمرشاح تمرير منخفض ومرشاح تمرير عال، بترددات قطع يمكن إزاحتها حسب المراد فيما يتعلق بطيفِ البث. ويمكن، بديلاً من ذلك، تحديد مكوِّنات القدرة ذات الصلة بتقييم طيف القدرة على النحو المحرز بمحلل للطيف.

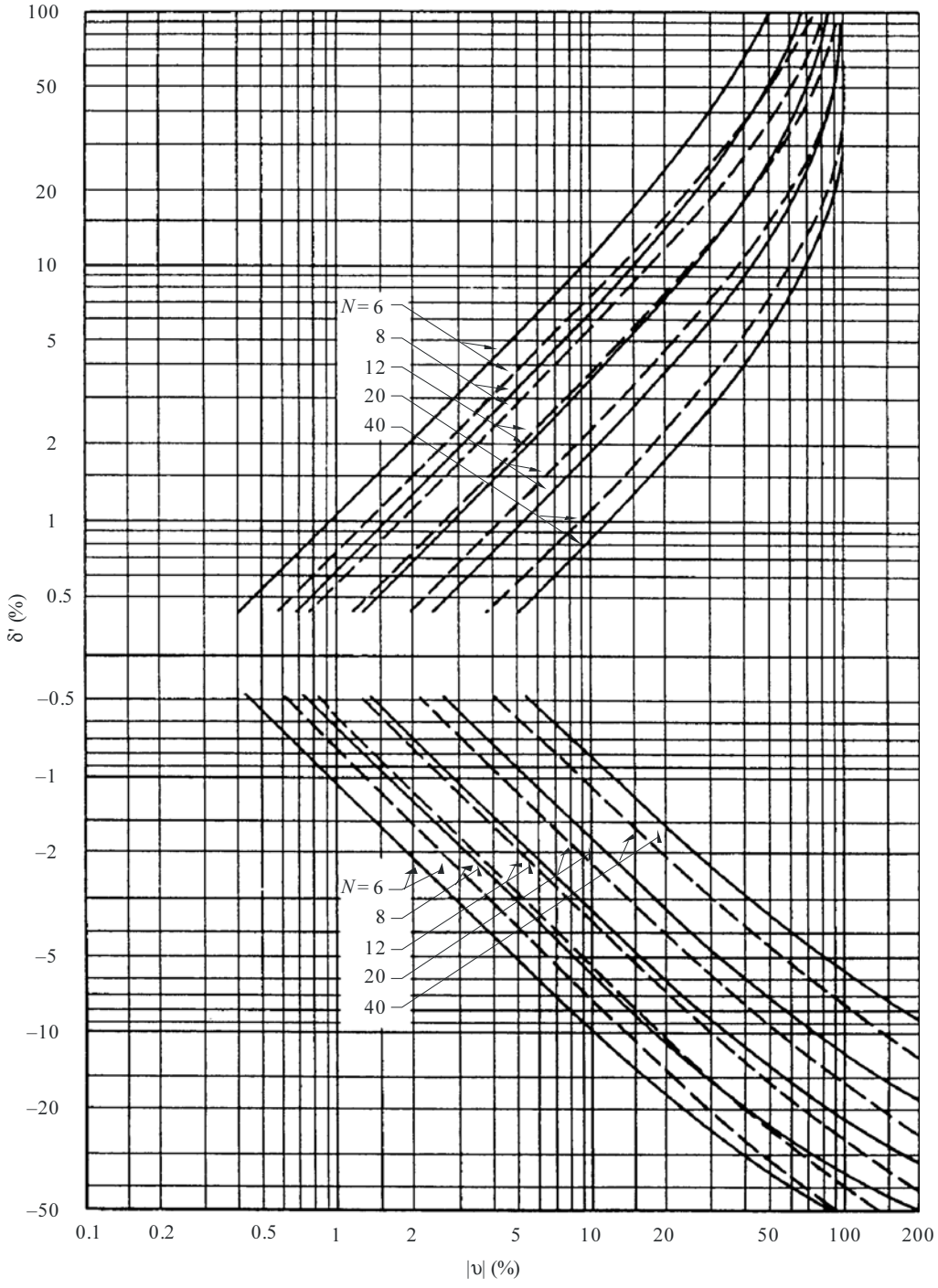
1.1.2.5.4 الطريقة القائمة على استخدام محلل للطيف

يتم بهذه الطريقة تعيين حدَّي الترددات المشار إليهما في تعريف عرض النطاق المشغول (انظر الفقرة 2.1.5.4) بتقييم طيف قدرة البث المحرز بتحليل الطيف. وتُحدَّد قيم القدرة ذات الصلة بحاصل جمع قدرات فرادى مكونات الطيف.

وهذا يفترض أن يكون الطيف خطِّياً، الأمر الذي لا يحدُث إلاّ في الإشارات الدورية. بيد أن طيف إشارات الحركة الفعلية هو طيف متواصل. ومع ذلك، يمكن تطبيق هذه الطريقة على الحالة الأخيرة أيضاً لأنه يكفي، لتحديد عرض النطاق المشغول، اختيار عينات الطيف بفواصل متساوية البعد فيما بين الترددات. ويكفي اختيار فصل الترددات بطريقة تكفل أن تستنسخ العينات غلافَ الطيفِ بصورة وافية بما فيه الكفاية. وحتى في حالة طيفٍ خطِّي حقيقي، لبثٍ راداري مثلاً، حيث يتعذر لأسباب عملية جعل عرض نطاق المرشِّح المحلل ضيِّقاً إلى الحد اللازم لتحليل كل خط طيفي، يكفي تقييم عدد محدود من العينات، طالما أن الشروط الموصوفة للطيف المتواصل مستوفاة. وبالتالي فإن هذه الطريقة مناسبة بشكل خاص لتحديد عرض النطاق المشغول للإشارات المحتوية على معلومات رقمية أو مكماة بأطياف شبه دورية، مثل الإبراق والبيانات والإشارات الرادارية.

الشكل 2-5.4

العلاقة بين النسبة المئوية من الأخطاء (δ′) في قياس عرض النطاق المشغول والنسبة المئوية من الأخطاء (υ) في مقارنة القدرة، لقيم مختلفة من *N*



ومن شأن تسجيل الطيف بواسطة رسم بياني ذي بُعدين X-Y أن يُيسِّر تقييمه إلى حد كبير ، إذ يكفي لذلك استعمال حاسبة الجيب. وهذه الطريقة مناسبة للأتمتة بشكل خاص أيضاً. ويتم، باستعمال محلل للطيف ذي مُركِّب متحكَّم فيه رقمياً، مسح الطيف في خطوات تردد معيَّنة، بينما ترسل ذاكرة رقمية القيم المقيسة إلى حاسوب يؤدي بدوره عملية الحساب. ونظراً لقيام محللٍ تقليديٍ للطيف بتحليلٍ تعاقبي للطيف وليس في الوقت الفعلي، فإن من المستصوَب إجراء عدة عمليات مسح.

2.1.2.5.4 الطرائق المعتمدة على تحويل فورييه السريع

من الممكن، باستخدام طرائق بسيطة لمعالجة الإشارات الرقمية اعتماداً على تحويل فورييه السريع (FFT)، قياس عرض النطاق المشغول لبثٍ ما وفقاً للتعريف الرسمي الوارد في الرقم 153.1 من المادة 1 من لوائح الراديو، على الأقل في حالة إشارة مستقبَلة مع قدر كاف من نسبة الإشارة إلى الضوضاء (لمزيد من التوضيح بشأن FFT، انظر الفقرة 7.6). وتنطوي هذه الطرائق المباشرة على ميزات بالمقارنة بطرائق "x-dB" التي تعتمد دائماً على افتراضات لاشتقاق عرض النطاق المشغول، وهي افتراضات تعتمد على التشكيل المستخدم وعلى الإشارات المشكِّلة. وقد قُدِّمت افتراضات معيارية لإشارات تماثلية تقليدية ولإشارات راديوية مطبعية (RTTY)، و لم تُستحدَث قيم معيارية جديدة حتى الآن. ولعل الإشارات الرقمية الجديدة تمخضت عن علاقات بديهية بين عرض النطاق "x-dB" وعرض النطاق المشغول، تفتقر إلى سهولة الاستعمال للأسباب التالية:

- يتوقف عرض النطاق على وجه الدقة، لعمليات تشكيل متماثلة حتماً (كإشارة تشكيل الاتساع التربيعي 64-QAM) على ترشيح النطاق الأساسي وترشيح التردد الراديوي وتقاسم ترشيح "Nyquist" بين جزأي الإرسال والاستقبال في النظام وخطِّية المرسِل واحتمال استعمال تقنيات ما قبل التشوُّه، وما إلى ذلك، وجميع التقنيات المستخدمة لتحقيق شتى المبادلات التقنية بحسب المصنّعين؛
- ربَّما تؤدي صعوبات إضافية، مثل تداخل قدرة كبيرة من قناة مجاورة، إلى إضعاف القياسات؛
- من جهة أخرى، تتسم الإشارات الرقمية التي لها معدل بتات ثابت بسلوك مستقر وبالتالي يكون قياسها أسهل مقارنةً بالإشارات التماثلية المشكلة عشوائياً.

وتكاد لا تتطلب طرائق قياس نسبة القدرة المعتمدة على تحويل فورييه السريع أي معرفة عن تفاصيل خصائص التشكيل، وهي تستطيع تفسير ذلك الجزء من طيف الإشارة المنبثق من ضوضاء الخلفية. كما أن طريقة نسبة القدرة أقل حساسية بكثير إزاء النوافذ المختارة بالمقارنة بقيم "x-dB". وعندما تكون نسبة الإشارة إلى الضوضاء غير كافية لتحديد عرض نطاق القدرة بنسبة 99%، فإن من الممكن زيادتها بتمديد وقت التكامل باستبانة حُبيبيَّة أنعم عن طريق تحويل فورييه السريع. ولكن هذا ليس ممكناً لعمليات التشكيل الرقمية الشبيهة بالضوضاء.

وعلى أيِّ حال، فإن نسبة الإشارة إلى الضوضاء، المطلوبة لإجراء قياس عرض نطاق القدرة بنسبة 99% لا يُشترط بالضرورة أن تكون عالية إلى درجة غير معقولة، إذ يمكن في إشارات عديدة إحراز نتائج دقيقة بنحو 15 dB إلى 20 dB لنسبة الإشارة إلى الضوضاء (المعرفة هنا بوصفها فرق إشارة الذروة وضوضاء الخلفية)، وهي قيمة معقولة في حالات عديدة وأقل من قيمة 26 dB.

تأثير عوامل مختلفة في قياس عرض النطاق بطرائق نسبة القدرة المعتمِدة على تحويل فورييه السريع

تأثير النوافذ

يولِّد تحويل فورييه السريع صف مراشيح ليست مستطيلة الشكل تماماً تأخذ عينات القدرة في إشارة $\delta f \pm f$ فقط ولكنه يظهر فصوصاً جانبية.

وقد صُمِّمَت وظائف نوافذ متنوعة (انظر الفقرة 7.6) بغية مراعاة تفضيل دقة قياس السويّة أو قياسات الترددات. وفي حالة قياسات عرض النطاق وفقاً لطريقة β%، يُحبَّذ اختيار طريقة نوافذ تولد محتوى قدرة إجمالياً منخفضاً من حيث الفصوص الجانبية، وذلك من أجل العمل في ظروف قريبة بقدر الإمكان من تلك الواردة في التعريف، حيث يُشترَط استخدام مراشيح مستطيلة الشكل تماماً.

بيد أن العديد من القياسات في إشارات مختلفة تُبيِّن أن تأثير طريقة النوافذ ضئيل نسبياً في حالة الإشارات العادية وفي ظروف القياسات العملية العادية.

تأثير استبانة تحويل فورييه السريع

ثمة خاصِّية أخرى جديرة بالاختيار وهي عدد خطوط تحويل فورييه السريع. وتُظهِر القياسات الاختبارية (لأنواع مختلفة من إشارات التشكيل الرقمي وفي انعدام الضوضاء) أن طريقة قياس عرض نطاق القدرة بنسبة 99% أقل حساسية بكثير إزاء

الاستبانة المختارة لحساب تحويل فورييه. وتحقق هذه الطريقة نتائج دقيقة جداً حالما يشمل أكثر من 100 إلى 200 خط عرض النطاق المشغول للإشارة موضع القياس.

تأثير مدة بقاء عينة الإشارة

تؤدي مدة بقاء عينة الإشارة دوراً مهماً أيضاً في حالة استخدام طرائق نسبة القدرة المعتمِدة على تحويل فورييه السريع. فتحليل تحويل فورييه يقوم على افتراض أن مدة بقاء الإشارة موضع القياس محدودة وأن التقاط الإشارة كامل. ولذلك يجب أن تكون نافذة المراقبة طويلة بقدرٍ كافٍ لتشمل الإشارة بأكملها.

ويجب تنفيذ قياس عرض النطاق في جزء كبير من الإشارة قيد النظر، ولكن محطات المراقبة ترصد الإشارة لفترة زمنية محددة فقط. ومن ثم يلزم استحداث طرائق قياس يمكن تطبيقها على جزء قصير من الإشارة لكي يتسنَّى أداء قياسات أوتوماتية في عدد كبير من المرسِلات في زمن معقول.

وتُظهِر اختبارات المحاكاة في الإشارات المستقرة (مثل الإشارات العادية ذات التشكيل الرقمي، في غياب الخبو) تحقيق نتائج موثوقة لنحو 1 000 رمز. ولذلك يُستصوَب، بحكم التجربة العملية، استهداف ما لا يقل عن 1 000 رمز للتشكيل عندما تُجرى قياسات عرض النطاق في إشارات رقمية.

تأثير الضوضاء

تستلزم ظروف الضوضاء بالضرورة ترشيح الإشارة المنبثقة من الضوضاء. وتزداد أهمية الترشيح عندما تكون نسبة الإشارة إلى الضوضاء منخفضة ويكون مرشاح المراقبة واسعاً مقارنةً بعرض نطاق الإشارة. وإذا أُجريت محاولة قياس مباشر من دون حيطة (أي إذا تجاوز النطاق المراقَب إلى حد كبير عرض النطاق المشغول) فإن القياس 99% سيشمل عرض نطاق الإشارة والضوضاء معاً بدلاً من قياس عرض نطاق الإشارة وحدها، ما يؤدي إلى نتائج خاطئة حتماً.

وليس شكل المرشِّح وموضعه الفعلي حسَّاسين للغاية طالما أن موضعه يكفل عزل فص الإشارة الرئيسي المنبثق. وقد يكون لبعض الإشارات النظرية عرض نطاق قدرة بنسبة 99% يشمل بعض الفصوص الجانبية، ولكن قلَّما تُواجَه مثل هذه الإشارات عملياً، لأن الترشيح في المرسِل يحد عادة البث على الفص الأول لكفاءة الطيف. ولكن، ينبغي الحذر عند تحليل إشارات ذات فصوص جانبية واسعة ترتفع إلى سويّات تصل إلى –26 dB، أو إشارات ذات فصوص جانبية ضيِّقة تصل إلى سويّات مماثلة بطيئة الإخماد. ولذلك، فإن فصَّين جانبيين متناظرين، يساوي عرض كلٍّ منهما نصف الفص الرئيسي، يصلان إلى –20 dB يبلغان نسبة 1% في قدرة الإشارة، ويسهمان من ثم في نسبة عرض نطاق الإشارة البالغة 99%.

وتبلغ الضوابط العملية التي يمكن استخدامها المرشاح مناسب سويَّة فصوص جانبية أقصاها –50 dB وترقرق نطاق تمرير يساوي 0,1 dB. ويتعيَّن تعديل منحدر المرشاح لرفض تقاطع الإشارة لاحقاً مع ما يُفترض أن يكون ضوضاء الخلفية. ويبدأ الترشيح الصحيح غالباً في منحدر المرشاح لكي يبلغ الرفض التام حيث تبدأ ضوضاء الخلفية. ويلزم كمتوسط عملي لضمان صحة القياس، وكذلك لتحسين النتيجة، أن يحدِّد المشَغِّل مرشاحاً أضيق لتكرار القياس. وتجدُر ملاحظة أن القياس الأول في مرشاح التقاط الإشارة الكامل يمكن استخدامه كأساس للمساعدة على تحديد الترشيح الإضافي.

تأثير عوامل مجهولة للموظفين المعنيين بالمراقبة

إن ما يُسمَّى معلمات التشكيل "الخفيَّة" (من قبيل عامل أسلوب النقل الأساسي في تشكيل إبراق غوسي بزحزحة دنيا) لا يمكن تحديدها بسهولة في محطة مراقبة. وكذلك لا يمكن استنتاجها من الإشارة المقيسة، سواء طُبِّق ترشيح نطاق أساسي أم تردد راديوي على البث المقيس في ناحية المرسِل. ويسري هذا أيضاً على التأثيرات اللاخطية للمرسِل في نهاية الأمر.

وهذه العوامل مجهولة عموماً ولا يمكن قياسها في محطة مراقبة. ولكن يمكن إحداث زيادة كبيرة في عرض النطاق المشغول بسبب تأثيرات لا خطيِّة شديدة ناجمة عن انسياق في استقطاب مضخِّم قدرة المرسِل. وتستطيع محطة المراقبة أن تكتشف مشكلة من هذا القبيل عند إجراء مقارنة مع قياسات عرض النطاق المشغول السابقة. وخلاف ذلك، تمارس المعلمات "الخفيَّة" تأثيراً قوياً على شكل الطيف المرسَل، مما يجعل من المستحيل تقريباً استخلاص طريقة لتحويل قياسات "x-dB–" إلى عرض نطاق القدرة بنسبة 99%، حتى عند النظر في نوع تشكيل معيَّن. وهذا يبرِّر دواعي تفضيل طرائق "x-dB–".

تأثير وظيفة استبقاء القيمة القصوى

تجعل وظيفة استبقاء القيمة القصوى (max-hold function) من الممكن أن تؤخذ في الحسبان تغيُّرات الإشارة القصوى التي قد تُغفل في أخذ المتوسط نتيجة لقِلَّة حدوثها. وقد لا تكون وظيفة max-hold طريقة مناسبة لتقدير عرض نطاق القدرة بنسبة 99%، ولكنها مناسبة في حالة تحليل ما إذا كانت الإشارة دون قيمة قناع طيفي لأنه تستبقي أيّ ذروة يُرجَّح أن تتجاوز الحد.

حدود إمكانية تطبيق طرائق نسبة القدرة المستندة إلى تحويل فورييه السريع على قياس عرض النطاق

اعتبارات الأتمتة

إن الأتمتة الكاملة لعرض النطاق المشغول في سياق مراقبة الطيف مهمة عسيرة في الحالة العامة، إذ ينبغي ترشيح الإشارة المراد قياسها بطريقة تحول دون تأثير قناة مجاورة أو مصدر ضوضاء مجاور تأثيراً مفرطاً على القياس. كما ينبغي عزل الإشارة، وهذا يعني ضرورة تمييز حالات البث المتعدد في المرشاح عن الإشارات الناقلة المتعددة أو الفصوص الجانبية للإشارة المزمع قياسها. وإذا كانت الإشارة متقطِّعة، ينبغي اتخاذ ترتيبات بحيث يُجرى القياس خلال وجود الإشارة فقط. ويمكن أن تؤثر على القياس معلمات أخرى مثل تغيُّر تحكُّم الكسب الأوتوماتي (AGC) في المستقبِل وخبو الانتشار، وما إلى ذلك. ولهذا يُحبَّذ إجراء قياسات عرض النطاق في ظروف متميِّزة بارتفاع نسبة الإشارة إلى الضوضاء إلى حد معقول (مثلاً > 20 إلى 30 dB) للحد من مساهمات الضوضاء عندما لا يكون مرشاح التحليل موضوع مثالياً قريباً من الإشارة المطلوبة، وفي نطاقات محصورة في قنوات حيث يكون نمط البث معروفاً تماماً.

ويُستصوَب، في حالة إجراء قياسات أوتوماتية غير هادفة في إشارات مجهولة، أن يتحقق المشَغِّل من صحتها قبل المضي في استخدام النتائج. فالقياس المنهجي الروتيني لعرض النطاق في حالات البث المعروفة يمكن أن يكون طريقة لتوليد إنذارات عندما تحل محل الإشارة المطلوبة إشارة دخيلة أو متداخلة. ويمكن أن يُستخدَم أيضاً للتحقق من بعض المعلمات المتعلِّقة ببثٍ ما. وعموماً، تُجرى قياسات أوتوماتية روتينية لعرض النطاق في عينة قصيرة من الإشارة المستهدَفة، مثل بضع مئات من المليثانية. ويعزى هذا إلى ضرورة أن يقوم مستقبِل المراقبة بمعالجة عدد كبير من الإشارات في مدة قصيرة، ومعاودة الترددات بشكل متكرر بصورة كافية للتمكُّن من كشف الاستخدام المخالف أو الخاطئ للطيف.

وفي حالة إجراء قياسات عرض النطاق بواسطة نافذة مراقبة قصيرة إلى درجة أنها لا تشمل الكثافة الطيفية للقدرة، فإن القياس عموماً لا يكون صحيحاً إذا كانت الإشارة المستهدفة إشارة غير مستقرة، مثلاً إشارة صوتية بتشكيل الاتساع (AM) أو بالنطاق الجانبي الوحيد (SSB) أو بتشكيل التردد (FM). وعلى العكس من ذلك، يمكن الحصول بسهولة على نتائج صحيحة من حالات بث البيانات السريعة (مثل إشارة صوة دائمة بمعدل 277 كيلوبتة في الثانية في النظام العالمي للاتصالات المتنقلة). بيد أن المدة القصيرة لقياس عرض النطاق يمكن أن تكون لها قيمة حتى في الإشارات غير المستقرة عندما تُستخدَم للتحقق مما إذا كانت الإشارة تتجاوز القيمة القصوى أم لا.

2.2.5.4 الطرائق المباشرة لقياس عرض النطاق "*x*-dB"

صُمِّمت هذه الطرائق للحصول، بطرائق شتَّى، على طيف الإشارة الذي يمكن أن يُشتق من خلاله عرض النطاق "*x*-dB" بالقراءة المباشرة. فيمكن بذلك أن تُشتق مختلف خصائص الأطياف الخارجة عن النطاق مثل سويَّات نقاط البدء الأوليِّة ومعدَّلات الإخماد. ويرد فيما يلي وصف طريقة تثبيت السويَّات المرجعية الصفرية (0 dB) لتحديد عرض النطاق "*x*-dB" وقيم سويَّات "*x*-dB" لمختلف أصناف البث.

*سويّة "*x*-dB":*

يمكن تحديد هذه السويَّة "*x*-dB"، المقيسة فيما يتعلق بالسويَّة الصفرية، تحديداً إفرادياً لكل صنف من أصناف البث.

بيد أنه يمكن إحراز نتائج أفضل اتساقاً مع الرقم 153.1 من المادة 1 من لوائح الراديو بقياس عرض نطاق أصناف البث في سويَّات "*x*-dB" محسوبة خصيصاً لذلك، وترد قيمها في الجدول 5.4-1.

الملاحظة 1 – على الرغم من أن اشتقاق عرض النطاق بنسبة 99% من قياس – "*x*-dB" يمكن أن يكون طريقة قابلة للتطبيق لأصناف بث مختلفة كما اقتُرِح سابقاً، يبدو أن هذه الطرائق لا يمكن مواصلتها بسهولة في طيف "رقمي"، لأن تعقُّد عمليات التشكيل الرقمي لا يتيح إمكانية تعريف قاعدة بسيطة لاشتقاق عرض النطاق بنسبة 99% من قياسات مأخوذة في –"*x*-dB".

سويَّة المرجع الصفري للإشارات (الإذاعية) بتشكيل التردد

يتعذر أحياناً تحديد السويَّة المرجعية (0 dB)، التي تمثل قيمة ذروة البث، لغرض قياسات عرض النطاق في حالة البث بتشكيل التردد نظراً لتخفيض اتساع الموجة الحاملة نتيجة للتشكيل. ويكون التشكيل متواصلاً في بعض الأنظمة الراديوية، وقلَّما يسمح بعودة قدرة المرسِل الكاملة إلى تردد الموجة الحاملة وإمكانية وضع سويَّة مرجعية. بيد أن القدرة الإجمالية المرسَلة بإشارة تشكيل التردد تكون ثابتة.

لذلك، يمكن قياس سويَّة المرجع الصفري باختيار عرض نطاق المستقبِل بحيث يشمل الإشارة كلِّها بينما يجري توليف مستقبِل القياس على التردد المركزي للبث المزمع قياسه. وينبغي الحرص على ألاّ يشمل القياس أيّ أجزاء من بث مجاور عند اختيار عرض نطاق المستقبِل.

بيد أنه يلزم بالنسبة للنقاط السالبة في قياس "*x*-dB" التالي تخفيض عرض نطاق المستقبِل بغية تحقيق استبانة كافية. ولكن يجب أن تكون القيم على الأقل مساوية لأعلى تردد مشكِّل.

الجدول 5.4-1

القيمة المشتقة بالتجربة لسويَّة "*x*-dB" حيث يكون عرض نطاق"*x*-dB" وعرض النطاق المشغول قريبين أحدهما من الآخر

صنف البث (انظر التذييل 1 للوائح الراديو)	القيم الواجب استخدامها لدى قياس عرض نطاق "*x*-dB" لتقدير عرض النطاق المشغول	ملاحظات
A1A A1B	30–	من أجل α[1] ≤ 3% (جميع الأشكال النبضية)
A2A A2B	32–	لعمق تشكيل بين 80% و90%
A3E	35–	
B8E	26–	
F1B	25–	لجميع أشكال الإشارة ومؤشر تشكيل حيث $2 \leq m \leq 24$
F3C	25–	لجميع أنماط الصور المرسَلة ومؤشرات تشكيل حيث $0,4 \leq m \leq 3$
F3E G3E	26–	
F7B	28–	
H2B	26–	
H3E	26–	
J2B	26–	
J3E	26–	
R3E	26–	
C7W (8-VSB)	12–[2]	متوسط ما يزيد عن 300 كنسة
G7W (T-DAB)	8–[3][2]	متوسط ما يزيد عن 100 كنسة

[1] ورد تعريف الزمن التراكمي النسبي، α، لإشارة برقية في البند 10.1 في التوصية ITU-R SM.328.

[2] الوحدة المستعملة لهذه القيم، وفقاً للتوصية ITU-R SM.328، هي dBsd لأن السويَّة المرجعية اختيرت للقيمة القصوى للكثافة الطيفية للقدرة (psd) داخل عرض النطاق اللازم.

[3] هذه القيمة مشتقة من تجارب أُجريت بإذاعة رقمية متعددة الوسائط للأرض T-DMB باستخدام شبكة إذاعة سمعية رقمية للأرض T-DAB مقتبسة من التقرير ITU-R BT.2049.

سوية الصفر المرجعية للإشارات المشكلة الاتساع

يمكن أيضاً استخدام طريقة تثبيت سوية الصفر المرجعية (0 dB) الموصوفة أعلاه لقياسات عرض النطاق"*x*-dB" للبث بتشكيل الاتساع والبث بالتشكيل النبضي.

والإشارات المشكلة الاتساع مثل البث الإذاعي لها عادة عرض نطاق في حدود أعلى تشكيل تردد سمعي. وفي هذه الحالة، قد لا يكون الحد الأدنى اللازم لعرض نطاق المستقبِل من أجل القياس الفعلي لنقاط "*x*-dB" على النحو الموصوف أعلاه دقيقاً إلى درجة كافية نتيجة للاستبانة المنخفضة في حالة استخدام عرض نطاق كبير للقياس. وللتغلُّب على هذه المشكلة يمكن أيضاً أن يُجرى قياس الإشارات المشكلة الاتساع بعرض نطاق استبانة أصغر. ولكن يلزم لهذا القياس محلل طيف لتثبيت سويَّة الصفر

المرجعية (0 dB) كما يلي: يُسجَّل الطيف بعرض نطاق الاستبانة الضيِّق اللازم باستخدام وظيفة Max-Hold. وتُعتبَر السويَّة المرجعية سويَّة الطيف القصوى داخل النطاقات الجانبية، دون اعتبار سويَّة الموجة الحاملة التي تُعرض كذروة وحيدة في المركز.

سوية الصفر المرجعية للإشارات ذات التشكيل الرقمي

يكون عرض نطاق الإشارات ذات التشكيل الرقمي عادة أكبر من عرض النطاق اللازم للقياس مع تحقيق استبانة معقولة للطيف المسجَّل. ولكن نظراً لأن الإشارة الرقمية شبيهة بالضوضاء فإن تخفيض السويَّة نتيجة لمرشاح القياس الضيِّق سيكون متساوياً في جميع الترددات في كلِّ الطيف المرسَل. ولذلك، تُضبَط سويَّة الصفر المرجعية على السويَّة القصوى المعروضة عند تسجيل الطيف أو مسحه. ويلزم حينئذٍ قياس نقاط "*x*-dB" بعرض نطاق القياس ذاته.

وإذا استهدف القياس إثبات الاتساق مع قناع طيفٍ معيَّن، يتعين إجراء القياس بعرض نطاق الاستبانة المستخدَم لتعريف ذلك القناع. ولكن، إذا أسندت هذه الأقنعة إلى القدرة المرسَلة الإجمالية، فيتعين قياس السويَّة أولاً باستخدام عرضِ نطاق مستقبلٍ كاف لالتقاط الإشارة بأكملها. وعندما يُخفَّض عرض النطاق بعد ذلك لتسجيل شكل الطيف، يجب أن يُؤخذ في الاعتبار تدنِّي السويَّة القصوى المقيسة.

تجهيزات الاختبار اللازمة

تقتضي هذه التجهيزات أن تنتج الإشارات قيد الاختبار طيفاً ذا مكونات مستقرة من حيث الاتساع والتردد. ويقاس الاتساع بواسطة موهِّن معايَر نسبة إلى سويَّة ثابتة (إمّا داخلية أو خارجية بالنسبة إلى المستقبِل/المحلل المستخدَم للقياس).

ويمكن تحقيق دقة بمقدار ±1 dB في قياس الاتساع النسبي. وتتوقف دقة قياس عرض نطاق"*x*-dB" على دقة قياس الاتساع وشكل الطيف وانحداره في نقطة القياس.

وتُستخدَم الطرائق التالية لتحليل الطيف.

1.2.2.5.4 طريقة مرشاح تمرير النطاق الوحيد (تحليل الطيف التتابعي)

تنطوي هذه الطريقة، وهي الأكثر شيوعاً، على التحليل التام لطيف البث بواسطة مرشاح بنطاق ضيِّق كانس، كمحلل للطيف مثلاً. وباستخدام هذه الطريقة، يُعتبَر أن عرض نطاق "*x*-dB" يشمل عناصر منفصلة موهونة إلى ما دون 26 dB تحت سويَّة ذروة البث. ولن يوفر هذا الإجراء بالطبع قياساً دقيقاً لعرض النطاق المشغول وفقاً للتعريف الوارد في لوائح الراديو. وعلى سبيل المثال، من الممكن أن ينطوي بث معيَّن على عدة مكونات ضعيفة في أيٍّ من جانبي البث الرئيسي بحيث أن مجموعها في كل جانب سيكون أكبر بكثير من 0,5% من القدرة المتوسطة الإجمالية بينما لا تتجاوز أيٌّ من المكونات المنفصلة السوية –26 dB. وفي هذه الحالة، يفترض أن عرض النطاق المشغول، على نحو ما حُدِّد في المرسِل بقياس نِسَب القدرة، سيكون إلى حد ما أكبر من عرض نطاق"*x*-dB" المقيس على بُعد مسافة بهذه الطريقة.

وهناك موطن قصور كبير في محللات الطيف التي تستعمل مرشاحاً وحيداً لكنس كل النطاق قيد المراقبة يكمن في عدم التوافق بين معدل الاستبانة العالية ومعدل الكنس السريع، لا سيما عندما يستوجب الأمر دراسة نطاق عريض جداً. فمعدل الكنس السريع ضروري للحصول على صورة ممثلة للمكونات العابرة.

ولكن كلما ازداد معدل الكنس ضعفت الاستبانة بحيث لن تُعرض على وجه الدقة مكونات هامة من البث.

بيد أن هنالك عدد متزايد اليوم من محللات أو مستقبلات النطاق العريض الحديثة، القائمة على أساس معالجة الإشارات في الوقت الفعلي بتحويل فورييه السريع، تتيح إمكانية القياس بعرض نطاق آني كبير (أكبر من 100 MHz). وفي العديد من الحالات، تتيح هذه الأجهزة قياس عرض النطاق بمرشاح تمرير النطاق الوحيد. ويكون التقاط الإشارة سريعاً بشكل كاف لقياس حالات البث العابرة. يضاف إلى ذلك أن بعضها يستخدِم تقنيات واقية للحد من حالات الانقطاع أثناء عملية التقاط الإشارة.

2.2.2.5.4 عدم اليقين في قياسات عرض النطاق "*x*-dB"

تُبيَّن في الشكل 3-5.4 العلاقة بين الخطأ النسبي (δBx) في القياس (Bx) لعرض النطاق"*x*-dB" والخطأ الكلّي (δx) في قراءة سويَّة "*x*-dB" وفي (تمثيل) قياس سويَّات الكثافة الطيفية لقدرة الإشارة (SPD) على حدود Bx، لمختلف قيم معدلات تخفيض SPD المعبَّر عنها بالقيمة N dB لثُمانيَّة من توسيع نطاق التردد. وتقابل القيم المبيَّنة في الشكل 3-5.4 أ) قيمة تقريبية لغلاف SPD داخل حدود Bx وفقاً للمعادلة (1-4.5)، وفي الشكل 3-5.4 ب) وفقاً للمعادلة (2-4.5). وتمثِّل الخطوط المتَّصِلة في الشكل 3-5.4 أ) الأخطاء في قياسات النقاط الموجبة في Bx بينما تمثِّل الخطوط المتقطعة الأخطاء في قياسات النقاط السالبة.

ويتضح من الشكل 3-5.4 أن الخطأ في القياس Bx يكون، بفضل قيمة تقريبية SPD وفقاً للمعادلة (1-4.5) أصغر مرة ونصف، في حين أنه بنمطي التقريب يتوقف إلى حد كبير جداً على معدل تخفيض غلاف الكثافة الطيفية للقدرة N داخل حدود Bx ويُحدِث زيادة حادة لقيم N المنخفضة. ولبلوغ دقة قياس Bx في حدود 5% في حالة N = 12 dB لكل ثُمانيَّة، من الضروري تحقيق دقة إجمالية لقراءة سويَّة "*x*-dB" وقياس (تمثيل) سويَّات SPD في حدود 0,6-0,9 dB، وهذا أمر إشكالي للغاية، في حين أنه في حالة N = 6 dB لكل ثُمانيَّة، (بث النبضات المستطيلة لتشكيل الاتساع (AM) أو تشكيل التردد/النبضة (FM/PM) بمؤشر تشكيل منخفض)، تُعتبَر قياسات Bx بدقة أفضل من 7-8% أمراً مستحيلاً من الناحية العملية.

3.5.4 الشروط التي يتعين النظر فيها لدى قياس عرض النطاق

يقترح التعريف الحالي لعرض النطاق المشغول المبدأ الموصوف في التوصية ITU-R SM.328 الذي يتناول قياس نسبة القدرة الإجمالية إلى القدرة الباقية خارج عرض النطاق رهن القياس. وللقيام بذلك، من الضروري تحديد الطرفَين الأعلى والأدنى في النطاق، وذلك بحساب مجموع القدرة في المكونات الخارجة عن النطاق في الجانب الأعلى إلى أن يتم الحصول على قيمة 0,5%، ثم يُكرَّر هذا الإجراء للعناصر الخارجة عن النطاق في الجانب الأدنى تحت النطاق، مع مراعاة بدء الإجراء في كل حالة بعيداً بقدر كاف عن تردد المركز تفادياً لإغفال طاقة كبيرة من القياس.

وعلى الرغم من أن تحديد عرض النطاق المشغول لبثٍ ما بطريقة قياس القدرة الإجمالية والقدرة الخارجة عن النطاق يمكن إنجازه عندما تُجرى القياسات بالقرب من المرسِل، فإن هذه الطريقة لا يمكن تطبيقها عموماً لقياسات تُجرى بعيداً عن المرسِل، حيث يمكن أن يجنح وجود حالات بث أو ضوضاء متداخلة إلى حجب مكونات الإشارة الخارجة عن النطاق موضع الاهتمام. ويسري هذا بشكل خاص على أجزاء الطيف المزدحمة في الترددات الهكتومترية MF (النطاق 6) والديكامترية HF (النطاق 7) علماً بأن هذه الأجزاء تحظى باهتمام أساسي في محطات المراقبة الدولية.

وعلى الرغم من التقييدات المحددة جداً التي تفرضها على دقة قياسات عرض النطاق المشغول عمليات المراقبة التي تُجرى بعيداً عن المرسِل، فقد اتضح أن عمليات التحديد التقريبية مفيدة في مراقبة الطيف من أجل إنفاذ تقييدات عرض النطاق.

بيد أن هذه القياسات غير الدقيقة، التي تُجرى بعيداً عن المرسِل والتي تعوزها الدقة للأسباب المذكورة آنفاً، ينبغي أن تؤخذ من قبيل الاستئناس فقط. وفي الحالات التي تتطلب قدراً أكبر من الدقة، من الأفضل إجراء القياسات في المرسِل.

ومن الضروري لتأمين قياس صحيح أن تُعرف بالتحديد تأثيرات الضوضاء والتداخل والخبو، كما يأتي أدناه.

1.3.5.4 تأثير التداخل

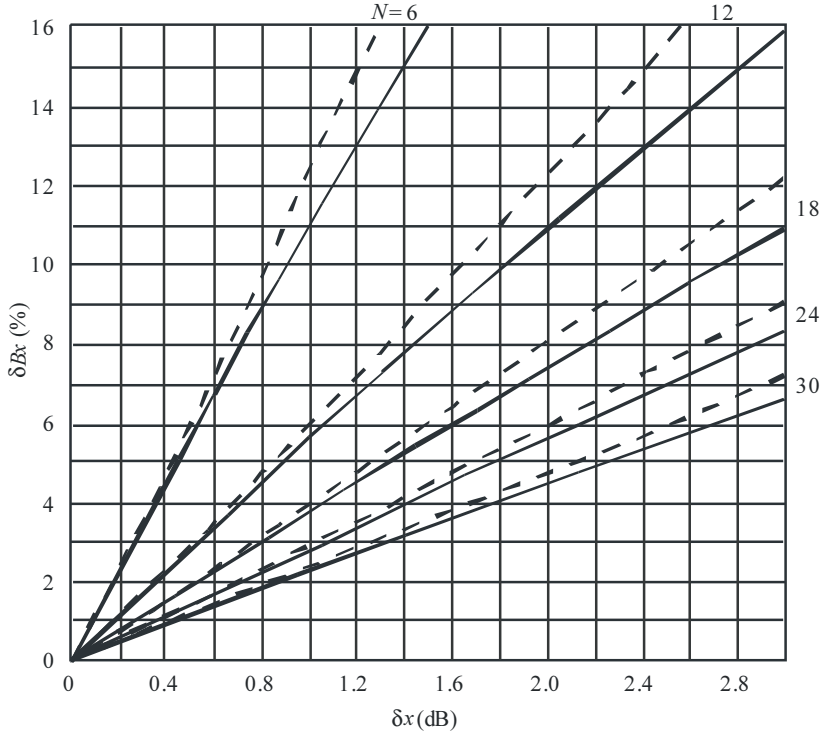
إن الخصائص الفعلية للإرسالات المتداخلة معقَّدة للغاية، ومن العسير مناقشة جميع الحالات هنا. وتُناقش تأثيرات التداخل على أساس الافتراضين التاليين:

- التوزُّع الطيفي مستقر لكل من نوعي البث، أي للبث المراد قياسه وللبث المتداخل؛
- البث المتداخل لا يسبب حجباً أو تشكيلاً بينياً أو أي أطياف إضافية أخرى.

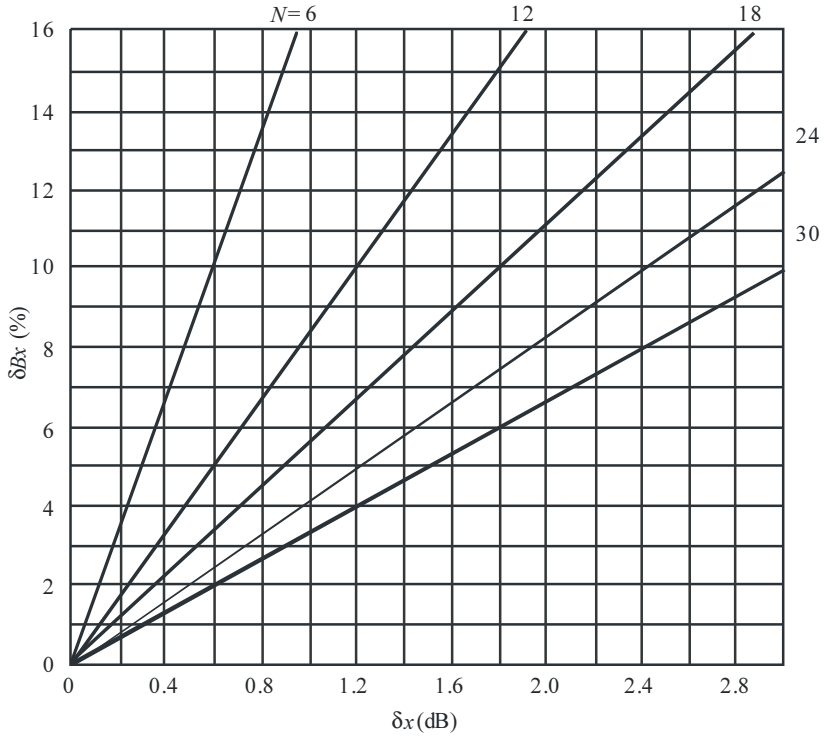
الشكل 3-5.4

خطأ قياس عرض النطاق "*x*-dB"

أ)



ب)



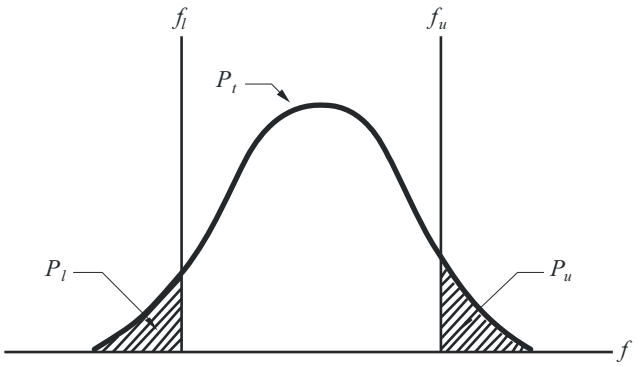
Spectrum-4.5-03

وتتيح طرائق القياس التي تستخدم التحليل الطيفي إمكانية كشف وجود تداخل بمراقبة التوزُّع الطيفي وإمكانية استنتاج التأثيرات الناجمة عن التداخل وإزالتها. وفيما يلي مثال قائم على أساس طريقة نسبة القدرة في حالة التعرُّض للتداخل.

ويُفترَض في الشكل 4-5.4 عدم وجود ضوضاء أو تداخل وإنما البث المراد قياسه في نطاق تمرير تجهيزات القياس.

الشكل 4-5.4

التوزُّع الطيفي دون تداخل



P_u وP_l: القدرة المشعة خارج النطاق

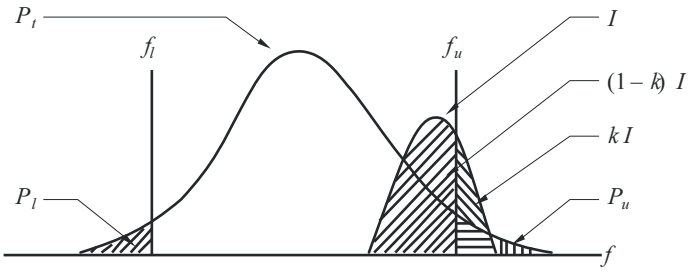
P_t: مجموع القدرة

Spectrum-4.5-04

يبيِّن الشكل 5-5.4 الحالة التي يوجد فيها بث متداخل.

الشكل 5-5.4

التوزُّع الطيفي بوجود تداخل



Spectrum-4.5-05

يُعبَّر عن نسبة القدرة الإجمالية للإشارة (المطلوبة) إلى القدرة الإجمالية للإشارة المتداخلة (غير المطلوبة) بالنسبة *W/U*، وعن نسبة قدرة البث المتداخل الباقي خارج عرض النطاق المشغول إلى القدرة الإجمالية للبث المتداخل بالرمز *k*.

ويُبيَّن تأثير التداخل باستخدام *k* كمعلمة في الشكل 6-5.4. ويسري هذا المخطط بغض النظر عن نمط التشكيل والتوزُّع الطيفي للبث.

وإذا كانت *k* تساوي نسبة القدرة المشعة للبث خارج النطاق المراد قياسه إلى القدرة الإجمالية، فإن التداخل لا يؤثر على القيمة المقيسة.

وعموماً، كلّما تضاءلت النسبة *W/U* يزداد مقدار الخطأ. وفي حالة $k = 0$، يكون البث المتداخل ضمن النطاق كليّاً ومن ثم تصبح القيمة المقيسة لعرض النطاق المشغول أضيق على ما يبدو.

وفي حالة $k = 1$، يكون البث المتداخل خارج النطاق كليّاً ومن ثم يصبح عرض النطاق أوسع على ما يبدو.

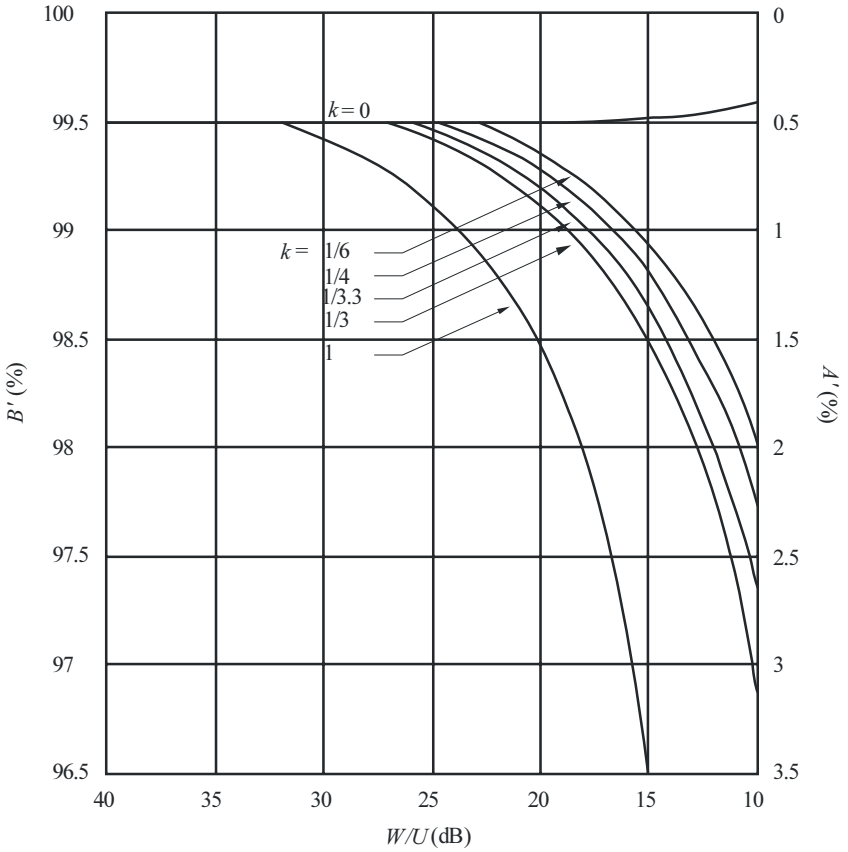
وعملياً، لا يتوافق التداخل دائماً مع الوصف الوارد آنفاً، وتكون له تأثيرات ضارة. بيد أنه يكفي، في القياس الفعلي، افتراض المقدار الأكبر من الخطأ، أي الحالة $k = 1$ (حيث يكون البث المتداخل خارج النطاق كليّاً).

ويُفهَم من الشكل 6-5.4 أنه يُشترَط أن تكون قيمة النسبة *W/U* أكبر من 30 dB لحصر خطأ قياس نسبة القدرة في حدود أقل من 0,1% من القدرة الإجمالية.

ويوصى بأن يُستخدَم في إجراء القياسات محلل للطيف أو أي وسيلة أخرى لتحديد طبيعة البث المتداخل.

الشكل 6-5.4

العلاقات بين W/U و'A و'B



'A: قيمة افتراضية لنسبة القدرة المشعة خارج النطاق إلى القدرة الكلية

'B: قيمة افتراضية لنسبة القدرة المشعة داخل النطاق إلى القدرة الكلية

Spectrum-4.5-06

2.3.5.4 تأثيرات الضوضاء

من الممكن، على غرار التداخل، استنتاج تأثيرات الضوضاء وإزالتها باستخدام طريقة محلل الطيف. بيد أن التأثير الناجم عن الضوضاء معقَّد لأن خصائص الضوضاء تتوقف على مصدر توليدها.

وتُورد في الأقسام التالية تأثيرات الضوضاء العشوائية، التي يمكن معالجتها نظرياً بسهولة، وتأثيرات أنواع أخرى من الضوضاء، مع مثال قائم على أساس قياسات فعلية لحالات تعرُّض لآثار الضوضاء أُجريت باستخدام طريقة نسبة القدرة.

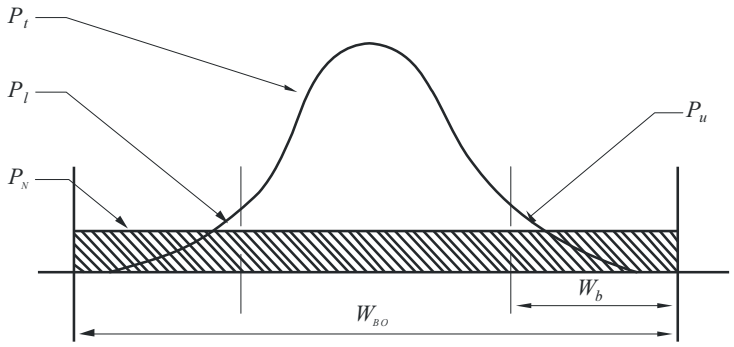
تأثير الضوضاء العشوائية

إذا اعتُبِرَت الضوضاء عشوائية، يتم تقييم تأثيرها على النحو التالي:

يبيِّن الشكل 5.4-7 الرسم التخطيطي للتوزُّع الطيفي في حالة الضوضاء العشوائية. فتأثيرات الضوضاء العشوائية على قيمة عرض النطاق المقيسة مماثلة لتأثيرات التداخل، حيث يُستعاض عن k بالرمز k_n ($=W_b/W_{BO}$) وعن W/U بالنسبة S/N ($=P_t/P_N$) في الشكل 5.4-6. ولكن لا توجد بالنسبة للضوضاء العشوائية حالات فعلية يكون فيها $k_n = 0$ أو $k_n = 1$.

الشكل 5.4-7

التوزُّع الطيفي بوجود ضوضاء عشوائية



W_{BO}: عرض نطاق الضوضاء المكافئ في تجهيزات القياس
P_N: القدرة الكلية للضوضاء العشوائية المارة عبر W_{BO}
(W_{BO} توزيع قدرة منبسط على امتداد)

Spectrum-4.5-07

لذلك، يبيِّن الشكل 5.4-6 أنه كلّما تضاءلت نسبة الإشارة إلى الضوضاء (S/N) في البث المزمع قياسه، ازدادت القدرة المشعة الظاهرة خارج النطاق واتسع عرض النطاق المشغول على ما يبدو.

وعلى سبيل المثال، ينبغي من أجل حصر خطأ قياس نسبة القدرة في أقل من 0,1% أن تكون قيمة نسبة الإشارة إلى الضوضاء (S/N) في البث المزمع قياسه أكبر من حوالي 25 dB، لقيم k أقل من حوالي الثلث، الأمر الذي يُعتبر مناسباً لمحطة المراقبة.

4.5.4 القياس العملي لعرض النطاق

1.4.5.4 الشروط اللازمة للقياس العملي

هنالك في القياسات الفعلية في محطات المراقبة مشاكل تنشأ لأن القياسات في ظروف الحركة العادية يجب أن تُجرى عادة على مسافة من المحطة المرسِلة. والمشاكل هي ما يلي:

- يتسم البث المراد قياسه، بشكل عام، بضعف شدة المجال ويجب اختياره من بين أنواع عديدة من البث؛
- ثمة احتمال بأن تختلف القيمة المقيسة عن القيمة في المحطة المرسِلة، وذلك نتيجة لتأثيرات اضطرابات الانتشار؛
- ثمة احتمال بأن تؤثر الضوضاء والتداخل على نتائج القياس؛
- ينبغي أن يكون زمن استجابة تجهيزات القياس قصيراً لدرجة كافية لمتابعة التغيُّرات في عرض النطاق المشغول، الناجمة عن ظروف الحركة فيما يتعلق بالبث المزمع قياسه.

وقد نوقشت المشكلات الثلاث الأولى المذكورة أعلاه في الفقرة 3.5.4، إلى جانب مشكلات القياس. ففي المراقبة الفعلية، التي تلاحظ فيها المشكلة الأولى من هذه المشكلات، يتألف نظام القياس من توليفة تجهيزات لقياس عرض النطاق المشغول وتجهيزات الاستقبال. وبالنسبة للمشكلة الرابعة، ترد المتطلبات من التجهيزات المستعملة للاستقبال ولقياس عرض النطاق المشغول في الفقرة 2.4.5.4.

2.4.5.4 المتطلبات من التجهيزات المستعملة في المراقبة

1.2.4.5.4 المتطلبات من تجهيزات الاستقبال

يجب أن تلبي تجهيزات الاستقبال المناسبة لقياس عرض النطاق المشغول في محطة المراقبة الشروط التالية:

- أن تكون خاصية تردد نطاق التمرير ثابتة في حدود ±0,5 dB في مدى طيف البث المراد قياسه؛
- أن تكون انتقائية التردد قادرة على التمييز بحيث تستبعد بصورة كافية الضوضاء والتداخل خارج النطاق وتحول في الوقت ذاته دون حدوث خسارة تتجاوز 2 dB في حافتي نطاق التمرير إزاء السويَّة في وسط نطاق التمرير؛
- أن تُظهِر الأجهزة خطيّة جيدة من أجل تغيُّر في الدخل لا يقل عن 60 dB، وذلك لمواجهة التغيُّرات المحتملة في كثافة مجال البث المزمع قياسه.

2.2.4.5.4 تجهيزات من أجل تحليل الطيف

يجب أن يكون أسلوب التشغيل "الاستبقاء الأقصى "maximum hold" (المعروف أيضاً بذاكرة الذروة) متاحاً كلما استُخدِم محلل الطيف لتحديد عرض النطاق بطريقة "*x*-dB". وينبغي أن تتسم التجهيزات بجودة الخطيَّة وأن تُظهر مدى لعرض تغيُّرات فلطية الدخل بما لا يقل عن 60 dB.

ويُستحسَن لقياس بث النطاق الضيِّق استعمال محلل طيف يتسم بدرجة استبانة عالية من أجل الحصول على تصوير دقيق للتوزُّع الطيفي للبث. والاستبانة القصوى لجهاز نموذجي هي 10 Hz مع توفير مدى تردد مكنوس قابل للتعديل من 1 kHz إلى 100 kHz، إلى جانب معدل كنس قابل للتعديل من كنسة واحدة إلى 30 كنسة في الثانية.

ويتاح لتحليل بث النطاق العريض محللات للطيف تشتمل على مستقبِل كامل بالإضافة إلى تلك المصممة لاستخدامها مع مستقبِلات ذات أغراض عامة. وتشمل الأجهزة المتاحة مدى تردد يصلُ لغاية 44 GHz مع عرض كنس متغيِّر باستمرار يصل إلى 100 MHz (في الترددات الأعلى). ويمكن تعديل معدل الكنس من كنسة واحدة إلى 60 كنسة في الثانية.

وفيما يتعلق بمعدلات الكنس المنخفضة، ينبغي أن يتسم أنبوب العرض بمثابرة طويلة مناسبة من أجل أداء الرصدات على نحو فعال.

3.2.4.5.4 تجهيزات طريقة نسبة القدرة

نظراً لصرامة اشتراطات الدقة المفروضة على موهِّن المقارنة، لا يوصى بطريقة مقارنة القدرة الداخلية للنطاق بالقدرة الكلية. ولذلك، ينبغي تصميم التجهيزات لمقارنة القدرة المشعة خارج النطاق بالقدرة الكلية (على غرار إجراء هذه المقارنة بالتجهيزات المقدَّمة في الفقرة 2.2.5.4).

ويُستصوب، كتجهيزات قياس لأغراض عامة، أن تكون التجهيزات قادرة على عرض كل تردد من الترددات العتبية، التي تكون فيها القدرات المتوسطة الأكبر أو الأصغر من التردد المعيَّن مساوية لنسبة 0,5% من القدرة الكلية، وذلك لحساب عرض النطاق المشغول أوتوماتياً وتسجيله مباشرةً.

وينبغي أن تتسم التجهيزات بمدى دينامي لا يقل عن 30 dB. وإذا كانت سويَّة الدخل تتغيَّر بشكل أوسع، يُستصوَب استخدام موهِّن متغيِّر من أجل تحكُّم أوتوماتي وفقاً لتغيُّر سويَّات الدخل.

ويُستحسَن أن تكون تجهيزات القياس قادرة على بلوغ دلالة كاملة النطاق في غضون 0,3-0,5 ثانية للتمكُّن من متابعة التقلُّب الفعلي في عرض النطاق المشغول للبث.

وينبغي من أجل تحسين دقة قياس القدرة المشعة الخارجة عن النطاق بحيث تكون أفضل من 10% أن يكون ثبات نطاق التمرير أفضل من ±0,5 dB وأن تكون الخسارة في نطاق الإيقاف على الأقل 30 dB. كما ينبغي أن يكون الميل في نطاق الانتقال حادّاً.

4.2.4.5.4 تجهيزات تقنيات تحويل فوريه السريع

يمكن الحصول على تقديرات موثوقة لعرض النطاق المشغول لعديد من الإشارات الرقمية PSK وCPM وQAM باستخدام أسلوب β%. ومن الضروري لكي توفر هذه الطريقة نتائج مفيدة أن يتم ترشيح مناسب للإشارة موضع القياس تفادياً لمساهمات الضوضاء في قياس عرض النطاق. والواقع أن عرض نطاق القدرة بنسبة 99% يقع داخل الفص الأول من طيف الإشارة لمعظم حالات البث الرقمي. وهناك استثناء جدير بالذكر في هذا الصدد يتمثل في إشارة PSK2 غير المرشحة، ونادراً ما توجد في الهواء بهذا الشكل. ولكن غالباً ما يرشح في الحالات العملية بث إشارة PSK2 في جانب المرسِل، بحيث يمتثل الشكل الموجي المشع المناظر لها عموماً لافتراض أن القدرة بنسبة 99% يحتويها الفص الأول.

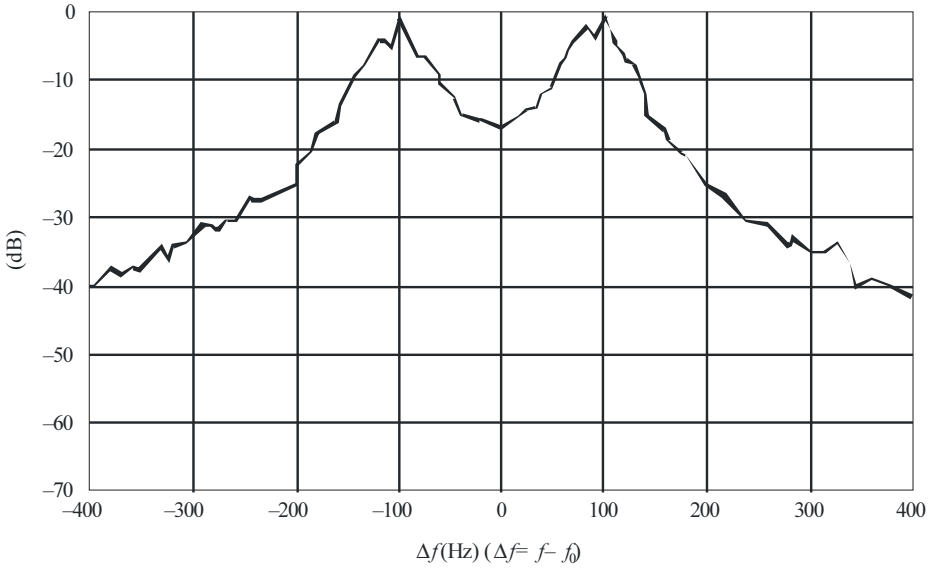
وينبغي بالتالي أن توفِّر التجهيزات طريقة سهلة لوضع خصائص مرشِّحات مختلفة نظراً لتأثير الضوضاء على النحو الموصوف في الفقرة 2.1.2.5.4.

3.4.5.4 طريقة قياس عرض النطاق المشغول باستخدام محلل للطيف

توصَف هذه الطريقة من خلال تقديم مثال. ويبيِّن الشكل 8-5.4 طيف إشارة F1B باستخدام سرعة إرسال مقدارها 50 بود، وزحزحة تردد قدرها 200 Hz على موجة 123,7 kHz، وتسجيل بمحلل للطيف في أسلوب "الاستبقاء الأقصى" التشغيلي، وخمس عمليات كنس، ومرشاح للتحليل عرض نطاقه 30 Hz، وزمن كنسي 100 ثانية لكل 2 kHz. وعرض الخطوة من أجل التقييم 20 Hz، كما هو واضح من الشبكة الأرضية المتراكبة على الطيف، المستخدَمة لمجرد تحديد قيم التوهين لتردد معيَّن.

الشكل 8-5.4

طيف إشارة F1B باستخدام 50 بود، وزحزحة تردد 200 Hz
على موجة 123,7 kHz لحساب عرض النطاق المشغول



يتسم بعض محللات الطيف الحديثة بوظائف برمجية ثابتة لتقييم عرض النطاق المشغول وتعمل بالأسلوب ذاته الموصوف آنفاً. وطالما أن محللات الطيف هذه لا تبين حقّاً قيم جذر متوسط التربيع المتعلقة بالطيف، فإنها لا توفر سوى قيمة تقريبية لعرض النطاق المشغول.

يبيِّن الجدول 2-5.4 خطوات الحساب بالتفصيل. وفي حالة ß/2 = 0,5%، يسفر الحساب عما يلي:

100% من القدرة النسبية = 4,372984

0,5% من القدرة النسبية = 0,021865

الحد الأدنى للنطاق المشغول ≈ f_0 − 180 Hz (انظر الملاحظة 1)

الحد الأعلى للنطاق المشغول ≈ f_0 + 170 Hz (انظر الملاحظة 2)

عرض النطاق المشغول ≈ 350 Hz

الملاحظة 1 - إن قيمة 0,5% من القدرة النسبية قريبة جداً من قيمة القدرة 0,023266 من أجل Δf = –180 Hz (انظر العمودين الأول والرابع في الجدول 2-5.4، الحدود ذات الخطين).

الملاحظة 2 - إن قيمة 0,5% من القدرة النسبية في الطرف الأعلى لغلاف الطيف تقع تقريباً في الوسط بين قيمتي القدرة 0,015718 و0,031567 من أجل Δf = –180 Hz وΔf = 160 Hz على التوالي (انظر العمودين الأول والخامس في الجدول 2-5.4، الحدود ذات الخطين).

الجدول 2-5.4

حساب عرض النطاق المشغول

$\sum_{-400\text{ Hz}}^{\Delta f} P_{relative}$	$\sum_{-400\text{ Hz}}^{\Delta f} P_{relative}$	$P_{relative}$	p (dB)	Δf (Hz)
.	0,002321	0,000794	31–	280–
.	0,003115	0,000794	31–	260–
.	0,004700	0,001585	28–	240–
.	0,006695	0,001995	27–	220–
.	0,010677	0,003981	24–	200–
.	0,023266	0,012589	19–	180–
.	0,063076	0,039811	14–	160–
.	.	0,158489	8–	140–
.	.	0,398107	4–	120–
.	.	1,000000	0	100–
.	.	0,316228	5–	80–
.	.	0,079433	11–	60–
.	.	0,039811	14–	40–
.	.	0,031623	15–	20–
.	.	0,019953	17–	0
.	.	0,039811	14–	20
.	.	0,063096	12–	40
.	.	0,199526	7–	60
.	.	0,630957	2–	80
.	.	1,000000	0	100
.	.	0,251189	6–	120
.	.	0,050119	13–	140
0,031567	.	0,015849	18–	160
0,015718	.	0,007943	21–	180
0,007775	.	0,002512	26–	200
0,005263	.	0,001995	27–	220
0,003268	.	0,000794	31–	240
0,002474	.	0,000794	31–	260
0,001679	.	0,000501	33–	280

إن اختيار عرض الخطوة بمقدار 40 Hz والاقتصار على المكوِّنات الواقعة ما بين –260 Hz و260 Hz، يسفر عن نتيجة تساوي 350 Hz تقريباً. وبالتالي، يكفي عموماً اختيار عرض الخطوة تقريباً بحيث يساوي أو يقل عن 10% من عرض النطاق المشغول المتوقع، بشرط استمرار إمكانية استنساخ الغلاف، والاقتصار على المكوِّنات التي تساوي أو تتجاوز تقريباً –30 dB نسبة إلى ذروة غلاف الطيف.

وفي هذا المثال المقدَّم، تمر سويَّة القدرة النسبية الصفرية (0 dB) من خلال ذروة غلاف الطيف.

وهذا مريح للحسابات ولكنه ليس ضرورياً، إذ من شأن أي سويَّة مرجعية أخرى أن تسفر عن النتيجة ذاتها.

ويلاحظ أن قراءات لوحة العرض تُعطى بوحدة dB (العمود الثاني)، في حين أن التعريف يتطلب تلخيص قيم القدرة. ولذلك يتم تحويل قيم dB إلى قدرة نسبية (العمود الثالث).

المراجـــع

توصيات قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد

ملاحظة – يشجع في كل حالة استخدام أحدث صيغة من التوصية.

التوصية ITU-R SM.328 – أطياف وعرض نطاق البث.

التوصية ITU-R SM.329 – الإرسالات غير المطلوبة في مجال البث الهامشي.

التوصية ITU-R SM.443 – قياس عرض النطاق في محطات الرصد.

6.4 قياس التشكيل

1.6.4 مقدمة

ترد المبادئ الأساسية لمختلف التشكيلات في القسم 6.6 من هذا الكتيب. أما هذا القسم 6.4 فيقتصر على قياس مختلف معلمات التشكيل واستبانة التشكيل وتحليل الطرائق.

2.6.4 مجموعات الأدوات الرئيسية

تنقسم الأدوات المناسبة لقياسات التشكيل إلى ثلاث مجموعات رئيسية:

- أدوات الأغراض العامة: محلل الطيف، ومستقبل المراقبة (التماثلي) المعياري، ومقياس الذبذبة. ويقتصر الاستعمال على قياسات التشكيل التماثلي أو لمعلمات محددة من التشكيل الرقمي.
- أجهزة مكرسة: مقياس تشكيل ومحلل تشكيل.
- مستقبلات مراقبة (رقمية) حديثة ومحللات إشارات المتجهات (VSA) المرتبطة بعملية المعالجة الرقمية. ويمكن لهذا النمط من التجهيزات أن يمكّن من قياس جميع معلمات التشكيل.

3.6.4 التشكيل التماثلي

1.3.6.4 تشكيل الاتساع

إن المعلمة الرئيسية لقياس تشكيل الاتساع (AM) التماثلي هي عمق التشكيل:

$$m\,(\%) = \frac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}} \times 100$$

وهي تقع في التشغيل الاعتيادي ما بين 0 و100% ويمكن قراءتها مباشرة من مستقبلات القياس المعيارية.

وتحدث حالة حرجة عندما يبالغ في تشكيل الحمّالة وتكون $m > 100\%$. ويحدث ذلك عندما تكون E_{min} أقل من الصفر. غير أنه لا يتم الكشف عن ذلك من خلال مستقبل قياس. وعوضاً عن ذلك، ثمة تعريف آخر لعمق التشكيل:

$$m \pm (\%) = \frac{E_{max} - E_{min}}{2E_c} \times 100$$

حيث E_c هي السوية المتوسطة التي يمكن استعمالها. ويمكن قياس E_{max} وE_{min} وE_c مثلاً بواسطة مستقبلات قياس ومحللات طيف. فإذا كانت $m+ = m- = m\pm$، عندئذ يمكن اعتبار التشكيل متناظراً (أي إن قيمة اتساع الحمالة ($E_c =$) لا تتغير بفعل التشكيل)، وتكون النسبة المئوية للتشكيل $< 100\%$ ولا يحدث أي فرط في التشكيل.

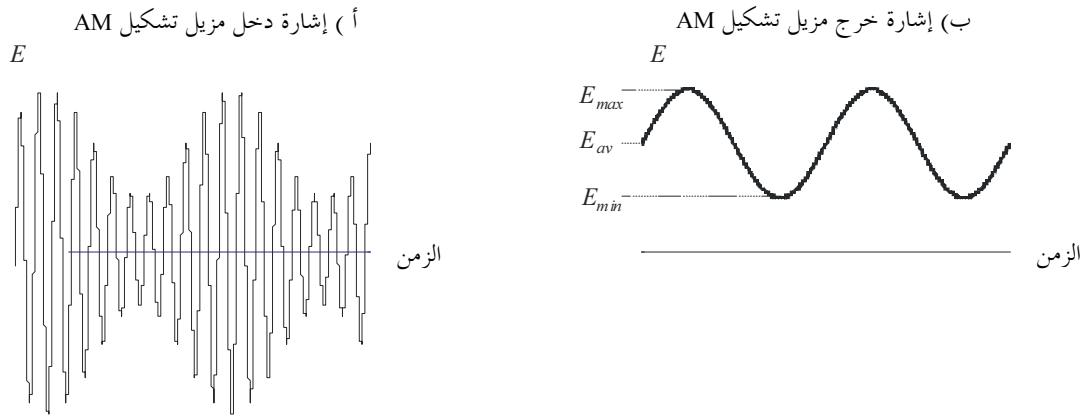
ومن الممكن التعمق في بحث معلمات التشكيل باستعمال أدوات تدعى مقاييس التشكيل أو محللات التشكيل (إذا كانت مزودة بدارات خاصة تسمح بتفحص أدق للإشارة المزال تشكيلها، من قبيل التشوه ونسبة الإشارة إلى الضوضاء *S/N*).

وتبين مقاييس التشكيل عادة قيمة تردد الحمالة لأن من الممكن تحقيق ذلك في أحدث الأدوات المتطورة دون أي جهد إضافي.

ويكون خرج مزيل تشكيل الاتساع مثلاً فلطية الغلاف الموجبة للموجة المشكلة، كما يبدو في الشكل 1-6.4. ويبين الشكل 1-6.4 أ) دخل إشارة مزيل التشكيل ويبين الشكل 1-6.4 ب) خرج هذه الإشارة.

الشكل 1-6.4

إشارتا الدخل والخرج في مزيل تشكيل AM



Spectrum-4.6-01

وتقوم دارة البيان بحساب عمق التشكيل. ومقابل ذلك، يبين الجهاز قيمة $m+$ أو $m-$ أو $m\pm$. وتبين مقارنة هذه القيم ما إذا كان التشكيل غير تناظري أم إذا حدث فرط في التشكيل ($m+ > 1$).

وتقتصر الحاجة أحياناً على قيم عمق التشكيل المقابلة لذرى التشكيل وذلك للتحقق من عدم فرط التشكيل. وفي هذه الحالة قد يكفي للقيام بعملية تحقق سريعة استخدام مقياس ذبذبة موصول بخرج التردد المتوسط في المستقبل. ويمكن أيضاً استخدام محلل طيف بقيمة باع صفر (ميدان الزمن) أو محلل إشارة متجه.

ومن جهة أخرى، قد يكون من المفيد معرفة متوسط عمق التشكيل على امتداد فترات معينة من الزمن، وذلك حرصاً على حسن استعمال المرسل. وفضلاً عن ذلك، قد يكون من المفيد في بعض الحالات معرفة جودة التشكيل، من قبيل نسبة الإشارة إلى الضوضاء أو محتويات التشوه. ومن الضروري في كل هذه الحالات استخدام محلل التشكيل، الذي يحتوي أيضاً على مقياس دقيق لعمق التشكيل. ويعرض هذا الجهاز النتائج في أي شكل مرغوب، في لوحة المقدمة مثلاً ، أو على شاشة حاسوب أو بيانياً، في شكل مطبوع أو مرسوم.

2.3.6.4 تشكيل التردد والطور

جاء في القسم 6.6 من هذا الكتيب أن تشكيل التردد والطور (FM/PM) لا يختلفان كثيراً ويفضيان إلى نفس إشارة التردد الراديوي. وبالنسبة للإشارات المشكلة بالتردد أو الطور، فإن المعلمة الرئيسية الواجب قياسها هي انحراف التردد Δf الذي يمكن قراءته مباشرة من مستقبلات القياس المعيارية. ويمكن حساب دليل التشكيل

$$m = \frac{\Delta f}{fm}$$

من قياس النتيجة من أجل Δf.

ويمكن قياس كل خواص انحرافات التردد والطور باستخدام مقاييس التشكيل. وثمة إمكانية أخرى لقياس انحراف محطات الإذاعة FM وهي استخدام محلل ميدان التشكيل القائم على القياس الآني للتردد (IFM)، أو مستقبل مراقبة حديث (أو محلل إشارة متجهية VSA) يتسم بمقدرات معالجة رقمية. ويجب اختيار معدل الاعتيان بحسب التشكيل (مثال ذلك عند 40 كيلو عينة/ثانية كحد أدنى إذا كان تردد التشكيل الأقصى 15 kHz)، وينبغي أن يقابل زمن تكرار القياس (نافذة الزمن) أخفض تردد يُطلب تحديد الانحراف عنده. وكلما طال زمن القياس، انخفض تردد التشكيل الذي يمكن رؤيته بعد معالجة العينات.

وتجرى قياسات انحراف الطور والتردد للإشارات المطلوبة بمثابة قياسات قيمة ذروة، لأن انحرافات الطور والتردد لإشارات الاتصالات هي بحكم التعريف انحرافات ذروة. ولكن إذا دعا الأمر إلى إجراء قياسات الضوضاء أو نسبة الإشارة إلى الضوضاء أو تشوه نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SINAD)، يتعين أن تؤخذ في الاعتبار قيم جذر متوسط التربيع (r.m.s.) أو قيم شبه الذروة المرجحة للانحرافات المعنية. ولذلك فإن مقاييس PM وFM مزودة عادة بكاشفات تعطي أيضاً نتائج r.m.s. وSINAD وشبه الذروة (التوصية ITU-R BS.468).

وتحتوي التوصية ITU-R SM.1268 على وصف مفصل لقياس وتقييم الانحراف الأعظمي وقدرة تشكيل الإرسالات الإذاعية FM عبر الأثير أثناء التشغيل الاعتيادي للبرامج.

3.3.6.4 قياس AM وPM/FM المتآون

إن الانتشار المتعدد المسيرات مشكلة عامة لإشارات FM في نطاقات الترددات المترية (VHF) وفي الترددات الأعلى. وينجم عن الانتشار المتعدد المسيرات في أنظمة FM تشوه غير مقبول في الإشارة المشكّلة. وبسبب هذا الانتشار يجري تحويل PM أو FM إلى نسبة مئوية معينة من AM بإضافة متجهية في هوائي المستقبل. لذلك يمكن الحصول على الانتشار المتعدد المسيرات بقياس AM في حمّالة مشكّلة بالتردد. ولهذا الغرض يتعين على مقياس التشكيل أن يقيس AM وPM/FM في آن واحد. وعندما يكون من الضروري تحديد ما إذا كانت جودة إشارات الإذاعة FM كافية، يتعين قياس النسبة المئوية PM/FM مقابل تحويل AM.

ولهذه الغاية ثمة أجهزة متاحة توفر قياسات متوازية للانحراف وعمق التشكيل وتنطوي على حساب فوري لعامل التحويل، في شكل نسبة مئوية من عمق التشكيل على انحراف FM مقدراً بوحدة kHz.

وتحدد التوصية ITU-R SM.1268 القيم العظمى من كمية AM إلى جانب اشتراطات مسبقة أخرى من أجل دقة القياس.

4.3.6.4 تشكيلات تماثلية خاصة

1.4.3.6.4 تشكيلات الإذاعة التلفزيونية

ثمة خاصية هامة في تشكيل إرسالات الإذاعة التلفزيونية التماثلية في نطاق جانبي متبقٍ (VSB) في نطاقات الترددات المترية والديسيمترية (VHF/UHF) وهي سوية الحمالات الفرعية (لرشقة الصوت واللون مثلاً) نسبة إلى حمالة الرؤية. ويمكن قياس ذلك بواسطة محلل طيف باستخدام عرض نطاق استبانة لا يقل عن 100 kHz. وتتوقف القيم الإسمية على النظام المستخدم ويمكن استقاؤها من الوثائق المعيارية ذات الصلة.

وتبعاً للمعيار ذي الصلة، ثمة أجزاء من الإشارة التلفزيونية تبقى ثابتة من حيث الاتساع، بصرف النظر عن محتوى الصورة. ولهذا السبب فإن قياس عمق التشكيل التقليدي في التشكيل الفيديوي لا طائل منه.

ومن المفيد عرض إشارة التردد المتوسط (IF) أو الإشارة الفيديوية المزال تشكيلها على مقياس الذبذبة لأنه يعطي انطباعاً جيداً للتشكيل. ويمثل عرض نطاق أدنى قدره 5,5 MHz من خرج IF، ومزيل التشكيل الفيديوي للمستقبل - إذا استخدم - شرط أساسي مسبق من أجل عرض الإشارة على النحو الصحيح.

وتتوفر محللات التلفزيون التماثلي الخاصة التي تمكن من التحليل المفصل لتشكيل الصورة بما في ذلك محتويات خطوط الاختبار المدرجة ما بين الأرتال اللاحقة.

ويمكن إجراء قياسات الانحراف في قنوات الصوت بالأسلوب التقليدي، شريطة أن تكون انتقائية مقياس التشكيل كافية.

2.4.3.6.4 تشكيل نطاق جانبي وحيد مع كبت الحمالة

في هذا النمط من التشكيل يجري كبت الحمالة ولا يحدد عمق التشكيل. وبالتالي لا يمكن قياس عمق التشكيل.

3.4.3.6.4 تشكيل النطاق الجانبي المستقل

تنطبق البيانات التي وردت أعلاه بشأن النطاق الجانبي الوحيد (SSB) مع كبت الحمالة على تشكيل النطاق الجانبي المستقل (ISB) مع كبت الحمالة (B8E) أيضاً.

ومن غير الممكن إجراء أي قياس لخصائص التشكيل بالأسلوب التقليدي.

4.4.3.6.4 تشكيل الاتساع الدينامي

جاء في القسم 6.6 من هذا الكتيب أن هذا النوع من التشكيل يخفض من سوية الحمالة كلما كان عمق التشكيل منخفضاً وذلك للاقتصاد في طاقة الإرسال. وقدرة الحمالة هي دالّة مرتبطة بسوية التشكيل. وفي هذه الحالة، وبدون معرفة تفاصيل خصائص الإشارة المرسلة، فإن دلالة مقياس تشكيل تقليدي لا يمكن أن تكون صحيحة. ولمعرفة ما إذا كان تشكيل الاتساع الدينامي (DAM) قد استخدم أم لا، يتعين قياس متوسط سوية الحمالة على أساس ثابت زمن بطيء.

4.6.4 تشكيل رقمي وحيد الحمالة

تبعاً لمعلمات أنظمة معينة، فإن الحمالات المفردة التي يكون تشكيلها بالاتساع و/أو التردد و/أو الطور، مثل الإبراق بزحزحة الاتساع (ASK) والإبراق بزحزحة التردد (FSK) والإبراق بزحزحة الطور (PSK) والإبراق بزحزحة دنيا (MSK) والتشكيل باتساع تربيعي (QAM)، لها أطياف مشابهة إن لم يكن مساوية ولا يمكن تمييزها بسهولة باستخدام محلل طيف مكنوس. ولا يمكن غالباً إجراء قياسات عمق التشكيل وانحراف التردد باستخدام مقاييس التشكيل الاعتيادية أو مستقبلات القياس. وبدلاً من ذلك، قد تكون خواص التشكيل التالية موضع اهتمام:

- تعرّف هوية التشكيل وعدد حالات الكوكبات؛
- معدل الرمز؛

- ترشيح النطاق الأساسي؛
- أخطاء التشكيل.

1.4.6.4 معدل الرموز

للتمكن من إزالة تشفير إشارة رقمية ما، يجب أن يكون المستقبل متزامن مع المرسل، أي يجب أن تتطابق معدلات الرموز تماماً. وما لم تتسم التجهيزات المستخدمة بمقدرات تعرف هوية الإشارة الرقمية، فإن مستقبلات المراقبة ومحللات إشارة المتجه لا تعمل إلا عندما يُدخل المشغّل معدل الرموز الصحيح. ولا تستطيع تجهيزات القياس الاعتيادية أن تقيس معدل الرموز، وإذا لم يكن هذا المعدل معروفاً فإن المضي في التحليل وإزالة التشفير غير ممكن.

ونظراً للتغير التدريجي في اتساع و/أو طور الإشارات المرشحة في النطاق الأساسي، فلا يمكن عموماً قياس معدل الرموز بواسطة مقياس ذبذبة موصول بالتردد المتوسط (IF) في مستقبل المراقبة.

ولكن من الممكن، كقاعدة تقريبية، افتراض أن معدل الرموز يساوي تقريباً عرض النطاق المشغول في الإشارة. ويبين الجدول 1-6.4 بعض الأمثلة عن أنظمة رقمية وحيدة الحمالة شائعة.

الجدول 1-6.4

معدلات الرموز وعروض النطاق لأمثلة من أنظمة وحيدة الحمالة

النظام	عرض النطاق	معدل الرموز
TETRAPOL	kHz 7,2	kSymb/s 8
TETRA	kHz 21	kSymb/s 18
DECT	MHz 1,1	MSymb/s 1,152
GSM	kHz 250	kSymb/s 270,833
UMTS (أوروبي)	MHz 4,2	MSymb/s 3,84
Bluetooth	kHz 950	MSymb/s 1
WLAN DSSS (802.11b)	MHz 13	MSymb/s 11

إن محللات التشكيل الرقمي الخاصة، ولا سيما مستقبلات المراقبة الحديثة المجهزة، قادرة على قياس معدل الرموز بتطبيق الطرائق الرياضية. وهذه الطرائق موضحة في القسم التالي.

2.4.6.4 تعرّف هوية التشكيل وعدد حالات الكوكبات

سبق القول بأن ليس من الممكن تعرّف هوية كل تشكيل حمالة وحيدة على نحو فريد بواسطة مستقبلات القياس الاعتيادية أو محللات الطيف المكنوس. ومع ذلك، يمكن الحصول على بعض "التلميحات" من خلال قياس الفرق بين الذروة وسوية جذر متوسط التربيع (للإشارات النبضية: الفرق بين الذروة ومتوسط سوية الرشقة). للاطلاع على التفاصيل، انظر القسم 3.4. ويدعى هذا الفرق عامل CREST. فإذا كانت قيمته صفراً (تعادل كلتا السويتين)، فلا يمكن أن يكون التشكيل إلا FSK أو MSK، لأن كل تشكيلات الحمالات الوحيدة الأخرى تنطوي على تشكيل اتساع متأصل.

وبالنسبة لتشكيلي FSK وMSK، يمكن قياس زحزحة التردد بواسطة مقياس ذبذبة موصول بالتردد المتوسط IF في مستقبل قياس اعتيادي.

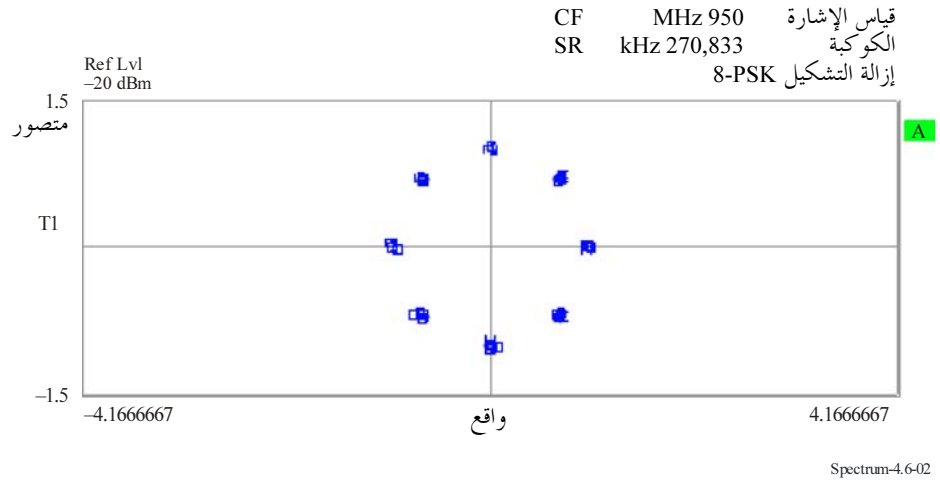
وبالنسبة لتشكيل ASK، يمكن قياس عمق التشكيل بواسطة محلل طيف في أسلوب باع صفر أو بواسطة مقياس ذبذبة موصول بالتردد المتوسط IF في مستقبل قياس اعتيادي.

وللمضي في تعرّف هوية التشكيل المستخدم، يحتاج الأمر إلى تجهيزات تؤدي وظائف محلل إشارة متجهية أو محلل/مستقبل تحويل فورييه السريع (FFT) قادرة على الاحتفاظ بالاتساع والتردد والطور بشأن الإشارة رهن التشكيل. وبعد إدخال معدل الرموز، تسمح هذه المحللات/المستقبلات بعرض الرسم البياني للكوكبة كما يتضح في الشكل 2-6.4. للتفاصيل بشأن الرسم البياني للكوكبة، انظر القسم 6.6.

ويمكن الحصول على المزيد من المعلومات عن خواص التشكيل إذا كان المحلل يعرض أيضاً متجه RF بين نقاط الكوكبة (أي باستمرار في أي وقت). ويُعرف العرض الناتج باسم الرسم البياني المتجهي. ويبين الشكل 3-6.4 الرسم البياني المتجهي لإشارة 8-PSK من الشكل 2-6.4.

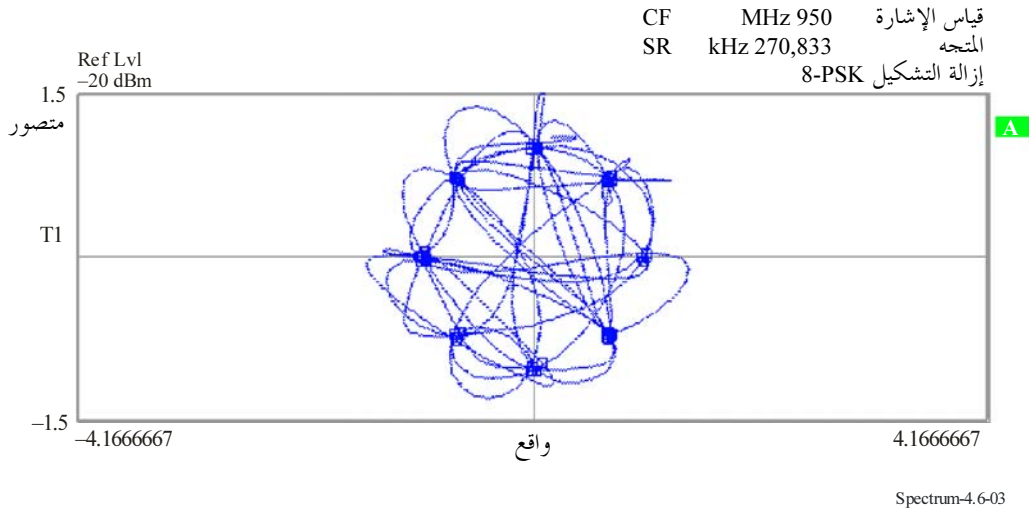
الشكل 2-6.4

رسم بياني كوكبي لإشارة 8-PSK



الشكل 3-6.4

رسم بياني متجهي لإشارة 8-PSK



ثمة محللات تشكيل رقمي خاصة متاحة تمكن، في ظل شروط معينة، من تعرف هوية التشكيل والقياس لمعدل الرموز لإشارة مجهولة كاملة. وغالباً ما تكون هذه المحللات حلولاً برامجية تعمل في حواسيب شخصية اعتيادية وتغذى بتتابع مسبق التسجيل للإشارة قيد التفحص. وتعتمد أساليب القياس على وظائف لتحويل الإشارة من قبيل:

طريقة ترابط الطيف والعزوم

يجري أداء ترابط ذاتي دوري للأطياف المشتقة من عدة عمليات FFT لاحقة. ويمكن رسم النتيجة بيانياً في شكل رسم بياني ثنائي الأبعاد يبين ذرى متميزة في نقاط الكوكبة والزمن المستغرق للانتقال بينها. ويبين الشكل 4-6.4 مثالاً لإشارة إبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة (BPSK).

طيف الإشارة مرفوع إلى القوة N

تقوم هذه الطريقة على تحويل فوريه للإشارة المرفوعة مسبقاً للقوة 2 أو 4. وتبعاً للتشكيل، تبدي النتيجة ذرى متميزة تمثل عدد حالات الكوكبة.

طريقة الرسم البياني القضباني

يجري حساب رسم بياني قضباني بالترددات الآنية أو الاتساعات أو الأطوار.

وتبعاً لنمط التشكيل، تميز قيم الذرى المحسوبة خصائص معلمات التشكيل.

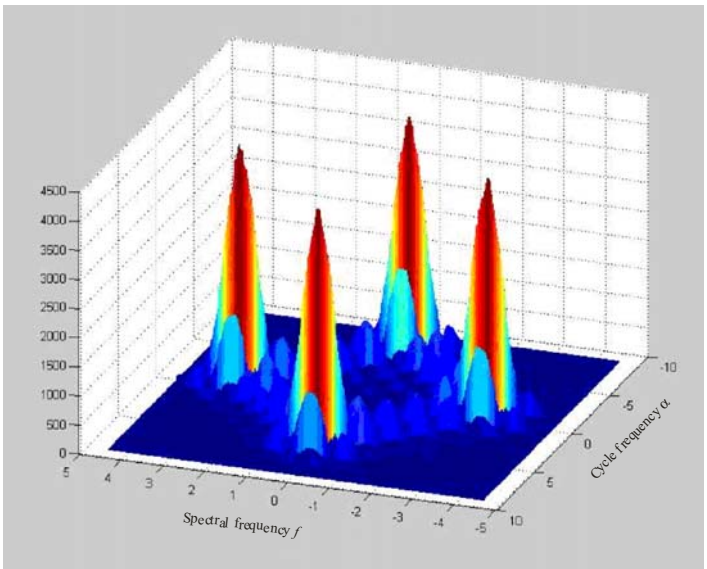
طيف التقاطع الصفري

تقيّم هذه الطريقة التردد الآني في النطاق الأساسي المعقد لإشارة دخل. والتردد المركزي لهذا النطاق الأساسي هو صفر. وتحدث دالة التقاطع الصفري ذروة في ميدان الزمن كلما عبر تردد إشارة النطاق الأساسي (المشكّلة) قيمة الصفر. وبعدئذ تتحدد الأزمنة ما بين الذرى المتعاقبة (t_n) لدالة التقاطع الصفري ويجري حساب "طيف" جديد باستخدام العلاقة $f = 1/t_n$.

ويبين الشكل 5-6.4 هذه العملية.

الشكل 4-6.4

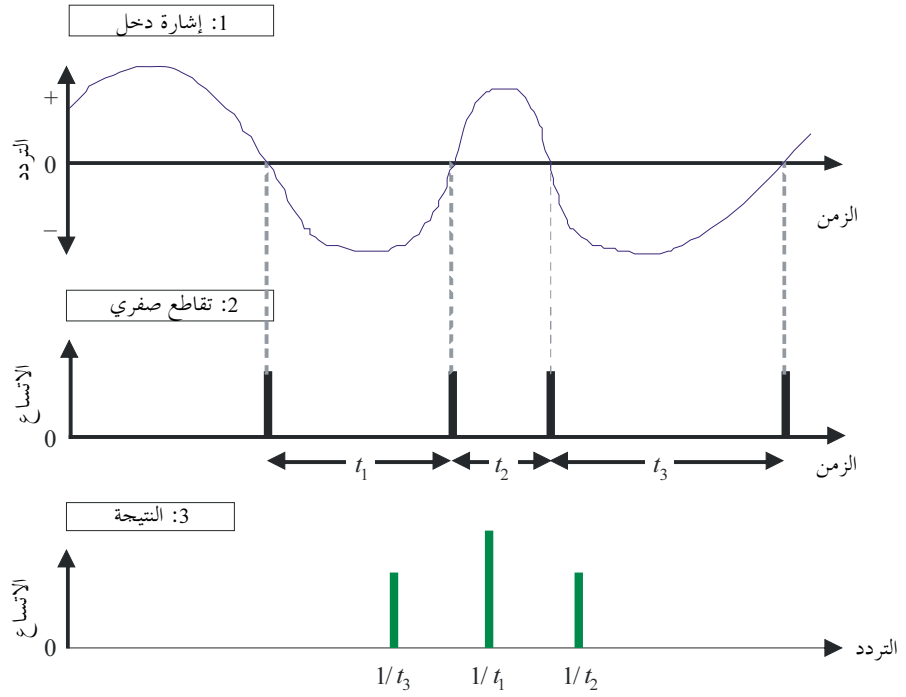
نتيجة ترابط الطيف في إشارة BPSK



Spectrum-4.6-04

الشكل 5-6.4

مبدأ طريق التقاطع الصفري

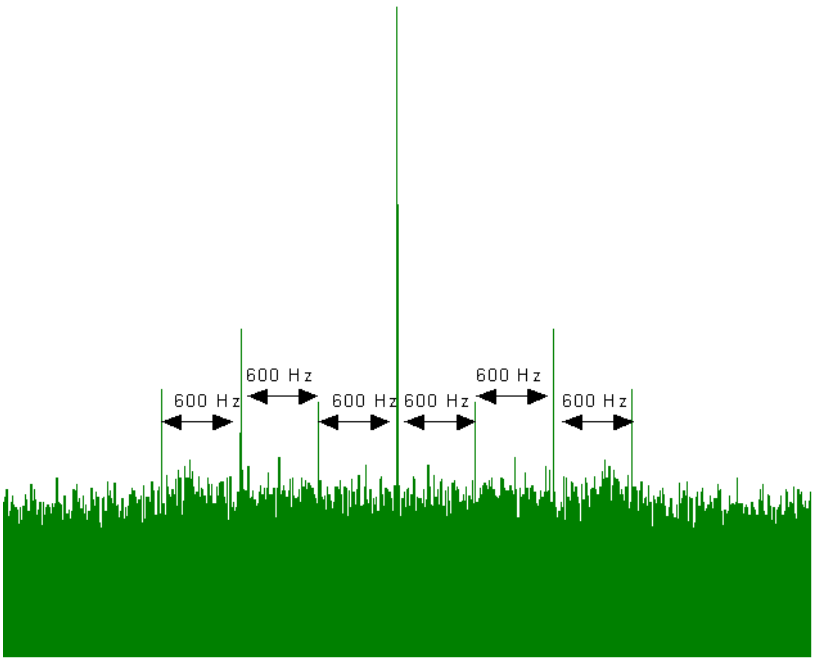


Spectrum-4.6-05

ثمة مثال لنتيجة طريقة التقاطع الصفري في الشكل 6-6.4.

الشكل 6-6.4

تقاطع صفري لإشارة QPSK بمعدل 600 رمز/ثانية



Spectrum-4.6-06

وغالباً ما توفر هذه الطرائق قدراً من المعلومات أكبر من مجرد عدد حالات التشكيل. ويلخص الجدول 6.4-2 مقدرات كل من الطرائق التي ورد ذكرها أعلاه.

الجدول 6.4-2

طرائق القياس الممكنة لمعلمات التشكيل الرقمية

التشكيل	قياس ...	طريقة ترابط الطيف والعزوم	طيف الإشارة مرفوع إلى القوة N	طريقة الرسم البياني القضباني	طيف التقاطع الصفري
ASK	تردد الحمالة	√			
	معدل الرموز		√ ($N = 2$)		
	عدد الحالات			√	
FSK	تردد الحمالة			√	
	معدل الرموز	√			√
	عدد الحالات		√ ($N = 1$)*	√	
PSK	تردد الحمالة	√	√ ($N = 2$)		
	معدل الرموز		√ ($N = 2$ أو 4)	√	√
	عدد الحالات			√	
MSK	تردد الحمالة		√ ($N = 2$)		
	معدل الرموز		√ ($N = 2$)		√
	عدد الحالات			√	
QAM	تردد الحمالة	√			
	معدل الرموز		√ ($N = 4$)		√
	عدد الحالات	(غير ممكن بهذه الطرائق)			

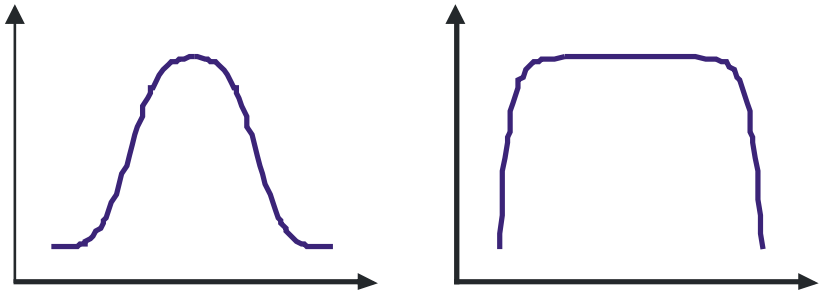
* تبعاً لدليل التشكيل.

3.4.6.4 ترشيح النطاق الأساسي

كما جاء في القسم 6.6 أنه لا يستخدم سوى الترشيح الغوسي وجيب التمام (أو الجذر المرفوع لجيب التمام (RRC)) لتخفيض عرض نطاق إشارات الحمالة الوحيدة الرقمية. ويمكن أن يؤخذ نمط ترشيح النطاق الأساسي من الشكل النمطي لطيف التردد الراديوي (انظر الشكل 6.4-7).

الشكل 7-6.4

طيفا إشارة الحمالة الوحيدة الرقمية المرشحة



Spectrum-4.6-07

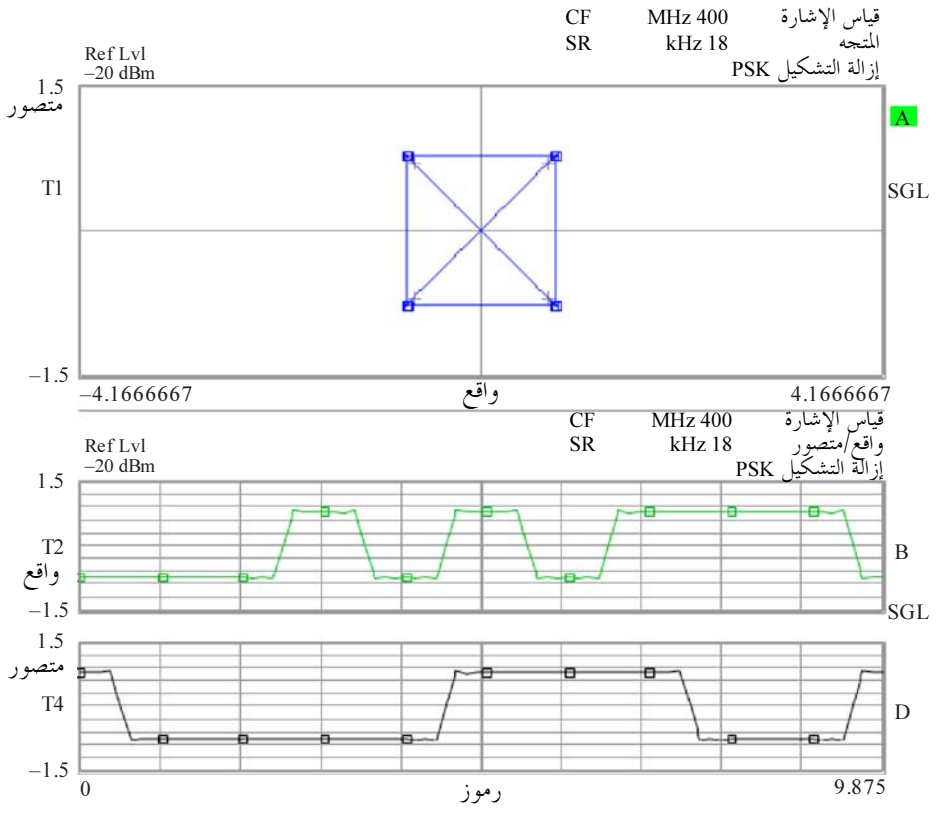
ويكون محلل الإشارة المتجهية عادة قادراً على عرض مكونتي I وQ للإشارة قيد التشكيل في ميدان الزمن. ويبين الشكلان 8-6.4 و9-6.4 هذا الوضع بمثال إشارة مشكلة QPSK بطول 10 رموز. ولا يطبق في الشكل 8.6.4 ترشيح في النطاق الأساسي. ويبين الشكل 9-6.4 نفس الإشارة مع ترشيح جيب التمام في النطاق الأساسي.

ويتضح أن ترشيح النطاق الأساسي "يمهد" النتوءات الحادة في النطاق الأساسي قيد التشكيل ويضمن في الوقت ذاته أن متجه RF يصل إلى نقاط الكوكبة الإسمية تماماً وقت إزالة التشفير.

ومن شأن التغييرات الممهدة لمكونتي I وQ أن تفضي إلى "تجاوز" نقاط الكوكبة أحياناً مما يرفع اتساع الذروة لإشارة RF. ولكن عرض النطاق ينخفض انخفاضاً ملحوظاً.

الشكل 8-6.4

رسم بياني متجهي وميدان الزمن I/Q لإشارة QPSK غير مرشحة



Spectrum-4.6-08

4.4.6.4 خطأ التشكيل

محللات الإشارة المتجهية ومستقبلات المراقبة الرقمية الحديثة قادرة عادة على قياس الأخطاء التالية على الأقل:

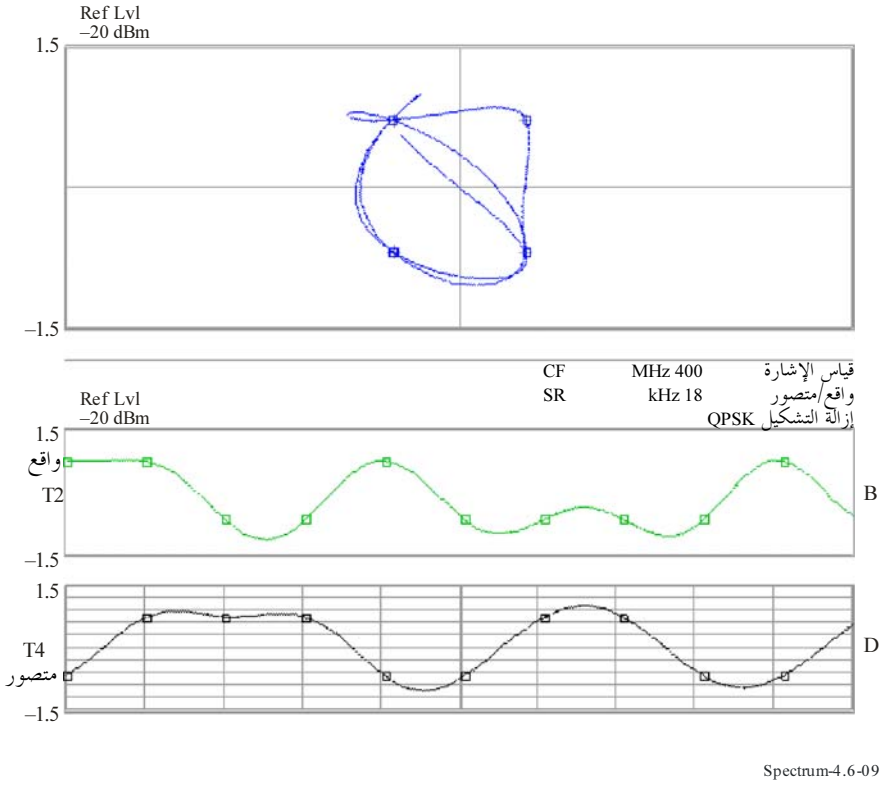
- تخالف التربيع؛
- عدم توازن الكسب؛
- تخالف I/Q.

ويبين الشكل 10-6.4 قياس الخطأ في إشارة 16-QAM مع تخالف I/Q لا بأس به.

ويمكن التعبير عن مجموع أخطاء التشكيل هذه جميعها كمقدار متجه الخطأ (EVM). وعادةً ما يعبر عنه بالنسبة المئوية.

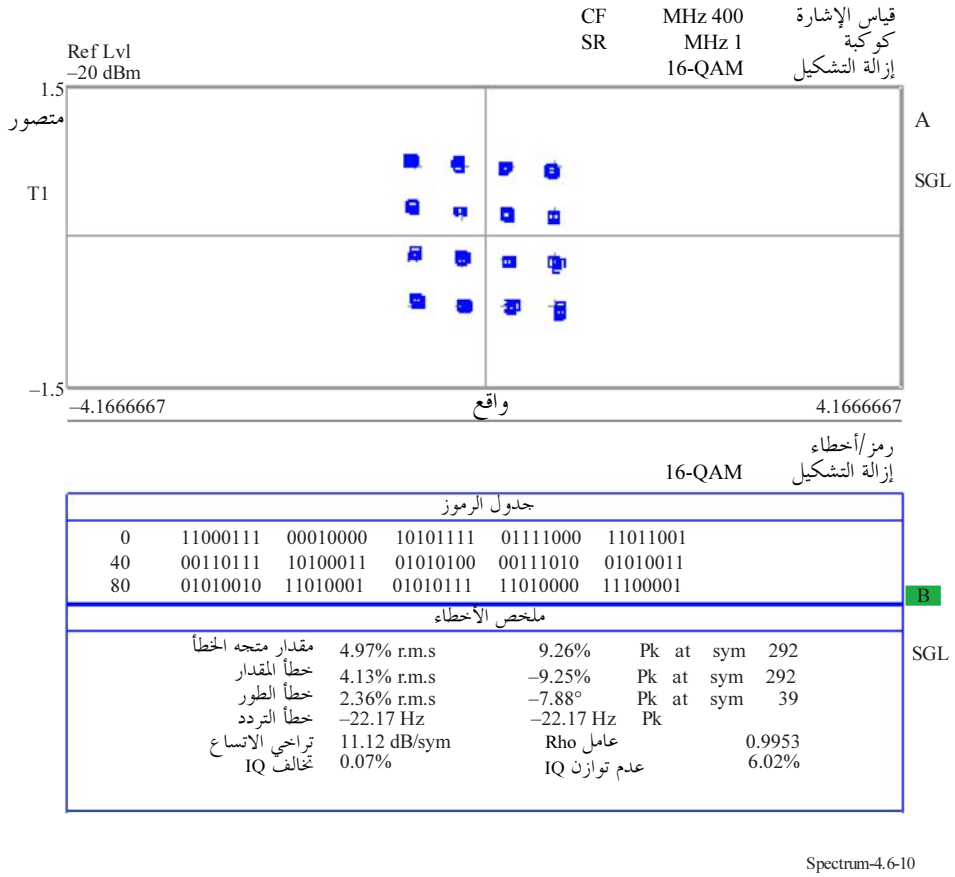
الشكل 9-6.4

رسم بياني متجهي وميدان الزمن I/Q لإشارة QPSK مع ترشيح جيب التمام



الشكل 10-6.4

مثال لقياس خطأ تشكيل



Spectrum-4.6-10

5.6.4 تشكيل رقمي متعدد الحمالات

يستخدم العديد من أنظمة الاتصالات الرقمية الحديثة تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM). وبالنسبة لإشارات OFDM، يمكن أن تكون معلمات التشكيل التالية موضع اهتمام:

- نمط التشكيل؛
- عدد الحمالات؛
- تباعد الحمالات؛
- زمن الرمز؛
- فاصل الحراسة.

1.5.6.4 نمط التشكيل

لا يمكن، على غرار أنظمة الحمالة الوحيدة، تحديد نمط التشكيل باستخدام تجهيزات المراقبة الاعتيادية مثل محللات الطيف. بل حتى غالبية المحللات المتجهية لا تعمل سوى في أنظمة الحمالة الوحيدة.

ورغبة في فصل الحمالات الوحيدة في مجموعة من أنظمة تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM)، لا بد من استخدام محللات إشارة متخصصة. وقد يكون من المناسب أيضاً استخدام بعض مستقبلات المراقبة الحديثة بالاقتران مع برمجية مناسبة لمعالجة الإشارة.

ويمكنها أن تعرض عادة رسم كوكبة بيانياً إما لجميع الحمالات أو لعدد مختار فقط من الحمالات. ويمكن من هذا العرض تعرّف تشكيل الحمالات الفرعية.

2.5.6.4 عدد الحمالات وتباعد الحمالات

تتراكب أطياف الحمالات الفرعية، وذلك بحكم تشكيلها. لذلك من الصعب فصلها مرئياً بواسطة محلل طيف قياسي.

ومع ذلك، يُظهر محلل الطيف، في أسلوب متوسط تتبع طويل الأجل بالاقتران مع عرض نطاق استبانة ضيق (أقل من Δf 1/10)، صورة على غرار الصورة الواردة في الشكل 11-6.4.

والطيف في الشكل 11-6.4 هو جزء من إشارة إذاعة سمعية رقمية (DAB) حيث يمكن قياس تباعد حمالات بمقدار Δf من kHz 1.

ويمكن حساب عدد الحمالات بواسطة عرض النطاق بين الحمالات الخارجية، وهو ما يمكن تحديده بسهولة بواسطة محلل الطيف وتباعد الحمالات.

3.5.6.4 زمن الرمز

يكون زمن الرمز T_s كما يلي:

$$T_s = \frac{1}{\Delta f}$$

حيث Δf هي فاصل التردد بين حمالتين فرعيتين متجاورتين. وفي المثال في الشكل 11-6.4، يكون زمن الرمز الناتج هو 1 ميلليثانية.

وثمة أسلوب أكثر دقة لقياس زمن الرمز يتطلب تجهيزات أو برمجيات خاصة وهو حساب دالة الترابط الذاتي لإشارة الزمن (مسبقة التسجيل). وثمة مثال على ذلك في الشكل 12-6.4.

ويظهر شكل الترابط الذاتي ذروة عند زمن تخالف يساوي زمن الرمز.

ولا يمكن قياس طول فترة الحراسة T_g بواسطة تجهيزات المراقبة الاعتيادية. وبدلاً من ذلك، يتعين استخدام محللات إشارة تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM) متخصصة.

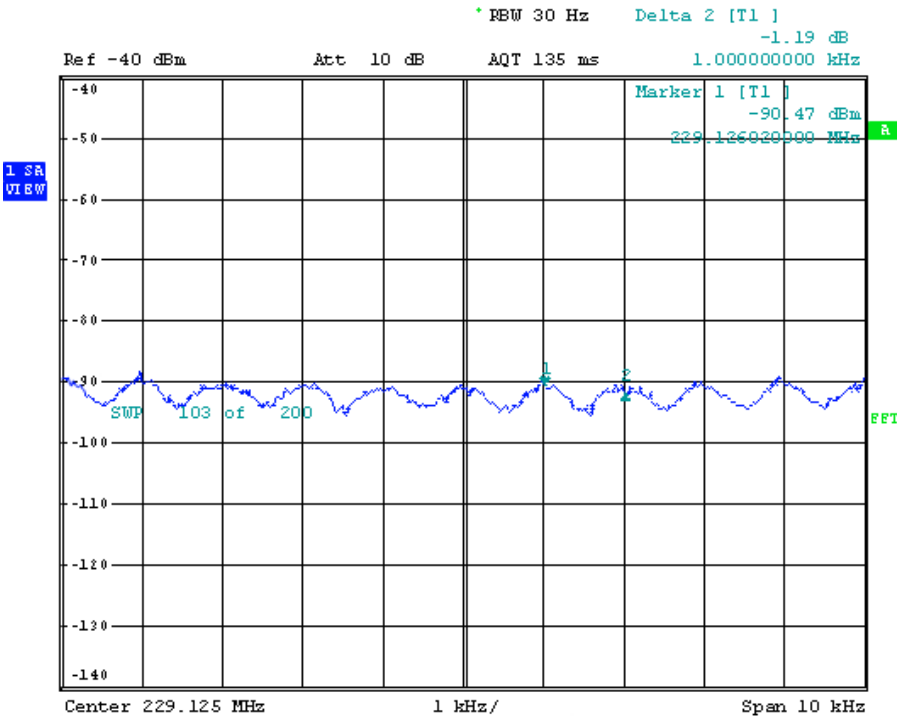
وثمة أسلوب لتحديد زمن الحراسة باستخدام هذا النمط من التجهيزات وذلك بأداء عملية ترابط ذاتي دوري في إشارة الزمن.

وتُظهر النتيجة ذرى لتلك الفواصل الزمنية حيث تكرر نفسها بعض المعلومات المرسلة.

وتكون هذه الأزمنة هي $T_s + T_g$. فإذا كان الزمن T_s معروفاً (أو تم قياسه قبل ذلك)، عندئذ يمكن حساب T_g. ويبين الشكل 13-6.4 مثالاً على ذلك.

الشكل 11-6.4

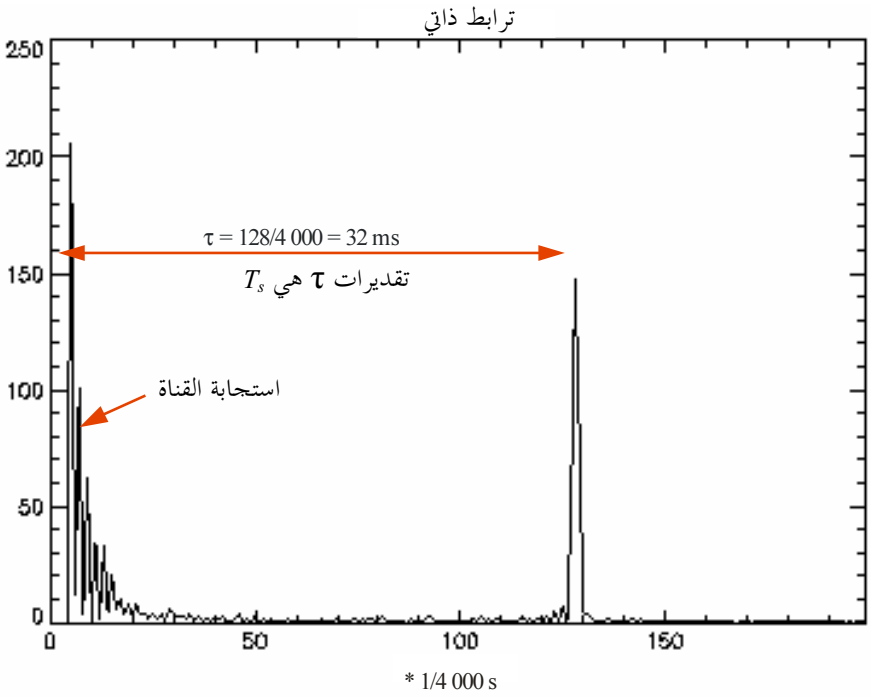
جزء من طيف OFDM مع استبانة عالية



Spectrum-4.6-11

الشكل 12-6.4

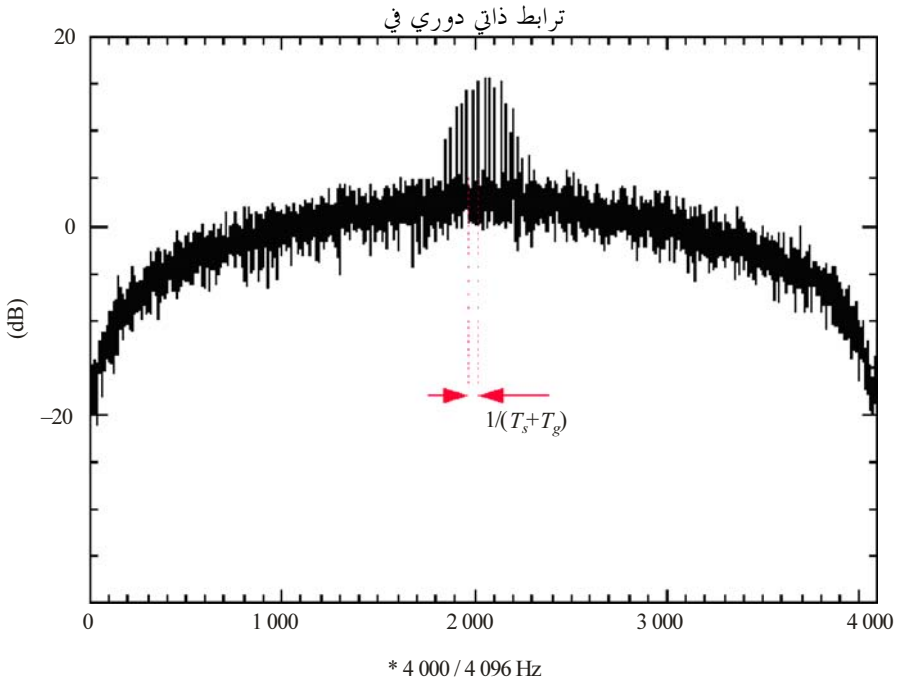
ترابط ذاتي لإشارة OFDM



Spectrum-4.6-12

الشكل 13-6.4

ترابط ذاتي دوري لإشارة زمن OFDM



6.6.4 أخطاء القياس

من المصادر الممكنة لأخطاء القياس، ما يلي:

– عرض نطاق الجهاز أضيق من الإشارة المشكّلة؛

– ضوضاء أو إشارات تداخل في نفس القناة؛

– إشارات تداخل من قنوات متاخمة؛

– انعكاسات واستقبال مسيرات متعددة.

ولتجنب هذه المشكلة، يتعين أداء القياسات عند أفضل نسبة *S/N* في المستقبل (مقياس التشكيل) وباستخدام هوائي اتجاهي لإزالة أكبر قدر ممكن من الإشارات غير المطلوبة والحصول على القدر الأقصى من فلطية الإشارة المطلوبة. ويتعين انتقاء عرض نطاق القياس بحيث يغطي الإشارة المطلوبة لا أكثر.

وعلى وجه الخصوص، تؤدي قياسات الانحراف إلى نتائج خاطئة في إشارات FM ذات المحتوى العالي من AM بسبب انتشار المسيرات المتعددة. وقد تكون القيمة المبينة عالية بشكل مفرط (بعامل 2 مثلاً). ويجب تجنب استقبال المسيرات المتعددة على أي حال عند أداء قياسات الانحراف.

بيبليوغرافيـــا

Application Note 150-1 [2001] Spectrum Analyzer Amplitude and Frequency Modulation. Agilent Technologies, Santa Rosa, United States of America, downloadable at: http://www.agilent.com/.

BLUE, K., *et al.* [December 1993] Vector Signal Analyzers for Difficult Measurements on Time-Varying and Complex Modulated Signals. *Hewlett-Packard J.*, Vol. 44, p. 6-47.

BUES, D. and RIEDEL, P. [1993] Planning digital radio networks using Impulse Response Analyzer PCS and test tranmitter system. *News from Rohde & Schwarz*, No. 141, p. 26-27.

STOKKE, K. N. [April, 1986] *EBU Rev. Techn.*, No. 216, p. 81-87.

WOLF, J. [1993] Test receivers ESN and ESVN: Top-rounders for signal and EMI measurements. *News from Rohde & Schwarz*, No. 141, p. 11-13.

توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

ملاحظة – يشجع في كل حالة استخدام أحدث طبعة من التوصية.

التوصية ITU-R BS.468 – قياس سوية توتر ضوضاء التردد السمعي في الإذاعة الصوتية.

التوصية ITU-R SM.1268 – طريقة قياس انحراف التردد الأقصى في إرسالات البث FM في محطات المراقبة.

7.4 تحديد الاتجاه والموقع راديوياً

1.7.4 اعتبارات عامة

الغرض من تحديد الاتجاه (DF) الراديوي هو تحديد خط الاتجاه الزاوي (LoB) لأي مصدر إشعاع كهرمغنطيسي بفضل خواص انتشار الموجات الراديوية.

ومن هذا المنظور العام، يمكن استخدام DF لتحديد اتجاه مرسل راديوي أو مصدر ضوضاء راديوية.

ويصبح استخدام عدة محددات اتجاه (طريقة التثليث) أو طرائق تحديد الموقع مباشرة ضرورياً في الحالات التالية:

- موقع مرسل في حالة استغاثة؛
- موقع مرسل غير مرخص؛
- موقع مرسل متداخل لا يمكن التعرف عليه بأي وسيلة أخرى؛
- تحديد موقع مصدر تداخل ضار بالاستقبال، مثل المعدات الكهربائية أو خلل في عازلات خطوط الطاقة الكهربائية، وما إلى ذلك؛
- تعرف هوية المرسلات، المعروفة منها والمجهولة.

والغرض من القسم 7.4 هو مقارنة مختلف الطرائق المستخدمة للقيام بعملية تحديد الاتجاه والموقع لمرسل ما.

2.7.4 تحديد الاتجاه راديوياً

محدد الاتجاه DF هو عبارة عن محساس يحدد اتجاه الوصول أو السمت (والارتفاع، في حال موجات ديكامترية HF) لموجة كهرمغنطيسية (في ظروف مثالية) بالنسبة إلى اتجاه مرجعي.

ودون الدخول في تفاصيل الظواهر الداخلة في الانتشار الراديوي، يفترض أن الانتشار يكون دوماً على امتداد قوس الدائرة الكبرى التي تصل مصدر الإشعاع بنقطة الاستقبال.

ومن الممكن في هذه الظروف، وبتوفر تجهيزات الاستقبال الملائمة التي تعطي اتجاه الموجة الواردة، تحديد الاتجاهات الزاوية للمصدر (المرسل والتيار المتداخل) ومعرفة اتجاه ذلك المصدر في مكان الاستقبال.

وتشمل المعمارية الوظيفية المشتركة بين كل محددات الاتجاه:

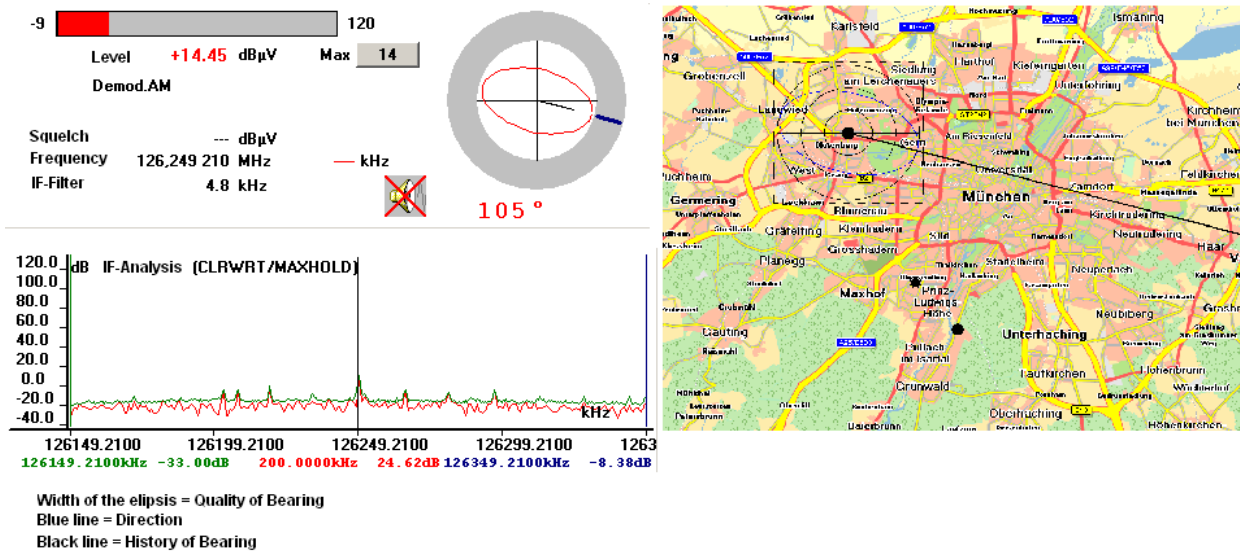
– صفيف هوائي؛
– تجميع استقبال؛
– معالج DF.

وفي الشكل 1-7.4 مثال لشاشة عرض DF.

والنتائج الأولية التي ينبغي أن تظهر: زاوية الوصول، وسوية الإشارة، وجودة الاتجاه الزاوي، وبيان الطيف، والخارطة.

الشكل 1-7.4

مثال لشاشة عرض محدد الاتجاه



Spectrum-4.7-01

1.2.7.4 مناقشة المعمارية الأساسية والأداء والمشكلات

إن عملية انتقاء نظام ما لتحديد الاتجاه عملية حساسة دوماً لأنها تمثل انتقاء حل وسط بخصوص الأداء إزاء حالة تشغيل معينة. وهنالك عدد من الخصائص المميزة التي ينبغي أن تتوفر في أي محدد اتجاه، مهما كان مبدأ DF المستخدم. ويجب أن تفي السمات التشغيلية والتصميمية للتجهيزات (من حيث أسلوب العرض ومفهوم التشغيل وإمكانية التحكم عن بعد والمدى الحراري والمتانة الميكانيكية والشكل والوزن واستهلاك الطاقة، وما إلى ذلك) بمتطلبات التطبيق المقصود.

والسمات الهندسية الرئيسية لمحدد الاتجاه هي:

– الدقة؛
– الحساسية؛
– الحصانة إزاء صدر الموجة المشوهة؛
– عدم الحساسية لإزالة الاستقطاب؛
– تأثيرات التداخل في نفس القناة؛

– مقاومة إزالة حساسية المستقبل؛
– زمن إشارة أدنى.

لدى مقارنة مختلف طرائق DF، كما سيأتي أدناه، تعتبر هذه السمات الرئيسية فقط ذات صلة ومن ثم يقتصر الاهتمام عليها.

وتتناول الفقرة 6.4.3 في هذا الكتيب المواصفات النموذجية لمحددات الاتجاه.

1.1.2.7.4 الدقة

الدقة

بالنسبة للدقة المحددة، جدير بالملاحظة أن خطأ النظام يتألف من مكونتين.

المكونة الأولى، خطأ السمت، تتوقف على اتجاه ورود الإشارة وتحديد الموقع والطوبوغرافيا المحيطة. والمكونة الثانية، خطأ التردد، هي خطأ DF كدالة للتردد المختار.

ويمكن اختبار دقة DF في بيئة حقيقية، في موقع اختبار في الهواء الطلق أو في منصة مختبر.

وينبغي أن يكون واضحاً أن قيم دقة DF يمكن أن تختلف كثيراً تبعاً لبيئة الاختبار.

ويمكن قياس دقة النظام وفقاً لثلاث طرائق جاء وصفها في التقرير ITU-R SM.2125:

– في بيئة حقيقية تمثل بيئة التشغيل النهائية، بتشكيلات شتى وباستخدام إشارات بأدنى نسبة *S/N* تحددها الجهة المصنعة للنظام؛
– في موقع اختبار في الهواء الطلق (OATS) وهو يحدد عادة لإشارات تتسم بقدر كاف (< 20 dB) من نسبة *S/N* وحيث لا يمكن لأي انعكاسات من عقبات قريبة وضوضاء محيطة وإشارات راديوية أخرى أن تتدخل في عملية القياس؛ وبالطبع لا تدخل أخطاء DF الناتجة عن وسط الانتشار (الأيونوسفير مثلاً) وآثار المسيرات المتعددة؛
– في منصة: توصل محطة DF دون هوائي بجهاز محاكاة ومولد.

المعايرة والتصحيح

يجب أن تقوم كل تقنيات DF بالمعايرة لضمان الحصول على السوية العالية المطلوبة من دقة الاتجاه الزاوي.

وهنالك تقنيتان لإجراء المعايرة:

– معايرة البنى المادية لمحدد الاتجاه. ينبغي القيام بمعايرة من أجل الحد من أثر تداخل الصارية و/أو الطنين بين الهوائيات و/أو التداخل من ظهر المركبة. وتجرى هذه المعايرة في المصنع بالدرجة الأولى لمحددات الاتجاه في مدى الترددات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF). ولهذا أهمية خاصة عندما يثبت الهوائي على ظهر مركبة. ومع ذلك، لا تحتاج هوائيات DF المصنوعة بدقة، والمركبة في قمة صارية دون طنين من الصارية في مدى تردد هوائي DF ودون وجود عقبات في جوار الهوائي، إلى أي معايرة، مما يخفض التكاليف ويزيد من المرونة (إذ لا حاجة مثلاً إلى معايرة قطع التبديل).
– معايرة دورية لتصحيح انسياق الزمن والحرارة في كل من قنوات استقبال DF ومعلمات الهوائيات. وتقوم هذه المعايرة عادة على حقن إشارات مذبذب محلي متسق الطور في جميع دخول بدالات الهوائي لمعادلة القنوات. ويمكن أيضاً استخدام طريقة المتوسط المضاعف للحصول على نفس تعديل الانسياق دون الحاجة إلى أي معايرة دورية.

وبعد تركيب محدد الاتجاه، هنالك اعتبارات أخطاء إضافية عدا مجالات التسامح في التجهيزات. وينبغي أن تؤخذ في الاعتبار أيضاً الأخطاء المتصلة بتحديد موقع DF (المسيرات المتعددة والتضاريس والأشياء القريبة، وغيرها)، وهي تختلف باختلاف الموقع. وينبغي تصحيح أخطاء الاتجاه الناتجة عن البيئة المحيطة بعد التركيب وذلك لتصحيح مصدريْ الخطأ كليهما باستخدام

مواقع مرسلات مرجعية معروفة في اتجاهات متعددة عبر مدى ترددات العملية. وبعد إجراء هذه التصحيحات يمكن رسم منحنى أو تخزين البيانات بما يظهر لكل نطاق تردد التصحيح الواجب إدخاله في قراءات محدد الاتجاه للحصول على الاتجاهات الزاوية الصحيحة.

2.1.2.7.4 الحساسية

الحساسية سمة هامة جداً من سمات محدد الاتجاه، ولا سيما المراقبة الراديوية. وبينما في حالة التحكم في حركة الطيران، مثلاً، ليس هنالك من اشتراط خاص بشأن الحد الأقصى من الحساسية وإنما بشأن هامش كاف من نسبة *S/N*، غالباً ما تواجه المراقبة الراديوية مشكلة تقييم إشارات تكاد لا تُكتشف.

والحساسية الجيدة هامة لسببين:

- لتوسيع مجال تغطية محددات الاتجاه في ظروف استقبال جيدة؛
- لتحديد اتجاه موثوق بما فيه الكفاية في ظروف غير مواتية جداً.

وبصفة عامة، ترتبط حساسية محدد الاتجاه ارتباطاً وثيقاً بفترة الرصد (الزمن لحساب متوسط عدة قياسات) وهي تعرّف عادة في حدود تراوح زاوي معين (بسبب الضوضاء).

ويتناسب تفاوت الحساسية عكساً مع نسبة D/λ (D - قطر هوائي DF، λ - طول موجة الإشارة المستقبلة) ونسبة S/N وزمن التكامل المتاح وعرض النطاق المختار.

ويتناول التقرير ITU-R SM.2125 مسألة الحساسية بمزيد من التفصيل ويوجز الإجراءات من أجل قياس الحساسية.

3.1.2.7.4 تأثير الانتشار في تعدد المسيرات وتعدد المصادر

الانتشار في تعدد المسيرات

يلاحظ، في بعض الظروف (مناطق حضرية أو مواقع جبلية)، وجود تأثيرات انتشار شديدة (آثار الحجب والسد والخبو المنبسط والانتقائي).

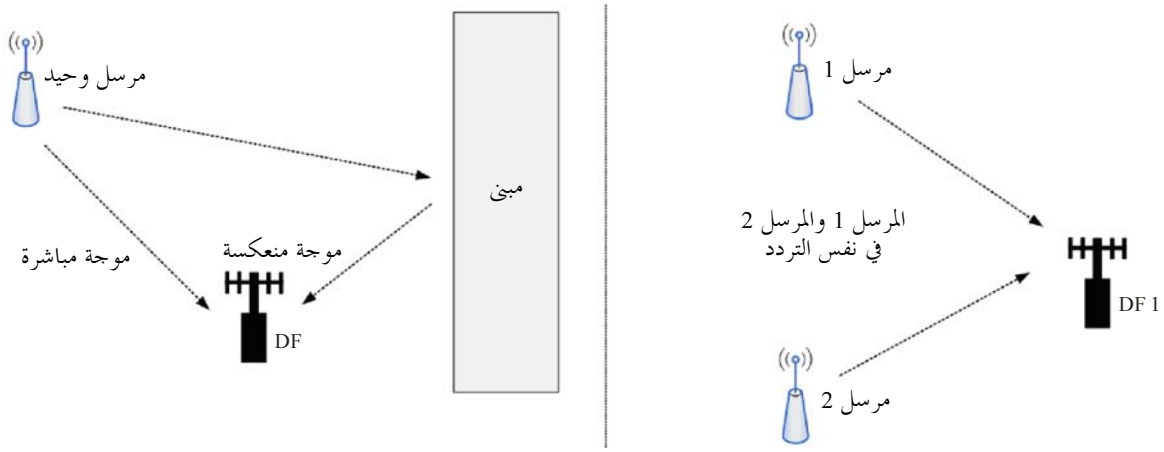
وتعزى ظواهر تعدد المسيرات إلى إشارات متعددة تأتي من نفس المصدر وتصل إلى مستقبل الهوائي بزوايا مختلفة وأوقات وصول مختلفة بسبب الانعكاس أو بسبب الانعراج أثناء الانتشار الراديوي، كما هو مبين في الشكل 7.4-2.

وتتفاوت آثار تعدد المسيرات من حيث تحديد زاوية الوصول (AOA):

- لا تولد المسيرات المتعددة طويلة المدى (أي المسيرات المتعددة الناجمة عن الانعكاسات) عادة سوى تحيزاً في تحديد AOA؛
- ويختلف الوضع نوعاً ما عندما تكون العاكسات قريبة من محدد الاتجاه. فإذا انعكست الإشارة متعددة المسيرات بحكم مبنى قريب أو مركبة قريبة وكانت أقوى من مسيرة مباشرة، فقد تكون نتيجة DF خاطئة. وإذا لم تكن الإشارة المنعكسة بحكم مبنى قريب أو مركبة قريبة بقوة الإشارة المباشرة، فقد تكون نتيجة DF متحيزة؛
- في الصورة اليمنى، تصل الإشارات في نفس التردد إلى محدد الاتجاه من جهات مختلفة محدثة أيضاً حالة تعدد مصادر.

الشكل 2-7.4

مثال لحالة تعدد مسيرات (الصورة اليسرى) وتعدد مصادر (الصورة اليمنى)



Spectrum-4.7-02

تعدد المصادر

تظهر حالة تعدد المصادر عندما يستخدم مرسلان من موقعين مختلفين نفس التردد. وفي هذه الأحوال، يجب تكييف زاوية الوصول (AOA) بالتوالف مع طرائق أخرى لكي توائم البيئة الراديوية الكهربائية المعقدة.

ويلاحظ في هذا الصدد أربع حالات رئيسية:

1 تداخل في ذات الشبكة: كلتا الإشارتين تأتيان من مرسلين مختلفين ينتميان إلى نفس الشبكة. وقد تؤدي خطط إعادة استخدام الترددات إلى تداخل من هذا النوع إذا كان الانتشار على امتداد مسيرة طويلة واحدة.

2 تداخل من خارج الشبكة: الإشارتان تأتيان من نظامي اتصالات مختلفين.

3 الإشارة موضع الاهتمام تتداخل مع إشارة من خارج الشبكة.

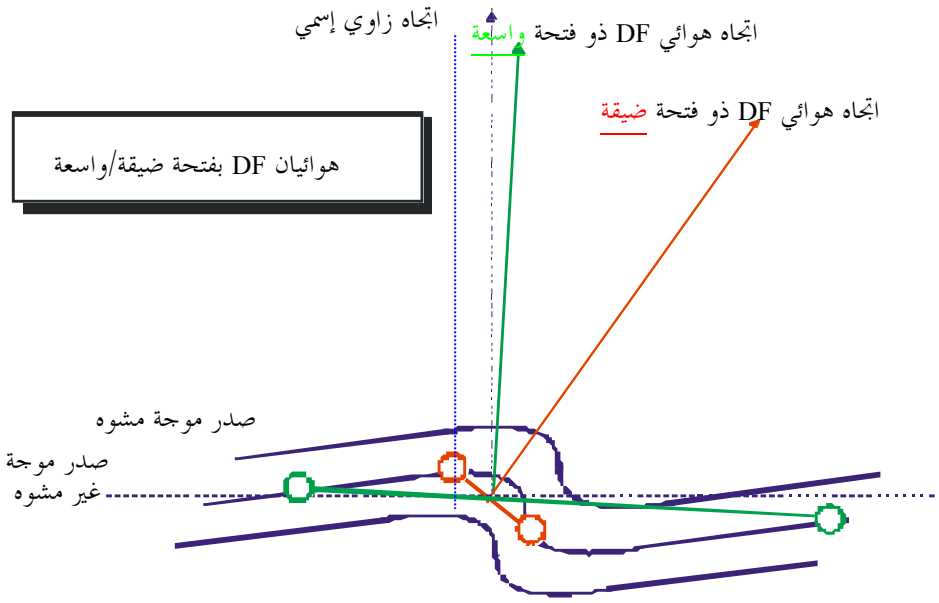
4 أثناء نشر شبكة رقمية عندما تعمل المرسلات التماثلية والرقمية في نفس الوقت.

عواقب تقنيات تحديد الاتجاه

بغض النظر عن تقنية DF، يستقي كل محدد اتجاه معلومات التوجيه الخاصة به من المجال الكهرمغنطيسي، الذي يفترض عموماً أن يكون متجانساً، في بيئة انتشار هادئة. وفي هذه الحالة المثالية، التي تكاد لا تحدث في الواقع، يكون صدر الموجة مستوياً، أي تكون الخطوط في طور متساو واتساع متساو خطوط مستقيمة متوازية (انظر الشكل 7.4-3).

الشكل 3-7.4

هوائي DF ذو فتحة ضيقة/واسعة



Spectrum-4.7-03

تنعكس الموجات الكهرمغنطيسية على امتداد مسيرة انتشارها بحكم العوائق وتنعرج بحكم الحواف. وهنالك أيضاً إمكانية استقبال متعدد المسيرات تعزى إلى ظروف انتشار خاصة، يتوقف معظمها على التردد. ونتيجة لذلك هنالك تداخل ومن ثم يتشوه صدر الموجة المستوي الأصلي. وتنجم تشوهات مختلفة عن العلاقات في اتساع وطور وعدد وزاوية تفاضل الموجات المتداخلة فيما بينها.

وتبعاً للقطر D، يكتشف هوائي DF مجرد جزء صغير من صدر الموجة. والاتجاه المحدد هو دوماً الخط المتعامد مع متوسط مقطع صدر الموجة. ويتوقع أن تكون النتائج مختلفة جداً في مجال مشوه، وذلك تبعاً لفتحة هوائي DF نسبة إلى الفترة الفضائية في تموج متساوي الطور في المجال المشوه. لذلك من المستصوب اختيار هوائي DF واسع الأبعاد نسبة إلى طول الموجة λ لتقليل الأخطاء الناجمة عن تشوهات المجال. وتشير نسبة $D/\lambda > 1$ إلى محدد اتجاه واسع الفتحة، بينما تنطبق نسبة D/λ أقل من 0,5 على هوائي محدد اتجاه ضيق الفتحة. وتنطبق النسبة ما بين القيمتين عموماً على محددات اتجاه متوسطة الفتحة.

وتتسم مقدرة التشغيل بفتحة واسعة بأهمية كبرى بغية الحد من أثر العوائق القريبة من هوائي DF، والتي تولد أكثر المسيرات المتعددة إزعاجاً إذ يمكن مباعدتها على نطاق واسع في السمت من المسيرة المباشرة والحصول في الوقت ذاته على اتساعات مماثلة.

4.1.2.7.4 تأثير إزالة الاستقطاب

إزالة الاستقطاب هي إزالة في مستوي الاستقطاب ما بين هوائي DF والموجة الواردة. وتتوقف استجابة الاستقطاب في محدد اتجاه إلى حد كبير على نظام الهوائي المستخدم وبالتالي على طريقة DF أيضاً.

وفي هذه الحالة، تكاد تكون كل المرسلات المحمولة على ظهر الأشخاص أو المركبات تستخدم الاستقطاب الرأسي، وذلك لأسباب عملية ولأغراض الانتشار على السواء، ومن ثم غالباً ما تتألف هوائيات DF في نطاقي الترددات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF) من أقطاب ثنائية رأسية. وطالما أن المكونة الأفقية في مجال المستقبل صغيرة، فإن الخطأ المستحث في تحديد الاتجاه مهمل. ويبرر التكييف مع الاستقطاب الأفقي في حالة مرسلات إذاعة FM أو تلفزيونية أو في حالة تحديد اتجاه طائرة أو هليكوبتر متحركة. وفي هذه الحالة، إما أن يعمل محدد الاتجاه في المكونة الرأسية في الموجة المرسلة، أو يمكن مطابقة هوائيات DF مع الاستقطاب الأفقي.

5.1.2.7.4 مدة الإشارة الدنيا

تبعاً لمبدأ تشغيل محدد الاتجاه، يجب أن تكون الإشارة متاحة لحد أدنى من الزمن لتمكين أخذ الاتجاهات الزاوية. ويمكن تحقيق مدة إشارة لأقل من 1 ميلليثانية باستعمال مستقبلات النطاق الضيق والعريض.

ويتوقف هذا الأداء بالدرجة الأولى على تقنيات DF وعلى مقدرات التجهيزات في معالجة الإشارة.

2.2.7.4 تقنيات DF مختلفة

تتمثل عملية اختيار نظام DF لتطبيق واحد معين عموماً في توليف عدد من المزايا في الهوائي والمستقبل وتصميم المعالج في ترتيب مثالي ما. وتنقسم تقنيات تحديد الاتجاه الراديوي تقليدياً إلى ثلاثة نُهُج أساسية: أنظمة تحسس الاتساع، وأنظمة تحسس الطور، وأنظمة تتحسس الاتساع والطور معاً. وكثير من محددات الاتجاه الحديثة تستخدم توليفات من تقنيات تحسس الطور والاتساع. وتقارن هذه الفقرة عينة من تقنيات DF في استعراض مبسط وتوضح الفروق في أكثر الطرائق شيوعاً. ولا مجال في هذا الكتيب لمناقشة مستفيضة لنظرية تشغيل كل من هذه التقنيات. يرجى من القارئ الذي يرغب الاطلاع على المزيد من التوضيح التقني الرجوع إلى النصوص التي تتناول تقنيات DF.

وتقنيات DF الحديثة هي:

- الهوائي الدوار؛
- دوبلر وشبه دوبلر؛
- adcock/Watson-Watt؛
- مقياس تداخل الطور؛
- مقياس التداخل الترابطي؛
- الاستبانة المعززة.

وينظر في كل تقنية من حيث عوامل الأداء وتُبرز من حيث السمات التي تنفرد بها.

1.2.2.7.4 الهوائي الدوار

ثمة أسلوب بسيط جداً لكشف زاوية وصول إشارة ما (AOA) وهو استخدام هوائي دوار أو أكثر. ويمكن تدوير هوائي عروة يدوياً لتوجيه نقطة الصفر في اتجاه الوصول. ويمكن استخدام هوائي ومستقبل محكومين عن بعد لبيان سوية دخل المستقبل كدالّة زاوية. كما يمكن استخدام هوائي اتجاهي مستقطب رأسياً أو أفقياً. ولتحسين نتيجة الاتجاه الزاوي يمكن استخدام زوج من هوائيين متماثلين يوفران حاصل أو تفاضل سويتي الدخل في الهوائيين. ويفضي التفاضل إلى قدر أدنى حاد جداً عندما يوجه الهوائيان في اتجاه المرسل. وتتسم إشارة الحاصل بقدر أكبر من الحساسية ولكن قابلية التوجيه أخفض بكثير. انظر الشكل 7.4-4.

ويمكن استخدام طريقة تحديد الاتجاه هذه بالنسبة لجميع الإرسالات التي تبقى على الأثير لمدة أطول مما تحتاجه التجهيزات من أجل مدارين في نظام الهوائي. وقد أثبتت هذه الطريقة جدواها أيضاً في الأنظمة الراديوية التي تستخدم أكثر من مرسل على نفس التردد، مثل DVB-T وTETRA وGSM وغيرها.

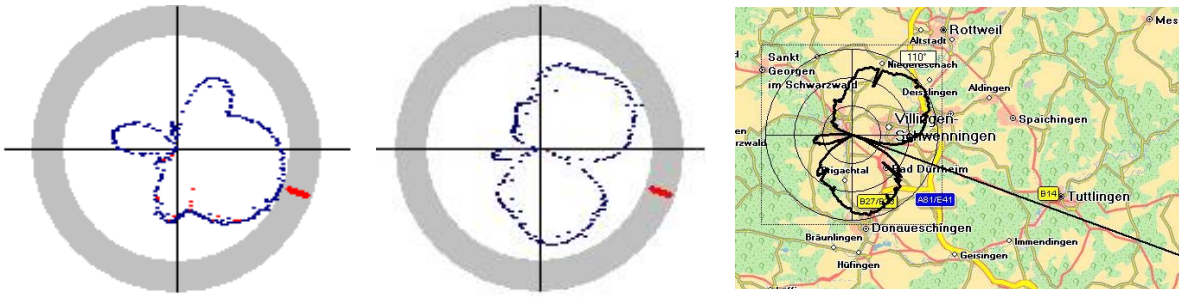
وقد يكون لأنظمة الهوائيات الدوارة السريعة سرعة دوران تصل حتى 200 دورة في الدقيقة بينما تحتاج الأنظمة البطيئة إلى أكثر من دقيقة واحدة لإتمام دورة كاملة. ويتوقف الاستقطاب المستقبَل فقط على محمل الهوائي.

وثمة ميزة أخرى لهذه الطريقة مقارنة بغيرها وهي أنها تستطيع أن تستخدم إشارات مستقطبة رأسياً وأفقياً.

ويتقرر حد التردد الأدنى بالأبعاد الميكانيكية للهوائي ولا تكون عادة أقل من 80 MHz. ويتحدد التردد الأعلى أساساً بمواصفة مُقرن التوجيه بين الصارية والهوائي. وثمة ما يسمى هوائيات الدوَمان متاحة من أجل ترددات تصل حتى 40 GHz.

الشكل 4.7.4-4

مخطط الهوائي أ) حاصل وب) تفاضل وج) تفاضل معروض في خارطة



أ) ب) ج)

Spectrum-4.7-04

الجدول 4.7.4-1

أمثلة لتركيبات

مدى التردد	الاستقطاب	إقران الهوائي	سرعة الدوران
MHz 1 000-80	رأسي، أفقي	حاصل، تفاضل	r.p.m 60
MHz 1 300-80	رأسي	حاصل، تفاضل	r.p.m 1
GHz 40-MHz 500	°45	حاصل، تفاضل	r.p.m 200 ≤

2.2.2.7.4 دوبلر وشبه دوبلر

تطورت طريقة دوبلر وشبه دوبلر في الخمسينيات وذلك بدراسة زحزحة دوبلر التي يسببها هوائي متحرك في إشارة مستقبلة. ومعدل الدوران الميكانيكي لمبدأ دوبلر المباشر غير عملي عموماً عند ترددات دون نطاق الترددات الديسيمترية (UHF)، ولذا تم تطوير طريقة تبديل إلكترونية لتحفيز مخطط دوران الهوائي بواسطة صفيف دائري ثابت. وتعرف هذه التقنية باسم طريقة دوبلر وشبه دوبلر.

وللحصول على نتائج DF دون لبس، يجب أن تكون المباعدة ما بين فرادى عناصر الهوائي أقل من نصف طول الموجة العاملة، وفي التركيبات العملية يتم اختيار ثلث طول الموجة.

وتتمتع أنظمة DF التي تستخدم تكنولوجيا (شبه) دوبلر بحساسية جيدة مشفوعة بمناعة جيدة إزاء الانتشار المتعدد المسيرات مقارنة بطريقة Adcock أو Watson-Watt.

Adcock/Watson Watt 3.2.2.7.4

تستغل أنظمة Adcock/Watson-Watt (انظر الجدول 7.4-2) التحسينات المحققة في معالجة الهوائي والإشارة لتوفير نظام يتسم بقراءة شبه فورية.

ويتألف صفيف هوائيات Adcock المستخدم في هذه الأنظمة (المطورة في عام 1918) من أزواج هوائيات ثنائية أو أحادية الأقطاب متوالفة من خلال دارة هجينة بمقدار 180° لتقديم نمط الاستقبال المعهود في شكل "8" المرئي في هوائي عروة.

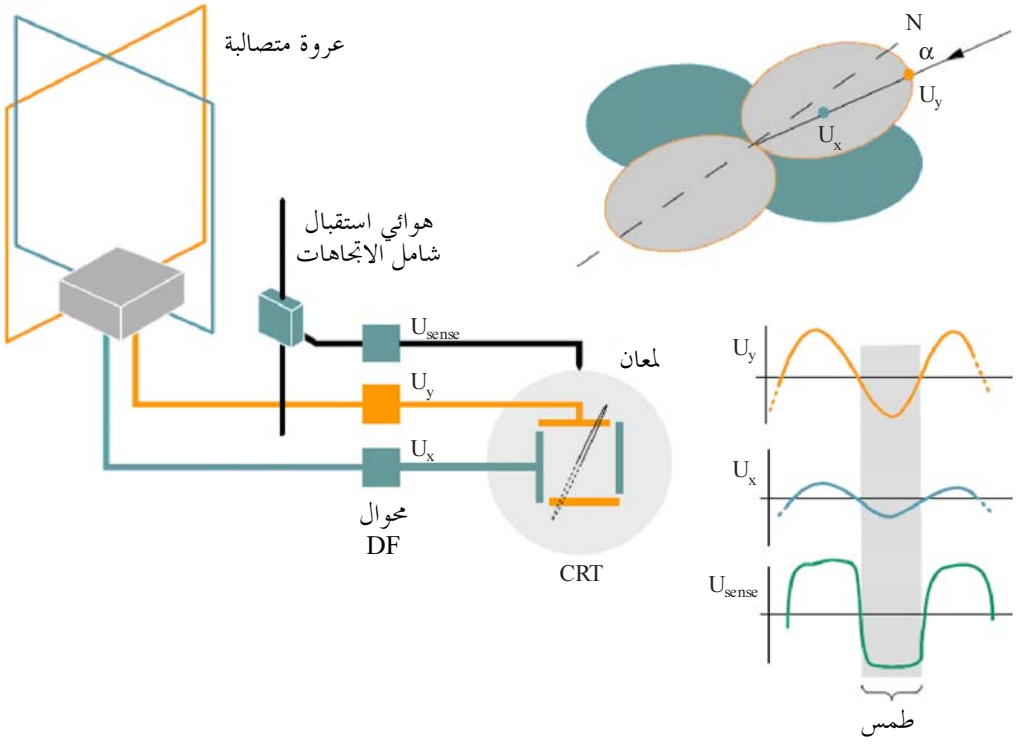
ويبدي زوجان من هوائيات Adcock، مرتبان على خطوط أساس متعامدة، استجابة لاتجاه وصول الإشارة، والتي تتفاوت تبعاً لجيب اتجاه الوصول عند واحد من الهوائيين، وتتفاوت تبعاً لجيب تمام اتجاه الوصول عند الهوائي الثاني.

وتستخدم تقنية تحديد الاتجاه Watson-Watt ثلاثة مستقبلات متطابقة الطور ويعرض زاوية الوصول، من حيث دالّتي الجيب وجيب التمام وقناة ثالثة متعددة الاتجاهات لحل مشكلة اللبس.

وتستخدم محددات الاتجاه Watson-Watt الحديثة تقنيات معالجة الإشارة الرقمية (DSP) من أجل حساب الاتجاه الزاوي.

الشكل 7.4-5

مبدأ نظام تحديد الاتجاه Watson-Watt



الجدول 4.7.2-

أنظمة تحديد الاتجاه Adcock/Watson-Watt

قياسات صفيف الهوائيات DF	تجرى قياسات الاتساع عند الخرج من ثلاثة هوائيات. الهوائيات مشكلة لكي تستجيب مع إشارة زاوية الوصول في أنماط جيبية وجيبية التمام وشاملة الاتجاهات. تجرى قياسات اتساع متزامنة، عادة باستخدام ثلاث قنوات مستقبل متماسكة.
تحويل القياس إلى اتجاه زاوي DF	الاتجاه الزاوي = arctan (sin θ/cos θ)؛ ينقح هذا الحساب أحياناً بواسطة معاملات من جدول معايرة. تحل مشكلة اللبس بواسطة قناة حسية (شاملة الاتجاهات).
الدقة (دون تأثير الموقع)	1° إلى 2° جذر متوسط التربيع
الحساسية	متوسطة إلى عالية. الأداء على أساس انتقاء الهوائي.
مدة الإشارة الدنيا	1 ميلليثانية، الاتجاه الزاوي يظهر دون إبطاء.
الحصانة إزاء إزالة الاستقطاب	عند استعمال هوائيات على درجة عالية من التوازن، تكون أخطاء الاتجاه الزاوي منخفضة من أجل إزالة الاستقطاب < 45°؛ لا يمكن استخدام خوارزميات تعويض إزالة الاستقطاب.
الحصانة إزاء صدور الموجات المشوهة (تداخل متماسك)	محدودة، إذ لا يمكن استخدام صفيفات هوائيات بفتحة واسعة.
الحصانة إزاء التداخل في نفس القناة (تداخل غير متماسك)	الفصل ممكن باستخدام تقنيات عرض أنبوب الشعاع الكاثودي (CRT) تماثلية. يستخدم تفسير المشغل للأنبوب CRT في حل مخطط التداخل. لا يمكن لمعالجة الإشارة الرقمية أن تفصل خوارزمياً الإشارات المتصادفة زمنياً في نفس القناة. يمكن استخدام تقنيات الرسم البياني القضباني للإشارات غير المتصادفة زمنياً.
مقدرة موجة سماوية HF	لا يمكنها تحديد زاوية الارتفاع لإشارات الموجة السماوية؛ يمكنها الحفاظ على حساسية جيدة لإشارات الزوايا العالية. يمكن استخدام هوائي متصالب العروة في التطبيقات التي تكون فيها زوايا الوصول العالية جداً موضع اهتمام.
ملاحظات	تتمتع هذه الأنظمة بمزايا أكثر من 50 سنة من التطور وهي تمثل أنجح تقنيات DF الباكرة؛ وهي ما زالت مجدية ومرد ذلك جزئياً زمن بقاء الإشارة الأدنى القصير جداً وقدرتها على قياس الاتجاه الزاوي لمصدر الإشارات العابرة (بما في ذلك الصواعق التي طورت أصلاً من أجلها).

4.2.2.7.4 مقياس التداخل في الطور

طُورت طرائق مقياس التداخل (انظر الجدول 4.7.2-3) في الخمسينيات والستينيات كوسيلة لقياس دقيق جداً وفوري لخط الاتجاه الزاوي (LoB). ويستخدم هذا النظام قياس طور تفاضلي بين ما لا يقل عن هوائيين مستقلين. والعنصر الحرج في هذا النمط من الأنظمة هو كاشف الطور، الذي يعطي تقديراً لتأخر الطور بين الإشارتين المستقبلتين.

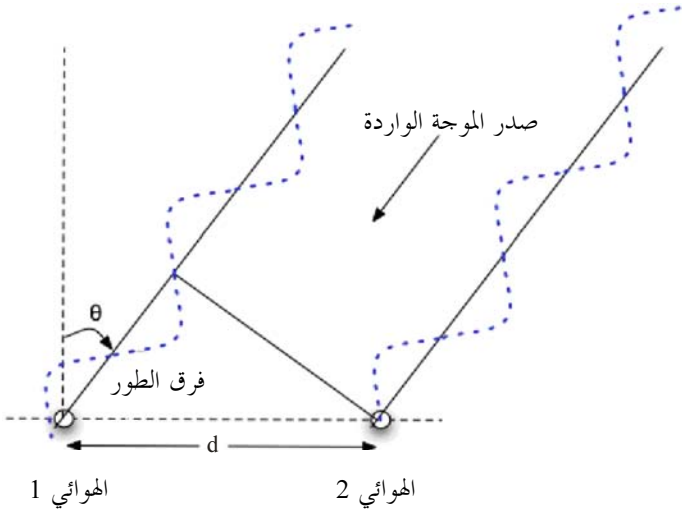
ويمكن، باستخدام هذا التأخر، تقدير زاوية الوصول. ويمكن استخدام توليفات من 3 أو 4 أو 5 هوائيات أو أكثر لتغطية مجال رؤية بمقدار 360°، دون تدوير الهوائي. والتركيبات المثلثية مفيدة تحت 30 MHz، بينما تفضل الصفيفات الدائرية في نطاقات فوق هذا التردد.

وقد أحرز نجاح في استخدام أنظمة الاستقبال متعددة القنوات وتبديل الهوائيات وذلك كوسيلة لقياس الدخول من هوائيات متعددة.

ويبين الشكل 4.7.2-6 فرق الطور عندما يصل صدر موجة واردة بزاوية θ إلى هوائيين تفصلهما مسافة "d".

الشكل 6-7.4

مقياس تداخل الطور: مبدأ فرق الطور



Spectrum-4.7-06

الجدول 3-7.4

مقياس تداخل الطور

قياسات صفيف هوائيات DF	قياسات الطور التفاضلي بين مجموعة فرعية من أزواج الهوائيات الممكنة ضمن صفيف الهوائيات. لمزيد من التفاصيل، راجع الفقرة 4.4.3 - عدد المستقبلات.
تحويل القياس إلى اتجاه زاوي DF	يحسب الاتجاه الزاوي بتوليف المعلومات عن صفيف الهوائيات مع قياسات الطور التفاضلي المستقاة من أزواج الهوائيات في الصفيف. ويمكن استخدام قياسات طور لزوج معين لحساب زاوية وصول، بناء على معرفة المباعدة بين الهوائيات. وبناء على معرفة هندسة الصفيف، يمكن توليف قياسات من عدة أزواج لحل أحوال اللبس في السمت، ولحساب زاوية ارتفاع الوصول.
الدقة (دون تأثير الموقع)	≥1° جذر متوسط التربيع
الحساسية	عالية
مدة الإشارة الدنيا	10 ميلليثانية 1 ميلليثانية* * الأنظمة التي تستخدم تبديل الهوائيات لزوج من قنوات القياس المتماسكة شائعة. ويمكن أن تكون مدة الإشارة الدنيا أقصر إذا استخدم مستقبل واحد لكل عنصر هوائي وأجريت كل القياسات بالتوازي.
الحصانة إزاء إزالة الاستقطاب	دالة خطية استقطاب عنصر الهوائي فقط إذ لا يمكن استخدام خوارزميات تعويض الاستقطاب؛ وأخطاء إزالة الاستقطاب النموذجية منخفضة لميل استقطاب حتى 60° وتصبح كبيرة لميل استقطاب أكبر.
الحصانة إزاء صدور الموجات المشوهة (تداخل متماسك)	عالية عند استخدام صفيفات هوائيات واسعة الفتحة.
الحصانة إزاء التداخل في نفس القناة (تداخل غير متماسك)	الفصل ممكن باستخدام تقنيات الرسم البياني القضباني للإشارات غير المتصادفة من حيث الزمن؛ أما بالنسبة للإشارات المتصادفة من حيث الزمن فلا يمكن سوى تقييم الإشارة الأقوى بمقدار 3 dB إلى 5 dB.
مقدرة موجة سماوية HF	القدرة أيضاً على تحديد زاوية الارتفاع لإشارات الموجة السماوية؛ القدرة على الحفاظ على حساسية جيدة لإشارات زاوية عالية عندما يتألف صفيف الهوائي من هوائيات متصالبة العروة.
ملاحظات	مقاييس تداخل الطور متوافقة مع تقنيات معالجة الإشارة الرقمية الحديثة؛ هنالك عدد من الأنظمة الآن في السوق تستخدم الحواسيب الشخصية لأداء معالجة DF؛ وهي لا تقتصر على استخدام أنظمة صفيفات هوائيات موزعة دائرياً.

5.2.2.7.4 مقياس التداخل الترابطي

يستخدم مقياس التداخل الترابطي معلومات الإشارة من حيث الطور والاتساع.

وتقوم هذه الأنظمة عموماً بتقدير خط الاتجاه الزاوي للإشارات المحلولة وذلك بربط بيانات الاتساع والطور المستقاة بقاعدة بيانات معايرة الاتساع والطور من أجل صفيف الهوائيات.

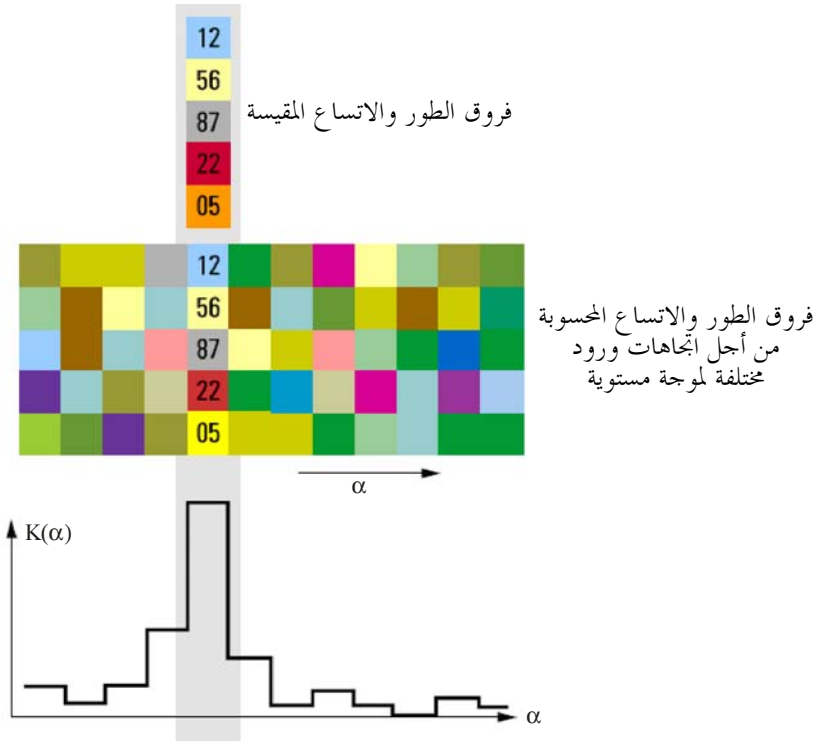
وتجري المقارنة بحساب الخطأ التربيعي لمعامل الارتباط.

فإذا تم الارتباط لمختلف قيم السمت لمجموعة البيانات المرجعية، يتم الحصول على الاتجاه الزاوي من البيانات التي تكون قيمة معامل الارتباط لها أعظمية.

وهذا يبدو في الشكل 7.4-7. وهذه الطريقة قادرة على إزالة الأخطاء المتصلة بالجهاز وبالموقع ويمكن تكييفها لاستعمالها بطائفة واسعة شتى من صفيفات الهوائيات.

الشكل 7.4-7

مبدأ مقياس التداخل الترابطي



Spectrum-4.7-07

الجدول 4.7.4-4

مقياس التداخل الترابطي

قياسات صفيف هوائيات DF	تقاس فلطية الإشارة المعقدة (الاتساع والطور) لكل هوائي، على أن تتم القياسات في هوائيين في كل مرة على الأقل. لمزيد من التفاصيل، انظر الفقرة 4.4.3 – عدد المستقبلات.
تحويل القياسات إلى اتجاه زاوي DF	يستخدم مقياس التداخل الترابطي متجهات المعايرة المولدة أثناء معايرة النظام في المعمل. والاتجاه الزاوي هو قيمة السمت المحسوبة بالاستكمال الداخلي التي تقابل متجه معايرة السمت الذي يطابق على أفضل نحو متجه القياس.
الدقة (دون تأثير الموقع)	≤1° جذر متوسط التربيع
الحساسية	عالية
مدة الإشارة الدنيا	10 ميلليثانية للترددات الديكامترية (HF) 1 ميلليثانية للترددات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF) سوف تمتد أزمنة معالجة الأنظمة إذا استخدم عدد من قنوات المستقبلات المتوازية أقل من عدد عناصر الهوائي.
الحصانة إزاء إزالة الاستقطاب	تكون دالة خصائص استقطاب صفيف الهوائيات ما لم يستخدم التعويض الخوارزمي مزدوج الاستقطاب مناسبة في أنظمة معالجة المتجهات هذه.
الحصانة إزاء صدور الموجات المشوهة (تداخل متماسك)	عالية لدى استخدام صفيفات هوائيات ذات فتحة واسعة.
الحصانة إزاء التداخل في نفس القناة (تداخل غير متماسك)	الفصل ممكن باستخدام تقنيات الرسم البياني القضباني للإشارات غير المتصادفة من حيث الزمن؛ أما بالنسبة للإشارات المتصادفة من حيث الزمن في نظام ترابط المتجهات فلا يمكن سوى تقييم الإشارة الأقوى بمقدار 3 إلى 5 dB.
مقدرة موجة سماوية HF	القدرة أيضاً على تحديد زاوية الارتفاع لإشارات الموجة السماوية؛ القدرة على الحفاظ على حساسية جيدة لإشارات زاوية عالية عندما يتألف صفيف الهوائي من هوائيات متصالبة العروة.
ملاحظات	تقنيات DF هذه متوافقة مع معالجة الجيل الجديد من الإشارات الرقمية؛ وتتمتع المعالجات المشتركة العاملة في الجيل الجديد من الحواسيب الشخصية بقدرة معالجة كافية لأداء هذه الحسابات بسرعة.

6.2.2.7.4 تقنيات الاستبانة المعززة

كثيراً ما يشار إلى تقنيات الاستبانة المعززة بوصفها استبانة متفوقة وعالية. وتستخدم هذه التقنيات للتمييز ما بين الإشارات (إما متعددة المسيرات أو متعددة المصادر) المنبثقة عن عدة مرسلات في نفس التردد.

وتتناول هذه الفقرة بالبحث تقنيتين:

- مرشاح تشكيل الحزم متوافق الفضاء (مثل خوارزمية CAPON): حزم صفيف هوائي موجهة في جميع الاتجاهات والخوارزمية تبحث عن ذرى في قدرة الدخل. ويستند حساب تشكيل الحزم وخوارزمية المرشاح المتوافق الفضاء إلى تعبير عن متجه التوجيه بينما تحاول تقليل القدرة التي تسهم بها إشارات الضوضاء والتداخل؛
- تقنيات دون الفضاء (مثل خوارزمية MUSIC): وهي تستند إلى إلغاء الضوضاء وإشارات التداخل وتعدد المسيرات. ويستند حساب خوارزمية التقنيات دون الفضاء إلى تحليل مكونة رئيسية (أو قيمة eigen) لعينات البيانات لجميع المحاسيس. وتحسب زوايا موجة الورود بتغيير متجه التوجيه والبحث عن الزوايا حيث يكون متجه التوجيه متعامداً مع متجهات eigen المقابلة لقيم eigen للضوضاء.

الجدول 7.4-5

الاستبانة المعززة

قياسات صفيف هوائيات DF	تقاس فلطية الإشارة المعقدة (الاتساع والطور) لكل هوائي، وتجرى القياسات في هوائيين في آن واحد على الأقل. وفي الممارسة العملية يستدعي الأمر ما لا يقل عن قناتي مستقبل متماسكتين. وبالنسبة لتقنية دون الفضاء، تستخدم أزواج الفلطية لجميع مزاوجات الهوائيات الممكنة في صفيف الهوائيات، وذلك لتوليد ما يعرف رياضياً باسم "مصفوفة التغاير المصاحب" للقياس. وتقيّم المصفوفة لحل المحتوى في نفس القناة في الإشارة الواردة.
تحويل القياسات إلى اتجاه زاوي DF	تحسب الاتجاهات الزاوية المتعددة باستخدام قيم السمت المستكملة. وبما أن صفيف الهوائيات ثابت، فإن كل قيمة من هذه القيم تقابل توقيعاً فضائياً معياراً. ويوفر التوقيع الفضائي المعاير الذي يوافق على أفضل نحو تواقيع المصادر تقدير السموت لهذه المصادر.
الدقة (دون تأثير الموقع)	≤1° جذر متوسط التربيع
الحساسية	عالية تتوقف الحساسية على الطريقة المختارة. ويكون أداء استخدام تقنية ما دون الفضاء أفضل في الإشارات منخفضة نسبة الإشارة إلى الضوضاء مقارنة بتقنية تكوين الحزم.
مدة الإشارة الدنيا	100 ميلليثانية للترددات الديكامترية (HF) 10 ميلليثانية للترددات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF) سوف تمتد أزمنة معالجة الأنظمة إلى حد كبير إذا استخدم عدد من قنوات المستقبلات المتوازية أقل من عدد عناصر الهوائي. ويتعين أن تكون الإشارة مستقرة طوال فترة القياس، وهو أمر صعب عندما يكون عدد المستقبلات أقل من عدد عناصر الهوائي، لا سيما في الترددات الديكامترية (HF).
الحصانة إزاء إزالة الاستقطاب	تكون دالة خصائص استقطاب صفيف الهوائيات ما لم يستخدم التعويض الخوارزمي مزدوج الاستقطاب مناسبة في أنظمة معالجة المتجهات هذه.
الحصانة إزاء صدور الموجات المشوهة (تداخل متماسك)	تستطيع تقنيات تكوين الحزم أن تفصل المتداخلات المتعددة غير المترابطة وليس المتداخلات المتماسكة. تستطيع تقنيات ما دون الفضاء أن تفصل المتداخلات المتعددة غير المترابطة وجزئياً المتداخلات المتماسكة. حسّنت كلتا التقنيتين الأداء عند استخدام صفيفات هوائيات واسعة الفتحة.
الحصانة إزاء التداخل في نفس القناة (تداخل غير متماسك)	تستطيع كلتا التقنيتين فصل المتداخلات غير المتماسكة.
مقدرة موجة سماوية HF	القدرة أيضاً على تحديد زاوية الارتفاع لإشارات الموجة السماوية؛ القدرة على الحفاظ على حساسية جيدة لإشارات زاوية عالية عندما يتألف صفيف الهوائي من هوائيات متصالبة العروة.
ملاحظات	تقنيات DF هذه متوافقة مع معالجة أحدث جيل من الإشارات الرقمية؛ وتتمتع المعالجات المشتركة العاملة في الجيل الجديد من الحواسيب الشخصية بقدرة معالجة كافية لأداء هذه الحسابات بسرعة (ولكن ربما ليس في الوقت الفعلي)؛ وهذه الأنظمة لا يشترط فيها أن تتطلب صفيفات هوائيات موزعة دائريا.

7.2.2.7.4 مقارنة تقنيات زاوية الوصول (AOA)

تتناول هذه الفقرة مقارنة مختلف الطرائق وتحدد أكثر الطرائق فعالية في التعامل مع أوضاع تعدد المسيرات وتعدد المصادر.

ويتضمن الجدول 7.4-6 خوارزميات تقدير زاوية الوصول الرئيسية. وهو يلخص الأداء والاستخدام الرئيسيين لهذه الطرائق.

الجدول 6-7.4

مقارنة موجزة لتقنيات تحديد الاتجاه (DF)

الدقة/فصل الزوايا	الحساسية	الحصانة إزاء تعدد المسيرات	مدة الإشارة الدنيا	ملاحظات
هوائي دوار				
2° إلى 5° جذر متوسط التربيع تبعاً لنظام الهوائى المستخدم	عالية	جيدة	تبعاً لسرعة الدوران، حتى دقيقة واحدة	تنفيذ بسيط طريقة الوقت الفعلي فصل جيد للإشارات المتعددة المصادر
طرائق Adcock/WW				
1° إلى 2° جذر متوسط التربيع لا فصل بين الزوايا	متوسطة إلى عالية	محدودة	1 ميلليثانية	تنفيذ بسيط طريقة الوقت الفعلي طريقة تشغيلية تنفذ على نطاق واسع
مقياس تداخل الطور				
دقة اعتيادية 1° جذر متوسط التربيع لمصدر واحد يكون فصل الزوايا جيداً في حال ارتفاع استبانة الزمن والتردد	عالية	متوسطة إلى جيدة لمصدر واحد، تبعاً لفتحة الهوائي	10 ميلليثانية 1 ميلليثانية (ملاحظة 1)	تنفيذ بسيط طريقة الوقت الفعلي طريقة تشغيلية تنفذ على نطاق واسع
مقياس التداخل الترابطي				
دقة اعتيادية 1° جذر متوسط التربيع لمصدر واحد يكون فصل الزوايا جيداً في حال ارتفاع استبانة الزمن والتردد	عالية	متوسطة إلى جيدة لمصدر واحد، تبعاً لفتحة الهوائي	HF: 10 ميلليثانية VHF/UHF: 1 ميلليثانية تتوقف على عدد عناصر الهوائى والمستقبلات وكذلك سرعة المعالجة	تنفيذ معتدل التعقيد طريقة تشغيلية تنفذ على نطاق واسع
مرشاح متوافق الفضاء – (CAPON)				
دقة جيدة لمصادر غير مترابطة. دقة اعتيادية تبلغ 2° تعالج عادة 2 إلى 3 مصادر غير مترابطة مفصولة زاوياً	عالية	تعالج بيئات راديوية متماسكة جزئياً مصادر متينة إلى متعددة غير مترابطة. لا يمكنه معالجة إشارات متعددة المسيرات مترابطة	HF: 100 ميلليثانية VHF/UHF: 10 ميلليثانية تتوقف على عدد عناصر الهوائى والمستقبلات وكذلك سرعة المعالجة	تنفيذ معتدل التعقيد إذا كان التحليل خارج الخط. تنفيذ معقد يتطلب المزيد من موارد الحوسبة إذا كان في الوقت الفعلي. يتطلب زمن تكامل طويل لتحقيق النتائج، وفي أثناء ذلك ينبغى أن تكون بيئة الإشارة مستقرة نسبياً.

الجدول 7.4-6 *(تتمة)*

طريقة ما دون الفضاء (MUSIC)				
دقة أداء عالية < 1° تعالج عادة 2 إلى 3 مصادر مترابطة جزئياً. محدودة فقط بحكم أخطاء المعايرة ومدة التكامل.	عالية	تعالج عادة 2 إلى 3 مصادر مترابطة جزئياً. مصادر متينة إلى متعددة متماسكة جزئياً أو مسيرات متعددة وإلى ضوضاء (تعالج على نحو فعال نسب $S/N > 0$). لا تستطيع أن تعالج إشارات متعددة المسيرات مترابطة.	HF: 100 ميلليثانية VHF/UHF: 10 ميلليثانية	تنفيذ معتدل التعقيد إذا كان التحليل خارج الخط. تنفيذ معقد يتطلب الكثير جداً من موارد الحوسبة إذا كان في الوقت الفعلي. قابل للتشغيل في بيئات راديوية معاكسة (حضرية، جبلية). يتطلب زمن تكامل طويل لتحقيق النتائج، وفي أثناء ذلك ينبغي أن تكون بيئة الإشارة مستقرة نسبياً.

الملاحظة 1 – الأنظمة الناجحة، التي تستخدم تبديل الهوائيات إلى زوج من قنوات القياس المتماسكة، شائعة. وتكون مدة الإشارة الدنيا عندما يستخدم مستقبل واحد لكل هوائي ولجميع القياسات.

8.2.2.7.4 تقنيات تحديد الاتجاه المتوالفة

قد تكون طرائق وتقنيات مرشاح توافق الفضاء وما دون الفضاء لتحديد الاتجاه مفيدة في البيئات الراديوية القاسية. وقد يكون من المستصوب العمل على تحقيق تنفيذ في الوقت الفعلي لطرائق DF هذه ولكن هذا قد يفضي إلى أنظمة معقدة تنطوي على نظام من N قناة له مستقبل واحد وقناة معالجة وتسجيل لكل عنصر هوائي.

ولحل هذه المسألة يمكن الجمع ما بين تجهيزات متعددة القنوات تنفذ معالجة في الوقت الفعلي بناء على خوارزمية بسيطة وبين نظام تسجيل رقمي متعدد القنوات للتغلب على البيئات الراديوية الأصعب في أسلوب 'الدفعة' (بضع عشرات الثواني).

وعندئذ سيكون بمقدور النظام أن يتكيف مع البيئة بتطبيق بضع طرائق من زوايا الوصول متزايدة التعقيد:

1 من شأن مقياس تداخل ترابطي أو ترابط متجهي أن يمكن من عملية مسح سريع في الوقت الفعلي للبيئة الراديوية لبيان موقع أول للمرسلات أو المصادر المهيمنة، إلى جانب بيان أول عن وجود مصادر التداخل.

2 طريقة استبانة معززة توفر القدر الكافي من التمييز/الموقع للبيئات المتوسطة التعقيد و/أو الاحتياجات لدرجة محدودة من الدقة.

وثمة تقنيات أخرى، باستخدام تحليل تحويل فوريه السريع (FFT)، يمكن أن تعمل أيضاً في بيئات إشارات معقدة.

3.2.7.4 أثر البيئة

1.3.2.7.4 دقة الاتجاهات الزاوية لمحدد اتجاهات يعمل دون 30 MHz

تصنف التوصية ITU-R SM.854 الاتجاهات الزاوية في أربعة أصناف بناء على الدقة وخصائص الرصد:

الصنف A – الاحتمال أقل من 5% بأن يتجاوز الخطأ 2°.

الصنف B – الاحتمال أقل من 5% بأن يتجاوز الخطأ 5°.

الصنف C – الاحتمال أقل من 5% بأن يتجاوز الخطأ 10°.

الصنف D – اتجاه زاوي بخطأ أكبر مما هو في الصنف C.

وتوصي التوصية ITU-R SM.854 أيضاً بأن توفر الإدارات البيانات الإحصائية لدعم تخصيص قيم المتوسطات العددية إلى الخصائص الرصدية، من قبيل الانحراف المعياري وعدد العينات والخطأ الفعلي والمعالجة الإحصائية للعينة.

1.1.3.2.7.4 الأخطاء الناجمة عن الأيونوسفير

تتعرض محددات الاتجاه التي تعمل دون 30 MHz إلى الأخطاء الناجمة عن انعكاسات الإرسالات من طبقة الأيونوسفير. وهنالك أنظمة متخصصة تعمل في هذه الظروف، إذا دعت الحاجة. وترتبط هذا الأنظمة عموماً بعمليات تحديد موقع الإشارة الطويلة المدى عبر الأفق. ولا ضرورة لأن تتمتع بهذه المقدرة كل محطة في نظام مراقبة الطيف.

وجدير بالذكر أن الأيونوسفير عبارة عن وسط غير متجانس، وهو يخضع لتغيرات مستمرة.

وعلى صعيد الواقع، قد ينطوي الانتشار بين المرسل والمستقبل على أساليب مختلفة، بما فيها موجة أرضية وانعكاس وحيد أو انعكاسات متعددة على الطبقتين E وF.

وقد يتعرض المجال الكهرمغنطيسي الذي يعترضه صفيف هوائيات محدد الاتجاه لقدر كبير من التشوه بفعل التداخل الناجم عن أشعة المسيرات المتعددة، مما يتسبب في الانتشار والأخطاء في الاتجاهات الزاوية المقيسة. ومن شأن استخدام ما هو ملائم من التنوع الاستقطابي والخوارزميات أن يخفف من هذه الآثار.

ومن ثم فإن استقبال الإرسالات مشفوعة بانعكاس واحد أو متعدد في الأيونوسفير أن يؤدي إلى عواقب مختلفة:

- تنضيد أفقي؛
- كثافة أيونية؛
- هيكلية (تتألف من تموجات مختلفة الأحجام يصل عمقها إلى 2 كيلومتر وطولها بضع مئات الكيلومترات)؛
- هيكلية دقيقة (تؤدي إلى آثار انتصار في الانعكاس)؛
- إزالة استقطاب (إشارات متعاكسة الاستقطاب دائرية أو إهليلجية نتيجة الانعكاس).

في حالات انعكاس وحيد واحد، ينضم تفاوت بطيء نسبياً في الاتجاه الزاوي إلى مجالات التراوح التي يسببها الانتشار من "الهيكلية الدقيقة" في الأيونوسفير. وتتوقف دقة الاتجاه الزاوي أيضاً على زاوية الميل نسبة إلى السطح العاكس. ولهذا السبب، تزداد أخطاء الاتجاه الزاوي بازدياد الارتفاع وعدد الانعكاسات كما تزداد بتناقص مسافة المرسل.

في حالات انعكاسات متعددة، يصعب الرصد بحكم حدوث الانتشار في نقطة أو أكثر على الأرض حيث تنعكس الموجة. وبسبب الانتشار الناجم عن الهيكلية الدقيقة للأيونوسفير، فإن زاوية استقبال الموجة ليست ثابتة وإنما محصورة ضمن مخروط تقع ذروته في مركز صفيف الهوائيات.

ومن شأن الانتشار الذي يحدث عند نقطة الانعكاس على الأرض أن يزيد من فتحة الزاوية في هذا المخروط وبالتالي يزيد من اتساع التقلبات السريعة في الاتجاه الزاوي.

2.1.3.2.7.4 الأخطاء الناجمة عن تحديد الموقع

توفر الفقرة 3.1.6.2 معلومات عن تحديد موقع محطة لتحديد الاتجاه.

يجب انتقاء الموقع بعناية فائقة لتقليل الأخطاء الناجمة عن تشوه صدر الموجة الذي تسببه التغيرات المفاجئة في إيصالية الأرض أو ارتداد الإشعاع من العوائق.

وبما أن المواقع الراهنة ليست مثالية، فلا مفر من أن يفضي طابع الموقع وخصائص التضاريس المجاورة إلى إدخال أخطاء، وتتفاوت هذه الأخطاء بتفاوت الاتجاه والتردد.

ويمكن تصحيح الأخطاء بمعاية محدد الاتجاهات المركب باستخدام مرسلات مرجعية متعددة في اتجاهات معروفة عبر مختلف الترددات (انظر الفقرة 1.1.2.7.4، الدقة).

2.3.2.7.4 دقة الاتجاهات الزاوية لمحدد اتجاهات يعمل فوق MHz 30

تصنف التوصية ITU-R SM.854 الاتجاهات الزاوية في أربعة أصناف بناء على الدقة وخصائص الرصد. وينبغي الإشارة إلى أن قيم مختلف الأصناف تختلف عن تلك العاملة دون MHz 30.

الصنف A – الاحتمال أقل من 5% بأن يتجاوز الخطأ 1°.

الصنف B – الاحتمال أقل من 5% بأن يتجاوز الخطأ 2°.

الصنف C – الاحتمال أقل من 5% بأن يتجاوز الخطأ 5°.

الصنف D – اتجاه زاوي بخطأ أكبر مما هو في الصنف C.

وتتعرض الاتجاهات الزاوية المستقاة بواسطة محدد اتجاه يعمل فوق MHz 30 لأخطاء مردها:

- التجهيزات (أو التقنية التي تستخدمها التجهيزات)؛
- موقع محدد الاتجاهات؛
- الانتشار.

والأخطاء الناجمة عن التجهيزات تعزى إلى تصميمها وتصنيعها.

وتنشأ الأخطاء المعزوة إلى الموقع من أحوال شذوذ في التشكيل أو تكوين التضاريس في جوار محدد الاتجاه. وتختلف هذه الأخطاء باختلاف الاتجاه والتردد. ومن ثم يمكن اعتبارها أخطاء متغيرة.

والنمط الثالث من الأخطاء مرده أحوال الشذوذ في الانتشار. وقد تفضي هذه الأخطاء إلى انحرافات جانبية في اتجاه الانتشار نسبة إلى اتجاه قوس الدائرة الكبرى بين المرسل ومحدد الاتجاه. وعلاوة على ذلك، تفضي أحوال الشذوذ في الانتشار إلى أخطاء بسبب الاستقطاب.

4.2.7.4 التوصيل الشبكي بالتحكم عن بعد من أجل محطات DF

تتسم شبكة محددات الاتجاه القابلة للتحكم فيها عن بعد بمزايا كل من الاقتصاد في التشغيل والمرونة في الاستخدام. ويأتي الحديث عن التحكم عن بعد بواسطة الأنظمة المحوسبة في الفقرتين 5.2 و3.6.3.

3.7.4 تحديد الموقع

في كثير من الحالات، لن يكون خط زاوية الاتجاه كافياً لغرض تعرف الهوية وسيكون من المطلوب تحديد موقع المرسل على وجه الدقة. وتستخدم أربع طرائق رئيسية لتحديد الموقع:

1 الطريقة التقليدية: توليف اثنين أو أكثر من محددات الاتجاه التي تعطي نتائج زاوية الوصول (AOA) من أجل حساب زوايا متعددة (يدوياً أو بواسطة الحاسوب)؛

2 طريقة تفاضل زمن الوصول (TDOA)؛

3 طريقة 'المَركزة' أو الانفراد باستخدام محدد اتجاه متنقل؛

4 موقع المحطة الوحيدة (SSL) في مدى الترددات الديكامترية (HF) اعتماداً على الانتشار الأيونوسفيري: من الممكن تحديد موقع مرسل ما بواسطة محطة DF واحدة توفر أيضاً معلومات ارتفاع زاوية الوصول (AOA) إضافة إلى سمتها.

وتتضمن الفقرات التالية تفاصيل عن كل من طرائق تحديد الموقع هذه.

1.3.7.4 طريقتا تحديد الموقع بالتثليف وتعدد الزوايا

فيما يلي وصف لطريقة التثليف، وهي حالة خاصة.

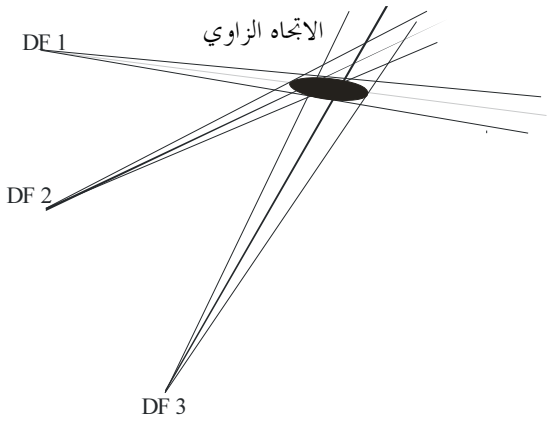
1.1.3.7.4 اعتبارات عامة

تتطلب طريقة التثليث ما لا يقل عن نتيجتين والأفضل ثلاثة من نتائج خط الاتجاه الزاوي (LoB). ويحدد تقاطع خطوط LoB موقع المرسل. ونظراً لأخطاء قياس محددات الاتجاه، تكون النتيجة عبارة عن إهليلج يمثل الموقع الممكن للمرسل. انظر الشكل 7.4-8.

وكلما ازدادت دقة DF وكانت الاتجاهات الزاوية أكثر تعامداً كانت منطقة عدم اليقين أصغر.

الشكل 7.4-8

تحديد الموقع باستخدام طريقة التثليث



Spectrum-4.7-08

وحساب الموقع يتوقف مباشرة على جودة الاتجاهات الزاوية لمختلف محطات تحديد الاتجاه. ولبلوغ مستوى كاف من الجودة، ينبغي تحليل الاتجاهات الزاوية في كل خطوة من عملية تحديد الموقع، أي في محطات المراقبة/DF وفي مركز الموقع حيث يحسب الموقع (الثابت) فعلاً.

وفي محطات المراقبة/DF، يتألف التحليل اليدوي أساساً مما يلي:

- التحقق من التقابل بين إشارة مسموعة محلياً وإشارة موضع اهتمام من جانب محطة المراقبة؛
- تصنيف الاتجاهات الزاوية في حال وجود أكثر من إشارة في نفس التردد (تداخل)؛
- إزالة الاتجاهات الزاوية التي من الواضح أنها شاذة؛
- حساب القيمة الوسطية للاتجاهات الزاوية؛
- حساب تفاوت الاتجاهات الزاوية.

وفي مركز الموقع، يتألف تحليل الاتجاهات الزاوية أساساً مما يلي:

- تحديد الاتجاهات الزاوية التي يتعين استخدامها من أجل حساب الموقع؛
- حساب موقع نقطة الإرسال المحتملة؛
- حساب إهليلج عدم اليقين.

وفي أنظمة تحديد المواقع اليدوية، تتوقف جودة الاتجاهات الزاوية إلى حد بعيد على مهارة المشغّل في أداء هذا التحليل. وفي أنظمة تحديد المواقع الأوتوماتية، يتم أداء التحليل من خلال معالجة المعلومات (بواسطة برامج الحاسوب).

2.1.3.7.4 سمات تحديد الموقع اعتماداً على التردد

دون 30 MHz

دون 30 MHz، إضافة إلى الموجات الأرضية، يمكن أن تنتشر الموجات أيضاً من خلال انعكاسات وحيدة أو متعددة والانتشار الموجه في الأيونوسفير.

والإشارة المستقبلة بواسطة محدد اتجاه هي إشارة مركبة تنشأ من مسيرات متعددة يمكن أن تتبعها الموجة بين المرسل المصدر ومحدد الاتجاه. وتشتد هذه الظاهرة لأن محددات الاتجاه في مدى الترددات الديكامترية (HF) غالباً ما تكون بعيدة عن المنطقة موضع الاهتمام. وتبعاً لذلك، كثيراً ما تجرى قياسات DF باستخدام نسبة *S/N* منخفضة، وبالتالي قد تكون القياسات غير مستقرة نسبياً.

وثمة جوانب أخرى في المدى دون 30 MHz تجعل حساب تحديد الموقع عسيراً، ومنها:

– ازدحام الطيف (تداخل متواتر)؛

– مناطق جغرافية وفترات عدم رؤية لبعض أمداء الترددد.

ولا يكفي توفر اتجاه زاوي وحيد لتمكين حساب مرض لتحديد الموقع. ولأداء تحديد جيد لاتجاه زاوي في نطاق الترددات HF، يحتاج الأمر إلى عدة اتجاهات زاوية إفرادية للتوصل إلى متوسط مفيد للاتجاه الزاوي.

ولكن يجب ألا يغيب عن الأذهان أن المسيرات المعقدة التي تتّبعها الموجات عبر الأيونوسفير قد لا تقابل الدوائر الكبرى على سطح الأرض، مما يجلب تحيزاً عند مستوى قياس السمت، وبالتالي عند مستوى حساب تحديد الموقع.

فوق 30 MHz

في نطاقات الترددات المترية والديسيمترية (VHF وUHF) يكون انتشار الموجات بالدرجة الأولى في خط البصر (أو من خلال الانعراج أو الانتشار) ومن ثم ينبغي تركيب محددات الاتجاه بالقرب من المناطق التي يتعين مراقبتها، المناطق الحضرية إجمالاً. ومع أن نسبة الإشارة إلى الضوضاء قد تكون ضعيفة، حيث تأتي الإشارة عادة من اتجاه ثابت مستقر. وتسمح هذه الظروف بالحصول على اتجاهات زاويّة موثوقة بأسلوب سريع وميسور نسبياً.

ومع ذلك، قد يكون القياس صعباً نظراً لوجود التداخل وبسبب الانعكاسات التي تعاني منها الموجات. وهذا ما يحدث عموماً في المناطق الحضرية وعندما تجرى القياسات من محطات DF متنقلة.

يمكن عادة إجراء القياسات في 10 ميلليثانية أو أقل، ولكن من المستصوب تكامل النتائج على امتداد فترة ملائمة متسقة مع مدة الإشارة وظروف الاستقبال. وهذا يتسم بأهمية خاصة عند استخدام محطات DF المتنقلة.

ينبغي ألا تؤخذ الاتجاهات الموثوقة التي تقلل من آثار الانعكاسات إلا عندما تكون وحدة DF في حالة الحركة، ما لم تكن موضوعة في مكان خال من أي عوائق.

ويمكن لمحددات الاتجاه الحديثة أن تقوم، إضافة إلى الاتجاهات التقليدية، بعدد من القياسات التقنية مثل التردد المركزي ومعدل التشكيل وعرض النطاق.

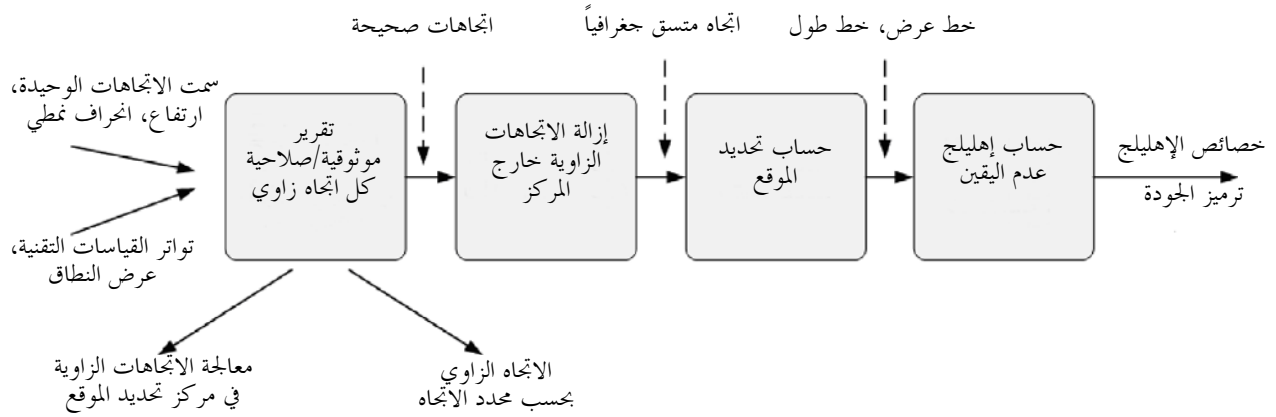
وبما أن من الممكن إجراء هذه القياسات في ظروف مواتية (نسبة إشارة إلى ضوضاء جيدة) فإنها يمكن أن تكون موثوقة وأن تسمح بأداء اختزال بيانات الاتجاهات على نحو يتسم بالكفاءة.

3.1.3.7.4 خطوات حساب تحديد الموقع

يرسم الشكل 7.4-9 خطوات حساب تحديد الموقع.

الشكل 9-7.4

رسم بياني لخطوات حساب تحديد الموقع



Spectrum-4.7-09

ويمكن الحصول على البرنامج الحاسوبي "TRIANGULATION"، الذي يتبع عموماً هذه الخطوات، من خلال الاتحاد الدولي للاتصالات.

تحديد الاتجاهات الزاوية الموثوقة

من الممكن فرز فرادى اتجاهات DF في محطات المراقبة/DF أو في مركز تحديد الموقع. ويرتبط الاختيار ما بين النهجين مباشرة بمقدرات الوصلات المستخدمة بين محطات المراقبة/DF ومركز تحديد الموقع من أجل تسيير عمليات التحكم عن بعد.

أ) وصلات سريعة

إذا كان في الوصلات معدل يسمح بإجراء تبادلات سريعة بين محطات حساب المراقبة/DF (من قبيل شبكة منطقة واسعة عالية السرعة)، فقد يكون من المفيد تسيير اتجاهات كل محطة في الوقت الفعلي إلى مركز تحديد الموقع. وعندئذ يجري تحليل اتجاه المحطة إزاء الاتجاهات التي حصلت عليها محطات أخرى في نفس الوقت. ولا يتم رفض اتجاه موضع شك إزاء الاتجاهات التي يحصل عليها نفس محدد الاتجاه فحسب وإنما إزاء الاتجاهات التي تحصل عليها على نحو متزامن المحطات الأخرى. وفي نهاية الإنذار، يزود مركز تحديد الموقع من أجل كل محدد اتجاه بعدد من فرادى الاتجاهات. وتعالج هذه الاتجاهات إحصائياً (رسم بياني قضباني، وصلة وحيدة، وما إلى ذلك) لتحديد سمة الاتجاه (الاتجاهات) لكل محدد اتجاه، وكذلك ما يقابلها من انحرافات نموذجية.

ومن مزايا هذا النمط من الأنظمة إمكانية القيام بمعالجة بسيطة في محددات الاتجاه. وتسمح عملية من هذا النمط بعرض في الوقت الفعلي لسلوك محددات الاتجاه. ومن الممكن في مركز تحديد الموقع القيام يدوياً بانتقاء خطوط اتجاهات زاوية مقيسة معينة في عملية الإرسال المتتبعة.

ب) وصلات بطيئة

إذا كان من شأن المعدل في الوصلات أن يجعل كل تبادل بين مركز تحديد الموقع ومحطات DF مكلفاً من حيث الزمن، أي عندما يكون زمن الاتصال أطول من زمن القياس، عندئذ ينبغي أداء تحديد الاتجاهات الموثوقة في المحطة DF. ويتم التوصل إلى نتيجة موثوقة من خلال حساب متوسط فرادى الاتجاهات فيما يتعلق بالاشارة موضع الاهتمام في نظر مركز تحديد الموقع. ولذا يتطلب الأمر توفر الدراية التقنية عند محدد الاتجاه لتصنيف فرادى الاتجاهات الزاوية. ويمكن أداء التصنيف انطلاقاً من عدة معلومات:

- فاصل السمت؛
- اتساق تردد المركز المقيس؛
- اتساق زاوية الارتفاع بين مختلف الاتجاهات الزاوية؛
- احتمال زاوية الارتفاع إزاء خصائص الانتشار؛
- معلمات التحليل التقني التي تمكن من تحديد هوية الإشارة المطلوبة.

ومن مزايا هذا النمط من الأنظمة أنه يمكن من استخدام وصلات منخفضة المعدل (من قبيل وصلات الهاتف التقليدي). ومن جهة أخرى يتعين في هذا النمط من الأنظمة أن تكون محددات الاتجاه قادرة على تحليل الاتجاهات الزاوية الخاصة بها وعلى فصل البيانات في حالة استقبال إرسالات متعددة. وهذا النمط من الأنظمة مناسب على نحو جيد لتحديد الموقع في مطى الترددات المترية/ الديسيمترية (VHF/UHF) حيث تكون اتجاهات DF مستقرة نسبياً من حيث الزمن.

إزالة الاتجاهات الزاوية غير المتقاربة

تؤدى هذه الخطوة يدوياً في بعض أنظمة تحديد الموقع. ويقترح هنا استخدام طريقة أوتوماتية تسمح هندسياً بتحديد الاتجاهات الزاوية غير المتقاربة (انظر الشكل 7.4-10).

وتشتمل هذه الطريقة على أداء فحص لكل حالة لمعرفة عدد حالات الإطلاق المتسقة مع تلك الحالة. وفي كل حالة إطلاق، يتم بناء المنطقة التي يشملها الخطأ الزاوي الذاتي لكل عملية إطلاق.

وعندما تتراكب المناطق جزئياً، يقال إن من الممكن مواءمة عمليات الإطلاق. وهكذا يتم، بالنسبة لكل إطلاق، تفحص كل المواءمات الممكنة. ويحتفظ بالمواءمة التي تشتمل على أكبر عدد ممكن من عمليات الإطلاق. وإذا تم التوصل إلى أكبر عدد من الإطلاقات في عدة مواءمات، عندئذ يحتفظ بالمواءمة التي تم الحصول عليها بأفضل الاتجاهات الزاوية وأفضل زاوية فتحة فيما يتعلق بالهدف. والإطلاقات التي ليست جزءاً من أفضل المواءمات تعتبر خارج المركز ولا يحتفظ بها لأغراض حساب نقطة تحديد الموقع.

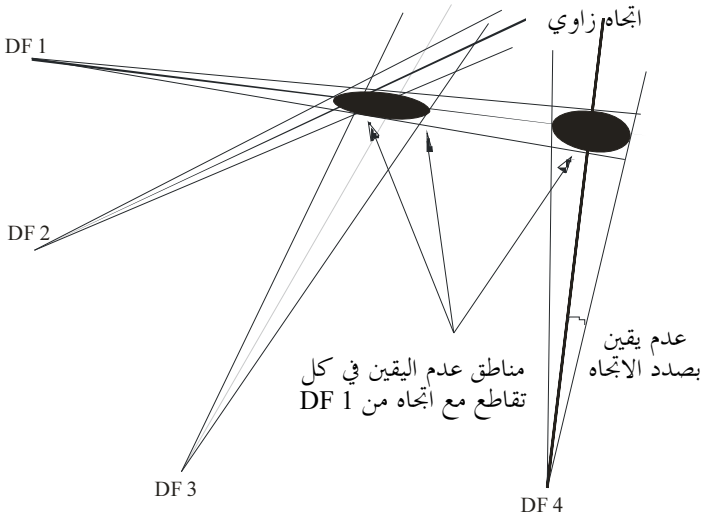
ومن مزايا هذه الطريقة أنها تبنى على الأخطاء الزاوية، وهي صالحة في المدى القصير أو الطويل.

تقييم نقطة تحديد الموقع

في هذه الخطوة، يتم توفير عدد من الاتجاهات المتسقة فيما بينها، ولكنها لا تقطع جميعها نفس النقطة الجغرافية. والغرض من هذه الخطوة هو تحديد الموضع الأمثل لنقطة تحديد الموقع.

الشكل 10-7.4

إثبات صحة/إزالة الاتجاهات غير المتصلة بالمصدر المتوقع
(يمكن مواءمة DF 1 وDF 2 وDF 3، ولا يمكن مواءمة DF 4)



Spectrum-4.7-10

ويتم البحث عن النقطة المثلى بتطبيق طريقة المربعات الأقل خطأً. ويتم البحث عن النقطة التي تقلل من التغايرات الزاوية لتطبيقها على كل اتجاه زاوي وذلك لاستهداف هذه النقطة.

فإذا كانت P نقطة ما و$d1$، $d2$، $d3$، ... هي التغايرات الزاوية التي يتعين تطبيقها على كل اتجاه لكي يتقاطع مع P و$v1$، $v2$، $v3$، ... هي التغايرات في مختلف الاتجاهات الزاوية.

وعلى افتراض أن S_p لها الكمية التالية:

$$S_p = (d_1^2 / v_1) + (d_2^2 / v_2) + (d_3^2 / v_3) + ... \quad (4.7\text{-}1)$$

فإن النقطة المثلى هي النقطة التي تقلل من S_p إلى الحد الأدنى.

وثمة نُهُج متعددة لحل هذه المشكلة، منها:

- عمليات التثليث الزاوي؛
- طرائق الدوائر الكبرى، المثلثات الكروية (للمسافات الطويلة).

لمزيد من النُهُج، انظر [Stansfield, 1947] و[Barfield, 1947].

ولا يثير تطبيق هذه الطرائق على الحواسيب أي مشكلة. ولكن يجب ألا يغيب عن الأذهان أن جميع الطرائق إنما تقوم بحساب تقديرات. وليس هنالك من صيغة رياضية تعطي الموقع على وجه الدقة.

والتقدير البصري للنقطة المثلى عملية صعبة حتى لو توفرت بضعة اتجاهات زاويّة. وعند استخدام اثنين من محددات الاتجاه، فإن تقاطع اتجاهين زاويين يعطي نقطة واحدة، ولكن نظراً للأخطاء لا يمكن الجزم بأن هذه النقطة هي موقع المرسل. وعند استخدام ثلاثة محددات اتجاه، يتم الحصول على مثلث، ولكن نظراً للأخطاء في كل اتجاه، لا يمكن التأكيد على أن المرسل يقع ضمن المثلث.

حساب إهليلج عدم اليقين

إن إهليلج عدم اليقين هو المنطقة المحيطة بالنقطة المثلى.

ويعتمد حساب إهليلج عدم اليقين على طريقة [Stansfield, 1947]. وينطلق هذا الحساب من الانحرافات النمطية لمختلف الاتجاهات الزاوية. ولكي يكون هذا الانحراف النمطي ذا دلالة يجب أن يتوفر في النظام القدر الكافي من فرادى الاتجاهات ليكون قادراً على حساب قيمة انحراف نمطي ذي دلالة.

والنزعة الحالية لمحددات الاتجاه هي توفير ترميز يتسم بالجودة يضم الشروط التي تم فيها أداء اتجاه DF بدلاً من انحراف نمطي فعلي. وفي هذا السياق، لن يكون حساب إهليلج عدم اليقين أكثر من مجرد تقدير. والنزعة في أنظمة تحديد الموقع هي التوصل إلى تحديد ترميز لتحديد الموقع يتسم بالجودة.

وتمثل جودة الترميز لموقع ما:

- اتفاق محددات الاتجاه فيما بينها على تسمية النقطة نفسها.
- مثابرة محددات الاتجاه على تسمية النقطة نفسها دوماً.

ويكون الاتفاق قوياً عندما تسمي عدة محددات اتجاه النقطة نفسها.

وتكون المثابرة قوية عندما يكون تأثير انحراف في الاتجاهات في محدد اتجاهات ضئيلاً على النقطة المثلى المحسوبة باستخدام جميع الاتجاهات الزاوية (عطالة).

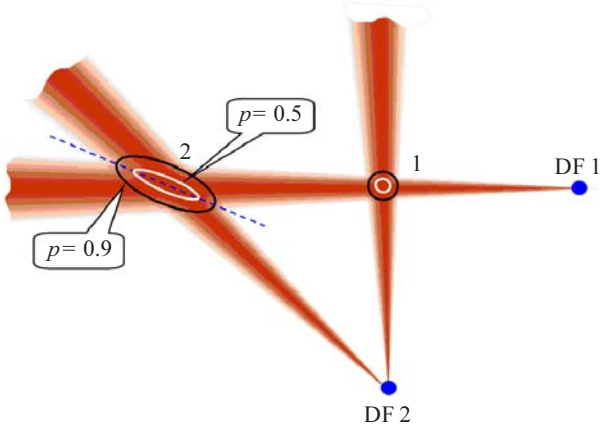
4.1.3.7.4 توزيع قيم عدم اليقين بخصوص الموقع

حتى عندما لا يكون هنالك تأثيرات خارجية على الاتجاهات الزاويّة (من قبيل الانعكاسات من التضاريس المحلية والمباني والمنشآت المعدنية وغيرها، وكذلك آثار وسط الانتشار الراديوي) وعندما تتقاطع خطوط الاتجاهات الزاوية من جميع محددات الاتجاهات المستخدمة في عملية التثليث في نقطة واحدة، يمكن تحديد موقع المرسل المنشود لا في تلك النقطة وإنما ضمن حدود إهليلج عدم يقين يرسمه الجهاز (أو النظام) بشأن موقع عدم اليقين (الخطأ) لكل محدد اتجاه (انظر الفقرة 1.1.2.7.4). ويشاهد ذلك في الشكل 11-7.4، حيث تُرسم توزيعات خط الاتجاه الزاوي من محددي الاتجاه،1 DF و2 DF، ضمن حدود عدم اليقين التي حددها الجهاز لمحددي الاتجاه، بصورة تقليدية في شكل قطاعات ذات حواف ضبابية. ويمكن أن يفترض التوزيع الزاوي لخطوط الاتجاه ضمن هذه القطاعات على أنه غوسي حيث تستخرج قيم عدم اليقين بشأن الاتجاه الزاوي من جذر متوسط التربيع 1°-2°.

ويستنتج من الحالتين المعروضتين في الشكل 11-7.4، حيث يتقاطع قطاعا توزيع خطوط الاتجاه من محددي الاتجاه 1 DF و2 DF، أنه لو تقاطع القطاعان بزاوية 90° (الموضع 1) لكان موقع عدم اليقين في حده الأدنى. وفي هذه الحالة، حيث موقعا عدم اليقين لمحددي الاتجاه المستخدمين في عملية التثليث متساويان والمسافتان من محددي الاتجاه إلى الموقع الذي يتقاطع فيه القطاعان متساويتان، يصبح إهليلج عدم اليقين دائرة.

الشكل 11-7.4

حالتان من تقاطع قطاعي توزيع خط الاتجاه
من محددي الاتجاه DF 1 وDF 2



Spectrum-4.7-11

وعندما تتناقص زاوية التقاطع بين القطاعين (الموضع 2)، يستطيل المحور الأكبر في الإهليلج، الذي يؤخذ عادة كقياس لعدم يقين الموقع، بسرعة إلى أن يبلغ اللانهاية عندما تصل الزاوية إلى قيمة 0°. وهذا ما يحدث أيضاً عندما تزداد الزاوية حتى تصل 180°. وفي حالة الزوايا التي تقترب من 0° و180°، فإن تحديد الموقع باستخدام مجرد محددي اتجاه يصبح لذلك مستحيلاً، مما يستوجب إدخال محدد اتجاه ثالث يوضع بعيداً عن الخط الواصل ما بين الاثنين الأولين.

ومن تقاطع القطاعين في حالة الزاويتين الصغيرتين نرى بوضوح كيف يرتبط التغير في طول المحور الأكبر في إهليلج عدم يقين الموقع بقيمة الاحتمال ***p*** في تحديد موقع المرسل المنشود ضمن هذا الإهليلج. وكلما ازدادت قيمة الاحتمال ***p***، يزداد أيضاً محورا الإهليلج (الأكبر والأصغر)، مما يؤدي إلى زيادة مقابلة في عدم يقين الموقع الذي يحدده طول المحور الأكبر في الإهليلج.

ويتبين من الشكل 11-7.4 أن طول المحور الأكبر في إهليلج عدم اليقين يتوقف على عوامل شتى، منها:

- مجالات عدم اليقين بشأن الاتجاه الزاوي المتصلة بمحددات الاتجاه المستخدمة في عملية التثليث؛
- المسافات بين المساحة التي يتقاطع فيها قطاعات توزيع خط الاتجاه الزاوي ومحددات الاتجاه المتعلقة بها؛
- الزاوية التي يتقاطع عندها قطاعات توزيع خط الاتجاه الزاوي.

ويستنتج مما تقدم أن عدم اليقين بشأن الموقع، الذي يحدده طول المحور الأكبر في الإهليلج، يأخذ قيماً مختلفة عند نقاط مختلفة ضمن المساحة الإجمالية لتغطية الموقع.

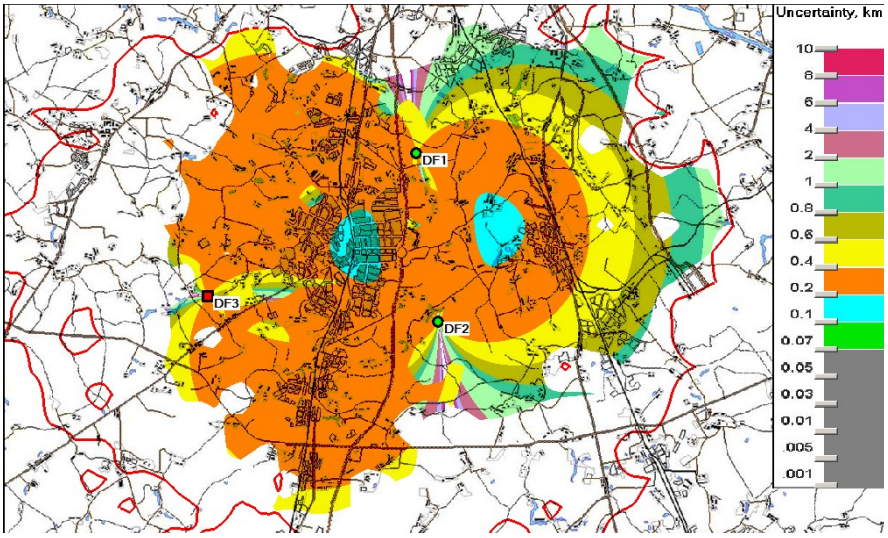
ويمكن حساب خصائص إهليلجات عدم اليقين التي تحدد عدم يقين الموقع في كل نقطة من المساحة الإجمالية لتغطية الموقع من كثافة الاحتمال الثنائي الأبعاد لمنحنى التوزيع الغوسي، والتي يصبح تحديد معلماتها أكثر تعقيداً بكثير كلما ازداد عدد محددات الاتجاه الضالعة في عملية التثليث، ولا سيما حيث يكون لمحددات الاتجاه هذه قيم عدم يقين مختلفة بشأن الاتجاه الزاوي. ويأتي عرض أسس الأداة الرياضية لأداء هذه الحسابات في [Kogan and Pavliouk, 2004a]، ووصف البرمجيات المستخدمة لتنفيذ المنهجية في [Krutova et *al.*, 2005] و[كتيب الاتحاد الدولي للاتصالات، 2005].

وتعطي نتائج الحساب توزيع قيم عدم اليقين بشأن الموقع عبر المساحة الإجمالية لتغطية الموقع. ويمكن تمثيل هذا التوزيع بيانياً في شكل مساحات فرعية متجاورة تقابل حدودها قيم عدم اليقين بشأن الموقع المقررة، كما هو مبين في الشكل 12-7.4.

وتظهر ظلال عدم اليقين بشأن الموقع التي تقابل حدود المساحات الفرعية في لوحة الألوان في الجانب الأيمن من الشكل 12-7.4. ويشار إلى مجموع هذه المساحات الفرعية ضمن حدود المساحة الإجمالية لتغطية الموقع بأنها "قالب تغطية الموقع (LCT)" [Kogan and Pavliouk, 2004a] و[Kogan and Pavliouk, 2004b] و[كتيب الاتحاد الدولي للاتصالات، 2005] و[Krutova et *al.*, 2006].

الشكل 12-7.4

قالب تغطية الموقع وفيه ثلاثة محددات موقع، DF1 – DF3



Spectrum-4.7-12

يُظهر الشكل 12-7.4، بالنسبة لترتيب معين لمحددات الاتجاه ضمن المنطقة قيد النظر، أن أخفض قيم عدم اليقين بشأن الموقع تقع في مدى 0,2-0,1 كيلومتر (المساحة الفرعية المبينة بلون فيروزي). وتقع هذه القيم حيث تتقاطع خطوط الاتجاه الزاوي من محددي الاتجاه DF 1 وDF 2عند زوايا قريبة من 90°. وأكبر مساحة فرعية مبينة بلون بني، وهي تقابل مجالات عدم اليقين بشأن الموقع في المدى 0,4-0,2 كيلومتر. وتقع أعلى قيم عدم اليقين بشأن الموقع في هذا المثال في المدى 1-2 كيلومتر (المساحة الفرعية المبينة بلون أخضر فاتح). وهي تقع عند حواف المنطقة الإجمالية لتغطية الموقع، أي أبعد مسافات من محددات الاتجاه. وفي الأشرطة الضيقة حيث تتقابل خطوط الاتجاه من محددي الاتجاه DF 1 وDF 2عند زوايا قريبة من 0°، يتجاوز عدم اليقين بشأن الموقع 2 كيلومتر (مساحات فرعية مبينة بلون وردي وألوان أخرى).

ويبين الشكل الانتشار الكبير للقيم (بعامل يتجاوز 20) الذي لوحظ في قيم عدم اليقين بشأن الموقع تبعاً للعوامل المذكورة أعلاه. ويتعين أن يؤخذ هذا في الحسبان لدى تخطيط شبكات محددات الاتجاه.

وثمة تحليل مفصل لخصائص قوالب تغطية الموقع وارد في [Kogan and Pavliouk, 2004b] و[Nurmatov and Titov, 2005]، بينما يرد وصف استخدامها في تخطيط شبكات مراقبة الطيف في القسم 8.6.

وبقدر ما يأخذ حساب قوالب تغطية الموقع في الحسبان مجرد أخطاء الجهاز (النظام) المتأصلة في محددات الاتجاه، فإن قيم عدم اليقين بشأن الموقع التي تنعكس في هذه القوالب هي القيم الدنيا الممكنة والتي يمكن بلوغها في ظل شروط معنية أقرب إلى المثالية. ومع ذلك، فإن هذه المعلومات على قدر كبير من الأهمية في معرض التخطيط لشبكات مراقبة الطيف واستمثالها (انظر القسم 8.6).

5.1.3.7.4 عرض الخرائط

تَظهر خطوط الاتجاه الزاوي ونقاط تقاطعها أيضاً في شكل خارطة، وهي تمكن المشغل من التوصل بسهولة إلى تقدير موضع الإرسال. وفي حالة ما إذا صدر الإرسال من وحدة متنقلة، يستطيع المشغل أن يقدر اتجاه حركة الوحدة المتنقلة بمراقبة نقطة التقاطع على شاشة العرض.

لمزيد من المعلومات عن إعداد الخرائط، انظر القسم 2.6.

2.3.7.4 طريقة تفاضل زمن الوصول

1.2.3.7.4 مبادئ عامة

تحدد طريقة تفاضل زمن الوصول (TDOA) موقع المرسل باستخدام أزمنة الوصول النسبية لإشارة ما في مرسلات متعددة. وتوفر أنظمة TDOA المرونة في اختيار الهوائي ونصبه إذ تتأثر دقة TDOA قليلاً جداً من العاكسات القريبة، والهوائيات والكبلات غير مدمجة عموماً في مستقبلات TDOA. وتمكن هذه المرونة من النظر في عوامل أخرى من قبيل: حجم الهوائي وتعقيد المحطة وخشونة التضاريس وتغطية الترددات. ومن شأن القدرة على استخدام هوائيات بسيطة سهلة التنصيب أن تمكن من إقامة أنظمة تحديد الموقع الجغرافي TDOA بسهولة، ولا سيما من أجل عمليات التنصيب المؤقتة.

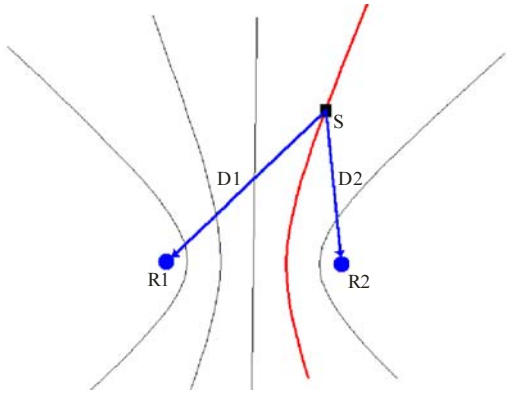
وكثيراً ما يقال إن TDOA أقل دقة لإشارات عرض النطاق الضيق مما هي بالنسبة لإشارات عرض النطاق العريض. ولئن صح هذا القول عموماً فإنه لا يتناول سوى عرض نطاق الإشارة. إذ تتسم إشارات عرض النطاق الأوسع بمزايا فترات زمنية أقصر من شأنها تحسين دقة TDOA، لا سيما في ظروف معرضة كثيراً لتعدد المسيرات. ومع ذلك فإن دقة تحديد الموقع تتأثر أيضاً من نسب الإشارة إلى الضوضاء المستقبلة، وهي عموماً أفضل من أجل إشارات النطاق الضيق في الترددات الأخفض. وطرائق TDOA مناسبة لغالبية الإشارات المشكلة عمداً، ولكن لا يمكن استخدامها لتحديد موقع إشارة مستمرة غير مشكلة (ذلك لأنها لا تتضمن مرجعاً زمنياً).

ويقوم تفاضل زمن الوصول (TDOA) على مفهوم بسيط وهو أن أي فرق في المسافتين بين مصدر إشارة كهرمغنطيسية وأي مستقبلين في نظام لتحديد الموقع يمكن ملاحظته بمثابة تفاضل في زمن الوصول إلى هذين المستقبلين. وانطلاقاً من تفاضل الزمن الملحوظ يمكن بسهولة حساب تفاضل المسافة بوصفه جداء تفاضل الزمن وسرعة الإشارة. ويتغير تفاضل زمن الوصول بحوالي 3.3 نانوثانية لكل متر من تفاضل المسافة بين مسيرتي الإشارة المباشرتين.

وفي مستوي ثنائي الأبعاد، ترسم معادلة تفاضل المسافة، $\Delta D = D2-D1$، خطاً في شكل قطع زائد. وترسم خطوط القطع الزائد لخمس قيم مختلفة ΔD في الشكل 7.4-13. وتقع إشارة مصدر "S" على واحد من هذه الخطوط.

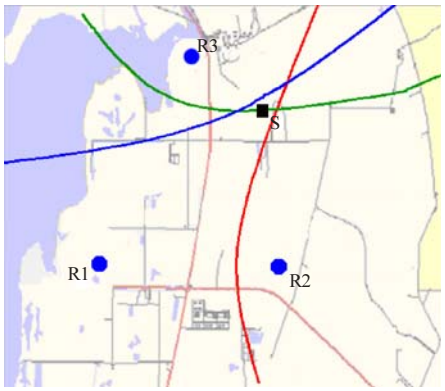
ولما كان خط القطع الزائد يمثل تفاضل زمن ثابت، فمن الممكن إعادة وضع مصدر الإشارة في أي موقع على خط القطع الزائد المشار إليه دون التأثير على تفاضل زمن الوصول إلى المستقبلين R1 وR2. والتضمين الواضح لهذه السمة هو أن أنظمة TDOA تتطلب أكثر من مستقبلين لتتمكن من تحديد الموقع.

الشكل 13-7.4
تفاضل الزمن بناء على تفاضل المسافة
D2-D1 = ΔD



Spectrum-4.7-13

الشكل 14-7.4
مصدر الإشارة واقع عند تقاطع
قطعين زائدين أو أكثر



Spectrum-4.7-14

وبغض النظر عن هندسيات الحالات الخاصة، فإن أنظمة TDOA تتطلب ما لا يقل عن ثلاثة مستقبلات لتحديد موقع مصدر في مستو ثنائي الأبعاد. وكما هو موضح في الشكل 14-7.4، هنالك، بوجود ثلاثة مستقبلات، ثلاث مزاوجات ممكنة من المستقبلات تعطي ثلاثة رصدات مختلفة لتفاضل الزمن، يقابلها ثلاثة خطوط قطع زائد مختلفة، تتقاطع في نقطة مشتركة في ظل ظروف مثالية. ويقع مصدر الإشارة عند تقاطع خطوط القطع الزائد. ومع الحاجة إلى ثلاثة مستقبلات، فإن الأمر يستدعي مجرد مزاوجتين من المستقبلات لتحديد الموقع جغرافياً. ومن الناحية النظرية تكون المزاوجة الثالثة من المستقبلات مطنبة. ومع ذلك، وفي البيئات غير المثالية، تتفاوت جودة بيانات التفاضل الزمني بتفاوت مزاوجة المستقبلات. فمثلاً، في الشكل 14-7.4، أقرب ما يكون مصدر الإشارة مادياً إلى المستقبل R3. وعلى افتراض شدة إشارة أعلى في R3، فقد تفضي المزاوجتين R1-R3 وR2-R3 كلتيهما إلى تقديرات تفاضل زمني أفضل مما تفضي إليه المزاوجة R1-R2. وكثيراً ما تستغل خوارزميات تحديد الموقع المتقدمة هذا الإطناب لتحسين دقة تحديد الموقع.

2.2.3.7.4 أحوال تنفيذ تفاضل زمن الوصول

هنالك طريقتان أساسيتان لحساب تفاضل زمن الوصول (TDOA) لإشارة واردة إلى زوج من المستقبلات. وفي الطريقة الأولى، يحدد كل مستقبل ويبلغ عن زمن الوصول (TOA) إلى محرك حساب TDOA. ثم يعمد محرك الحساب إلى طرح تقدير TOA في مستقبل ما من تقديره في مستقبل آخر وذلك لحساب تفاضل الزمن. وفي الطريقة الثانية، تعمد المستقبلات إلى رقمنة الإشارة وإرسال العينات الممهورة بخاتم الزمن إلى محرك الحساب حيث يمكن استخدام أي عدد من الطرائق العددية لتقدير الموقع.

طريقة زمن الوصول

من المفيد التمكن من تحديد زمن وصول إشارة ما إلى المستقبل في الأحوال التي تكون فيها عروض نطاق اتصالات البيانات محدودة. وفي هذه الطريقة تقتصر الحاجة على بيان الوقت الذي تصل فيه الإشارة. وما يؤخذ على هذه الطريقة أنها ما لم يكن للإشارة خصائص معروفة يتمكن المستقبل بها من أن يحدد على وجه الدقة زمن الوصول في ظل شروط قناة رديئة، فإن هذه الطريقة تتطلب: نسب إشارة إلى ضوضاء عالية، ونسب إشارة إلى تداخل عالية، وقدراً محدوداً من تشوه تعدد المسيرات في كل المستقبلات.

ويمكن تحسين دقة طريقة زمن الوصول باستخدام معلومات معروفة من إشارات مشكلة رقمياً. وتنطبق الطريقة المدعمة بالبيانات على الأنظمة التي لها معلمات مقيّسة ("إشارات ممايزة") في قنوات الخدمة أو في قنوات الحركة تُرسل باستمرار أو في فترات متنظمة: تتابعات تدريب في حالة بروتوكولات تعدد النفاذ بتقسيم الزمن (TDMA)، والشفرات الدليلة (PILOT) أو شفرات المزامنة في حالة بروتوكولات النفاذ المتعدد بتقسيم شفري (CDMA)، وأدلة مستمرة أو متناثرة في الأشكال الموجية لتعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM) (DVB-T، DVB-H، Wimax) ، وما إلى ذلك. ومن خلال استغلال خصائص الإشارة الممايزة في حسابات تخالف زمن الوصول (TDOA)، من الممكن:

- الاستفادة من كسب لا بأس به في كشف الإشارة، مما يعزز الحساسية والموثوقية؛
- فصل الموارد في نفس النطاق عندما تستخدم إشارات ممايزة مختلفة من أجل المزامنة (عدة شفرات 'نصيفة' في رشقات TDMA، وعدة شفرات CDMA، ومجموعة شتى من الأدلة المتناثرة فوق رموز OFDM، وما إلى ذلك).

طريقة تفاضل زمن الوصول

بموجب طريقة تفاضل زمن الوصول (TDOA) تعمد المستقبلات إلى رقمنة الإشارة ثم إلى نقل العينات المهورة بخاتم الزمن إلى محرك حساب TDOA. وما يؤخذ على هذه الطريقة أنها تنطوي على ضرورة إرسال مئات بل آلاف العينات من كل مستقبل إلى محرك الحساب وذلك لكل تحديث لتقدير موقع الإشارة. ومن شأن شبكات البيانات البطيئة أن تحد معدل تحديث تقديرات الموقع. والميزة الأولى من هذه الطريقة هي أنها تدعم استخدام خوارزمية تتناول غالبية الإشارات، في ظروف قناة رديئة، دون أن تتطلب معرفة كبيرة بخصائص الإشارات. ومن شأنها أيضاً أن تقلل الحاجة إلى موارد حوسبية هامة في المستقبل، ويمكنها أن تزود المشغل بمزيد من المعلومات، مثل الزمن والطيف ومخططات الترابط. وبالنسبة لغالبية تطبيقات المراقبة، يُفضل الأخذ بهذه الطريقة نظراً لأدائها في تحديد الموقع ولمرونتها.

حوسبة الموقع في أنظمة تفاضل زمن الوصول

ثمة نهج شائع ومباشر إزاء حوسبة الموقع في أنظمة تفاضل زمن الوصول (TDOA) وهو العمل أولاً على تقدير تفاضل زمن الوصول لكل مزاوجة من المستقبلات. وبعدئذ تحدد الخوارزميات نقطة التقاطع لخطوط القطع الزائد المقابلة لقيم تفاضل الزمن. وهذا على غرار نهج خطوط الاتجاهات الزاوية (LoB) المستخدم في أنظمة تحديد الاتجاه. ففي أنظمة DF كثيراً ما تحول الأخطاء الزاوية دون ثلاثة أو أكثر من خطوط LoB من التقارب في موقع وحيد. وفي أنظمة TDOA، يترتب على أخطاء تقديرات التوقيت أثر مماثل على خطوط القطع الزائد، كما هو موضح في الشكل 7.4-14.

ويمكن أيضاً استخدام تقنيات حوسبة أخرى مسجلة الملكية عادة لتقدير الموقع. وهذه التقنيات أكثر تطوراً عموماً في التعامل مع تعدد المسيرات وتعدد الإشارات في نفس القناة وغير ذلك من تعقيدات TDOA. وقد تنطوي هذه التقنيات أيضاً على معلومات عن الاتساع، وفي حالة صفيفات الهوائيات على معلومات عن زاوية الوصول. وكثيراً ما تقدم نتائج هذه الحوسبات في شكل خرائط احتمال، حيث يستخدم اللون أو الشدة للدلالة على مواقع الإشارات المحتملة كما هو مبين في الشكل 7.4-15.

3.2.3.7.4 العوامل التي تؤثر على الدقة

الهندسة

يؤثر الموضع النسبي للمستقبلات ومصادر الإشارات على دقة تحديد موقع تفاضل زمن الوصول (TDOA).

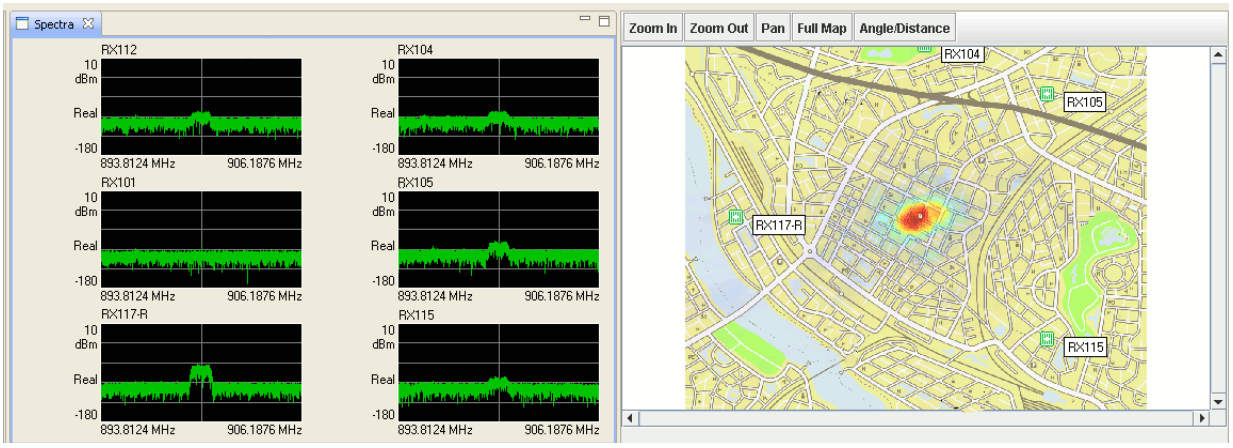
يوضح الشكل 7.4-16 آلية الخطأ الأساسية. وفي هذا الشكل تُرسم خطوط القطع الزائد لمزاوجات المستقبلات الثلاث كلها عبر طائفة من تفاضلات الزمن المتباعدة بانتظام. ولنفترض أن الخطوط في هذا المثال متباعدة بفواصل قدرها 1 ميكروثانية، وأن تعدد المسيرات وغيرها من الأخطاء قد تجلب ما يصل إلى 1 ميكروثانية من الخطأ في تقدير تفاضل الزمن.

وفي هذه الظروف، تمثل المساحات المظللة مساحات عدم اليقين المحاطة بتغيرات زمنية بمقدار +/–1 µs باستخدام مزاوجات المستقبلات الثلاث كلها. ومن الميسور أن نلاحظ من هذا الشكل أن أفضل درجة من الدقة تكون بالقرب من مركز هذه الترتيبة الخاصة من المستقبلات. وتتدهور الدقة خارج المساحة المثلثية التي تحددها المستقبلات الثلاثة، ومن الواضح أنها ضعيفة في المساحات التي تقع مباشرة "خلف" المستقبلات. وفي المناطق الواقعة بعيداً خارج المساحة المحددة بالمستقبلات الثلاثة، تميل خطوط القطع الزائد إلى التوازي فيما بينها، بما يقصر أنظمة TDOA على الإبلاغ عما يشبه خط الاتجاه الزاوي.

وكثيراً ما يُتغاضى عن دقة تحديد الموقع عمداً بغية الاستفادة من مواقع مستقبلات قائمة وغير ذلك من البنى التحتية. ويبين الشكل 7.4-17 هندسة خط مستقيم. وفي هذه الهندسة تكون الدقة الأفقية ضعيفة عموماً. وكذلك لا يستطيع نظام تحديد الموقع أن يميز ما بين مصدر إشارة إلى يسار خط المحساس عن آخر إلى اليمين هو الصورة المناظرة لخط رأسي يصل المحاسيس.

الشكل 7.4-15

مثال لخارطة احتمال والمخططات الطيفية المقابلة.
عندما تتوفر مخططات الطيف والزمن والترابط فإنها
تساعد في تفسير نتائج TDOA



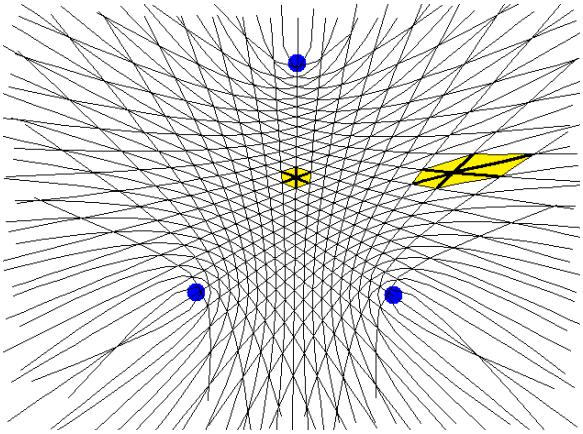
Spectrum-4.7-15

عرض نطاق الإشارة ودوريتها وتعدد مسيراتها

إن العلاقة العكسية بين ميداني الزمن والتردد مفهومة جيداً. وكما هو موضح في الشكل 7.4-18، فإن شكلاً مستطيلاً عريضاً (RECT) في ميدان التردد يصبح شكلاً جيبياً ضيقاً sin(x)/x (SINC) في ميدان الزمن. ويفضي شكل مستطيل أضيق في ميدان التردد إلى نبضة زمنية جيبية sin(x)/x أوسع. وإذا وضعنا كل الاعتبارات الأخرى جانباً، يمكن تحديد موقع إشارات عرض النطاق الواسع بقدر أكبر من الدقة إذ من الأسهل تحديد توقيت ملامح الإشارة الأوضح في ميدان الزمن في وجود التشوه الناجم عن الضوضاء وتعدد المسيرات.

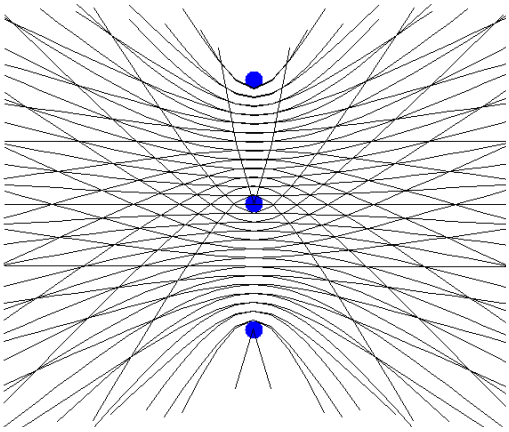
ولئن كان من المستصوب عموماً مواءمة عرض نطاق مستقبل TDOA مع عرض نطاق الإشارة، فإن ذلك غير مطلوب حتماً بل إنه ليس أفضل نهج دوماً. فهنالك العديد من الإشارات تتركز غالبية قدرتها حول موجة حاملة تمكن عروض نطاق مستقبلات ضيقة من تحسين نسبة الإشارة إلى الضوضاء، أو من توفير عزل أفضل من الإشارات المتاخمة أو المتراكبة.

الشكل 16-7.4
آثار الهندسة على دقة TDOA



Spectrum-4.7-16

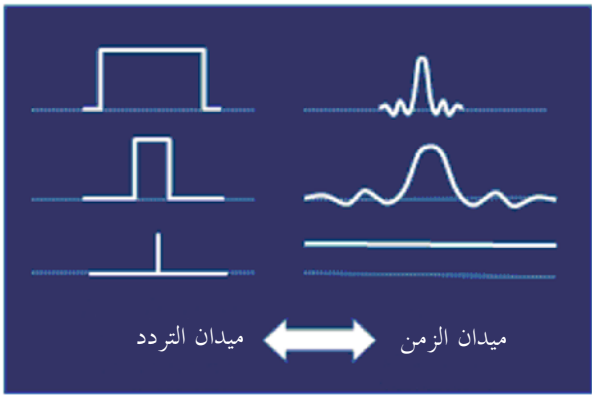
الشكل 17-7.4
هندسية مستقبل ضعيفة



Spectrum-4.7-17

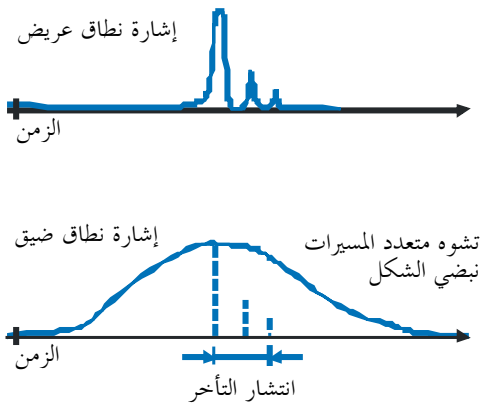
يبدو تعدد المسيرات واضحاً في أنظمة تحديد الاتجاه عندما تصل نسخ متعددة من إشارة ما من اتجاهات زاوية متعددة. وفي أنظمة TDOA يبدو تعدد المسيرات واضحاً عندما تصل نسخ متعددة من إشارة ما بتأخيرات مختلفة. وقد يكون تعدد المسيرات أكثر ذي بال بالنسبة لإشارات عرض النطاق الضيق عندما تكون الخصائص الزمنية للإشارة واسعة نسبة إلى انتشار التأخر، كما يظهر في الشكل 19-7.4. وفي هذه الظروف، يكون من الأصعب تمييز التشوه النبضي الشكل الناجم عن تعدد المسيرات، مما يضيف إلى الخطأ في تقدير تفاضل الزمن.

الشكل 18-7.4
علاقات الزمن – التردد



Spectrum-4.7-18

الشكل 19-7.4
تعدد المسيرات وعرض نطاق الإشارة



Spectrum-4.7-19

ومع أن الاحتمال منخفض، فمن المحتمل أن تفضي خوارزميات TDOA القائمة على الترابط إلى إجابات خاطئة مع إشارات تحتوي على عناصر دورية. ومن أمثلة العناصر الدورية تكرار تتابعات البيانات ونبضات المزامنة. والإجابات الخاطئة محتملة أيضاً عندما يكتشف نظام تحديد الموقع إشارات من مرسلات متعددة تستعمل إشارات مزامنة مشتركة. وفي هذه الحالة قد لا يكون النظام قادراً على التمييز بين ذروة الترابط المتصالب لإشارة مشتركة واردة إلى مستقبلين TDOA مختلفين، وبين ذروة الترابط المعزوة إلى عناصر الإشارة المشتركة المندمجة في إشارتين مختلفتين. ويمكن التقليل من شأن هذه المشكلة بتجنب مباعدة المستقبلات التي تكون واسعة نسبة إلى مباعدة المرسلات.

دقة التوقيت

دقة التوقيت مسألة أساسية لدقة تحديد الموقع في أنظمة تفاضل زمن الوصول (TDOA)، بقدر ما الدقة الزاوية أساسية في أنظمة تحديد الاتجاه. ولئن كانت دقة التوقيت الجيد ضرورية، فإنها ليست كافية لضمان دقة تحديد المواقع. وتقريبات الدقة الشائعة من قبيل "قدم/نانوثانية" أو "30 سنتيمتر/نانوثانية" تعطي فكرة عما هو ممكن في حالة مواصفة دقة توقيت معينة، ولكن ينبغي عدم الاتكال عليها بمثابة متنبئات دقيقة لأداء نظام TDOA. وهذه التقريبات لا تأخذ في الاعتبار المواقع النسبية للمستقبلات، أو خصائص مصادر الإشارة كما ورد وصفها أعلاه. كما أنها لا تأخذ في الاعتبار أخطاء التوقيت النسبية ما بين المستقبلات، أو أخطاء التأخر الناجمة عن كبلات ومراشيح الهوائيات.

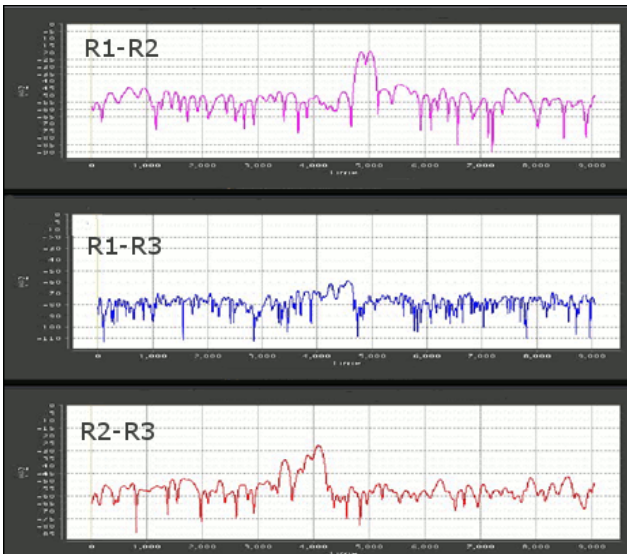
آثار سوية الإشارة والمدة والسرعة في تفاضل زمن الوصول القائم على الترابط

ثمة طريقة لتحديد تفاضل زمن الوصول (TDOA) تتناول حساب علاقة الترابط المتصالب بين إشارات من مستقبلين. وتشير دالة الترابط المتصالب إلى السمات المشتركة بين إشارتين كدالة لتخالف الزمن. وبالنسبة لإشارة مرصودة عبر نفس الفترة الزمنية في مستقبلين مختلفين، يشير موضع ذروة الاتساع في دالة الترابط المتصالب إلى تفاضل التأخر لذلك الزوج من المستقبلات.

يتضمن الشكل 20-7.4 مخططات الترابط المتصالب من عملية قياس واحدة في جهاز من ثلاثة مستقبلات. ومن الناحية المثالية، يحتوي كل مخطط على نبضة وحيدة، يتزحزح موضعها يساراً أو يميناً وفقاً لتفاضل الزمن. ولما كانت هذه البيانات تأتي من عملية قياس فعلية، فهي تكشف عن آثار الاعتلال في عالم الواقع. وتظهر مخططات الترابط المتصالب الثلاثة كلها نبضات متعددة تكشف عن تعدد مسيرات. وعلاوة على التشوه الناجم عن تعدد المسيرات، تكشف علاقة الترابط المتصالب الثانية R1-R3 أيضاً عن أعراض نسبة إشارة إلى الضوضاء منخفضة. ولئن كانت علاقات الترابط المتصالب في هذا المثال بعيدة عن المثالية، فإن بإمكان خوارزميات TDOA المتطورة أن تستخرج معلومات الموقع من بيانات بهذه الجودة.

الشكل 20-7.4

علاقات الترابط المتصالب المشوهة بفعل الضوضاء وتعدد المسيرات



Spectrum-4.7-20

إن مقدار ذروة الترابط المتصالب هو دالة لقدرة الإشارة الواردة عند كلا المرسلين. وسوية ضوضاء الترابط المتصالب هي دالة لسوية الضوضاء عند كلا المرسلين؛ ويتم حساب مدى ترابط الضوضاء من كل مستقبل وطول فترة دالة الترابط المتصالب.

وتخفيض الضوضاء واحد من منافع الأنظمة القائمة على TDOA. وهو يمكن من تحديد الموقع الجغرافي للإشارات الواردة ذات نسبة إشارة إلى ضوضاء سالبة عند واحد أو أكثر من مستقبلات النظام. وإذا لم يكن هنالك حد نظري لكمية تخفيض الضوضاء الذي يمكن بلوغه فهنالك حدود عملية، ومنها مثلاً فترة الإشارة.

وتفضي الحركة النسبية بين مصدر الإشارة ومستقبلات TDOA إلى زحزحة في التردد (ظاهرة دوبلر). وتكون زحزحة التردد مختلفة بالنسبة لكل مستقبل تبعاً للمعدل الذي يسير به مصدر الإشارة والمستقبل، كل نحو الآخر أم كل بعيداً عن الآخر. ومقدار زحزحة التردد دالة أيضاً لتردد الإشارة. ويجب أن تقوم أنظمة TDOA القائمة على الترابط بعملية التصحيح من أجل زحزحات التردد النسبية ما بين المستقبلات لكي تتمكن من تقدير تفاضل الزمن على وجه الدقة.

4.2.3.7.4 اعتبارات النظام

المستقبلات

ينبغي أن تتضمن المستقبلات عروض نطاقات ترددات متوسطة (IF) متكيفة وذلك للتمكين من عزل الإشارات طيفياً عن غيرها من الإشارات؛ ولتقليل قدرة الضوضاء إلى الحد الأدنى؛ ولتمكين الاستخدام الأعظمي لعرض نطاق الإشارة من أجل دقة تحديد الموقع جغرافياً.

ورغبة في تقليل متطلبات الشبكة إلى الحد الأدنى، ينبغي للمستقبلات التي تنقل الإشارات المعاينة إلى محرك حساب TDOA أن تستخدم معدل المعاينة الأدنى اللازم لتمثيل الإشارة دون تسمية مستعارة. وينبغي أن تكون دقة التوقيت مستقلة عن معدل العينات. وبعبارة أخرى، لا ينبغي لمعدل عينات بمقدار 20 kHz أن يعني ضمناً دقة توقيت قدرها 50 ميكروثانية (1/20 kHz).

وسعياً إلى المضي في تخفيض متطلبات الحوسبة، ينبغي أن تتجنب المستقبلات قدر الإمكان نقل الإشارات المعاينة في حال غياب الإشارات.

وينبغي تحديد دقة التوقيت المطلقة للمستقبل عند واصل هوائي المستقبل في ظل معظم ظروف التشغيل إن لم يكن كلها. ومن شأن ذلك أن يتجنب حدوث أخطاء توقيت جراء تبديل مراشيح الانتقاء المسبق الداخلي أو الموهنات أو تغييرات أخرى في عناصر معالجة الإشارة التماثلية والرقمية التي قد تؤثر خلاف ذلك على مجموع تأخر مجموعة المستقبل.

وينبغي أن تنطبق دقة توقيت المستقبل على جميع الترددات ضمن عروض نطاق التردد المتوسط (IF) في المستقبل. ومن شأن ذلك أن يضمن أن الإشارات التي تحتل نسبة هامة من عرض نطاق IF لا تتعرض لمزيد من التشوه جراء تشوه تأخر المجموعة. وأن يضمن كذلك أن يكون لإشارة ضيقة نسبة إلى IF دقة توقيت جيدة في أي تخالف تردد ضمن النطاق IF. ومرشاح IF الأخير في مستقبل ما هو عموماً أضيق مرشاح في المستقبل ومن المرجح أن أكبر مصدر لأخطاء التوقيت في مسير الإشارة الداخلية في المستقبلات.

وينبغي أن يتضمن نظام TDOA، أو كل مستقبل في نظام ما، إمكانية إضافة معاملات معايرة التأخر في كل موقع استقبال.

عدد المستقبلات

يحتاج تحديد الموقع الجغرافي القائم على TDOA إلى ثلاثة مستقبلات كحد أدنى. ومن شأن استخدام البيانات، عندما تتوفر من أكثر من ثلاثة مستقبلات، أن تحسن من دقة تحديد الموقع الجغرافي. ويمكن تحسين الدقة إلى حد كبير باستخدام أربعة أو خمسة مستقبلات مثلاً. ويمكن حساب عدد مزاوجات المستقبلات على أساس N (N-1)/2 حيث N هو عدد المستقبلات. وهنالك عشر مزاوجات باستخدام خمسة مستقبلات، ومن ثم عشرة تقديرات لتفاضل الزمن. وتتفاوت جودة البيانات من كل مزاوجة تفاوتاً كبيراً وهذا يتوقف إلى حد كبير على سوية الإشارة وتعدد المسيرات. وتستطيع الأنظمة التي تشتمل على خوارزميات TDOA متطورة أن تولف أو تهمل بذكاء بيانات من مزاوجات مستقبلات متعددة لتحسين دقة تحديد الموقع. وبعد حد معين تصبح إضافة المزيد من المستقبلات غير مجدية ذلك لأن عبء الحساب يزداد أسياً بينما يعود بتحسينات دنيا في الدقة.

مزيد من اعتبارات المستقبل والموقع

هنالك عدد من الاعتبارات الإضافية في تخطيط نظام TDOA. ومن بين العوامل التي ينبغي أن تؤخذ في الحسبان أثناء عملية تخطيط النظام:

- دقة تحديد الموقع المرغوبة؛
- درجة تعقيد النظام؛
- توفر الطاقة الكهربائية؛
- توفر التوصيل الشبكي، وأداء هذا التوصيل؛
- بيئة الانتشار؛
- بيئة الإشارة (الاستخدام، إعادة استخدام التردد)؛
- أنماط الإشارات التي يتعين تحديد موقعها (عروض النطاق، القدرة، المدة، التردد)؛
- المواقع المتاحة (الارتفاع، القرب من المرسلات)؛
- أداء الهوائي؛
- أداء المستقبل.

وانطلاقاً من هذه الاعتبارات، تتراوح المباعدة الموصى بها بين المستقبلات من مئات الأمتار إلى عشرات الكيلومترات.

المراجع الزمنية

تستخدم أنظمة تخالف زمن الوصول (TDOA) عموماً مستقبلات النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS) لإقامة مرجع زمن مشترك. ولتحقيق أفضل دقة ممكنة في التوقيت، يمكن تشغيل مستقبل GPS في أسلوب يكون الموقع فيه ثابتاً. ويمكن التشغيل في الأسلوب الثابت مستقبل GPS من حل مسألة الزمن بقدر أكبر من الدقة.

وينبغي ألا تعتمد المستقبلات على GPS أو أي خدمات توقيت أخرى قائمة على التردد الراديوي إذا كان نظام TDOA سوف يستخدم لتحديد مواقع إشارات تتداخل مع هذه الخدمات.

اعتبارات الشبكة

تتوقف اعتبارات الشبكة على ما يلي:

- طريقة TDOA؛
- عملية التنفيذ المحددة؛
- متطلبات المستعمل من حيث السرعة والموثوقية.

وتبلغ سعة التوصيل الشبكي ومتطلبات السرعة الحد الأقصى لأنظمة TDOA التي تعيد الإشارات المعاينة إلى محرك حساب TDOA. ويكون لأنظمة TDOA التي تحدد زمن الوصول في المستقبل متطلبات من عرض النطاق أكثر تواضعاً. وفي كلا نوعي الأنظمة من المرجح أن تكون تحويلات البيانات غير متناظرة إلى درجة عالية، حيث تتجاوز متطلبات الوصلة الصاعدة متطلبات الوصلة الهابطة في المستقبل. وتكون متطلبات عرض النطاق في الشبكة أكبر عموماً في محرك حساب TDOA إذ إن البيانات من جميع المستقبلات تتجمع في موقع واحد.

والكمون المنخفض مرغوب عموماً في جميع أنظمة TDOA. وقد يؤثر الكمون العالي سلباً على معدل تحديث الموقع. وقد يؤثر أيضاً على القدرة على جدولة قياسات TDOA.

وفي أنظمة تحديد الموقع الكبيرة، قد يحتاج الأمر إلى تكنولوجيات توصيل شبكي متعددة، من قبيل اللاسلكي وخط المشترك الرقمي (DSL) والمودم الكبلي والليف البصري. وقد تعاني التوصيلات الشبكية في هذه الأنظمة من تفاوتات من حيث الثقة والموثوقية بسبب الطقس والتداخل والعبء من مستعملي الشبكة الآخرين. وينبغي أن تكون أنظمة TDOA قادرة بسهولة ويسر على استيعاب الفوارق من حيث الأداء بين مختلف روابط الشبكة، وكذلك أحوال الانقطاع في واحد أو أكثر من المستقبلات. وعند استخدام التوصيل الشبكي اللاسلكي ينبغي اتخاذ جانب الحذر لتجنب التداخل بين مستقبل TDOA ومودم التردد الراديوي.

وعند استخدام الشبكات العمومية كجزء من نظام TDOA، ينبغي استخدام الشبكات الافتراضية الخاصة (VPN) أو أي تكنولوجيا توصيل شبكة مماثلة لضمان عمليات نقل البيانات ومنع الهجمات المباشرة على المستقبلات. وتتسم مستقبلات TDOA عموماً بقدر محدود من موارد الحوسبة وقد تتعرض بسهولة لعبء مفرط من حركة لا داعي لها أو مؤذية في الشبكة.

3.3.7.4 طرائق توجيه زاوية الوصول والتعادل

يمكن تحديد موقع المرسل باستخدام محددات اتجاه يمكن تغيير مواقعها، وذلك ينطوي على فائدة استخدام عدد أقل من محطات تحديد الاتجاه. وتُنصب محطات تحديد الاتجاه على متن مركبة تحتوي على جميع ما يلزم من التجهيزات ومصادر الطاقة والهوائيات. ومحطات تحديد الاتجاه المحمولة هي أصول قابلة لتغيير الموقع، وقد تتطلب الإعداد والنشر قبل أداء القياسات. وهذا النوع من الوحدات مصمم لكي يعمل باستخدام طريقتين أساسيتين: طريقة التعادل وطريقة التوجيه.

وتنطوي **طريقة التعادل** على الحصول على عدة قياسات مستقلة لخط الاتجاه الزاوي من مواقع ثابتة، على مسافة مناسبة من المرسل موضوع القياس. ومن المرجح أن تكون المسافة المناسبة دالة لدقة نظام تحديد الاتجاه أو التضاريس المحلية أو شروط أخرى. ويمكن القيام بقياسات متعاقبة، في مواقع مختلفة، بما يمكن أن يقتصر على محطة واحدة محمولة أو متنقلة وتجميع استخدام طرائق التثليث القياسية.

ومن مآخذ طريقة التعادل أن عمليات انتقاء مواقع القياس تتعرض للتداخل من المنشآت المحيطة، وأن عمليات القياس المتآونة غالباً ما تكون مستحيلة بسبب تعدد المواقع. وقد ينجم عن أزمنة إرسال الإشارة أو تنقلات المرسل أخطاء في تحديد الموقع. وينبغي في اختيار مبدأ تحديد الاتجاه لهذا النوع من القياسات أن تؤخذ في الحسبان إمكانية التعرض لآثار الموقع والترتيبات المادية للتطبيقات المتنقلة والمحمولة.

وتنجح **طريقة التوجيه** في استخدام التجهيزات المتنقلة ذات الحد الأدنى من التعقيد ومجرد درجة معتدلة من الدقة. وهي فعالة أيضاً في عمليات إزالة التداخل باستخدام مركبات مراقبة متنقلة.

وتستخدم هذه الاستراتيجية الثانية التجهيزات المتنقلة (سيارة أو طائرة عادة) التي يمكن نقلها بسرعة إلى جوار المرسل باتباع تقديرات متعاقبة لخط الاتجاه الزاوي الحقيقي. وبتناقص المسافة إلى المرسل، يتناقص أيضاً مقدار خطأ المسافة المطلق إلى أن يصل إلى قيمة يمكن التحكم بها حتى لو بقي الخطأ النسبي بالدرجات ثابتاً. ومن مزايا هذه الاستراتيجية التجهيزات الأقل تكلفة وتعقيداً وإمكانية الحصول عادة على نتائج كافية في وقت معقول، وكذلك قلة أهمية مشكلات خطأ الموقع لأن الوحدة متنقلة ومن الممكن "توسيط" مساهمات الخطأ على امتداد أساس طويل، وأخيراً إمكانية استخراج معلومات تحديد الاتجاه من تشكيل نظام توجيه دون سوية السمع محرض محلياً لا يتسبب في تعطيل المعلومات التي يجري إرسالها.

وهنالك أنظمة توجيه متاحة على نطاق واسع تعمل إما في تشكيل "توجيه" دون القدرة على سماع مكونات التشكيل العادية بوضوح، أو في تشكيل "سمعي" عندما تُقطع دارة التوجيه. وهذا القيد متأصل في تصميم التجهيزات التي تتوضع فوق التشكيل المحلي المسموع بشكل متناسب مع اتجاه وصول الإشارة. ويكفي مجرد نظام توجيه واحد لتحديد الاتجاه بغية تحديد مصدر الإشارة، مع أن الاستخدام المتآون لأنظمة أخرى قيد يسرع من عملية تحديد موقع المرسل. ومن مآخذ ذلك التضحية بمقدرة التعادل الكامنة وضرورة إجراء إرسالات متعددة عبر فترة معقولة من الزمن من أجل تحديد موقع المرسل على نحو كاف.

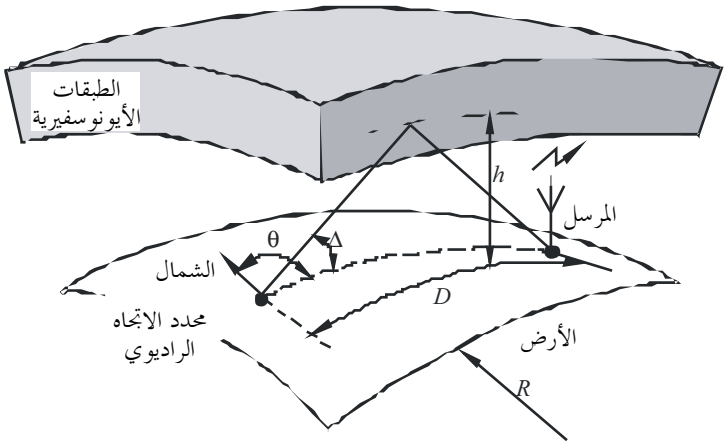
ومحددات الاتجاه الأوتوماتية الحديثة صغيرة بما فيه الكفاية بحيث يمكن تنصيبها على متن مركبة.

4.3.7.4 طريقة تحديد موقع وحيد بشأن إرسالات الترددات الديكامترية (HF)

يسمح نظام موقع المحطة الواحدة (SSL) بتحديد الموقع الجغرافي لمرسل وذلك بواسطة محدد اتجاهات راديوي وحيد (انظر الشكل 21-7.4). وتمكن معالجة البيانات التي يوفرها تحديد الاتجاهات الراديوي (السمت، الارتفاع، الموقع) المشفوع بالقياسات أو التنبؤات الأيونوسفيرية من تقدير مسافة المرسل من محدد الاتجاه الراديوي. وهكذا فإن مفهوم نظام SSL يسمح بأداء مهمة تحديد الموقع عندما يتعذر، لأسباب جغرافية أو متعلقة بالتوقيت أو الإتاحة، القيام بتركيب نظام تثليث كامل لتحديد موقع محدد الاتجاه الراديوي. ويمكن اعتبار نظام SSL أيضاً كنظام مكمل لنظام قائم لتحديد الموقع.

الشكل 21-7.4

مبدأ نظام SSL



θ: السمت الجغرافي
Δ: زاوية الارتفاع
D: المسافة
h: ارتفاع الانعكاس الافتراضي
R: نصف قطر الأرض

Spectrum-4.7-21

وتحدد محددات الاتجاه الراديوي SSL السمت وزاوية الارتفاع للإشارة الواردة بواسطة صفيف الهوائيات. وقد يكون الانتشار بواسطة الموجة الأرضية والموجة الأيونوسفيرية على السواء من خلال مسيرات متعددة تقابل زوايا ارتفاع مختلفة. ونتيجة لذلك، يوفر محدد الاتجاه SSL زاوية ارتفاع تشهد بتفاوتات الزمن بحكم التداخل متعدد المسيرات. وتستخدم خوارزميات المعالجة لتحديد قيم الارتفاع ذات الصلة بالمسيرات المتعددة المذكورة.

وتسمح هذه المعالجة، مشفوعة بالقياسات أو التنبؤات الأيونوسفيرية، بتقدير مسافة المرسل من محدد الاتجاه الراديوي SSL بمسافات تصل إلى 2 500 كيلومتر (علماً بأن تقديرات مسافات المرسل التي تتجاوز 1 000 كيلومتر أو ما يقرب من ذلك تخضع لقدر هام من الخطأ بحكم الارتفاع المنخفض لزاوية الوصول وهندسة الحالة قيد النظر). ويسمح توليف بيانات السمت والمسافة وموقع محدد الاتجاه الراديوي بتقدير الإحداثيات الجغرافية لمرسل الترددات الديكامترية (HF).

والأساس الذي يقوم عليه نهج SSL هو ما يسمى 'الطريقة التقليدية لتقدير المدى'. وتفترض هذه الطريقة إمكانية نمذجة انتشار الترددات HF الراهن بافتراض أن الانعكاس يحدث من مجرد مرآة أفقية بسيطة عند الارتفاع المناسب. ويُشتق علو هذه المرآة من مخطط أيوني ذي ورود رأسي، بوصفه العلو الافتراضي عند تردد يدعى تردد الورود المكافئ. وتقوم الطريقة التقليدية على ثلاث علاقات أساسية بسيطة، وهي قانون Secant ونظرية Briet وTuve ونظرية Martyn للمسير المكافئ، مشفوعة بحدود تصحيح لتأخذ في الحسبان تحدب الأرض والأيونوسفير.

تقنية تحديد موقع المحطة الواحدة

يقوم مبدأ موقع المحطة الواحدة (SSL) على افتراض أن الإشارة تنعكس عن الأيونوسفير مرة واحدة فقط (قفزة وحيدة). ويؤدي الانتشار المتعدد القفزات إلى حساب المسافات التي هي أقصر من المسافات الحقيقية. وكذلك قد تكون قيم العلو الأيونوسفيري غامضة. وهكذا قد يحدث الانعكاس من طبقات ذات ارتفاعات مختلفة. وقد ينتج عن ذلك أن نظام SSL يبين مختلف المسافات عن الأهداف.

1.4.3.7.4 تقدير ارتفاع الأيونوسفير

تشمل أنظمة SSL واحدة أو أكثر من الطرائق التالية لتحديد ارتفاع الأيونوسفير:

- عملية السبر الأيونوسفيري للحصول على مواصفة الأيونوسفير في الوقت الفعلي. وتعرف التجهيزات التي تؤدي هذه العملية باسم مسبار أيوني، أو مسبار. وهذا المسبار قادر على تحديد خصائص الأيونوسفير في جميع الترددات وبالتالي يوصّف الأيونوسفير في جوار المسبار. ويتطلب المسبار مرسلاً وهوائياً مكرساً وبرمجية تحليل؛
- المعايرة بمساعدة مرسل معروف الموقع (انظر [Touré, 2004]). وتتطلب هذه الطريقة قاعدة بيانات محدّثة بمواقع المرسلات. وهي عموماً أقل دقة من نتائج SSL بناء على المسابير الأيونوسفيرية لأن المعايرة في مرسل واحد أو بضعة مرسلات إفرادية لن توصّف كلياً الأيونوسفير في جميع الترددات كما يفعل المسبار؛
- قاعدة بيانات تشتمل على ملفات التنبؤ الأيونوسفيري. يوفر بعض المنظمات العلمية الوطنية نتائج دقيقة من حسابات معقدة تشمل النشاط الشمسي وطبقة الانتشار في الأيونوسفير، وما إلى ذلك. ومع ذلك فإن التنبؤات هي مجرد متوسط ولا تراعي أي أثر انتشار محلي أو مؤقت أو غير ذلك يمكن كشفه بالقياسات في الوقت الفعلي. وهذه التنبؤات مفيدة عندما لا تتوفر المعلومات في الوقت الفعلي، بما في ذلك حالات الانتشار عندما تكون نقاط الانعكاس بعيدة عن المسبار.

2.4.3.7.4 برمجية تحديد الموقع

توفر برمجية تحديد الاتجاه الراديوي نتائج القياسات الأولية التالية:

- السمت (بالدرجات)؛
- الارتفاع (بالدرجات)؛
- عدد القياسات المدمجة في المتوسط؛
- سوية الترددات HF عند دخل المستقبل (dBm)؛
- أخطاء المسافة الجانبية والطولية.

ويمكن عرض كل بنود البيانات هذه على شاشة المشغل.

3.4.3.7.4 برمجية توليد التنبؤات

سعياً إلى التمكن من تحديد موقع مرسل ما، قد تشتمل برمجية تحديد الموقع على ملفات تنبؤات أيونوسفيرية إضافة إلى المخططات الأيونية المقيسة أو عوضاً عنها. وتمكن برمجية التنبؤ من توليد ملفات تنبؤات أيونوسفيرية من أجل موقع جغرافي مختار. وتتم عملية النمذجة بالامتثال للتوصيتين ITU-R P.1239 وITU-R P.1240.

تتحدد مسيرات الانتشار الأيونوسفيري بواسطة برمجية لرسم نصف القطر بناء على معرفة توزع الكثافة الإلكترونية الرأسي. ولما كان الأيونوسفير وسطاً متناحياً، هنالك موجتان نموذجيتان مرتبطتان بزاوية من البيانات: الموجة الاعتيادية (O) والموجة الاستثنائية (X). وعندئذ من الضروري توليد التنبؤات المتصلة بالأساليب المستخدمة في أسلوب موقع المحطة الواحدة (SSL). ويوفر ملف التنبؤ، بالنسبة إلى وقت وتاريخ وتردد ومكان معين، كل المسافات المقابلة للارتفاعات المطلوبة (مخططات قضبانية).

4.4.3.7.4 حساب مدى تحديد الموقع

يمكن استخدام برمجية تحديد الموقع لإدخال المعلمات التالية:

- نتائج تحديد الاتجاه الأولية؛
- الوقت والتاريخ الراهن؛
- التردد العامل؛
- القياسات الأيونوسفيرية ذات الصلة أو ملف التنبؤ.

وفيما يلي الخطوات المختلفة لعملية حساب المسافات من أجل مرسل ترددات ديكامترية (HF):

أ) مخططات الارتفاع القضبانية.

ب) ترشيح مخططات الارتفاع القضبانية.

ج) تحديد الرزم.

د) معالجة الارتفاعات "المنخفضة".

هـ) الحصول على قياسات أيونوسفيرية أو توليد التنبؤات.

و) تحديد المسافات الرئيسية الأربع.

ز) تحديد المسافة النهائية.

تستخرج من المسافات الأربع مسافة نهائية بإعادة التقطيع (انظر الشكل 7.4-22).

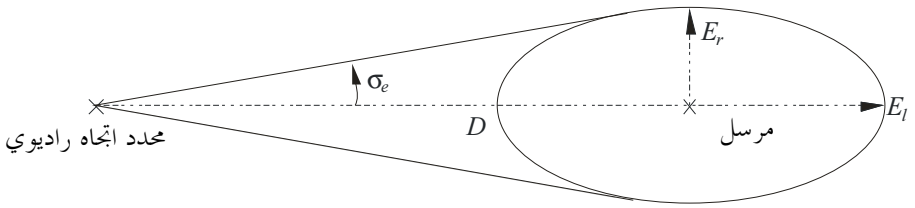
ح) حساب الإحداثيات الجغرافية.

ط) إدماج المواقع الأولية.

ي) نتائج تحديد الموقع.

الشكل 7.4-22

تحديد المسافة



Spectrum-4.7-22

ولكل إرسال، يمكن أن يعطي حساب تحديد الموقع النتائج التالية:

- متوسط السمت (بالدرجات)؛
- عدد القياسات الأولية؛
- متوسط سوية الترددات HF؛
- خطأ نصف قطري؛
- خطأ طولي؛
- الإحداثيات الجغرافية للمرسل.

ويمكن الوصول إلى النتائج بواسطة العرض البياني والطابعة.

5.4.3.7.4 الصلاحية

تتوقف صلاحية طريقة موقع المحطة الواحدة (SSL) التقليدية على صلاحية عدة افتراضات، وهي:

1 إمكانية إهمال المجال المغنطيسي للأرض في بعض الأحيان؛

2 الارتفاع الافتراضي المأخوذ من المخطط الأيوني المحلي هو نفس الارتفاع الذي يكون في نقطة انتصاف الدارة؛

3 المرآة الأيونوسفيرية المكافئة أفقية.

وفي حالة الدارات الأطول، يبدأ الافتراض 2) بالفشل ويغدو من الضروري في نقطة ما التحول إلى إجراء تعقب الشعاع باستخدام نموذج محدّث للأيونوسفير ليكون متسقاً مع المخطط الأيوني المحلي. وهذه النماذج موجود وهي في حالة تحسين مستمرة على يد أخصائيي الفيزياء الأيونوسفيرية في أنحاء العالم، بما في ذلك مراعاة آثار المجال المغنطيسي للأرض في الافتراض 1). وما فتئت قدرة الحوسبة وسرعتها تعملان على تحسين تنفيذ إجراءات تعقب الشعاع متعدد الأبعاد بفضل نماذج أيونوسفيرية معقدة. ومن المفيد الاستعانة ببرامج التنبؤ بانتشار الترددات الديكامترية (HF) القائمة (من قبيل Ioncap, *et al*) لأغراض التخطيط ولكنها محدودة الفائدة في تطبيقات SSL لأنها تقوم على متوسطات 12 شهراً ولا تأخذ في الحسبان على وجه الدقة حالة الوقت الفعلي في الأيونوسفير.

ويؤدي الافتراض 3) بأن المرآة المكافئة في وضع أفقي إلى أكبر الأخطاء في الدارات القصيرة. ويتوقف هذا الخطأ عكساً على جيب تمام زاوية الارتفاع. وعلى الصعيد العملي، يمكن إمالة السطح العاكس الأيونوسفيري بما يصل إلى 4° أو 5° من المستوي الأفقي بحكم تدرجات واسعة النطاق (عند شروق الشمس مثلاً أو في جوار الشذوذ الاستوائي) وتدرجات ضيقة النطاق (أو "إمالات") مرتبطة باضطرابات أيونوسفيرية راحلة (ما يسمى "TID"). وتبعاً لذلك فإن من المستصوب، بالنسبة لعمل SSL في دارات قصيرة، أن يكون المسبار الأيوني قادراً أيضاً على قياس الإمالات الأيونوسفيرية بحيث يمكن أخذها في الحسبان. ومع ذلك، هنالك بعض الشواهد على أن قياس الإمالات لا يحسن من نتائج خط الاتجاه الزاوي [BRAMLEY, 1953].

6.4.3.7.4 زاوية ارتفاع موقع المحطة الواحدة (SSL)

باستثناء أخذ المجال المغنطيسي للأرض في الحسبان لدى تحديد قيمة التردد الرأسي المكافئ، فإن الافتراضات التي تحدد صلاحية طريقة SSL التقليدية تبدأ في الفشل كدالة لمدى مرسل الترددات HF، وذلك بالدرجة الأولى في أقصى طرفي المدى القصير والمدى الطويل. وبناء على فهم سبب بدء فشل افتراضات الطريقة التقليدية، تم تطوير طرائق SSL من أجل القيام بتقديرات مدى صالحة في هذين الطرفين المتطرفين. ولمناقشة هذه الطرائق يمكن تقسيم مدى الطيف إلى ثلاث فئات، المدى القصير والمدى المتوسط والمدى الطويل.

5.3.7.4 مقارنة طرائق تحديد الموقع

الجدول 7.4-7

مقارنة طرائق تحديد الموقع

البند	توجيه/تعادل	تثليث	تحديد موقع TDOA	SSL (HF فقط)
العدد المطلوب من المحطات	1 مع وظيفيات توجيه أو تعادل	2 لتحديد موقع AOA 3 للمواقع غير الغامضة	على الأقل 3 محطات مطلوبة ومحطات إضافية تساعد في حل الغموض	1
مواد مطلوبة	هوائي DF على متن مركبة لا شبكة مطلوبة	محدد اتجاه واحد لكل موقع شبكة معدل بيانات منخفض لتبادل الإحداثيات ونتائج AOA	شبكة بيانات لتبادل إشارات رقمية متطلبات منخفضة للهوائي والمستقبلات مزامنة مشتركة (وهي عادة أنظمة GPS)	محطة واحدة تقيس الارتفاع والسمت، وطريقة لتوصيف الأيونوسفير مثل مسبار أو تنبؤ أو معايرة أيونوسفيرية
يتوقف الأداء على هندسة نظام المرسلات/المواقع	لا ينطبق	الدقة أفضل في مركز المثلث لدى استخدام 3 DF خارج المثلث، تتناقص دقة الموقع تدريجياً	أفضل دقة ضمن المنطقة التي تحدها مواقع المستقبلات خارج المثلث، تتناقص الدقة إلى حوالي خط اتجاه زاوي واحد	SSL غير غامضة لإشارة قفزة واحدة فقط
يتوقف الأداء على عرض نطاق الإشارة الواردة	لا يتطلب إشارات دائمة أو طويلة الأمد	تبعاً للطريقة المستخدمة	قد لا يكون TDOA مناسباً لكل عرض نطاق ضيق أو لإشارات غير مشكلة	لا
مكرس لمحطات متنقلة أو ثابتة	متنقلة فقط	ثابتة ومتنقلة	ثابتة ومتنقلة؛ المتنقلة قد لا تكون عملية تبعاً لمتطلبات وصلة البيانات	ثابتة
قادرة على حل إشارات تعدد المسيرات/المصادر	ليس عموماً، لأنها غالباً ما تستخدم طرائق تقليدية مثل مقاييس التداخل	انظر الجدول 7.4-5 بخصوص المصادر المتماسكة جزئياً	نعم باستخدام تقنيات معالجة TDOA المتقدمة	انظر الجدول 7.4-5 بخصوص المصادر المتماسكة جزئياً

6.3.7.4 الطرائق المولفة لتحديد الموقع

ليس هنالك، بصفة عامة، طريقة واحدة، كتلك القائمة على قياس تفاضل زمن الوصول (TDOA) وزاوية الوصول (AOA)، من شأنها أن توفر تقديراً دقيقاً للموقع في جميع الظروف. ولكل طريقة ما تنفرد به من محاسن ومآخذ من حيث دقة تحديد الموقع.

وتوفر طرائق TDOAعموماً دقة أفضل في تحديد الموقع للإشارات عريضة النطاق مما توفره طريقة تحديد الموقع القائمة على زاوية الوصول (AOA).

ومع ذلك، تتطلب الطرائق القائمة على TDOA عدداً أكبر نسبياً من المحطات مما تتطلبه الطرائق القائمة على AOA للتمكن من تحديد موقع المرسلات. إذ تتطلب الطرائق القائمة على TDOA مثلاً ما لا يقل عن ثلاث محطات موزعة على نحو ملائم لتحديد الموقع.

أما طرائق AOA فتتطلب محطتين من أجل تحديد الموقع. ومع ذلك فإن خطأً صغيراً في قياسات الزوايا يؤدي إلى خطأ كبير في تحديد الموقع إذا كانت المحطة بعيدة جداً عن المرسل.

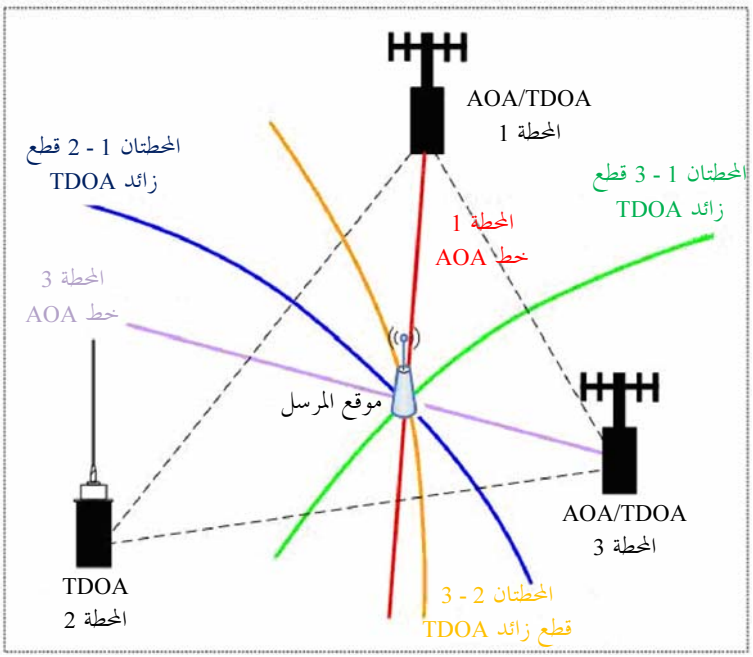
ولذلك، ولتحقيق درجة أفضل من الدقة، ينبغي النظر في توليف مخططين أو أكثر من مخططات تحديد الموقع لكي يكمل كل منها الآخر.

وتجري عملية تحديد الموقع بمعالجة المعلومات المتاحة من كل محطة، بما في ذلك قياسات AOA وقياسات TDOA ومعلومات موقع المحطة.

ومن شأن توليف طريقة AOA مع طريقة TDOA أن يساعد في إزالة غموض الموقع المرتبط بطريقة TDOA لوحدها وأن يعزز دقة تحديد الموقع. وهذا موضح في الشكل 23-7.4.

الشكل 23-7.4

تحسين النتائج بناء على توليف تقنيات AOA وTDOA



Spectrum-4.7-23

المراجـــع

BARFIELD, R. H. [1947] Statistical plotting methods for radio direction-finding. J. Inst. Elec. Engrs., Vol. 94, Part IIIA, p. 15, 673.

BIENVENU G. , KOPP L. [1983] – "Optimality of High Resolution Array Processing using the Eigenvalue Approach" IEEE trans – ASSP vol ASSP-31 n°5, Act. 1983.

BRAMLEY, E. N. [1953] Direction-finding studies of large-scale ionospheric irregularities, *Proceedings of the Royal Society*, London, 1953.

BULL, J. R. [1990] A Compact Antenna Array for Direction-finding in the HF Band. Proc. of the Tactical Communications Conference, Vol. 1, Ft. Wayne, Indiana, United States of America 24-26 April 1990. IEEE Cat. No. 90TH0258-4.

DAVIES, K. [1990] *Ionospheric radio.* Peter Peregrinus Ltd., London, United Kingdom.

DICK, M. I. and BRADLEY, P. A. [November, 1992] The R.A.L. Multi-Quasiparabolic Model Ionosphere. *Electron. Lett.,* Vol. 28 No. 23, p. 2123-2125.

E. WALACH [1984] – "on Super-Resolution Effects in Maximum Likelyhood Adaptive Antenna Arrays" IEEE-trans-AP vol AP-32 n°3 march 1984.

GETHING, P. J. [1991] *Radio Direction-finding and Superresolution,* Peter Peregrinus Ltd. on behalf of the Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom.

ITU HANDBOOK [2005] – Computer-Aided Techniques for Spectrum Management (CAT), Geneva.

HAYKIN, S., REILLY, J. P., KEZYS, V. and VERTATSHITSCH, E. [1992] Some aspects of array signal processing. *Proc. IEE,* Part F, Vol. 139, No. 1, p. 1-26.

JEFFREY, Z. R., MIDDLETON, P. T. and WINKLER, C. [1988] Accurate measurements of the total angle of arrival of HF skywaves. AGARD Symp. Proc., Ionospheric structure and variability on a global scale and interaction with atmosphere, magnetosphere. Munich, Germany.

KOGAN V.V., PAVLIOUK A.P. [2004a] – Methodology of spectrum monitoring networks planning – Proceedings of the Seventeenth International Wroclaw Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility, EMC-2004. Wroclaw, Poland.

KOGAN V.V., PAVLIOUK A.P. [2004b] – Analysis of location coverage templates in spectrum monitoring – Proceedings of the Seventeenth International Wroclaw Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility, EMC-2004. Wroclaw, Poland.

KRUTOVA O.E., KOGAN V.V., PAVLIOUK A.P. [2005] – Advanced software for planning and optimization of spectrum monitoring networks – Proceedings of the Sixth International Symposium on Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology, Saint-Petersburg, Russia.

KRUTOVA O.E., LUTHER W., PAVLYUK A.P. [2006] – Location characteristics of the USA HF international spectrum monitoring network using new software – Proceedings of the Eighteenth International Wroclaw Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility, EMC-2006. Wroclaw, Poland.

MCNAMARA, L. F. [1988a] Ionospheric limitations to the accuracy of SSL estimates of HF transmitter positions. AGARD Symp. Proc., Ionospheric structure and variability on a global scale and interaction with atmosphere, magnetosphere. Munich, Germany.

MCNAMARA, L. F. [1988b] Ionospheric modelling in support of single station location of long-range transmitters. Accepted for publication by *J. Atmos. Terr. Physics*.

MCNAMARA, L. F. [June 1992] Procedures for Determining the Location of an HF Radio Transmitter. A paper presented at the AGARD Symposium on Radio Location Techniques, London, United Kingdom.

MCNAMARA, L. F. [1992] *The Ionosphere Communications, Surveillance, and Direction-finding*. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, United States of America.

MILL, D. S. [1990] Multiple signal DF using superresolution: a practical assessment. *Electron. and Comm. Eng. J.*

MUGGLETON [1975] A method for predicting foE at a determined moment and in any place. *J. des télécommunications.* Vol. 42.

NURMATOV B.N., TITOV A.V. [2005] – Influence of frequency, direction finder parameters and actual terrain topography on features of Kogan-Pavliouk location templates – Proceedings of the Sixth International Symposium on Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology, Saint-Petersburg, Russia.

PRIME-URSI [May 1992] Workshop on Ionospheric Modelling and Mapping. Maquetes, Spain.

RICE, R. W. *et al.* [1981] Remote control of the FCC long range HF direction-finders. Georgia Institute of Technology, United States of America.

ROSS, W. [1947] The estimation of the probable accuracy of high-frequency radio direction-finding bearings. *J. Inst. Elec. Engrs.,* Vol. 94, Part IIIA, **15**, 722.

SCHMIDT, R. D. [1986] Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation. *IEEE Trans. on Ant. Prop.,* Vol. AP-34, No. 3, p. 276-280.

S.O. PILLAY & B.H JOHNSON [1989] – "Performance Analysis of MUSIC type High Resolution Estimators for Direction Finding in Correlated and Coherent Sources". IEEE trans ASSP vol 37 n°8, Aug 1989.

TOURÉ H.I. [2004] Possibilities of known emission sources use for correcting data on the current ionospheric characteristics. Elektrosvyaz, No 9. Moscow, Russia.

W.F. GABRIEL [1980] – "Spectral Analysis and Adaptative Array Super-Resolution techniques" Proc IEEE vol 68 n°6, pp 6546-666 June 1980.

ZATMAN, M. A., STRANGEWAYS, H. J. and WARRINGTON, E. M. [1993] Resolution of multi-moded HF transmissions using the DOSE algorithm. IEE conference Publication 370, 8th Conference, Antennas and Propagation, p. 415-418.

ZATMAN, M. A. and STRANGEWAYS, H. J. [1993] Super-resolution direction-finding algorithms for the characterisation of multi-moded signals. Proc. of 53rd AGARD Electromagnetic wave propagation panel (EPP), Rotterdam, The Netherlands.

ZATMAN, M. A. and STRANGEWAYS, H. J. [1994] Bearing measurements on multi-moded signals using single snapshot data. 1994 International Symposium Digest, *Ant. and Prop.*, Vol. 3, p. 934-937, IEEE Catalog No. 94CH3466-0.

توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

ملاحظة – في كل حالة يشجع استخدام أحدث طبعة من التوصية.

التوصية ITU-R M.428 – تحديد الاتجاه و/أو التوجيه في نطاق التردد 2 MHz على متن السفن.

التوصية ITU-R M.489 – الخصائص التقنية لتجهيزات المهاتفة الراديوية التي تشغلها الخدمة المتنقلة البحرية على الموجات المترية (VHF) مع مباعدة تبلغ 25 kHz فيما بين القنوات.

التوصية ITU-R M.589 – الخصائص التقنية لطرائق إرسال البيانات والحماية من التداخل لخدمات الملاحة الراديوية في نطاقات التردد ما بين 70 و130 kHz.

التوصية ITU-R P.1239 – الخصائص الأيونوسفيرية المرجعية لقطاع الاتصالات الراديوية.

التوصية ITU-R P.1240 – طرائق قطاع الاتصالات الراديوية للتنبؤ بأقصى تردد مرجعي قابل للاستعمال وأقصى تردد تشغيلي قابل للاستعمال ومسير الأشعة.

التوصية ITU-R SM.854 – معرفة الاتجاهات وتحديد المواقع بمحطات المراقبة.

التوصية ITU-R TF.767 – استخدام الأنظمة الساتلية للملاحة العالمية من أجل تحويل الوقت عالي الدقة.

التقرير ITU-R SM.2125 – معلمات وإجراءات القياس في مستقبلات ومحطات الترددات الديكامترية/المترية/الديسيمترية (HF/VHF/UHF).

8.4 تحليل الإشارات وتعرّف هوية المرسل

1.8.4 مقدمة

تشهد المراقبة الراديوية في الوقت الحاضر تغيراً حيث إن الإشارات لا تميل إلى أن تكون أكثر رقمية فحسب، بل تُستغل "القدرة المتبقية" من الإشارات الأكثر تقليدية لإرسال معلومات إضافية. وفضلاً عن ذلك، يمكن استخدام التطورات والتقنيات الجديدة لإجراء مهام المراقبة التقليدية بكفاءة أكبر. ولهذا السبب، أصبح تحليل الإشارات أكثر أهمية كأداة مراقبة وهو مفيد جداً بصفة خاصة لأغراض تعرّف هوية المرسل. وتحليل الإشارات هو فن استخلاص أي معلومات ممكنة من الإشارة المرسلة. ويمكن أن يؤدي ذلك إلى توصيف إشارة مرسلة (التردد والتشكيل وما إلى ذلك) و/أو توصيف المرسل (الموقع) و/أو استخلاص المعلومات المرسلة.

وتتعلق المناقشة الواردة أدناه بإشارات النطاق الضيق مثل الراديو المتنقل الخاص (PMR) التماثلي أو نظام PACTOR وكذلك إشارات النطاق العريض مثل النظام العالمي للاتصالات المتنقلة (UMTS) أو الإشارات النبضية أو الإشارة المشّكلة لتعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFMD).

ومن المفهوم أن تحليل الإشارات مهمة معقدة تشمل مراقبة الطيف ويتعين أن يقوم بها خبراء مراقبة مدربون على ذلك تحديداً. ويحتاج الخبراء إلى أجهزة وبرمجيات متخصصة قد يتعين أن يقوموا بتجميعها بأنفسهم إذا لم تكن هناك معدات وبرمجيات متاحة تجارياً لمهمة قياس محددة.

1.1.8.4 تعرف الهوية في إطار لوائح مراقبة الطيف

تشديداً على الحاجة إلى تعرف الهوية بموجب اللوائح، تشير المادة 19 من لوائح الراديو (تعرف هوية المحطات) والرقم 1.19 إلى أنه: "يجب أن يكون تعرف جميع الإرسالات ممكناً عن طريق إشارات تعرف الهوية أو بوسائل أخرى".

ويمكن تحقيق ذلك عن طريق استخدام تعرّف هوية مباشر مثل الرمز الدليلي للنداء أو اسم المحطة أو وكالة التشغيل أو هوية الخدمة المتنقلة البحرية أو علامة التسجيل الرسمية أو رقم تعرف الرحلة أو رقم تحديد النداء الانتقائي أو أي خاصية أخرى مميزة بوضوح ومعروفة دولياً. وتتمثل طريقة أخرى في تحليل خصائص إشارة ما أو بث ما واستنتاج تعرف الهوية.

ومع ذلك، يسلم الرقم 1.1.19 من لوائح الراديو بأن إرسال إشارات تعرف الهوية لأنظمة راديوية معينة (مثل الاستدلال الراديوي وأنظمة الترحيل الراديوي والمحطات الفضائية) ليس ممكناً دائماً. ويمكن استخدام صنف البث كوسيلة لتعرف الهوية على أي حال. فعلى سبيل المثال، ترد في الملحق 1 عينة من الشفرات التي وضعت للخدمة المتنقلة البحرية والخدمة المتنقلة البحرية الساتلية. ويرد في الملحق 2 إمكانية تمديد الشفرة بإضافة سمات شفرة إضافية من أجل توسيع احتمالات التصنيف وتعرف الهوية.

2.1.8.4 الحاجة إلى تعرف الهوية لأنشطة مراقبة الطيف

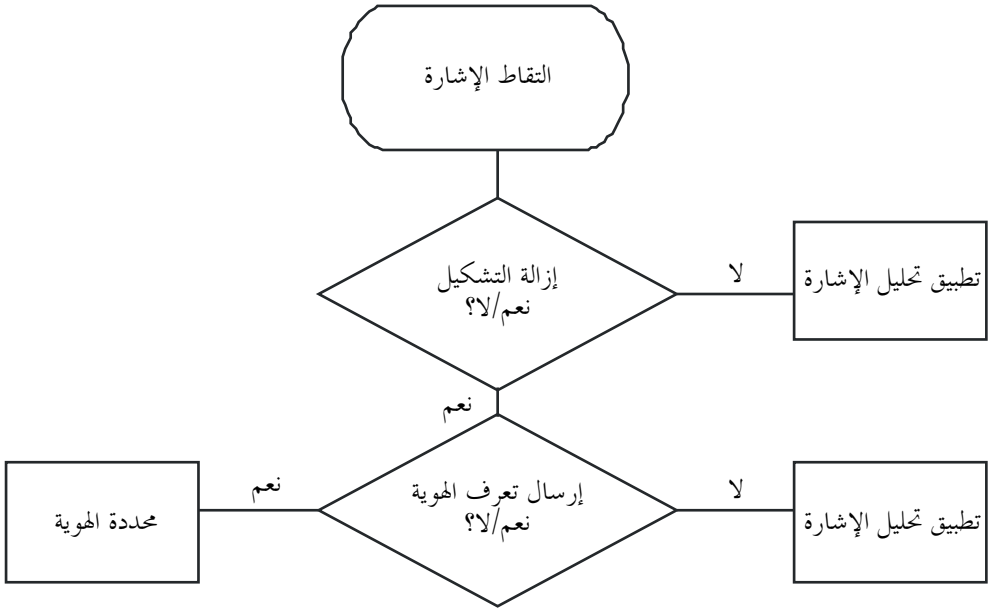
قد يكون تعرف الهوية مطلوباً في إطار إدارة ما لمراقبة الطيف من أجل أداء مهام مثل تلك الواردة أدناه:

- تعرّف هوية مستخدمي الطيف؛
- تحديد استخدام الطيف؛
- الامتثال لشروط الترخيص؛
- كفاءة استخدام الطيف؛
- الكشف عن الاستخدام غير المشروع وتعرف هويته؛
- الكشف عن مصادر التداخل وتعرف هويتها؛
- تحديد مصدر الإشارات.

ويبين الشكل 8.4-1 العملية الأساسية المتبعة لتعرّف هوية المرسل بواسطة إشارته.

الشكل 8.4-1

المهام الأساسية لتعرّف هوية المرسل



Spectrum-4.8-01

3.1.8.4 تطبيقات تحليل الإشارة في مراقبة الطيف

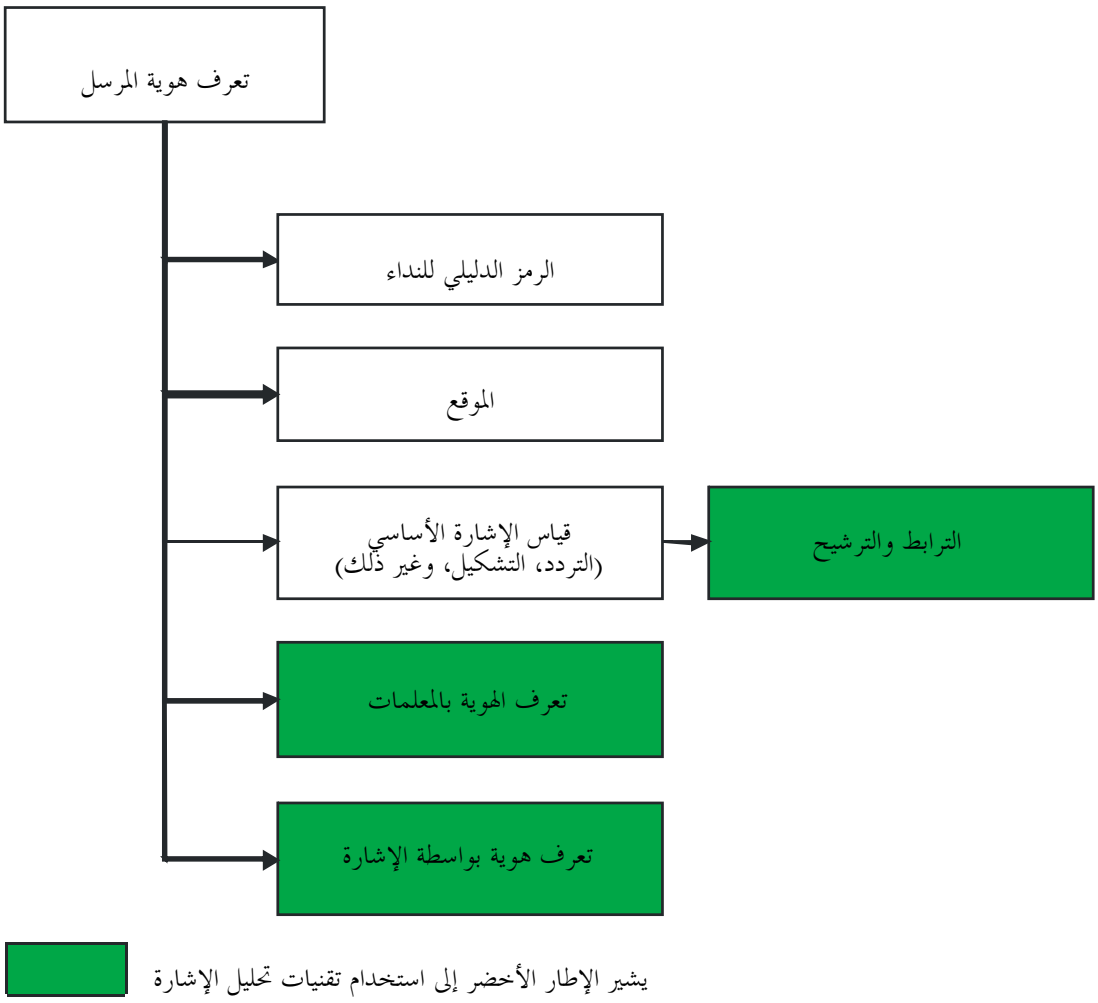
كثيراً ما يستخدم تحليل الإشارة في المسائل المتعلقة بمراقبة الطيف لتعرّف هوية الإشارات وهو تحليل مطلوب بصفة خاصة عندما لا تكون الأدوات الأساسية لمراقبة الطيف كافية لتعرّف هوية الإشارة على النحو المبين في الشكل 8.4-1. ويتألف تحليل الإشارة من الكشف وتحليل الطيف والتعرف على التشكيل وفك التشكيل التماثلي والرقمي والتعرف على الشفرة وفك تشفير القناة. ويشكل تحليل الترابط وعلم التشفير وتقنية إخفاء المعلومات إلى حد ما جزءاً من الموضوع. ويُناقش عدد من هذه التقنيات في أجزاء أخرى من هذا الكتيب. وتبعاً للقوانين الوطنية يمكن أن تكون بعض هذه التقنيات محظورة.

وتحليل الإشارة ليس بالضرورة مهمة معقدة ويمكن اعتبار الاستماع إلى المحطات الراديوية بهدف تعرف الهوية بمثابة مهمة لتحليل الإشارة.

وعلى الرغم من أنه يمكن القيام بهذه المهام يدوياً، فإنه يمكن أتمتة معظمها لتحسين عملية المعالجة وخاصة من حيث زمن المعالجة مثلاً.

وهناك عدة طرائق متاحة من أجل إنجاز عملية تعرّف هوية مرسل ما أو إشارة ما. ويرد موجز للطرائق الرئيسية في الشكل 8.4-2.

الشكل 2-8.4
تعرف هوية المرسل



Spectrum-4.8-02

2.8.4 تعرف الهوية باستخدام الرمز الدليلي للنداء أو القياسات الأساسية للإشارة

1.2.8.4 طريقة التعرف على معرف الهوية أو التعرف على الهوية من خلال التعرف على الرمز الدليلي للنداء

تسمح هذه التقنيات بتعرّف هوية بث ما ومرسل ما بقياس معلمة واحدة.

تركيب الرموز الدليلية للنداء

يُستمد تركيب الرموز الدليلية للنداء من سلسلة دولية موزعة على البلدان طبقاً للجدول الوارد في التذييل 42 من لوائح الراديو. ويمكن الاطلاع على معلومات إضافية تتعلق بتركيب الرموز الدليلية للنداء في الخدمات المختلفة في القسم III من المادة 19 من لوائح الراديو وكذلك في القرار (Rev.WRC-97) 13.

ويرد مثال لهذه الإرسالات في الملحق 1.

أنظمة الإبراق الراديوي

يمكن أن تتألف الإرسالات من قناة واحدة أو نظام تعدد إرسال بتقسيم الزمن أو نظام بتقسيم التردد أو توليفة من هذه الأنظمة. وفي أنظمة القناة الواحدة، يمكن إرسال الرمز الدليلي للنداء بشفرة مورس أو بشفرة طابعة بُعدية بنفس نمط التشكيل

المستخدم للحركة في هذه القناة بالتحديد. ويستخدم تشذير البتات في كثير من الأحيان (على سبيل المثال في نظام TORG-10 أو FEC-100). وفي أنظمة تعدد الإرسال بتقسيم الزمن، حيث تختلف الحركة التي تبثها القنوات، يجري ترتيب في بعض الأحيان لاستخدام قناة واحدة من قبل مهندسي الدارة أنفسهم. وفي معظم الحالات تكون هذه القناة هي القناة الوحيدة المستخدمة لأغراض تعرف الهوية، لا سيما إذا وضعت ترتيبات على قنوات الحركة لتأمين الاتصالات باستخدام مخلطات أو مجفرات. وتترك قنوات المهندسين مفتوحة عادة.

أنظمة المهاتفة الراديوية

إن أكثر الطرائق شيوعاً لتعرف الهوية هي إرسال الرمز الدليلي للنداء بكلام واضح؛ غير أنه في إرسال المهاتفة بنطاق جانبي وحيد، يمكن استخدام طريقة توضيع الرمز الدليلي للنداء بتشكيل اتساع الموجة الحاملة المنقصة فوق شفرة مورس.

الأنظمة الراديوية المختلطة الخدمات

يستخدم النظام المختلط عموماً بثاً بنطاق جانبي وحيد لقناة واحدة أو أكثر من قنوات الإبراق المرتبة بتعدد الإرسال بتقسيم الزمن أوالتردد وقناة واحدة أو أكثر من قنوات الهاتف تُشكل نفس الموجة الحاملة للتردد الراديوي، التي يمكن أن يكون اتساعها كاملاً أو ناقصاً أو مكبوتاً.

وفي قنوات الخدمات المختلطة، يمكن استخدام أي من الطرائق المشار إليها لتعرّف هوية تعدد الإرسال بتقسيم الزمن أو محطات البرق بتقسيم التردد بنطاق جانبي وحيد لأغراض تعرف الهوية.

2.2.8.4 القياسات الأساسية للإشارة لتعرّف هوية المرسلات بدون رمز دليلي للنداء

يمكن تعرف الهوية بدون رمز دليلي للنداء إما عن طريق تحديد موقع المرسل (انظر الفقرة 7.4 بشأن تحديد الاتجاه والموقع) أو عن طريق توصيف الإشارة الواردة (باستخدام مستقبل أو محلل للطيف).

وفي بعض الحالات، قد يكون فك تشكيل الإشارة وسيلة لتعرّف هوية الإشارة. غير أن الخدمات المتنقلة البحرية والقوات العسكرية كثيراً ما تستخدم مخلطات الكلام المعاصرة. وهي تستخدم تقنيات مختلفة تتألف أساساً من إعادة ترتيب طيف الكلام من حيث التردد والزمن. وبهذه الطريقة لن تسمح أجهزة الاستقبال العادية بالاستماع إلى "كلام واضح" بدون أجهزة متخصصة. وتستخدم تقنيات التشفير المعاصرة المعقدة بكثرة في تجهيزات الإرسال ومن الصعب التعرف على أي من الكلام الأصلي من الإشارة الواردة.

ويعني توصيف الإشارة قياس كل معلمة أساسية مثل التردد والتشكيل وجميع المعلمات التي يمكن استخدامها لتحديد شكل موجة الإشارة. وكمثال على ذلك ترد المعلومات اللازمة لتوصيف إشارة نبضية في الفقرة 9.4.

ويمكن في بعض الحالات، لمثل هذه الإشارة، استخدام كاشف التذبذب للحصول على نمط ما يمكن تمييزه إلى حد ما ويمكن تعرف هويته وتصنيفه للاستخدام في المستقبل. وهذا الإجراء ضروري لإنشاء قاعدة بيانات للإشارات المكتشفة من أجل تسهيل تعرف الهوية في المستقبل.

ومن الممكن، أثناء رصدات المراقبة، تخزين معلمات لكل إشارة كشف عنها (من قبيل التردد والزحزحة ومعدل بود وزاوية السمت ومجموعات المستعملين وما إلى ذلك) في ملفات الحاسوب.

ويمكن تصميم قاعدة البيانات هذه بالنسق المطلوب، في شكل خلاصات تقدم إلى مكتب الاتصالات الراديوية في الاتحاد، طبقاً للمادة 16 من لوائح الراديو. ويصبح البحث عن طيف شاغر من أي حجم مطلوب مسألة بسيطة جداً ومفيدة أيضاً لتعرّف هوية التداخلات.

ومن أمثلة الملفات المفيدة لإعداد وتفصيل قاعدة البيانات ما جاء في المادة 5 (توزيع نطاقات التردد) من لوائح الراديو، بما في ذلك الحواشي وخلاصة القائمة الدولية للترددات (IFL) وقائمة بجميع المحطات المعروفة التي ترسل نشرات إخبارية.

ويوصى باستخدام ملفات مؤتمتة لأنها تسهل العثور على بنود معينة أو إجراء اختيارات. ومع ذلك، لا تزال هناك "كتيبات" تعمل منظمات المراقبة على إعدادها وتحتوي على الكثير من المعلومات التي لا يمكن تخزينها بسهولة في ملفات. وهذه الكتيبات مفيدة للغاية لأغراض تعرف الهوية.

3.8.4 النهج العام لعملية تحليل الإشارات

يمكن وصف تعرف الهوية من حيث عملية تحليل الإشارات طبقاً للمخطط الوارد في الشكل 3-8.4. ويستخدم تحليل الإشارات في إطار مراقبة الطيف للقيام بالمهام التالية (فيما يتعلق بالكشف عن الطيف):

- تعيين اسم إذا كان النظام معروفاً؛
- استخلاص المعلومات الخفية إن أمكن؛
- تحديد معلمات الإشارة إذا كانت مطلوبة (في حالة فشل الخيارات السابقة):
  - خصائص تشكيلها (مثل معدل الرمز وزحزحة التردد والتشكيل الخطي/غير الخطي ونوع التشكيل: تماثلي/رقمي والطور والتردد أو تشكيل الاتساع وعدد حالات التشكيل والكوكبة للتشكيل الخطي)؛
  - أو خصائصها الزمنية (أشكال موجة الرشقة)؛
  - أو خصائص طيفها (نطاق ضيق/عريض وإشارات موجة حاملة وحيدة أو متعددة الموجات الحاملة، وما إلى ذلك).

كما يمكن استخدام وقت البدء والتوقف ومدة البث لوصف الإشارة.

وبالنظر إلى المخطط الوارد في الشكل 3-8.4 فإن أول خطوة هي تحديد الإشارة التي يتعين تحليلها والتحقق مما إذا كان من الممكن قياسها بسهولة. وتتألف الخطوة التالية من تحديد ما إذا كان يمكن فك تشكيل الإشارة، وإذا كان الأمر كذلك، يمكن استخدام مفكك التشكيل الملائم.

ويمكن بعد ذلك تحليل المعلومات التي تم فك تشكيلها وقد تكون هناك حاجة إلى مرحلة فك تشفير لإجراء معالجة لاحقة للبيانات. ويعني ذلك استخلاص المعلومات من تدفق البيانات التي تم فك تشكيلها. وإذا كان فك التشكيل غير ممكن، ينبغي تحديد الإشارة بمعلماتها المتأصلة (التردد وعُرض النطاق وما إلى ذلك).

وترد الخطوتان الأولى والثانية من عملية تحليل الإشارة كمثال في الشكل 4-8.4 الذي يبين تسلسل مهام يمكن إتباعها لتعرّف هوية إشارة نطاق ضيق موجودة في إشارة نطاق عريض. ويتم ذلك بأدوات مخصصة لتحليل الإشارة ترد تفاصيلها في القسم التالي.

4.8.4 الاعتبارات المتعلقة بقدرات نظام ما على أداء تحليل الإشارات

فيما يلي موجز للمتطلبات:

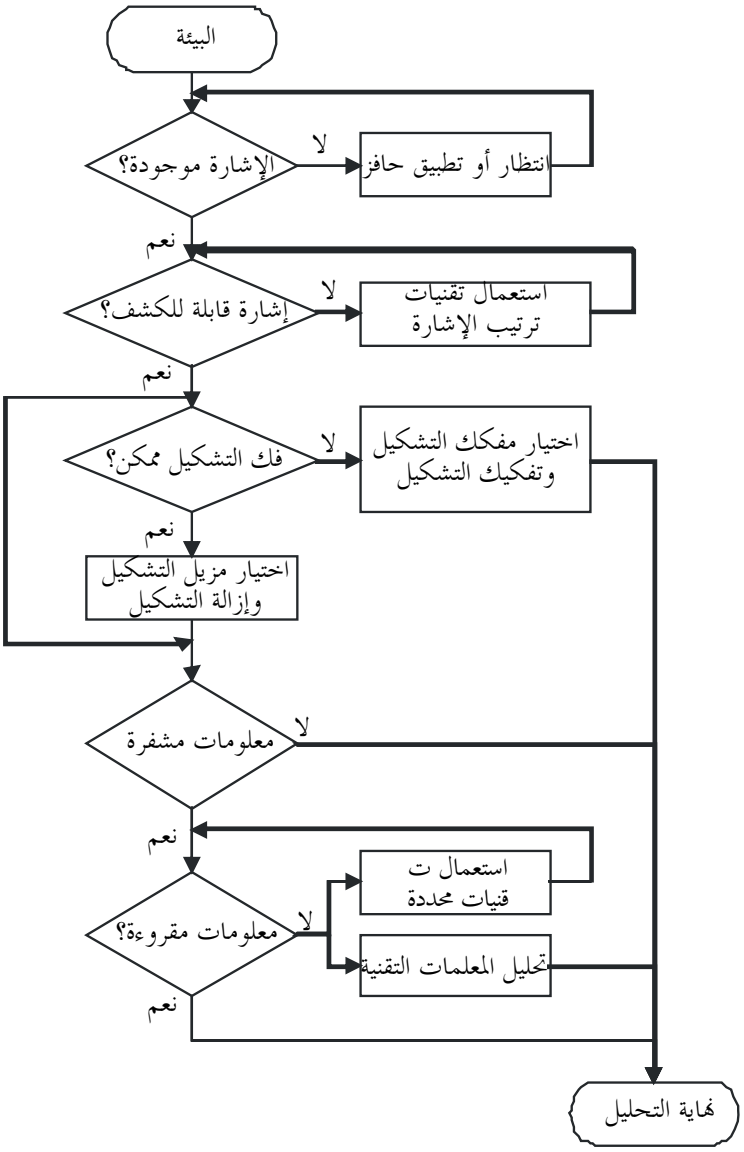
- نمطية الأجهزة والبرمجيات؛
- استخدام معايير عامة (مثل PCI ووصلات قياسية DSP وLAN وLXI وما إلى ذلك)؛

- تحقيق مقدرة في الوقت الفعلي عند الحاجة بأنظمة عاملة في الوقت الفعلي وأنظمة عاملة لمعالجة الإشارة الرقمية (DSP)؛
- قد تكون مقدرة القنوات المزدوجة مطلوبة لبعض التطبيقات (مثل عملية الترابط)؛
- مكونات وخوارزميات معالجة الإشارات مستمثلة لأمداء تردد محددة مثل الترددات الديكامترية (HF) أو الترددات المترية والديسيمترية (VHF/UHF) أو الترددات السنتيمترية (SHF)؛
- مقدرة النظام على تسجيل إشارات النطاق العريض و(أو) النطاق الضيق؛ ويحدد عرض نطاق الإشارة ومدة التسجيل الخصائص التقنية للنظام، مثل حجم الذاكرة؛
- التحكم عن بعد من محطة عمل ذات سطح بيني للمستخدم قوي وقابل لإعادة التشكيل؛
- خيارياً بوصلة منخفضة السرعة عبر خط هاتف مثلاً مكيفة لاحتياج المستخدم؛
- إمكانيات التفاعل مع التجهيزات القائمة مثل المستقبلات والمسجلات؛
- تدريب يدعمه المورّد؛
- إمكانية تمديد البرمجيات من قبل المستعمل والمُصنع عند الحاجة.

ولا تستطيع بعض أدوات التحليل أن تعمل في الوقت الفعلي بسبب المعالجة المطلوبة. وتتطلب أدوات أخرى تعديلاً يدوياً يستهلك الكثير من الوقت، وهو أمر غير مرغوب عندما لا تحدث الإشارة إلا عرضياً. ولذلك من الضروري توفر بعض أجهزة التسجيل لتسجيل إما إشارة النطاق العريض أو النطاق الضيق. والمسائل المهمة لأجهزة التسجيل هذه هي عرض النطاق والمدى الدينامي والزمن الأقصى للتسجيل دون مشغل. ومن الأسباب الأخرى لاستخدام أجهزة التسجيل هو أن أنظمة تحليل الإشارات ليست كلها محمولة وقد يكون هذا الجانب مطلوباً في بعض الحالات.

الشكل 8.4-3

عملية تحليل الإشارات



Spectrum-4.8-03

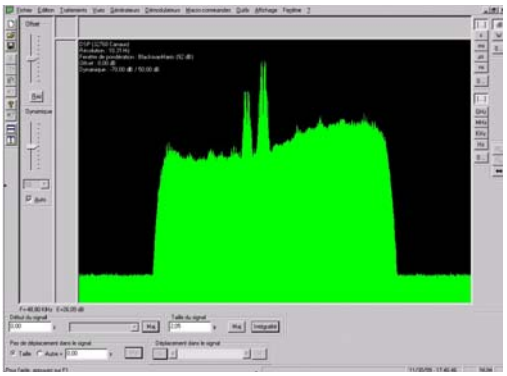
5.8.4 أدوات تحليل الإشارات

يمكن تطبيق المهام المدرجة في عملية تحليل الإشارات إما يدوياً أو كعملية مؤتمتة بنظام مخصص لها. وينبغي أن يكون هذا الحل الأخير مفتوحاً ومرناً من حيث معمارية الأجهزة ووظائفها على السواء من أجل تكييف مقدرته الخاصة على تحليل الإشارات على أساس إشارات جديدة وتقنيات جديدة.

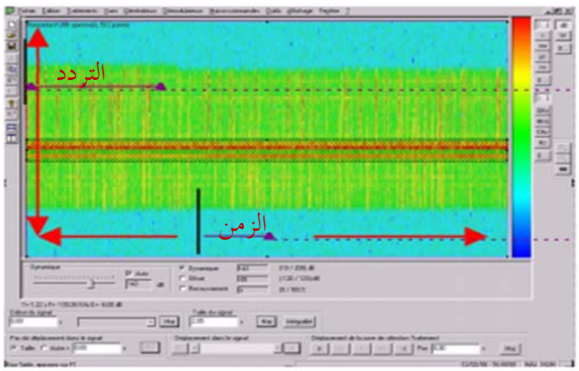
ومن الناحية العملية، فإن نقطة البداية في تحليل الإشارة هي تحديد الإشارة نفسها الذي يتم عادة عن طريق قياس التردد. وينبغي أن تستند تقنيات تعرّف هوية الإشارة وقياسها إلى تمثيلات مناسبة للإشارة المأخوذة كعينة. وينبغي استخدام أدوات وتسهيلات مثل آليات 'التزويم' والنسخ/اللصق في الوقت المناسب كما ينبغي تنفيذ مجال التردد في السطح البيني. ويرد مثال على ذلك في الشكل 8.4-5. وهذه الأدوات مناسبة جداً لعزل الإشارة التي يتعين تحليلها.

الشكل 8.4-4

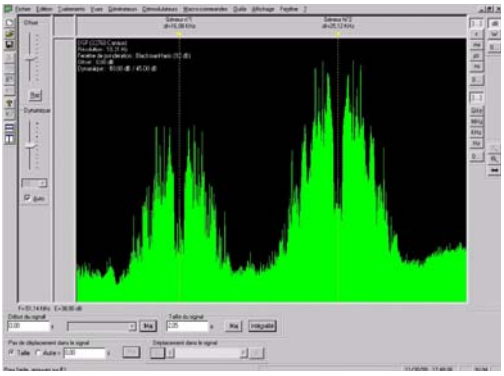
مثال على استخلاص إشارة نطاق ضيق من إشارة نطاق عريض



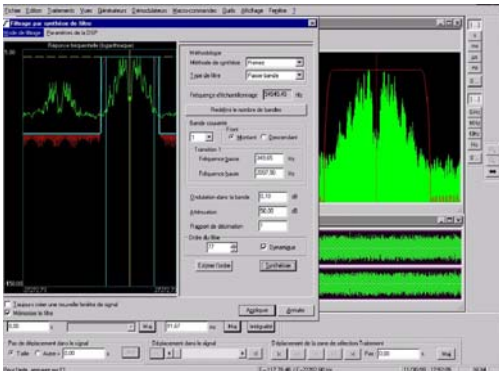
الخطوة 1: انتقاء إشارات نطاق ضيق في شاشة نطاق عريض



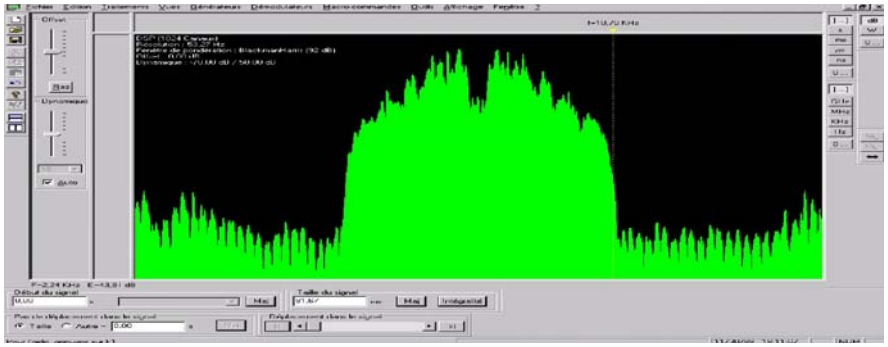
الخطوة 2: تحليل مثابرة الإشارة باستخدام مقياس طيف



الخطوة 3: مشاهدة الإشارات المستخلصة من النطاق الأساسي (إشارتان)



الخطوة 4: تصميم مرشاح رقمي لإجراء مزيد من القياسات في إشارة وحيدة



الخطوة 5: التمثيل الطيفي النهائي للإشارة المرشحة

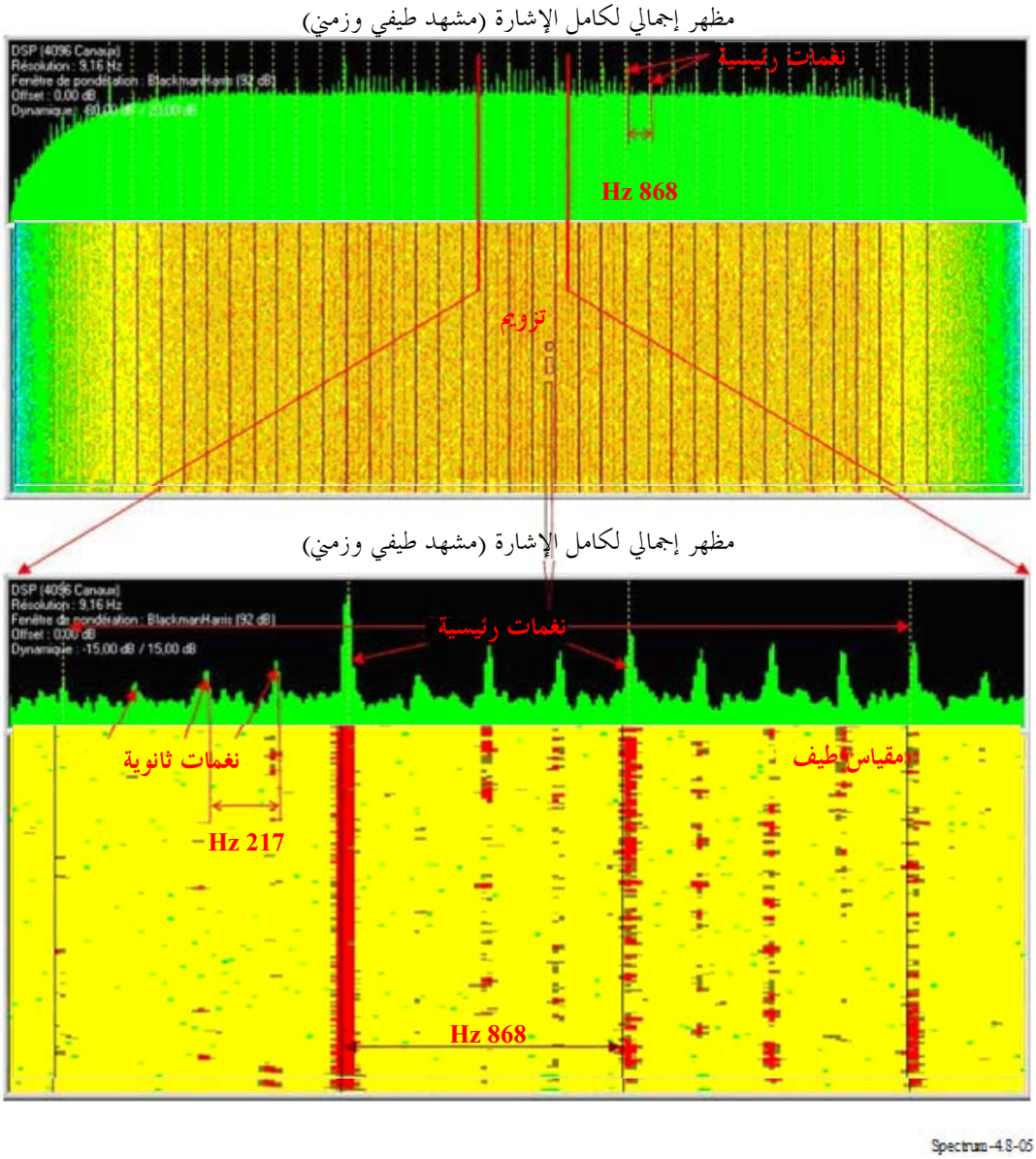
Spectrum-4.8-04

ويساعد تمثيل طيف الإشارة وتحليل الطيف على النحو الوارد في الشكل 8.4-5 على تصنيف الإشارة عن طريق فحص الموجة الحاملة والموجات الحاملة الفرعية. وعلى سبيل المثال، يمكن استخدام وظيفة مقارنة الطيف لإجراء تحديد أوتوماتي لأنظمة اتصالات ذات طيف محدد. وفي البحث الأوتوماتي عن الموجات الحاملة وتعدادها، يمكن استخدام عرض طيفي عالي الاستبانة وخوارزميات بحث مختلفة، مثلما يحدث في قياس عرض نطاق البث. ويوصى بتمثيل بانورامي للإشارة باستبانة طيف متغيرة وزمن تكامل متغير. ومن شأن الجمع ما بين التمثيل الزمني وزمن الطيف للإشارات أن يساعد على تعرف هوية إشارات الرشقة وقياسها.

وباستخدام هذه الأدوات من السهل استخلاص معلومات أساسية مستمدة بصورة مباشرة من الشكل الطيفي للإشارة (في مجال التردد وفي مجال الزمن). غير أن بعض هذه الأدوات يتطلب أدوات معالجة أكثر تطوراً تتمثل أساساً في استخدام أدوات رياضية على النحو الموصوف في الأقسام التالية. وترد الاختلافات بين المعلمات الأساسية والمتقدمة في الجزء المتبقي من هذا القسم. وتعرف المعلمات الأساسية بوصفها معلمات يمكن استنتاجها من الشكل الطيفي للإشارة الخام وتتعلق المعلمات المتقدمة لإشارة ما بالمعلمات المتاحة بعد فك تشكيل الإشارة.

الشكل 4.8.4-5

أمثلة على السطوح البينية المحددة لدعم التحليل وتعرف الهوية والقياس



1.5.8.4 تحديد المعلمات الأساسية للإشارة

على الرغم من أنه يمكن تحديد المعلمات الأساسية للإشارة بالرسوم البيانية على النحو الموصوف أعلاه، فإنه يمكن استخدام بعض أدوات الرياضيات أيضاً. وترد بعض هذه الأدوات في هذا القسم. ولعل من هذه التقنيات تقدير عزم الإشارة من المرتبتين الثانية والرابعة.

ويوفر ذلك تحديداً دقيقاً للموجة الحاملة ومعدلات الرموز ومعدلات الرقائق للموجة الحاملة الوحيدة العادية والإشارات المتعددة الموجات الحاملة وإشارات شبه الضوضاء/النفاذ المتعدد بالتقسيم الشفري (CDMA). ويمكن في معظم الحالات تعرّف هوية إشارة رقمية مشكلة عن طريق تحديد خصائصها التقنية مثل مدة الرمز T_s وزمن الحراسة T_g وعدد الموجات الحاملة الفرعية.

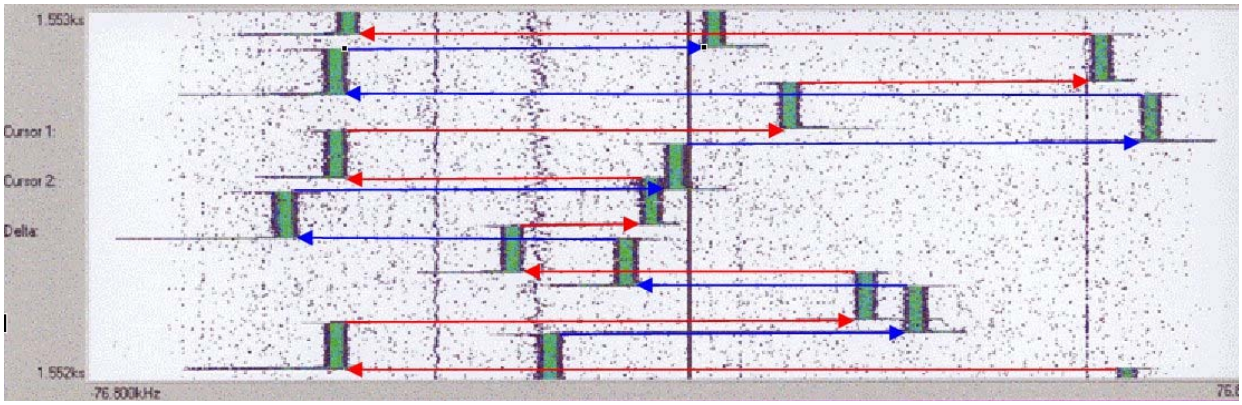
وتناقش هذه المسائل في الفقرة 6.4. وفي حالة إشارات النطاق العريض أو الإشارات المعقدة، فإن هذه التقنيات "العمياء" توفر عناصر تحديد مفيدة جداً لتعرف الهوية من أجل مواصلة التحليل.

ويرد في الشكل 6-8.4 مثال على عملية تحليل إشارات لتحديد المعلمات الأساسية باستخدام توصيف للإشارات القافزة للترددات.

ويبين الشكل 6-8.4 مقدرة التحليل في مجال زمني على التمييز بين إشارتين بنمطين مختلفين من أنماط قفزات الترددات. وتم تحديد كل نمط (السهمان الأحمر والأزرق) يدوياً. ويمكن إجراء هذه العملية أوتوماتياً أيضاً.

الشكل 6-8.4

مثال على توصيف الإشارات القافزة للترددات



Spectrum-4.8-06

وبعد هذا التحليل يمكن فحص التطابق مع معيار ما وفك تشكيل الإشارة باستخدام مفكك تقليدي للتشكيل. وإن لم يكن من الممكن فك تشكيل الإشارة، يمكن استخدام معلمات من قبيل التردد الآني أو الاتساع أو الطور لإجراء وصف تقني للإشارة.

وعلى سبيل المثال، يمكن وصف إشارة رادار شائعة بإشارة زمنها ووصف قافز ترددات بنمط قفزاته (الزمن والتردد).

ويرد موجز لبعض طرائق استخلاص التردد المركزي ومعدل الرموز ومعلمات تقنية أخرى للإشارات الرقمية في الجدول 1-8.4.

ويمكن استخدام هذه المعلمات أيضاً لتصنيف الإشارات غير الرقمية التقليدية.

ولتوضيح محتوى الجدول 1-8.4، يمكن تحديد معدل رموز إشارة تشكيل الاتساع التربيعي (QAM) عن طريق طيف الاتساع الآني A_i.

ويوضح الجدول أدناه نتائج تقدير معدل رموز إشارة تشكيل الاتساع التربيعي (QAM) (تستخدم في هذه الحالة QAM-16 ومعدل رموز قدره 62.5 kHz).

الجدول 8.4-1

بعض طرائق استخلاص المعلومات التقنية حسب تشكيل الإشارة التي جرى تحليلها

المعلمات التي يتعين قياسها	أدوات التحليل	نمط التشكيل
تردد تكرار النبضات أو طول الرشقة	إشارة زمن الاتساع	تشكيل فتح – إغلاق (OOK)، رادار
وجود إشارة	الترابط المتصالب للاتساع الآني A_i مع إشارة مرجعية	أي نمط تشكيل ولكن بصفة خاصة لإشارات تمديد الطيف في تتابع مباشر (DSSS)
	كثافة القدرة الطيفية	أي نمط تشكيل
التشكيل – معدل التشكيل اللامتزامن أو المتزامن (معدل الرموز)	مخطط بياني لمدة الاتساع الآني، A_i والتردد الآني، F_i والطور الآني، Φ_i	تشكيل فتح – إغلاق (OOK)، إبراق بزحزحة التردد (FSK) غير مرشح، إبراق بزحزحة الطور (PSK) غير مرشح
	طيف الاتساع الآني، A_i	PSK مرشح أو غير مرشح وCPM غير مرشح أو بعد ترشيح شديد وQAM مرشح أو غير مرشح
	طيف التردد الآني، F_i مرفوع للقوة N N (= 2(2FSK), 4 (4FSK))	FSK غير مرشح
	طيف عبور صفري على التردد الآني، F_i	FSK مرشح أو غير مرشح PSK، QAM، إبراق بزحزحة دنيا (MSK)
	طيف وحدة الإشارة مرفوعة للقوة N = (2 أو 4)	PSK وQAM مرشح أو غير مرشح
	طيف وحدة إشارة مرفوعة للقوة N بعد ترشيح شديد في التردد	FSK مرشح أو غير مرشح
	طيف الإشارة مرفوع للقدرة N (N = 1/h)	CPM مرشح أو غير مرشح
تردد الموجة الحاملة ترددات الموجات الحاملة الفرعية	كثافة القدرة الطيفية	أي نمط تشكيل
	مخطط التردد الآني، F_i	FSK
	متوسط التردد الآني، F_i	FSK
	طيف مرفوع للقدرة N (= 2 (PSK) أو 4 (QAM) أو 1/h في حالة CPM)	PSK، QAM، CPM
	طريقة ترابط الطيف والعزوم	ASK، PSK، QAM
عرض نطاق البث	كثافة القدرة الطيفية مقارنة بدالة القناع أو خط الحد	أي نمط تشكيل
مسافة التردد بين الموجات الحاملة الفرعية (التحول إلى FSK)	كثافة القدرة الطيفية بحث توافقي و/أو علامات توافقية	FSK، تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM)، تعدد الإرسال المشفر بتقسيم تعامدي للتردد (COFDM)
	مخطط التردد الآني، F_i	

ويعرض الشكل 8.4-8 مثالاً على الحصول على معدل رموز قدره 62,5 kHz لإشارة 2 FSK من التردد الآني F_i المرفوع للقوة الثانية.

2.8.5.4 تحديد المعلمات المتقدمة للإشارات

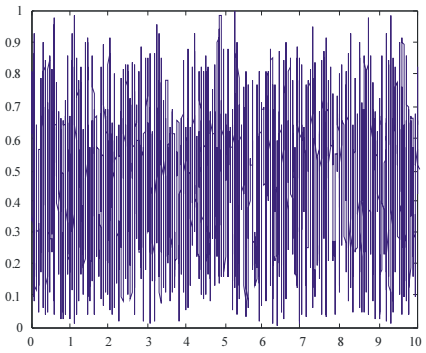
لتحديد خصائص مخطط تشكيل الإشارة، يمكن استخدام الطرائق/الأدوات التالية (بعد تحديد تردد الموجة الحاملة والسلوك الزمني للإشارة):

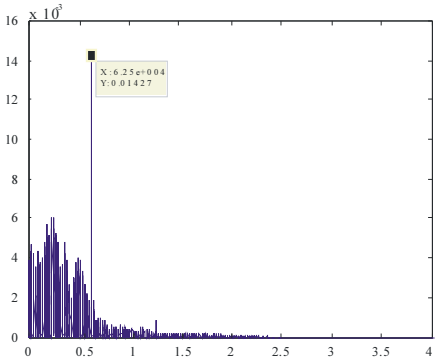
- عرض مزامنة الرموز مثل مخطط على شكل عين و/أو مخطط لكوكبة الطور طبقاً لنمط التشكيل؛
- تمثيل قطبي لأنماط التشكيل الخطي (التحقق من المزامنة وتحديد نقاط الكوكبة والانتقالات بين الرموز)؛
- تمثيل بمخطط قضباني لتشكيلات الطور أو التردد (التحقق من المزامنة وتحديد عدد الموجات الحاملة الفرعية).

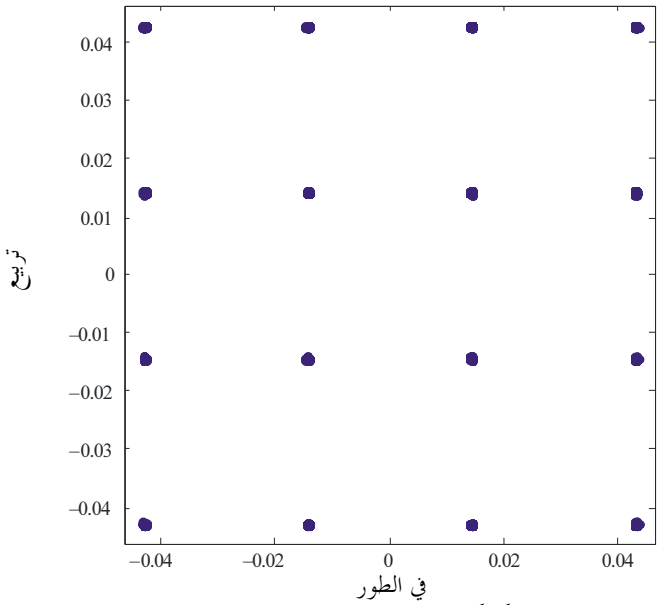
ويرد موجز لبعض خوارزميات تقدير معلمات التشكيل الرقمية في الجدول 8.4-2. وجدير بالإشارة أن العديد من هذه الطرائق مفيدة أيضاً لتوصيف الإشارات التماثلية.

الشكل 8.4-7

مثال على تحديد معدل رموز إشارة 16-QAM باتساعها الآني



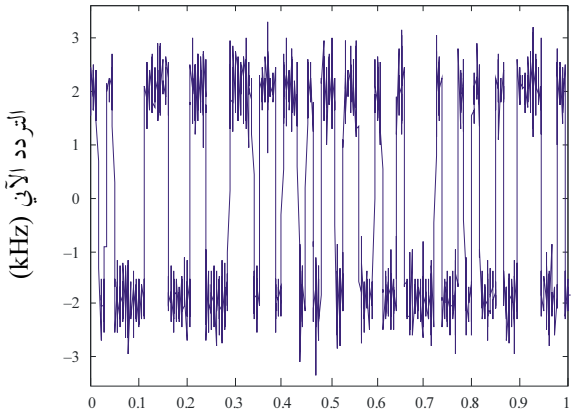




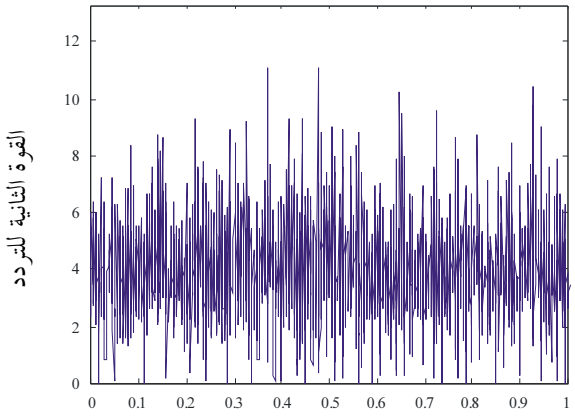
Spectrum-4.8-07

الشكل 8.4-8

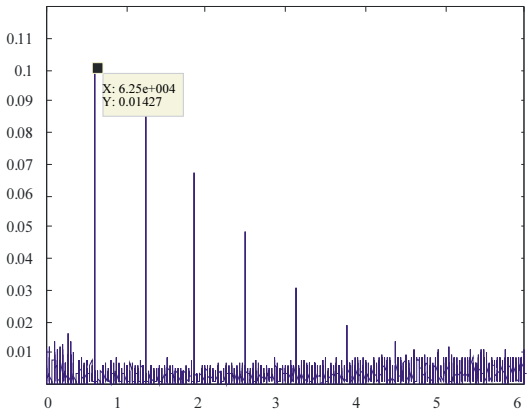
مثال على تحديد معدل رموز إشارة 2 FSK بترددها الآني المرفوع للقوة الثانية



التردد الآني، F_i



التردد الآني، F_i مرفوع للقوة الثانية



طيف التردد الآني، F_i مرفوع للقوة الثانية

Spectrum-4.8-08

الجدول 8.4-2

بعض طرائق تحديد المعلمات المتقدمة للإشارات حسب تشكيل الإشارة التي جرى تحليلها

المعلمات التي يتعين قياسها	أدوات التحليل	نمط التشكيل
عدد الحالات	مخطط الكوكبة/مخطط المتجهات	PSK، SQPSK، π/2 DBPSK، π/4 DQPSK، QAM
	مخطط الاتساع الآني، A_i	OOK، ASK
	مخطط التردد الآني، F_i	FSK
	مخطط الطور الآني، Φ_i	PSK
	كثافة القدرة الطيفية	OFDM، COFDM، تعدد الإرسال
عدد الموجات الحاملة أو النغمات	كثافة القدرة الطيفية	أي تشكيل
	مخطط التردد الآني، F_i	FSK
مزامنة الرموز	مخطط على شكل عين I/Q، A_i/F_i + مخطط متجهات	PSK وQAM مرشح أو غير مرشح
	مخطط على شكل عين A_i/F_i + مخطط تردد العرض، F_i	FSK مرشح أو غير مرشح
	مخطط كوكبة + عرض مخطط تردد، F_i والطور Φ_i	CPM مرشح أو غير مرشح

وكمثال، يوضح الشكل 8.4-9 استخلاص معلمات التشكيل وتوصيف التشكيل لإشارة 16-QAM.

3.5.8.4 فك التشكيل وفك التشفير

استخلاص المعلومات الفعلية هو واحدة من الخطوات الأخيرة. وينبغي أن يكون مفكك التشكيل مزوداً بمحلل لتدفق البتات يطبق تقنيات الترابط على تدفق البتات لتحديد مخطط التشفير المستخدم.

وينبغي تقابل تدفق البتات مع مختلف وحدات المعلومات من قبيل حروف أبجدية.

ويبين الشكل 8.4-10 مثالاً لمفكك تشكيل رقمي مع بيان محلل تدفق البتات لأحد الأنماط الأقرب إلى التقليدية (إبراق بزحزحة التردد).

4.5.8.4 الترابط البيني مع إشارة اختبار

يمكن أيضاً تنفيذ وسيلة أخرى فعالة لتعرّف هوية الإشارات وقياسها وذلك باستخدام تقنيات الترابط البيني مع إشارات الاختبار ووظائف البحث التي يتم الحصول عليها من خلال الترابط البيني.

وتسمح قيمة الذروة للترابط البيني للإشارة التي جرى تحليلها بواسطة إشارة الاختبار بكشف وجود إشارة الاختبار داخل الإشارة التي جرى تحليلها.

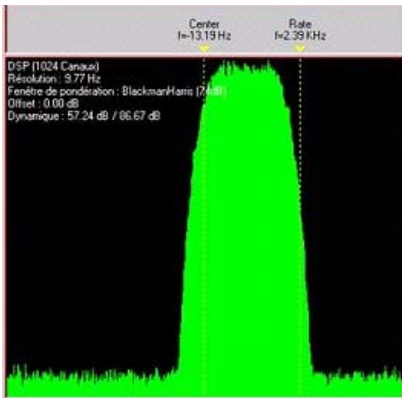
ويمكن الحصول على معلومات إضافية بسهولة مثل تقدير الاستجابة النبضية للقناة والتحقق من نوعية فك التشكيل ومعلومات عن القناة أو شغل الفاصل الزمني.

ويمكن استخدام هذه الطريقة أيضاً بشأن المزامنة أو التتابعات التجريبية لأغراض فك التشفير وتعرف الهوية.

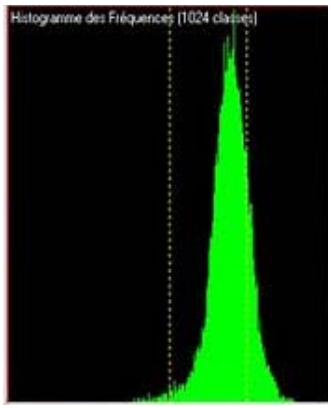
ويمكن استخدام إشارة اختبار من قاعدة بيانات أو يمكن توليد إشارة الاختبار باستخدام إشارة مرجعية. ويمكن أيضاً تطبيق تقنيات من هذا القبيل على الأنظمة التقليدية (التماثلية).

الشكل 8.4-9

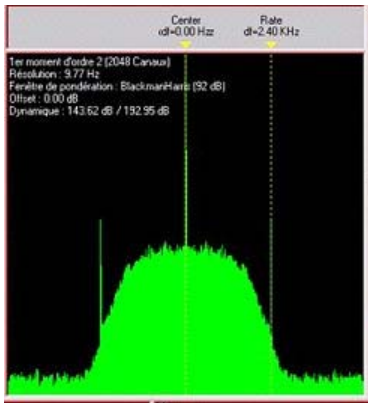
أمثلة على توصيف كامل لإشارة رقمية



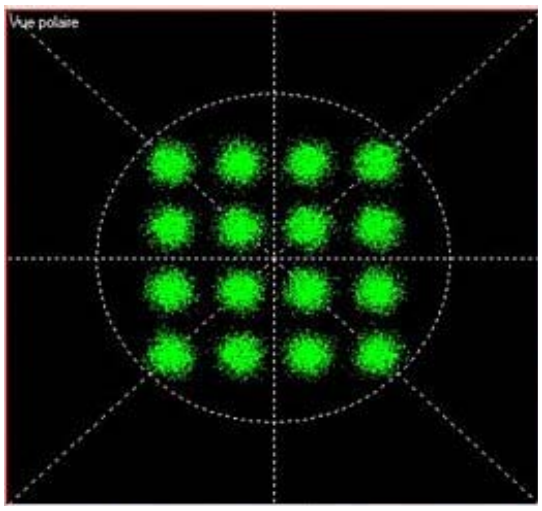
كثافة القدرة الطيفية



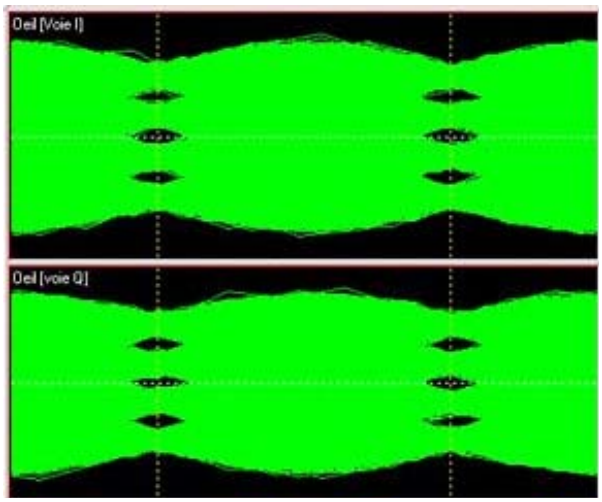
مخطط قضباني (PH_i ،F_i ،A_i)



استخلاص معلمات تقنية
(موجة حاملة، معدل بود، وما إلى ذلك)



مخطط كوكبة

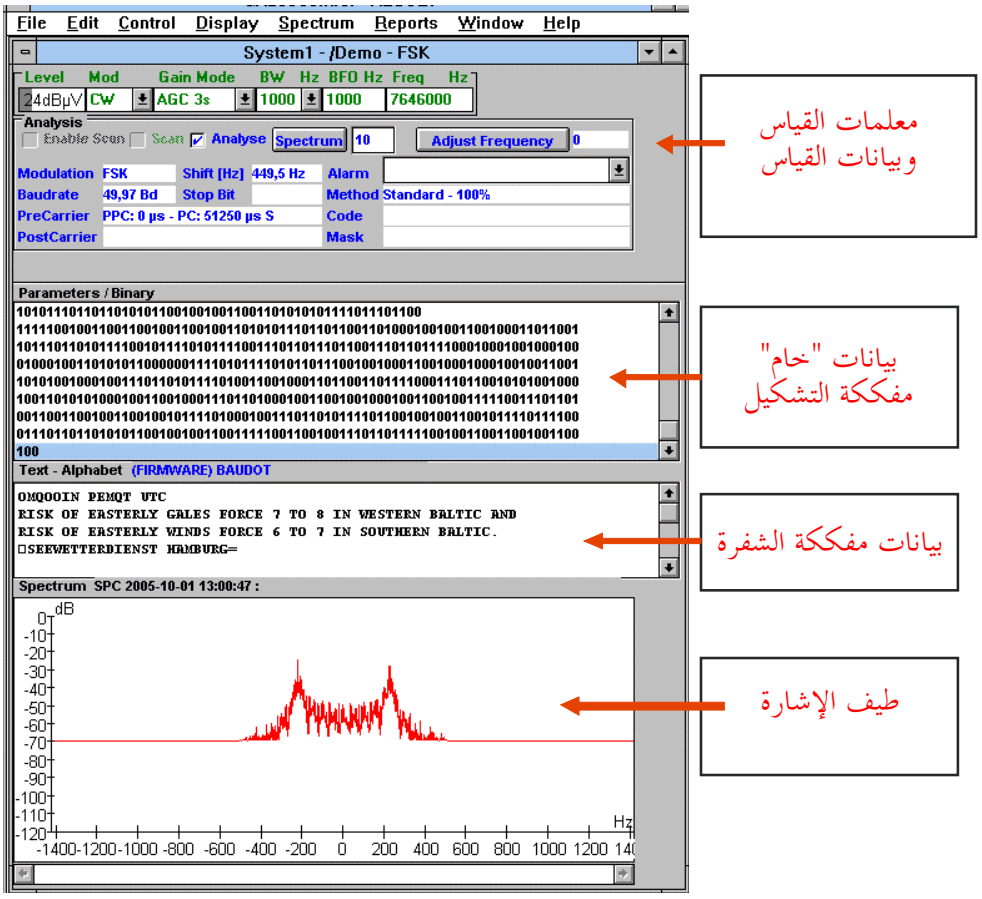


مخطط عيني (I، Q أو A_i، Ph_i، إلخ.)

Spectrum-4.8-09

الشكل 8.4-10

مثال على مفكك تشكيل رقمي مع محلل لتدفق البتات ومفكك تشفير



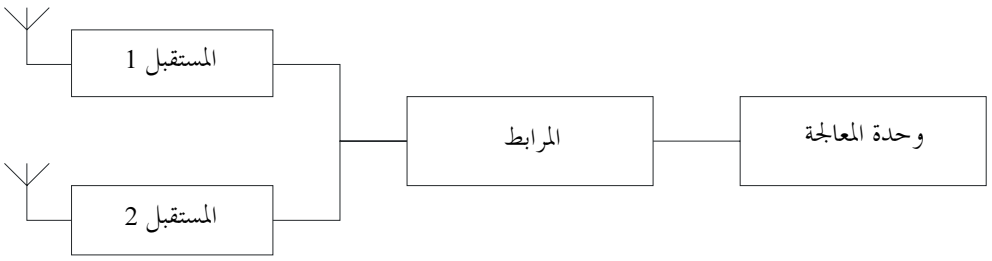
Spectrum-4.8-10

5.5.8.4 تقنيات الترابط المتصالب لتحليل التداخل

يمكن استخدام طريقة الترابط المتصالبي المنفذة في نظام تحليل الإشارة لبحث كيفية تركيب التداخل وتحديد المتداخلات. ويرد مخطط مبسط لذلك في الشكل 8.4-11.

الشكل 8.4-11

المرابط التصالبي لتحليل التداخل



Spectrum-4.8-11

يقوم المرابط بعملية الترابط التصالبي. ويُستخدم مستقبلان مستقلان: الأول موّلف للإشارة المعرضة للتداخل والآخر للإشارة المشتبه في أنها تسبب التداخل. وبحساب معامل الترابط بين إشارات التردد المتوسط (IF) أو الإشارات التي تم فك تشكيلها، يمكن الحصول على معرف هوية للإشارة المتسببة في التداخل. ويمكن الكشف عن أنماط التداخل التالية:

- البث الهامشي؛
- بث بتشكيل بيني؛
- القنوات الهامشية وقنوات التشكيل البيني لُمستقبل ما؛
- آثار الحجب والتشكيل التصالبي؛
- التداخل في القنوات المجاورة.

ولا يقتصر تطبيق تقنيات الترابط على عمليات بحث التداخل فحسب وإنما تنطبق أيضاً على مهام مراقبة أخرى.

ويمكن الاطلاع على معلومات تفصيلية عن طريقة الترابط في المرجعين [Kharchenko, 1984] و[Ralnikov and Kharchenko, 2001].

6.5.8.4 تقنيات الترشيح التكيفية لفصل مصدر إشارات النفاذ المتعدد بالتقسيم الزمني (TDMA) وإشارات النفاذ المتعدد بالتقسيم الشفري (CDMA)

يسمح تطبيق التقنيات التكيفية في سياق متعدد المصادر وتحت ظروف تداخل شديد بإجراء مزامنة على قنوات الحركة والمنارات الراديوية لإشارات TDMA وCDMA، وكذلك قياس سوية ونسب الموجة الحاملة إلى التداخل *(C/I)* على نفس هذه الإشارات، إلى جانب فك تشكيل وفك تشفير الرسائل الواردة في قنوات التشوير مما يمكّن من تعرف هويتها.

ويرد مثال حقيقي في الشكلين 8.4-12 أ) وب) لإشارات حركة النظام العالمي للاتصالات المتنقّلة (GSM). ويبين الشكل 8.4-12 أ) أنه من الممكن الكشف عن الإشارات والحصول على معرف هوية المصادر حتى تحت نسبة منخفضة جداً للموجة الحاملة إلى التداخل، قدرها 16 dB تقريباً في حالة الإشارة المبينة بوصفها الإشارة ((TCH4(BS2) 4. وفي هذا المثال، تم التعرف على TCH4 بوصفها قناة الحركة التي تعرضت للتداخل.

ويتم تعرف هوية قناة الحركة التي تعرضت للتداخل باستخدام المعلومات المستخلصة من قناة إذاعة المحطة القاعدة ذات الصلة.

ويبين الشكل 8.4-12 ب) عملية ناجحة لفك التشكيل وفك التشفير لمصدر وارد بنسبة سالبة جداً للموجة الحاملة إلى التداخل قدرها نحو 16 dB وسوية إشارة قدرها –103 dBm. وتعتبر تقنيات التكيف مناسبة وفعالة بصفة خاصة في حالات التداخل الصعبة لكل من الإشارات المستمرة وإشارات الرشقة مثل الانتشار في البيئات الحضرية الكثيفة وإعادة استخدام التردد بكثافة في الشبكات وأخطاء هندسة الشبكات وما إلى ذلك، حيث:

- TCH1(BS1): قناة الحركة 1 للمحطة القاعدة BS1.
- TCH4(BS2): قناة الحركة 4 للمحطة القاعدة BS2.

7.5.8.4 قياسات (كثافة تدفق القدرة) أقل من ضوضاء الخلفية

مقدمة

هناك خدمات منفعلة تتطلب الحماية من البث غير المطلوب الأدنى من ضوضاء الخلفية نظراً لأن رصداتها تحدث عند مستويات كثافة تدفق القدرة (pfd) أدنى من ضوضاء الخلفية. ولذلك تستخدم الخدمات المنفعلة مثل خدمة علم الفلك الراديوي تقنيات مسابير مقيسة متعددة تُعالج بعد تخزينها بطريقة تؤدي إلى أن تلغي الضوضاء العشوائية نفسها في حين تظهر الإشارات المطلوبة خارج الضوضاء الآخذة في الانخفاض. ولهذا السبب اتُفق على الصعيد الدولي على حدود لكثافة تدفق

القدرة قيمها أدنى من الضوضاء. غير أن الأطراف المهتمة بالأمر مثل خبراء الفلك الراديوي يشكون دائماً من أن الفلك الراديوي سوف "يُعمى" إذا لم تتم مراقبة التداخل واتخاذ إجراءات لاحقة. وبالتالي، يجب أن تستخدم المراقبة، وخاصة المراقبة الساتلية، تقنيات مماثلة لاكتشاف التداخل المخفي في الضوضاء.

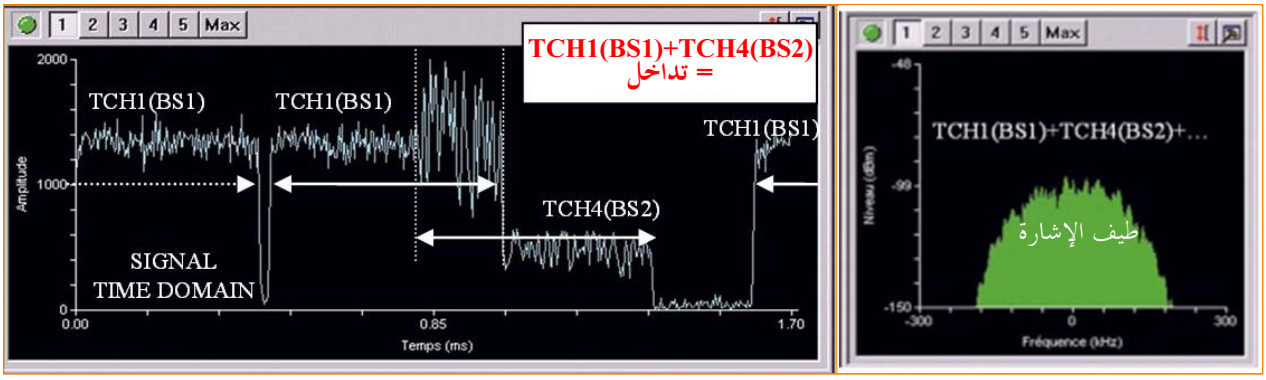
المبدأ

إذا أريد مراقبة إشارة مطلوبة أدنى من سوية الضوضاء، يجب أخذ مجموعة تحتوي على عدد كبير (عشرات الآلاف مثلاً) من الأطياف التي تحتوي الإشارة المطلوبة، ورقمنتها وتخزينها وحساب متوسطها. ويجب أيضاً أخذ نفس العدد من الأطياف التي لا تحتوي الإشارة المطلوبة ولكنها تحتوي نفس نوع الضوضاء العشوائية، ورقمنتها وتخزينها وحساب متوسطها ومن ثم قلبها. ويمكن الحصول على هاتين المجموعتين من الأطياف إما عن طريق تغيير توجيه الهوائي أو، إذا كانت الإشارة من إشارات الرشقة، بأخذها أثناء زمن التفعيل وزمن التبطيل. وقد خفضت الضوضاء بدرجة كبيرة في المجموعتين المعالجتين الناتجتين من الأطياف. وعند معالجة هاتين المجموعتين من الأطياف اللتين سبقت معالجتهما، تعوض الإشارات الأخرى ذات المنشأ المجهول نتيجة ما يعرف بعملية القلب. ويرد المزيد من المعلومات عن هذه التقنية في التوصية ITU-R SM.1681.

الشكل 12-8.4

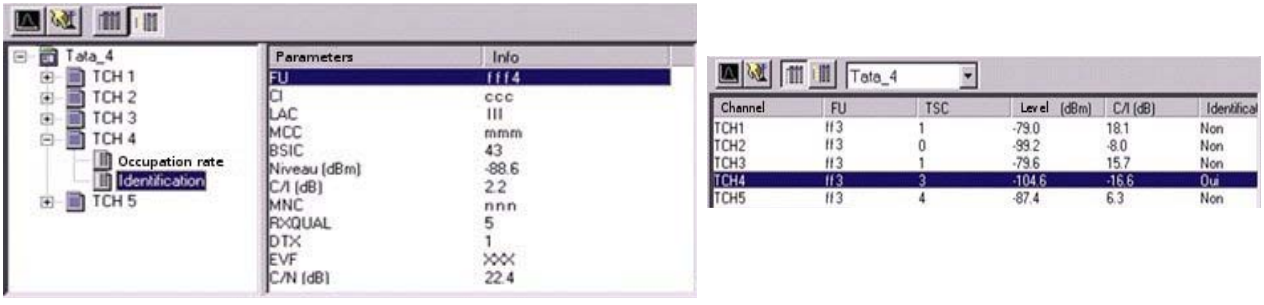
بيان نتائج تحليل التداخل والفصل لمصادر GSM TCH
باستخدام تقنيات تكيفية بشأن إشارات GSM في منطقة حضرية

أ) مثال لحالة تداخل في تردد GSM TCH



عرض بانورامي — مجال زمن الإشارة

ب) نتيجة تحليل التداخل بالترشيح التكيفي



قناة الحركة المكتشفة — تعرف هوية مصدر البث

6.8.4 تحليل الإشارات لغرض تعرّف هوية الإشارات المرسلة

بعد وصف أدوات تحليل الإشارات، يعرض القسم التالي بعض المعلومات الأكثر تفصيلاً بشأن عملية تحليل الإشارات من أجل تعرّف هوية إشارة مرسَلة. وهذه التقنيات ليست ضرورية في جميع الحالات ولكنها يمكن أن تكون مفيدة لتعرّف هوية إشارات رقمية معقدة.

1.6.8.4 التجهيزات المطلوبة

هناك أدوات تحليل في الوقت الفعلي/على الخط وكذلك خارج الخط متاحة في السوق.

ومن الأنظمة في الوقت الفعلي/على الخط ما يلي:

- مفككات محددة للشفرة لعدد صغير من الشفرات؛
- مفككات تشفير معلمية أو مفككات تشكيل- مفككات تشفير تتمتع أو لا تتمتع بمقدرات قياس؛
- مفككات تشكيل- مفككات تشفير أوتوماتية بمقدرات قياس وتعرّف.

وعندما يتعذر إجراء تحليل في الوقت الفعلي، ينبغي للمشغلين معالجة الإشارة بأدوات تحليل خارج الخط، يمكن أن تشتمل على ما يلي:

- أدوات تحليل الإشارات (بمجال الزمن وبمجال التردد ومفككات بمجال الطور القابلة للبرمجة)؛
- تحليل تدفق البتات، أي أدوات لمحاولة "كسر" بنية الشفرة وتحديد مدخلات أبجدية؛
- طرائق لوصف الشفرة بعمليات رياضية يمكن استخدامها بعد ذلك لبرمجة مفكك الشفرة القابل للبرمجة لتفكيك الشفرة على الخط في المستقبل.

وفي حالة نجاح فك الشفرة واختيار الأبجدية، يستطيع المشغل الحصول على نص متزايد التجفير، إلا في بعض الحالات أثناء إرسال تعرف الهوية.

2.6.8.4 ممارسة تعرف الهوية

هناك عدة طرائق يمكن استخدامها لتعرف الهوية، وذلك تبعاً لما إذا استخدم المرسل أو لم يستخدم رمزاً دليلياً للنداء أو وسيلة أخرى لتعرف الهوية،:

1 عندما لا يستخدم الإرسال وسيلة مكرسة لتعرف الهوية، يمكن استخدام طريقة تعرف الهوية المعلمي. ويتألف تعرف الهوية هذا من قياس معلمات الإشارة المرسلة: معلمات التشكيل والقدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) وترددات الموجة الحاملة وما إلى ذلك واتجاه وصول الإشارة أو موضع المرسل.

2 عندما لا تستخدم وسيلة مكرسة لتعرف الهوية، يمكن استخدام طريقة تعرف الهوية بمساعدة الإشارات. ويتألف تعرف الهوية هذا من مقارنة بنية وخصائص الإرسال بنموذج في قاعدة بيانات.

3 عندما يستخدم الإرسال وسائل لتعرف الهوية، يمكن استخدام طريقة التعرف على معرف الهوية. ويتألف تعرف الهوية هذا من فك تشفير المعلومات المرسلة كجزء من الإشارة، مثل الرمز الدليلي للنداء واسم المحطة ومعرف هوية الخدمة المتنقلة البحرية وما إلى ذلك، على النحو الموصوف في الفقرة 2.8.4.

وتفترض هذه الطرائق أنه تم التقاط الإرسال وأتيح للتحليل بهذه الطرائق. غير أنه في حالات عديدة من التداخل والمسائل الأخرى المثيرة للقلق لخدمة المراقبة، قد يكون الإرسال متقطعاً أو قد لا يكون تردده الدقيق معروفاً وبالتالي لا يكون الإرسال متاحاً بالفعل. وفي هذه الحالات، قد يكون من الضروري استخدام أجهزة التسجيل الواردة في الفقرة 1.6.8.4 لتسجيل عرض نطاق واسع للطيف المفترض أنه يحتوي على الإرسال موضع الاهتمام، بحيث يمكن لمشغل مدرب أن يقوم بالتحليل فيما بعد.

1.2.6.8.4 تعرف الهوية المعلمي

يتناول تعرف الهوية المعلمي معلمات الإشارة. ويمكن إجراء تعرف الهوية المعلمي للأنظمة القياسية العامة في ثلاث خطوات على النحو المبين في الشكل 8.4-13.

1. تقاس المعلمات التقنية للتشكيل باستخدام الطرائق الموصوفة في الفقرة 6.4 للإشارات التماثلية والرقمية.

2. بعد قياس جميع المعلمات، يجرى تحليل للتعرف على التشكيل من بين قائمة من التشكيلات المرشحة الممكنة.

3. بعد التعرف على نمط التشكيل، تتخذ خطوة أخرى لفك تشكيل الإشارة باستخدام معلمات التشكيل التي تم تقديرها. ثم يمكن استخدام الإشارة التي جرى فك تشكيلها للتعرف على الخصائص السمعية أو الشفرات الرقمية.

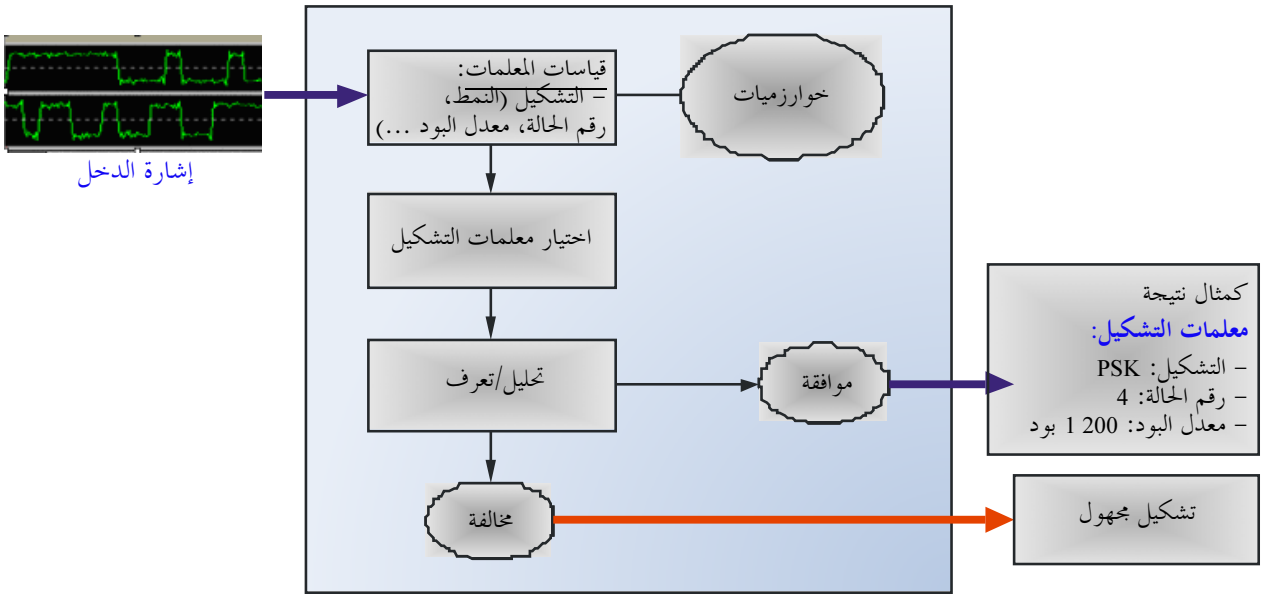
قيود تعرف الهوية المعلمي

تعاني طريقة تعرف الهوية المعلمي من عدة قيود لأن نتيجة تعرف الهوية المعلمي هي قائمة من المعلمات التقنية دون تحديد نمط النظام المشمول في العملية (خلوي أم طيراني أم غير ذلك).

وهذا المأخذ موضح في الشكل 8.4-14 لحالة إشارة نظام تحديد المدى شامل الاتجاهات بالموجات المترية (VOR) للملاحة الراديوية للطيران. وتتألف إشارة VOR من 3 موجات حاملة فرعية، كل واحدة منها مشكّلة بمخطط مختلف. وبالنسبة لهذه الإشارة، لا يوصّف تعرّف الهوية المعلمي إلا الإشارات الثلاث ولكنه لا يستطيع التعرف على هوية النظام بوصفه نظام VOR.

الشكل 8.4-13

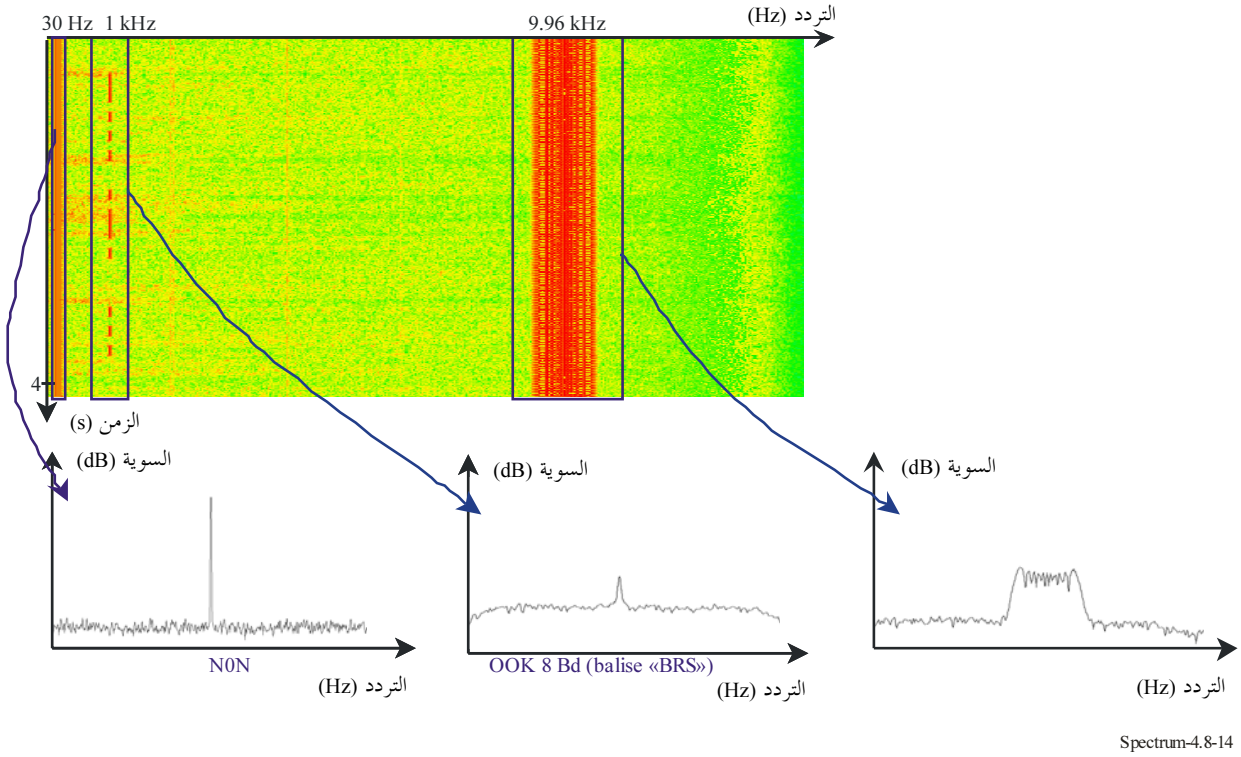
مخطط انسيابي لتعرف الهوية المعلمي



Spectrum-4.8-13

الشكل 14-8.4

تعرّف هوية إشارة VOR



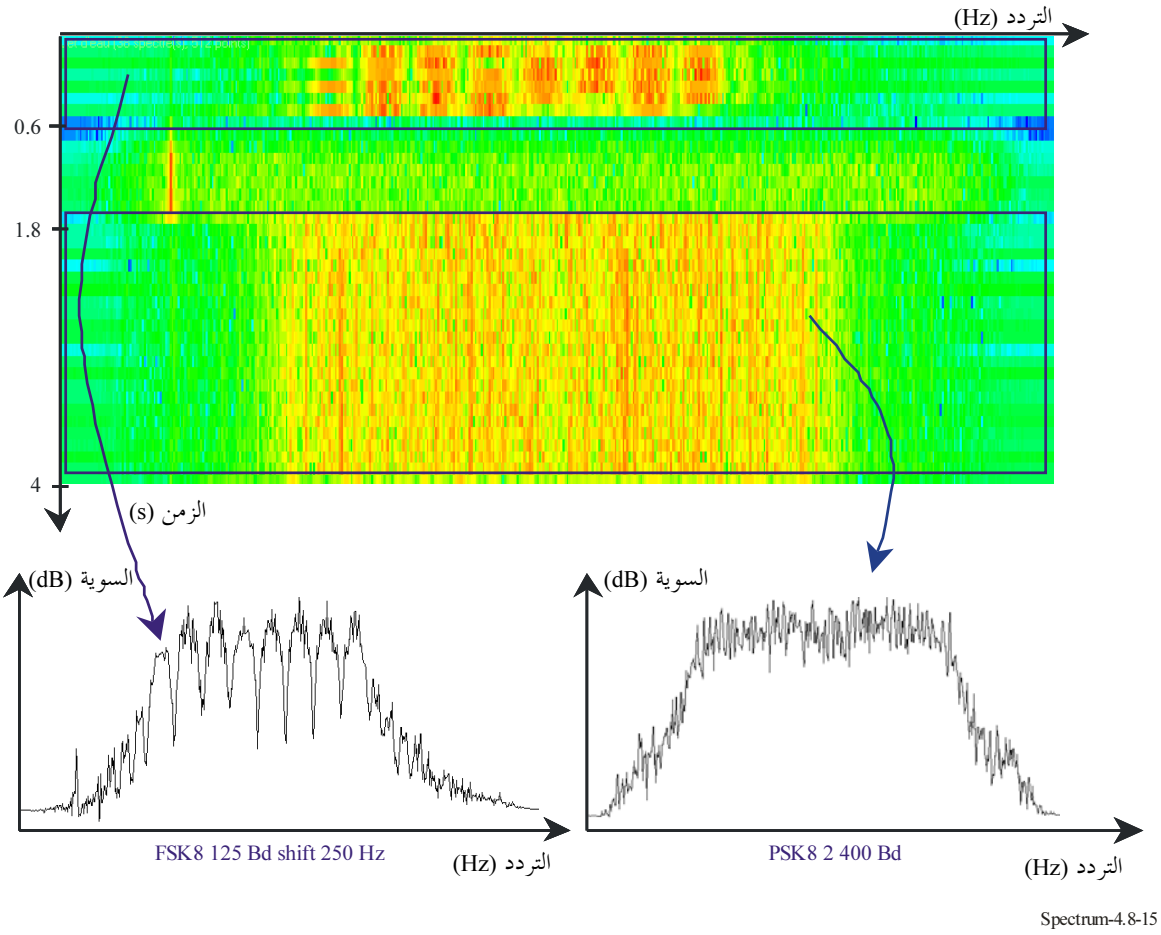
وكخطوة أولى، يمكن إثبات أن الإشارات الثلاث تنتمي إلى نفس البث باستخدام مسجلات الطيف وأجهزة تحديد الاتجاه العاملة في النطاق الضيق أو النطاق العريض. وتشير الإشارات ذات نفس السمت والتحويل المتزامن للتفعيل/التبطيل إلى أن المصدر مشترك. وكخطوة ثانية، يمكن مواصلة عملية التعرف على الهوية بفضل هذه المعلومات.

وبالإضافة إلى ذلك، لا تكون هناك أي نتيجة إذا لم تكن الإشارة مدرجة على قائمة التشكيلات التي تغطيها الطريقة، وينبغي أن تكون للإشارة الواردة مدة دنيا للسماح بإجراء تحليل كامل وقياس جميع معلمات التشكيل (نمط التشكيل وعدد الحالات ومعدل الرموز وما إلى ذلك).

وعلى سبيل المثال، كما يبدو في الشكل 15-8.4، عندما يتألف الإرسال من إشارتين متتاليتين، لكل منهما تشكيل مختلف، فإن طريقة تعرف الهوية المعلمي لا تستطيع أن تتعرّف هوية النظام.

الشكل 15-8.4

الإشارة بتغير التشكيل مع الزمن



Spectrum-4.8-15

تعرف الهوية المعلمي للإشارة التماثلية

يمكن تعرّف هوية الإشارة التماثلية في 4 خطوات:

الخطوة 1: تعديل ترتيبات القياس بطريقة مناسبة.

الخطوة 2: التأكد مما إذا كانت الإشارة تشكيلاً معروفاً يمكن سماعه أو رؤيته عن طريق فك التشكيل.

الخطوة 3: هي طريقة أوتوماتية في تعرف الكلام باستعمال الخصائص الطويلة الأجل للكلام بحساب تباين قيمة ذروة الإشارة ورسم مخطط بياني قضباني لها.

الخطوة 4: بالتزامن مع الطرائق السابقة:

- تمثيلات بانورامية وعرض الزمن مقابل التردد للإشارة لتحديد طبيعتها (AM، SSB، FM، وما إلى ذلك)؛
- استشارة أساسية لقاعدة بيانات الإشارات التماثلية في الاتصالات الراديوية؛
- تقنيات القياس التي سبق التوصية بها لتحديد معلمات التشكيل:
  - ترددات الموجات الحاملة والموجات الحاملة الفرعية في حالة بروتوكولات تعدد الإرسال بتقسيم التردد؛
  - عرض نطاق الإشارة؛
  - خصائص التشكيل (عمق الاتساع وانحرافات التردد والطور)، مقيسة وفقاً لتوصيات قطاع الاتصالات الراديوية المعمول بها.

تعرف الهوية المعلمي للإشارة الرقمية

يمكن استعمال ثلاث خطوات في تعرّف هوية الإشارة الرقمية:

الخطوة 1: قياس معلمات التشكيل. يرجى الرجوع إلى الفقرة 6.4 للاطلاع على وصف لطرائق قياس التشكيل بزحزحة الاتساع (ASK) وتشكيل الإبراق بزحزحة الطور (PSK) وتشكيل الإبراق بزحزحة التردد (FSK) وتشكيل الاتساع التربيعي (QAM) وتشكيل الطور المتواصل (CPM) وتعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM).

الخطوة 2: بعد قياس معلمات التشكيل، يتم رسم الكوكبة بيانياً ثم تقارن بالكوكبة النظرية.

وقد يُستعمل مقدار متجه الخطأ (EVM) لتعديل معلمات القياس بغية الوصول إلى الكوكبة المثلى.

الخطوة 3: يمكن أن يبدأ فك التشكيل بالمعلمات الصحيحة.

2.2.6.8.4 تعرف الهوية بواسطة الإشارة

مبدأ تعرف الهوية بواسطة الإشارة

تستخدم في هذه الطريقة إشارات لنظام معياري عمومي (تسمى النماذج) كإشارات مرجعية. ويتألف كل نموذج في قاعدة البيانات من مجموعة من المعلمات. ويستند تعرف الهوية بواسطة الإشارة إلى مقارنة بنية الإشارة قيد الاختبار وخصائصها ببنية النماذج المرشحة وخصائصها في قاعدة البيانات. ويكون النموذج المختار هو النموذج الذي يوفر النسبة الأكثر توافقاً فيما يتعلق بالإشارة قيد الاختبار.

ويمكن وصف النموذج باستخدام المعلمات التالية:

- مدى التردد؛
- عرض نطاق الإشارة؛
- "النشاط" الزمني (متواصل، رشقة إشارات، إشارة منافذ متعددة بتقسيم زمني، وما إلى ذلك)؛
- تشكيل التردد؛
- طريقة التشفير؛
- معلومات تعرف الهوية (الرمز الدليلي للنداء، رقم تعرف الهوية، وما إلى ذلك).

ويوفر تعرف الهوية بواسطة الإشارة التحسينات التالية:

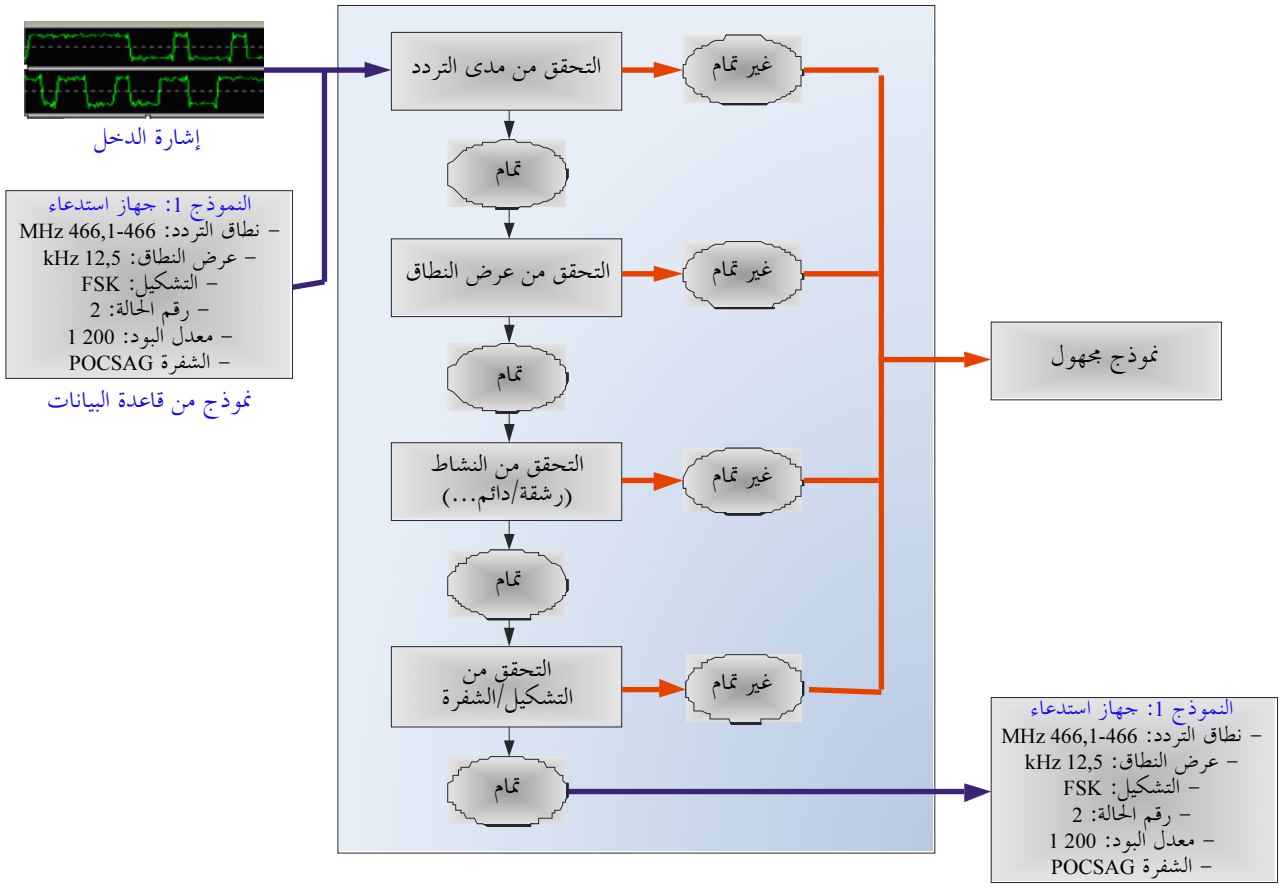
- يوفر معلومات عن النظام في حد ذاته (لا تقتصر على الخصائص التقنية للإشارة) تزود المستخدم بمعلومات تشغيلية إضافية يمكن استغلالها؛
- يحسن حساسية الإشارة وأدنى مدة للإشارة حيث لا يُجرى أي قياس دقيق (مثل القياسات الدقيقة لمعلمات التشكيل) سوى إجراء مقارنة بين أحد النماذج المرجعية والإشارة التي يتعين تحديد هويتها؛
- يسمح بخفض المدة الزمنية للتحليل؛
- يمكن أن يركز على النماذج موضع اهتمام المشغل؛
- يمكن بسهولة إضافة خصائص نظام جديدة لقاعدة بيانات النموذج المرشح.

ومع ذلك، تظهر بعض القيود على النحو التالي:

- يلزم أن يحتوي كل نظام مرشح على نموذج في قاعدة البيانات يتعين تحديد هويته؛
- كلما ازداد عدد نماذج النظام المرشح التي يتعين المقارنة بها، ازداد وقت الحساب اللازم.

الشكل 16-8.4

تدفق العمل في تعرف الهوية بواسطة الإشارة



Spectrum-4.8-16

الملحـــق 1

النداء الانتقائي في الخدمتين المتنقلة البحرية والمتنقلة الساتلية البحرية

يشار إلى وصف الإجراء في الرقم 2.54 من المادة 54 من لوائح الراديو.

1 تشكيل أرقام النداء المنتقاة لمحطات السفن والمحطات الساحلية

تتألف أرقام نداء محطات السفن من خمسة أعداد. وتتألف أرقام نداء المحطات الساحلية من أربعة أعداد. انظر التوصية ITU-R M.257. ويمثل كل عدد تردداً صوتياً من 124 1 إلى 110 2 Hz وفقا للجدول التالي:

الرقم	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	تكرار الرقم
الصوت	1 124	1 197	1 275	1 358	1 446	1 540	1 640	1 747	1 860	1 981	Hz 2 110

المدة الزمنية لكل نغمة = 100 ميلليثانية. ويستمر رقم النداء الانتقائي للسفن الذي ترسله المحطات الساحلية 500 ميلليثانية متبوعاً بفاصل زمني مدته 900 ميلليثانية بعدها يتكرر رقم النداء الانتقائي للسفينة. (انظر التوصية ITU-R M.257).

وبالنسبة لمحطات السفن التي تستعمل الطباعة المباشرة بنطاق ضيق (NBDP) وفقاً للتوصية ITU-R M.476، يحوّل تعرف الهوية المكون من خمسة أعداد إلى رمز من أربع سمات وفقاً للتوصية ITU-R M.491 (الملحق 1). وبالنسبة للمحطات الساحلية، يحول الرقم المكون من أربعة أعداد أيضاً إلى شفرة من أربع سمات.

وتنص التوصية ITU-R M.257 على أنه "قد يستعمل نظام النداء الانتقائي التتابعي الوحيد التردد (SSFC) في مناداة السفن إلى أن يستعاض عن النظام بنظام النداء الانتقائي الرقمية (DSC) الوارد في التوصيتين ITU-R M.493 وITU-R M.541" (انظر الرقم 2.54 من لوائح الراديو).

2 هويات الخدمة المتنقلة البحرية في الخدمات البحرية

يتعين أن تمتثل الهويات للأحكام الواردة في الأرقام 108.19 إلى 117.19 من المادة 19 في لوائح الراديو. وتتكون هويات الخدمة المتنقلة البحرية (MMSI) من تسعة أعداد ترسل عبر المسير الراديوي. على سبيل المثال، يكوّن الرمز المؤلف من تسعة أعداد والذي يشكل هوية محطة السفن على النحو التالي:

M1 I2 D3 X4 X5 X6 X7 X8 X9,

ويمثل الرمز **D3 I2 M1** رقم تعرف الهوية البحرية (MID) ويمثل الرمز **X** عدداً من صفر إلى 9. ويعكس رقم تعرف الهوية البحرية جنسية المحطة. فعلى سبيل المثال، يخصص الرمز MID 203 إلى النمسا، والرمز MID 244 إلى هولندا.

ولا تستعمل الطباعة المباشرة بنطاق ضيق وفقاً للتوصية ITU-R M.476 فحسب بل ووفقاً للتوصية ITU-R M.625. وتتوافق التوصية ITU-R M.625 بشأن الطباعة المباشرة بنطاق ضيق (NBDP) مع التوصية ITU-R M.476 وتستعمل الهوية الخماسية الأرقام (التي تُحوَّل إلى شفرة رباعية السمات) إلى جانب الشفرة التساعية الأرقام. وقد تترجم هوية السفينة التساعية الأرقام إلى هوية سباعية الإشارات وفقاً للملحق 2 من التوصية ITU-R M.491. فعلى سبيل المثال، تحول الهوية التساعية الأرقام 364775427 إلى الرمز "PEARDBY" الذي يجري إرساله، في حالة مناداة هذه المحطة، في ثلاث فدرات من ثلاث سمات بأسلوب الإرسال المفرد TOR على النحو التالي:

الفدرة 1	P	RQ	E
الفدرة 2	RQ	A	R
الفدرة 3	D	B	Y

RQ = طلب أو تكرار الإشارة (YBBYYBB)

3 هويات الخدمة المتنقلة البحرية في الخدمة الساتلية المتنقلة البحرية

يتعين أن تلتزم الهويات بأحكام القسم السادس من المادة 19 في لوائح الراديو. وينبغي أن تخصص هويات محطات سفن لتلك السفن التي تمتثل للاتفاقية الدولية للسلامة في البحر والسفن الأخرى المجهزة باتصالات راديوية أوتوماتية، بما في ذلك النداء الانتقائي الرقمي (DSC) و/أو التي تحمل أجهزة إنذار خاصة بالنظام العالمي للاستغاثة والسلامة في البحر (GMDSS)، على النحو المنصوص عليه في الأرقام 100.19 إلى 126.19 في المادة 19 من لوائح الراديو، وفقاً للملحق 1 بالتوصية ITU-R M.585.

الملاحظة 1 – ألغيت الأرقام من 117.19 إلى 126.19 في المادة 19 من لوائح الراديو في المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية لعام 2007.

4 النظام الأوتوماتي لتحديد هوية الجهاز المُرسل

تستخدم بعض البلدان نظاماً أوتوماتياً لتحديد هوية الجهاز المرسل (ATIS) فيما يتعلق بترددات التذييل 18 من لوائح الراديو بشأن المياه الداخلية، والوصلة الصاعدة الساتلية لإرسالات الفيديو. وتوفر الأنظمة إرسالاً أوتوماتياً لتعرف الهوية في نهاية كل إرسال وبصورة دورية خلال عمليات الإرسال. ويمكن أن يرتكز أي تتابع لنظام ATIS على التوصية ITU-R M.493، أو على التوصية 7 لاتفاق بازل الإقليمي. ويمكن تحويل رمز النداء الراديوي إلى هوية من عشرة أرقام.

Z1 M2 I3 D4 X5 X6 X7 X8 X9 X10,

حيث:

Z: يمثل الرقم 9 ويقتصر استخدامه على المياه الداخلية.

MID: أرقام تعرف الهوية وفقاً للمادة 19 من لوائح الراديو.

X5 إلى **X6**: تحتوي على رقم يمثل الحرف الثاني من رمز النداء الدليلي، حيث يمثل الرقم 01 الحرف A، والرقم 02 الحرف B وهكذا.

X7 إلى **X10**: تحتوي على رقم رمز النداء الدليلي.

فيتم تحويل رمز النداء PC 8075، على سبيل المثال، إلى الرقم التالي: **9 4 2 4 3 0 8 7 0 5.**

5 هويات المنار الراديوي للاستدلال على موقع الطوارئ (EPIRB)

تشتمل إرسالات المنارات الراديوية للاستدلال على مواقع الطوارئ (EPIRB)، المشاركة في النظام الدولي لشبكة سواتل البحث والإنقاذ (COSPAS-SARSAT) والتي تتكون من سواتل في مدار قطبي منخفض وتبث إرسالاتها على التردد MHz 406,025، على هوية تساعية الأرقام. ويمكن تزويد المنار الراديوي EPIRB في التردد MHz 406 بجهاز مرسل بمنار توجيه في التردد MHz 121,5. ويتميز النظام الدولي COSPAS-SARSAT بأنه نظام تشغيل يعمل على صعيد العالم.

ويَستخدم المنار الراديوي للاستدلال على موقع الطوارئ (EPIRB) في التردد GHz 1,6 (المنار الراديوي في النطاق L أو نظام إنمارسات E) أيضاً هذه الهوية التساعية الأرقام ويعتمد على نظام إنمارسات. ولما كان نظام إنمارسات يستخدم السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض الواقعة فوق خط الاستواء، فإن هذا النظام لا يتسم بتغطية عالمية. وتقتصر التغطية على المناطق الواقعة ما بين خطي العرض 70° شمالاً و70° جنوباً بالنسبة للتطبيقات العملية.

وتتنوع وسائل تعرف الهوية في الخدمات البحرية. فتنص الفقرة 6 من *توصي* في التوصية ITU-R M.585 على "ضرورة تصميم أي نظام أوتوماتي للاتصالات البحرية الدولية في المستقبل بحيث يستعمل هويات محطات السفن تساعية الأرقام على المسير الراديوي".

الملحـــق 2

سمات الشفرة الإضافية، الرمزان السادس والسابع

تشير السمة السادسة إلى مجموعة من الأنظمة. وفيما يلي الخصائص والمجموعات المستخدمة:

شفرة مورس	A
الخدمة اللاتزامنية (البدء- الإيقاف)	C
أنظمة طلب التكرار أوتوماتياً (ARQ) برتل نبضات غير متقطعة	E
أنظمة طلب التكرار أوتوماتياً من نمط الرشقات	F
الإبراق الراديوي لإشارتين بأربعة ترددات	H
غير معروف (ولكن عدد البتات في الرتل معروف)	J
التصحيح الأمامي للأخطاء	K
النغمة المتعددة	M
الملاحة الراديوية وتحديد المواقع	N

وتشير السمة السابعة إلى النظام في إحدى المجموعات المذكورة أعلاه ويشير بدقة إلى النظام القائم في المجموعة. ويساعد ذلك على تحديد 26 نظاماً مختلفاً في كل مجموعة (مثل المجموعة A، والمجموعة C، والمجموعة E، وهكذا). فتشير السمة السابعة B مثلاً إلى شفرة Telex Baudot في المجموعة C، وطلب التكرار ARQ E3 في المجموعة E.

ويتضمن الجدول الوارد أدناه أمثلة على بعض الأنظمة المعروفة:

الرمز	الاسم	ALF	BITS	DETEC/CORR	M/CYC	DUR/DIS/NUM
	مورس	مورس				
C-	البدء- الإيقاف					
CB	نظام Telex Baudot	ITA2	7,5			
CC	نظام Telex Russian	ITA2_RUS	7,5			
CD-	نظام Telex Arabic	ITA2_ARAB	7,5			
CK-	نظام Telex ASCII	ITA5	10	التعادلية		
E-	رتل نبضات ARQ					
EA	الإرسال المزدوج ARQ-1000	ITA2_P	7	التعادلية	RQ	4 5 8
EB	ARQ-E3	ITA3	7	3:4=m/s	RQ	4 8 3
EC	342 TOR 1 kan	ITA3	7	3:4=m/s	RQ	4 8 3
ED	342 TOR 2 kan	ITA3	7	3:4=m/s	RQ	4 8 3
EE	342 TOR 4 kan	ITA3	7	3:4=m/s	RQ	4 8 3
EF	242 TOR 2 kan	ITA3	7	3:4=m/s	RQ	2 ?
EK	ARQ-N	ITA2_P	7	التعادلية	RQ	
EL	POL-ARQ	SITOR	7	m/s = 3:4	RQ	
EM	TORG 10-11	ITA2-R11	11			

بيبليوغرافيـــا

Application Note 243 [2000] The fundamentals of signal analysis. Agilent Technologies, Santa Rosa, United States of America, downloadable at [http://www.agilent.com/].

KOLB, H. -J. [1996] Breitband – Such- und Empfangsanlagen. MEDAV, ISBN 3-9804152-1-X, for more info see [http://www.medav.de/].

MARVEN, G. and EWERS, G. [1993] A simple approach to digital signal processing. Texas Instruments, ISBN 0-904047-00-8.

POULARIKAS, A. D. and SEELY, S. [1985] Signals and systems. PWS Engineering Boston, ISBN 0-534-03402-0.

QUIAN, S. and CHEN, D. [1996] *Joint time frequency analysis*. Prentice Hall, ISBN 0-13-2543842.

RABINER, L. R. and GOLD, B. [1975] Theory and application of digital signal processing. ISBN 0-13-9141014.

THALES [1999a] Characterization and measurement of interference in radiocommunication networks of TDMA technology.

THALES [1999b] A test procedure for measuring EPFD levels generated into an operational GSO earth station.

THALES [1999c] Technical measurements of discontinuous signals of type TDMA, TDD and frequency hopping.

THALES [1999d] Monitoring of digital broadcasting signals .

VAN MAANEN, E. [1998a] Hidden information in A3E modulated broadcasting transmitters. Dutch Radiocommunications Agency.

VAN MAANEN E. [1998b] Introduction cryptography and signal analysis in radiomonitoring. Dutch Radiocommunications Agency.

توصيات قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد

ملاحظة – ينبغي في كل حالة استعمال آخر إصدار من التوصية.

التوصية ITU-R M.257 – نظام النداء الانتقائي بتردد تتابعي وحيد للاستعمال في الخدمة المتنقلة البحرية.

التوصية ITU-R M.476 – تجهيزات الإبراق بطباعة مباشرة في الخدمة المتنقلة البحرية.

التوصية ITU-R M.491 – الترجمة بين رقم هوية وهويات للإبراق بطباعة مباشرة في الخدمة المتنقلة البحرية.

التوصية ITU-R M.493 – نظام النداء الانتقائي الرقمي (DSC) المستعمل في الخدمة المتنقلة البحرية.

التوصية ITU-R M.541 – إجراءات التشغيل الخاصة باستعمال تجهيزات النداء الانتقائي الرقمي (DSC) في الخدمة المتنقلة البحرية.

التوصية ITU-R M.585 – تخصيص الهويات في الخدمة المتنقلة البحرية واستعمالها.

التوصية ITU-R M.625 – تجهيزات الإبراق بطباعة مباشرة التي تستعمل التعرف الأوتوماتي في الخدمة المتنقلة البحرية.

التوصية ITU-R M.633 – خصائص الإرسال لنظام منارات راديوية للاستدلال على موقع الطوارئ بالساتل (منارات EPIRB ساتلية) يعمل بواسطة نظام ساتلي في النطاق 406 MHz.

التوصية ITU-R SM.1052 – تعرف الهوية الأوتوماتي للمحطات الراديوية.

التوصية ITU-R SM.1600 – تعرف الهوية التقني للإشارات الرقمية.

التوصية ITU-R SM.1681 – قياس الإرسالات المنخفضة السوية من المحطات الفضائية في محطات المراقبة على الأرض باستخدام تقنيات تخفيض الضوضاء.

9.4 قياسات النبضات

1.9.4 مقدمة

ينطبق البث النبضي من عدة مصادر، ومنها:

- البث من الرادارات.
- البث من الأنظمة الرقمية التي تعمل على أساس النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن (TDMA).
- البث من الأجهزة الكهربائية أو الإلكترونية.

ولتوصيف أي بث نبضي، من الضروري قياس نفس المعلمات على غرار الأشكال الأخرى من البث، وهو ما يرد في فصول أخرى من هذا الكتيب، وهي تشمل:

- متوسط السوية/شدة المجال.
- التردد.
- عرض النطاق.

ويقدم هذا القسم معلومات محددة عن قياس سوية النبضات وكذلك قياس المعلمات الأساسية الأخرى للبث النبضي.

2.9.4 معلمات النبضات الأساسية

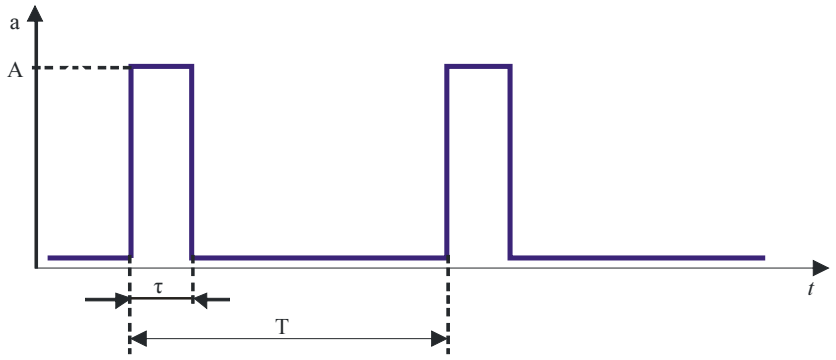
إن المعلمات الأساسية للبث النبضي التي يتناول هذا القسم وصف قياساتها هي:

- سوية الذروة (A).
- طول النبضة (τ).
- فترة النبضة T أو تردد تكرار النبضات (PRF = 1/T).
- زمن صعود النبضة وهبوطها (t_r وt_f).

وتوصف النبضات الرياضية عادة باتخاذها شكلاً مستطيلاً في مجال الزمن، كما يبين الشكل 1-9.4.

الشكل 1-9.4

إشارة نبضية مستطيلة في المجال الزمني



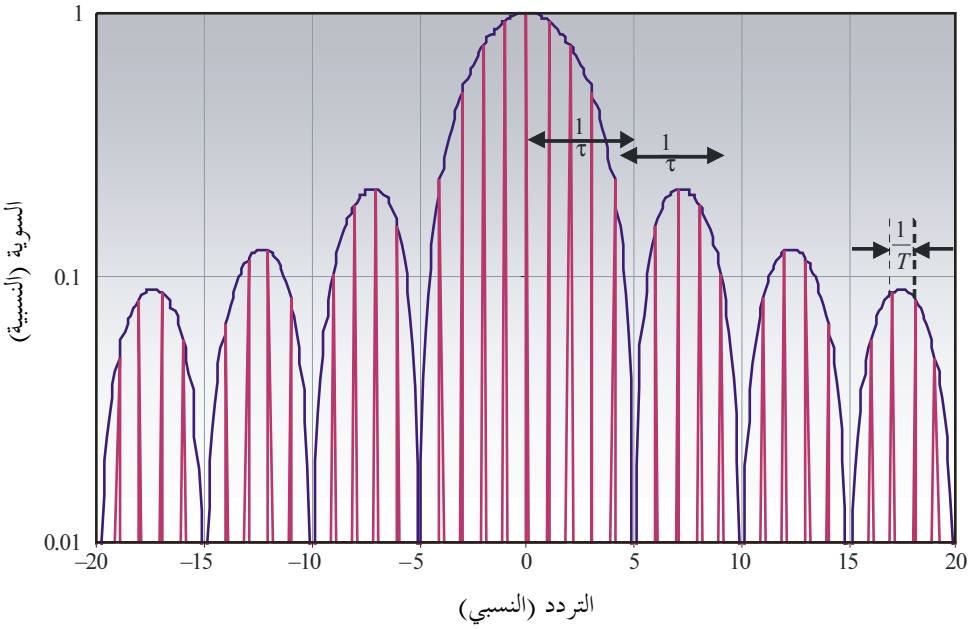
Spectrum-4.9-01

وبتطبيق تحويل فوريه على إشارة الزمن الموضحة في الشكل 1-9.4، تبدو إشارة نبضية مستطيلة في مجال التردد كما في الشكل 2-9.4.

ويتكون الطيف الفعلي من خطوط طيفية واضحة متباعدة بمقدار 1/T، وتتبع ذرى تلك الخطوط دالة sin(x)/x تتباعد حدوها الدنيا بمقدار 1/τ، ويكون عرض "الفص الرئيسي" في مركز التردد بمقدار 2/τ.

الشكل 2-9.4

إشارة نبضية مستطيلة في مجال التردد



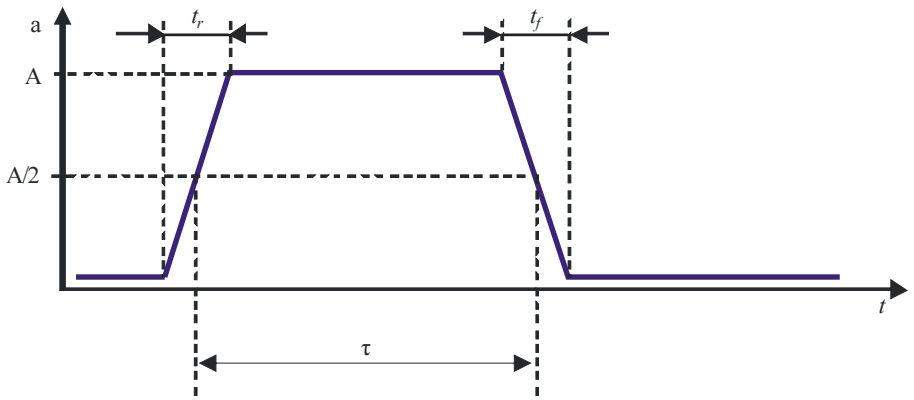
Spectrum-4.9-02

ولا يمكن للنبضات الفعلية أن تصعد وتهبط بقِصَر متناه، ولكن يتخذ منحنى مجال الزمن شكلاً مميزاً عند بداية كل نبضة ونهايتها، وذلك أن القدرة تزداد إلى مستوى الذروة ثم تنخفض إلى الصفر ثانية.

ويوصف شكل النبضة عامة بشبه المنحرف، مع أنه وصف مثالي بعض الشيء أيضاً.

الشكل 3-9.4

نبضة في شكل شبه منحرف في مجال الزمن



Spectrum-4.9-03

ويعرّف طول النبضة عادة ما بين النقطتين اللتين يبلغ اتساع النبضة عندهما نصف اتساع الذروة.

ويؤثر زمن الصعود t_r وزمن الهبوط t_f على الطيف الفعلي وعلى عرضه. ولذا فهما معلمتان هامتان من معلمات النبضة يمكن قياسهما لتوصيف البث توصيفاً كاملاً. وبما أن النبضات الفعلية ليس لها عادة "حوافاً" حادة مثالية من منحدرات الصعود والهبوط، فمن الضروري بيان مدى السوية الذي يعطى ضمنه زمن الصعود والهبوط. والقيم الشائعة هي 10%-90% لزمن الصعود و10%-90% لزمن الهبوط.

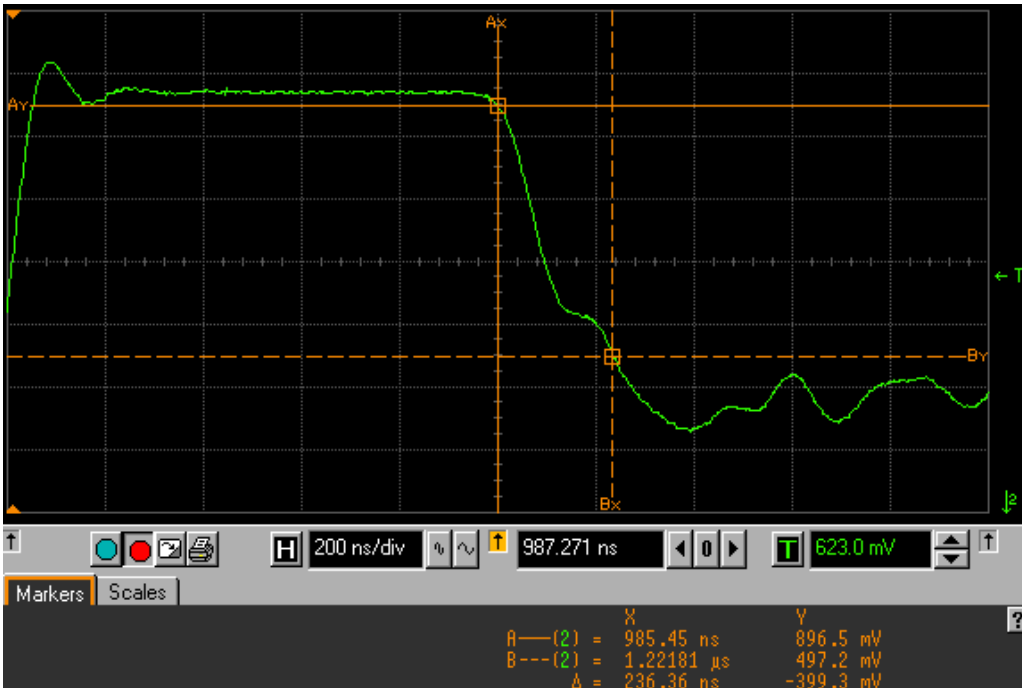
3.9.4 القياسات في المجال الزمني

يمكن قياس جميع معلمات النبضات المذكورة في الفقرة 2.9.4 في المجال الزمني. ويتم ذلك القياس عادة باستخدام كاشف تذبذب متصل بخرج الفيديو لمستقبل ما. ومن المهم ألا يكون لمستوى هذا الخرج ذي التردد المتوسط IF تحكم أوتوماتي في الكسب وأن يكون عرض نطاقه كافياً بما لا يؤثر على قياس التوقيت (انظر الفقرة 6.9.4). وثمة كاشفات تذبذب بالغة السرعة حالياً يمكنها التقاط إشارة التردد الراديوي وعرضها مباشرة.

ويمثل وقت هبوط النبضة، الوارد في الشكل 4-9.4، الاختلاف بين الواسمين، وهو يبين في أسفل الشكل على أنه Δ = 236,36 نانوثانية. وتكون أزمنة الصعود والهبوط في معظم إرسالات البث النبضي محدودة للغاية، ولذلك يتطلب قياسها أجهزة ذات عرض نطاق كبير. وعندما يتم القياس 'خارج الهواء'، يجب أن تكون الإشارة المطلوبة شديدة القوة مقارنة بالإشارات الأخرى على الترددات المجاورة.

الشكل 4-9.4

قياس زمن هبوط نبضة باستخدام كاشف التذبذب



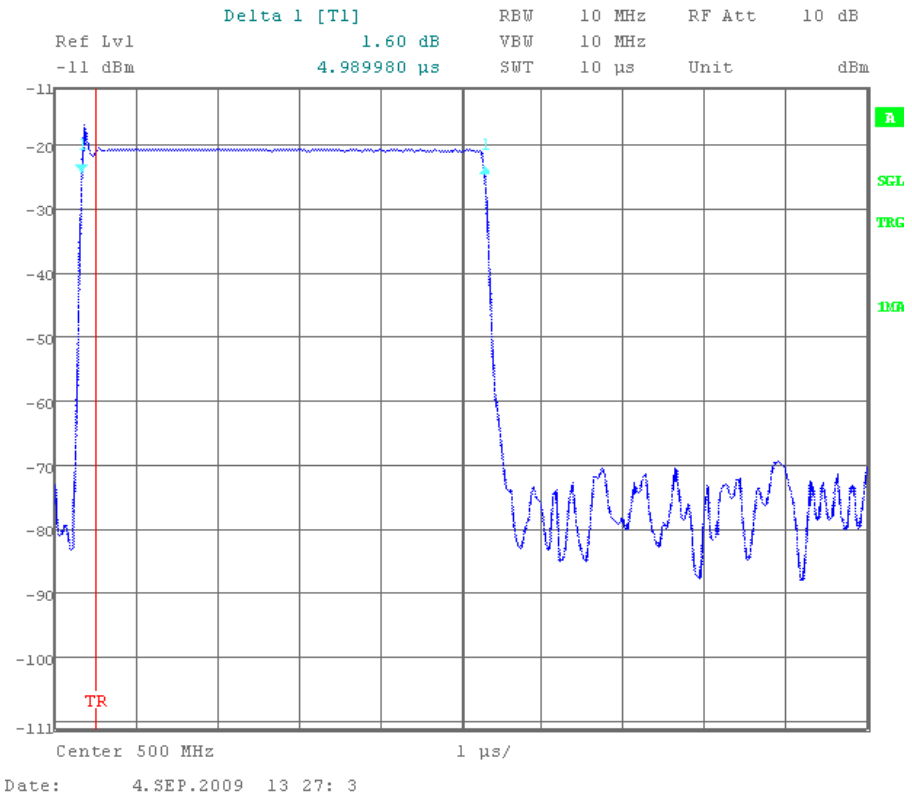
Spectrum-4.9-04

ولا بد من التنبيه على أنه عند استخدام كاشف التذبذب تُعرَض السويات بوحدات خطية غير لوغاريتمية، لكن العرض النهائي لا يكون خطياً إلا إذا كان كاشف التذبذب متصلاً بخرج فيديو خطي في المستقبل أو في المحلِّل. ولا يحوي العديد من مستقبلات المراقبة ومن محلّلات الطيف إلا خرجَ فيديو لوغاريتمياً فقط، وفي هذه الحالة يكون عرض السويات على كاشف التذبذب لوغاريتمياً أيضاً. ويمكن إهمال الخطأ الناتج عن ذلك في قياسات طول النبضة. ومع ذلك، لا تصلح في هذه الحالة روتينات القياس الأوتوماتي لأوقات صعود النبضات وهبوطها، ويجب قياسها يدوياً عوضاً عن ذلك. ويمكن قراءة معلمات التوقيت مباشرة من شاشة كاشف التذبذب.

وغالباً ما تتيح محلّلات الطيف الحديثة أزمنة كنْس قصيرة للغاية عند العمل بأسلوب الباع الصفري، وهو ما يُنتج في الواقع تمثيلاً للإشارة في المجال الزمني. ومع توفّر عرض نطاق استبانة (RBW) كافٍ، تتيح تلك المُحلّلات أيضاً القيام بقياسات نبضية في المجال الزمني (انظر الشكل 5-9.4).

الشكل 5-9.4

قياس طول نبضة باستخدام محلّل الطيف



Spectrum-4.9-05

وعند قياس طول النبضة بواسطة محلل طيف ذي سلم سويات لوغاريتمي، تجدر الإشارة إلى أن النقطتين الصحيحتين لتحديد الواسمين تقعان دون سوية الذروة بمقدار 3 dB.

ولدى قياس توقيت النبضات بواسطة محلّل الطيف، من المهم أن يستعمل أعرض نطاق استبانة متاح. كما ينبغي توخي الحذر لئلا يتأثر شكل النبضة المعروض بسبب استعمال عُروض نطاقات قياس ضيقة للغاية. ويتوقف عرض النطاق الضروري على توقيت النبضة نفسه. لمزيد من التفصيل، انظر الفقرة 6.9.4.

ولعل أيسر قياس لسوية ذروة النبضة هو باستعمال مكشاف الذروة بأي مستقبل قياس أو محلل طيف. ويمكن قياسه أيضاً باستخدام كاشف التذبذب، ولكن مع مراعاة بعض الاعتبارات.

ويتم أولاً تسجيل السوية المبيّنة عند أعلى نقطة في المنحنى. وبينما يبيّن كاشف التذبذب في العادة الفلطية من ذروة إلى ذروة (U_{pp})، فإن مكشاف الذروة في مستقبل القياس أو محلّل الطيف يعرض سوية القدرة الفعّالة لهذه القراءة (أو فلطية دخل المستقبِل المكافئة لها، u)، ويمكن حسابها بمضاعفة القراءة من الذروة إلى الذروة بمقدار $1/\sqrt{2}$.

ومن المألوف في قياسات التردد RF بيان نتائج السويات بوحدات لوغاريتمية، ولذا يتعين تحويل فلطية الدخل الخطية u إلى فلطية لوغاريتمية U:

$$U\,(\mathrm{dB}(\mu\mathrm{V})) = 20*\log(u\,(\mu\mathrm{V})) \qquad (4.9\text{-}1)$$

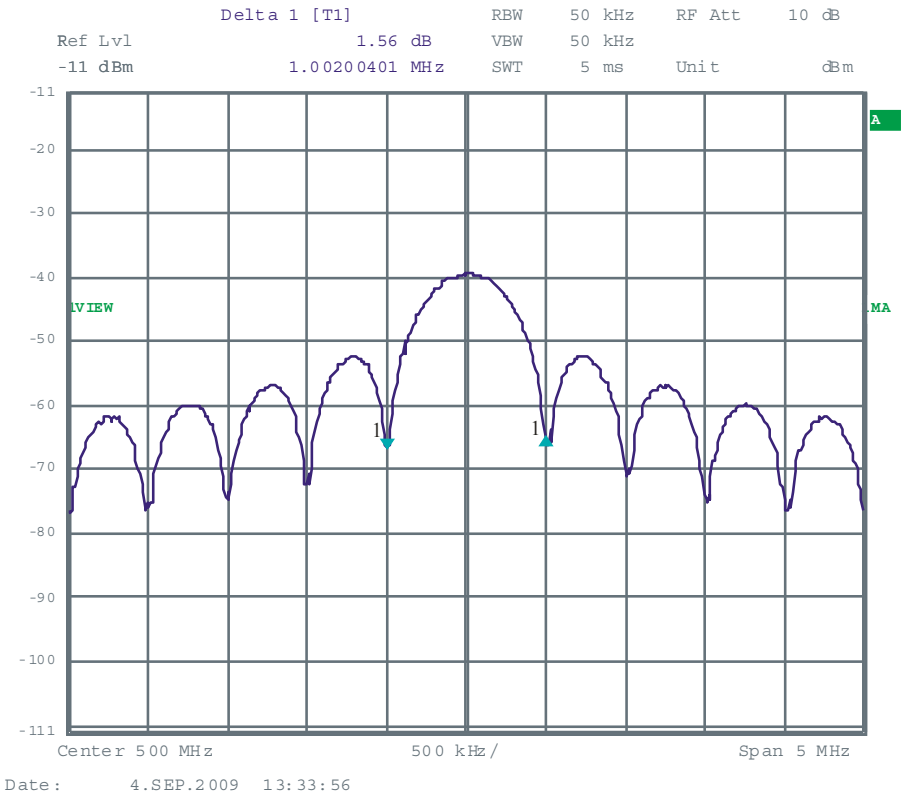
ولحساب فلطية الإشارة عند دخْل مستقبِل التردد RF، ينبغي معرفة قيمة تضخيم الإشارة في المستقبِل حتى خرج الفيديو. وتخفض نتيجة القياس بمقدار هذا التضخيم.

4.9.4 القياسات في مجال التردد

كما سلفت الإشارة، يتيح طيف البث النبضي أيضاً إجراء قياسات لبعض المعْلَمات المميِّزة. ومع ذلك، وحتى باستخدام محلِّلات الطيف الحديثة، لا يمكن في مجال التردد إجراء أي قياسات إلا لسوية الذروة وطول النبضة. وذلك لأن المحلِّل لا يستطيع استبانة خطوط الطيف التي يتكون منها فعلاً طيف النبضة. ويعرض الشكل 6-9.4 مثالاً لقياس طول النبضة.

الشكل 6-9.4

قياس طول النبضة في مجال التردد



Spectrum-4.9-06

وقد وُضع الواسمان في الشكل 6-9.4 عند أول أدنى نقطتين بجوار التردد المركزي. والمسافة (دلتا) بينهما هي 1 MHz، وهي ضعف المسافة بين ثاني أدنى نقطتين. وهكذا يكون طول النبضة 2/1 MHz = 200 µs (انظر أيضاً النص أسفل الشكل 2-9.4).

ويوصى باستعمال نطاق استبانة ضيّق بدرجة 1/500 من الباع، وذلك بغرض الحصول على استبانة تردد جيدة عند عرض الطيف الحقيقي للبث. ومع ذلك، لا يمكن بهذا الترتيب إجراء أي قياس للسوية. فلقياس ذروة سوية النبضة، لابد أن يكون نطاق الاستبانة يساوي 1/طول النبضة على الأقل.

وعلى أي حال، يشترط استعمال دالة MaxHold لقياسات الإشارات النبضية في مجال التردد باستخدام محلل الطيف.

ونظراً لترابط الخطوط المتميّزة في طيف النبضة من حيث الطور، فإن السوية الطيفيّة المبيَّنة تزداد بمقدار 20 dB إذا زاد نطاق الاستبانة 10 مرات، بينما لا تزداد ضوضاء الخلفيّة إلا بمقدار 10 dB. ولذلك تتحقق أعلى نسبة للإشارة إلى الضوضاء عندما تساوي استبانة عرض النطاق $1/\tau$. وهكذا يصير التوصل إلى عرض أمثل للطيف عملية معاوضة بين تحقيق نسبة إشارة إلى ضوضاء عالية وبين تحقيق استبانة تردد جيدة.

5.9.4 خاصيات النبضات الخاصة

الرادار هو أكثر تطبيقات الإرسالات النبضية (المطلوبة) شيوعاً. ولكن إلى جانب النبضات البسيطة التي تتخذ شكل شبه المنحرف، تقوم بعض أنظمة الرادار الخاصة بتشكيل النبضة في الاتساع والطور والتردد. ولهذه الإرسالات الرادارية أطياف ربما تختلف اختلافاً كبيراً عن الطيف الموضّح في الشكلين 9.4-2 و9.4-6. وعلى سبيل المثال، يوضّح الشكل 9.4-7 طيفاً رئيسياً لرادار يقوم بالكنس في التردد أثناء النبضة ("رادار متراوح").

الشكل 9.4-7

طيف مبدأ MaxHold لرادار متراوح



Spectrum-4.9-07

في حالة الرادار المتراوح، يحدد التشكيل بصفة أساسية عرض النطاق وشكل الطيف، لكن الأجزاء المتبقية من الطيف إلى اليسار واليمين بما لها من اتساع أقل كثيراً تتحدد أساساً بناء على زمن تكرار النبضة. وهذا يسري أيضاً على الرادارات ذات النبضات المشكّلة رقمياً.

وتَستعمِل بعضُ أنظمة الرادار أطوالَ نبضات متناوبة و/أو تواتر نبضات متكررة. وعند قياس الطيف الخاص برادار من هذا النوع، يمكن ألا يكون لسويات النقاط الدنيا والعليا نفس الوضوح كما في الشكل 9.4-2. ويبّين الشكل 9.4-8، على سبيل المثال، طيف نظام له نبضة ذات طولين مختلفيْن.

وبالنسبة للانبعاثات ذات أطوال النبضات المتناوبة، من الواضح أنّه لا يمكن قياس هذه المَعْلمة في مجال التردد. ولذلك يجب بدلاً من ذلك إجراء القياس في المجال الزمني حيث يمكن عرض كل نبضة وقياسها على نحو منفصل.

6.9.4 متطلبات التجهيزات

إلى جانب المتطلبات الاعتيادية، مثل القدرة على توليف التردد المطلوب وقياس سوية الذروة قياساً دقيقاً وغيرها، يكون لعرض النطاق (أو عرض نطاق الاستبانة) أهمية حاسمة عند القيام بقياسات النبضات. ولقياس أزمنة صعود النبضات وهبوطها قياساً صحيحاً، لابد أن يكون عرض النطاق اللازم لجميع تجهيزات الاستقبال والقياس (أي المستقبِل ومحلّل الطيف وخَرْج الفيديو وكاشف التذبذب) كبيراً بما يكفي لتتبع سوية النبضة تتبعاً صحيحاً خلال تلك الأزمنة.

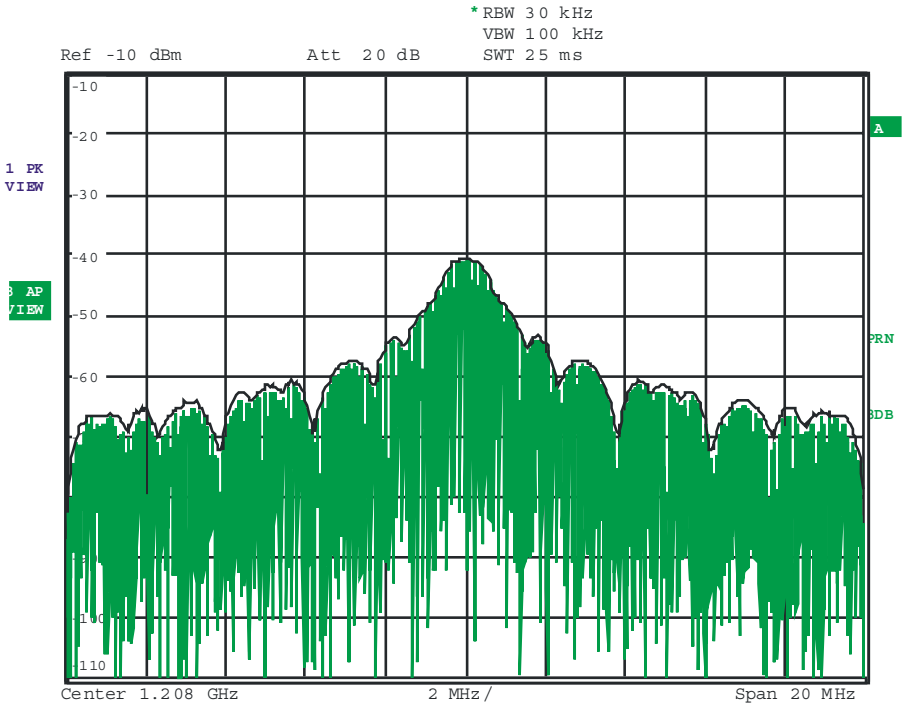
ويمثل هذا الشرط مطلباً عسيراً حتى على أكثر التجهيزات حداثة. ولعل من المستحيل قياس أزمنة الصعود والهبوط باستخدام المستقبلات و/أو محللات الطيف الاعتيادية.

ومع ذلك، تتمتع التجهيزات الاعتيادية بعرض نطاق كبير بما يكفي لقياس السوية وطول النبضة وتواتر التكرار.

ويبين الجدول 1-9.4 متطلبات الحد الأدنى من عرض النطاق لإجراء القياسات لمختلف معْلَمات النبضات.

الشكل 8-9.4

طيف رادار ذي طولَيْ نبضة متناوبين



Spectrum-4.9-08

الجدول 1-9.4

أدنى عرض نطاق للقياس

المراد قياسه	أدنى عرض نطاق	ملاحظات
شكل الطيف، عرض النطاق، طول النبضة في مجال التردد	– لا يوجد –	أقصى عرض نطاق استبانة موصى به هو 100/1 من الباع
ذروة مستوى النبضة	$\frac{1}{\tau}$	بالنسبة للأنظمة ذات أطوال النبضات المتناوبة: 1/أصغر طول
معدل تكرار النبضة	$\frac{1}{\tau}$	بالنسبة للأنظمة ذات أطوال النبضات المتناوبة: 1/أصغر طول تزداد دقة القياس مع زيادة عرض النطاق
طول النبضة	$\frac{1}{10\tau}$	تزداد دقة القياس بازدياد عرض النطاق
زمن الصعود/الهبوط	$Min\ (\frac{1}{10t_r};\frac{1}{10t_f})$	تزداد دقة القياس بازدياد عرض النطاق

ونظراً إلى أن مدة الكنْس بطيئة نسبياً في محلّلات الطيف التقليدية التي تعمل بالكنْس، إضافة إلى أن طول النبضة في معظم الإشارات النبضية بالغ القصر وبطء تواتر تكرار النبضات، فلا يمكن رؤية الطيف الموضح في الشكل 9.4-6 إلا بعد مرور فترة زمنية طويلة نسبياً في أسلوب MaxHold. أمّا بالنسبة لأنظمة الرادار، ونظراً لبطء سرعة دوران الهوائي وانخفاض نسب النبضة إلى التوقف، من الضروري أن يستغرق الزمن اللازم للمراقبة دقائق عديدة قد تمتد إلى ساعات. أما بالنسبة للمحلّلات التي تستخدم طريقة تحويل فورييه السريع (FFT)، فيتم عرض الطيف كاملاً بعد التقاط نبضة واحدة. وإذا كانت التجهيزات تتيح استمرار الالتقاط في فترة كاملة، فيمكن للمحلّل بطريقة FFT أن يقوم بقياس طول النبضة في مجال التردد لأنظمة الرادار ذات أطوال النبضات المتناوبة. ولذا فإن المحلّلات بطريقة FFT أو التجهيزات المزودة بالإمكانات الكاملة لتلك المحلّلات، إلى جانب عرض نطاق الالتقاط المتيسر حالياً، هي النوع المفضّل من تجهيزات قياسات النبضات.

10.4 قياسات شغل الطيف

1.10.4 ملاحظات عامة

يشير مصطلح قياسات شغل الطيف إلى تسجيل البث عبر فترة من الزمن. وباستخدام البيانات الأولية المجمّعة يمكن إنتاج عدد غير محدود تقريباً من المنحنيات والجداول وغيرها مثل الشغل المحتسب لكل نطاق تردد أو لكل قناة تتجاوز سوية العتبة. أما المسائل المتعلقة بتعريف مَن يشغل قناة تردد راديوي أو يشغل نطاق تردد راديوي وأين ومتى، فلا تُعتبر جزءاً من شغل الطيف ولكنها تناقش في القسم 8.4 (تحليل الإشارة وتحديد هوية المُرسِل).

والتجهيزات التي تستخدم بمثابة تجهيزات استقبال هي مستقبلات القياس (ضيقة النطاق أو عريضة النطاق) أو محللات الطيف ذات الخصائص المطابقة لتوصيات قطاع الاتصالات الراديوية (انظر الفصل 3).

ولقياس شغل الطيف على نحو جيد يجب النظر بعين الاعتبار إلى توصيات قطاع الاتصالات الراديوية المذكورة في البيبليوغرافيا.

2.10.4 تقنيات القياس

تزود قائمة الجرد الخاصة باستعمال الطيف الراديوي مسؤولي إدارة الترددات بالمعلومات اللازمة بشأن الاستعمال الفعلي لذلك الطيف وتمكّنهم من تخصيص ترددات جديدة داخل نطاق التردد. لكنها توفر معلومات أيضاً لقسم إدارة الترددات بشأن التوجهات السائدة في استعمال الطيف. ويمكن استخدام هذه المعلومات لإعداد وجهات النظر الوطنية لطرحها في المؤتمرات الدولية.

ويمكن مراقبة الطيف إما يدوياً أو أوتوماتياً أو كلاهما معاً في آن واحد.

وتكون المراقبة اليدوية المكملة للمراقبة الأوتوماتية مطلوبة عندما يكون من الضروري تحليل البث الخاضع للمراقبة ومعرفة هويته (القسم 8.4). لكن المراقبة اليدوية تحتاج إلى عمالة كثيرة ووقت كثير ولا تظهر فائدتها إلا عند الحاجة إلى تسجيل خصائص أساسية لا يمكن تسجيلها أوتوماتياً.

فلا تعمل الأساليب اليدوية على اشتقاق فترات استعمال البيانات أو مجال شغل نطاق التردد.

ويصبح تطبيق تكنولوجيا التسجيل الأوتوماتية أفضل عند انتفاء الرغبة في استخدام تكنولوجيا التخزين اليدوية المذكورة أعلاه. ويعتمد ذلك على المهام المختلفة لمراقبة شغل الطيف. ويمكن تقسيم المراقبة الأوتوماتية إلى ثلاث طرائق قياس مختلفة:

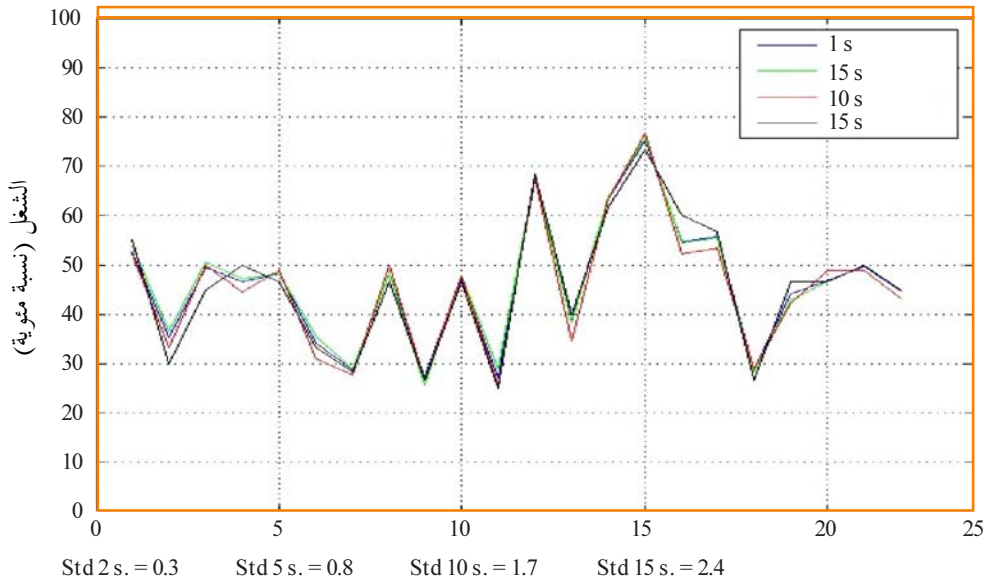
- مسح نطاق تردد محدد من بداية البُعد البؤري إلى نهايته في عدد من خطوات التردد، 1 000 خطوة مثلاً، بمسح محدد (أو زمن الكنس أو زمن المعاودة)، 10 ثوان مثلاً بمرشاح محدد لعرض النطاق. ويتم تنفيذ ذلك عادة بواسطة محلل الطيف أو مستقبل مراقبة (سريع). وتُعطي النتائج الظاهرة في منحنيات مختلفة وجداول وغير ذلك إشارةً عن شغل ذلك النطاق المحدد من التردد عبر فترة من الزمن، عادة 24 ساعة. وتُسمّى هذه القياسات قياسات شغل نطاق التردد (FBO) أو تسجيلات نطاق التردد (التوصية ITU-R SM.1809).

- قياس عدد من القنوات المحددة سلفاً التي لا تفصلها بالضرورة نفس المباعدة بين القنوات. ويتم عادة تنفيذ هذه القياسات عن طريق مستقبِل إشارة وتُسمّى قياسات شغل قنوات التردد (التوصية ITU-R SM.1536).
- تَستخدم قياسات شغل قنوات التردد (FCO) نفس قياسات نطاق التردد المبينة أعلاه. لنفترض مثلاً أن المسافة من بدء البُعد البؤري إلى توقفه مقسمة إلى 1 000 خطوة تردد. ويمكن اعتبار هذه الخطوات بمثابة قنوات. فإذا كان زمن الكنس أو المسح أو المعاودة 10 ثوان على سبيل المثال، فمعنى هذا أنه ستتاح حوالي 630 8 عيّنة لكل خطوة في هذه القنوات البالغ عددها 1 000 أثناء إجراء قياس مدته 24 ساعة. ويمكن معالجة هذه النتائج بسهولة على أساس قياس شغل قناة التردد (التوصية ITU-R SM.1793). وقد أظهرت الدراسات أن زيادة مدة المعاودة من 1 إلى 10 ثوان لن تؤثر على النتائج كثيراً، كما يظهر في الشكل 10.4-1.

الشكل 10.4-1

مقارنة بين مختلف أزمنة المعاودة

900 عينة NERA بتردد 422,7 MHz لكل 15 دقيقة



Spectrum-4.10-01

ويمكن تقييم الكثير من معلمات البث مثل شدة الإشارة (القيمة الدنيا أو القصوى أو المتوسطة) والنسبة المئوية من الزمن التي تزيد فيه الإشارة عن سوية عتبة محددة أثناء مدة القياس بأكملها أو أثناء فترات أقل، مثل ساعة واحدة. ويمكن تحديد المعلمات القابلة للتسجيل من خلال قياسات شغل نطاق التردد وشغل قناة التردد على السواء، وهي غير مقيدة بطرائق محددة.

ويمكن تنفيذ مراقبة شغل الطيف بواسطة محلل الطيف أو مستقبِل المراقبة، وكلاهما محكوم بالحاسوب. وليس هنالك ما يبرر الجمع بين الاثنين. إذ يتميز محلل الطيف وكذا مستقبِل المراقبة عريض النطاق بسرعة مسح أكبر في حين يسمح مستقبِل المراقبة بالمراقبة العشوائية لفرادى الترددات.

ويتوقف مدى الترددات الواجب مراقبتها على الأنظمة المستخدمة في نطاق التردد الذي يتعين قياسه (مثال: طول مدة الإرسال وعرض النطاق) والتجهيزات المستخدمة. ويتحدد الشغل على أساس زمن الإشارات الذي يتجاوز عتبة محددة.

وتُعطي المراقبة الأوتوماتية للبث معلومات بشأن ما يلي:

نظرة شاملة على الطيف

- لا يتضمن هذا درجة الشغل المعبّر عنها بنسبة مئوية وإنما يشمل فقط معلومات الاستعمال العام. ويشمل هذا بين أمور أخرى عرض السوية عبر الزمن، مثل الصورة الطيفية والسوية الدنيا/القصوى/الوسطية/المتوسطة والمخططات الشلالية، إلى آخره.

شغل القناة

– هي طريقة كلاسيكية لقياس الشغل، وتبين درجة الشغل عبر أي فترة من الزمن (%)، عادة 15 دقيقة.

حمولة الحركة

– يمكن التعبير عن بيانات الشغل المحسوب متوسطها لفترات من 60 دقيقة بمثابة شدة الحركة التي تُقاس بوحدات Erlang. ويمكن أن يصبح سلوك الحركة المعتمد على الزمن أساساً لتحديد متطلبات القناة وتقييم جودة الخدمة. والأمر الذي له أهمية خاصة في هذا السياق هو تحديد ساعة الذروة. حيث تُحدد ساعتا الذروة والازدحام من خلال بداية فترة القياس المعنية، 13:15 مثلاً، وهو يعني الشَغل ضمن فترة القياس، مثلاً من 13:15 إلى 14:15.

ولا تقتصر تحليلات شغل الطيف بالضرورة على تسجيل البث في الطيف وإنما يمكن تطبيقها أيضاً على البيانات المسجلة بواسطة تجهيزات قياس أخرى مثل محللات البروتوكول.

وعلاوة على ذلك فإن تحليلات شغل الطيف إلى جانب مجموعة من مصادر البيانات المختلفة تسمح بتسجيل الكثير من المعلمات وبعرض التقييمات بأسلوب أكثر تمايزاً. ويمكن أيضاً توفير مخططات وجداول (أوتوماتياً) من خلال بيانات المستعملين المستخرجة، على سبيل المثال، من أدوات التخطيط وقواعد بيانات المستعملين والرصدات الناتجة عن المراقبة اليدوية المتزامنة.

ومن الأمثلة على ذلك:

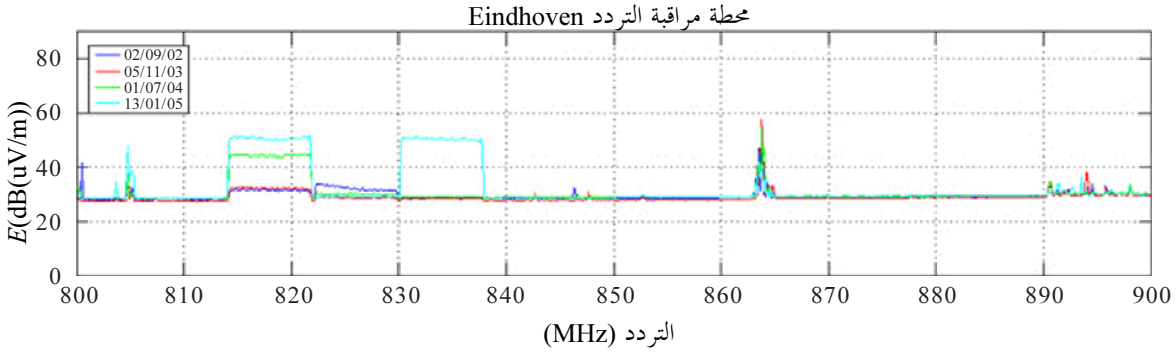
– تحديد عدد المستعملين أو التوزيع المكاني للتطبيقات.

– سلوك الاستعمال عبر وظائف التوزيع نسبة إلى طول تتابعات الشغل. ومن الضروري جداً لهذا النوع من تحديد الشغل توفر معرفة جيدة بسلوك المستعمل.

– تحديد تنوعية الاستعمال أو استقراره من خلال الربط بين بيانات القياس لفترات متماثلة. وتسمّى هذه مراقبة دلتا (المقارنة بين نتائج قياسات مختلفة لذات نطاق التردد في مواعيد مختلفة من خلال رسم المنحنيات كلها في مخطط واحد).

الشكل 2-10.4

مثال لمراقبة دلتا



Spectrum-4.10-02

3.10.4 مستقبلات لمراقبة شغل الطيف

ينبغي لمرسلات المراقبة ومحللات الطيف المستخدمة في هذا التطبيق أن تكون مطابقة، كشرط أدنى، للتوصيات الواردة في الفصول الأخرى من هذا الكتيب. وينبغي لمستقبِل المراقبة المستخدم لقياس شغل الطيف أن يوافق المعلمات الآتية:

- أن يقدّم انتقائية عالية للتردد الراديوي (وبالأخص ينبغي وجود مراشيح للتردد كافية موزعة توزيعاً صحيحاً في نطاق تشغيل المُستَقبِل لتجنب تكوين نواتج التشكيل البيني بقدر المستطاع)؛

- أن يكون مجهزاً بمراشيح التردد المتوسط (IF) ضيقة بما يكفي و/أو خَرْج I/Q لترشيح IF بواسطة معالجة خارجية للإشارات الرقمية؛

- أن يكون مجهزاً بموهن تدرجي؛

- أن يكون قادراً على استعمال معيار تردد خارجي؛

- أن يكون قادراً على قياس شدة المجال بدقة؛

- أن يكون قادراً على سرعة مسح القنوات المختارة من نطاق التردد، وبالأخص فوق 30 MHz.

وتتوقف ضرورة قياس شدة المجال بدقة أثناء قياس الشغل على المهمة المعنية. وفي أكثر الحالات تكون قيمة فلطية الدخل كافية لكشف الشغل.

وينبغي عند اختيار المستقبِل وضع تصميم الدارة في تجهيزات القياس في الاعتبار لأنه يؤثر على نتيجة القياس، حيث يمكن ضبط المستقبلات ذات المركّب على أي تردد. غير أنها تتسم بالبطء في عملية المسح مقارنة بالأنظمة عريضة النطاق القائمة على أساس تحويل فورييه السريع (FFT). وفي حالة استعمال نظام FFT ينقسم عرض نطاق القياس على عدد ثابت من نقاط الحساب. ولذلك ليس من الممكن قياس أي تردد كان. حيث يؤخذ ضبط تجهيزات القياس في الحسبان، خاصة في قياس شغل القنوات، وهو اختيار مواضع ضبط تكون نقاط FFT فيها على الترددات التي يتعين قياسها.

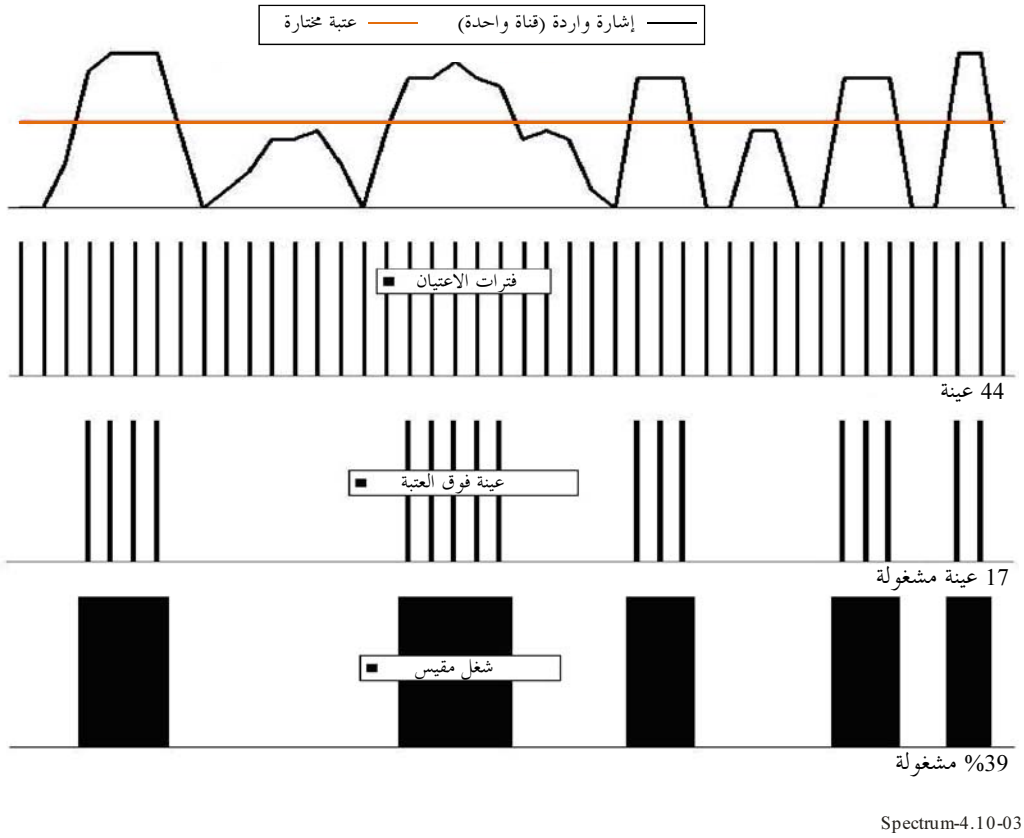
4.10.4 المبادئ الأساسية ومعلمات القياس

1.4.10.4 مبادئ الاعتيان

يبين الشكل 10.4-3 تغيّراً نمطياً في شدة الإشارة بعتبة مختارة على النحو المشار إليه. وتوضح حالات الاعتيان إلى جانب العينات التي تسجل حالة "مشغول". وتبين أن 17 من أصل 44 فترة هي إجمالي فترات الاعتيان في هذا المثال كانت مشغولة مما يفضي إلى سجل شغل قدره 39%. ويمكن تلخيص هذه البيانات في فترات مدتها دقيقة أو 5 دقائق أو 15 دقيقة أو 3 ساعات أو 6 ساعات أو 12 ساعة أو 24 ساعة حسبما يراد.

الشكل 3-10.4

تغيّر نمطي لشدة الإشارة



Spectrum-4.10-03

وتُعطي تكنولوجيا الاعتيان عادة تقديراً جيداً لشغل القناة شرط اعتيان قدر كاف من العينات لإعطاء نتائج ذات دلالة إحصائية. ويبين الجدول 1-10.4 عدد العينات المطلوبة لإعطاء النتائج درجة معقولة من الثقة.

الجدول 1-10.4

العدد المطلوب من العينات المستقلة وغير المستقلة لتحقيق دقة نسبية قدرها 10%
وسوية ثقة قدرها 95% عند نسب شغل مختلفة (بافتراض فترة اعتيان 4 ثوان)

الشغل (%)	العدد المطلوب من العينات المستقلة	العدد المطلوب من العينات غير المستقلة	ساعات الاعتيان المطلوبة للعينات غير المستقلة
6,67	5 368	16 641	18,5
10	3 461	10 730	12,0
15	2 117	6 563	7,3
20	1 535	4 759	5,3
30	849	2 632	2,9
40	573	1 777	2,0
50	381	1 182	1,3
60	253	785	0,9
70	162	166	0,2

ولا بد من وجود عدد محدد من العينات لأجل تحقيق سوية محدد من الدقة مع فاصل ثقة زمني إحصائي موثوق. وفي حالة بلوغ نسبة الشغل 100% يكفي أخذ بضع عينات لتحقيق نتيجة جيدة. أما في حالة انخفاض سوية الشغل، ينبغي توفر مزيد من العينات للحصول على نتائج تتسم بنفس الدقة والثقة الإحصائية. والغرض من الجدول هو إظهار أن الدقة المتعلقة بعدد العينات خلال الفترة الزمنية تتوقف إلى حد كبير على طول بث الأنظمة في نطاق التردد المقصود وعدد المرات التي تكون الأنظمة فيها "على الهواء". وفي حالة مستعمل راديو متنقل خاص (PMR) (سائق تكسي مثلاً) الذي يستغرق اتصاله على الهواء مرة كل ساعة لمدة 12 ثانية فيجب مراقبته لفترة أطول للحصول على درجة دقة محددة نظراً لتواصل إرسال محطة الإذاعة).

والقِيَم الواردة في الجدول 10.4-1 كافية عادة لتحديد سوية الثقة. وفيما يخص التطبيقات الخاصة، مثل الشغل المنخفض جداً أو مدة الكنس الطويلة جداً وغير ذلك، ينبغي الرجوع إلى الدراسة بعنوان "في تعريف شغل الطيف وتقديره" [Spaulding/Hagn, 1977].

وتشير أرقام العينات الواردة في الجدول 10.4-1 دائماً إلى الفترة التي سيجري الحصول على بيانات عنها بالدقة المناسبة. بتعبير آخر، إذا كان أخذ العينات غير المستقلة (في نفس الفترة الزمنية دوماً) يتم في حالة توقّع للشغل بنسبة 20% فينبغي أخذ 759 4 عينة من كل فترة. وفي حالة الحاجة إلى بيانات بشأن حمولة الحركة تكون الفترة المطلوبة 60 دقيقة. وإذا كانت أربع قيّم لكل يوم (أي واحدة طوال 6 ساعات) كافية في الاعتيان طويل الأجل عندئذ تكون الفترة 6 ساعات.

ولذا تتوقف سرعة القياس اللازمة على الفترة المعنية. وفي المثال الوارد هنا ينبغي الاعتيان لفترات 15 دقيقة على الأقل لكل 0,15 ثانية، أما بالنسبة للفترات الممتدة 60 دقيقة فينبغي الاعتيان كل 0,6 ثانية، وللفترات الممتدة 6 ساعات ينبغي الاعتيان كل 3,5 ثانية.

ولا يشكل قياس الشغل المنخفض أمراً بالغ الأهمية من منظور إدارة الترددات. ومع ذلك، قد تكون درجات الشغل في الأجل القصير موضع اهتمام أيضاً، مثل السعي لاكتشاف استعمالات الترددات في حد ذاتها. فثمة اختلاف كبير للغاية بين عبارتي "عدم الاستعمال" و"الاستعمال العَرَضي".

2.4.10.4 معلمات النظام

ينبغي لتقييم درجة الشغل في أكبر عدد ممكن من القنوات تجميع كم هائل من البيانات ومعالجتها. فعلى سبيل المثال، تتم برمجة مستقبِل المسح بطريقة محددة بحيث يسجل كل ثانيتين 50 عينة من قنوات تردد راديوي مختلفة. وهذا يعني أن النظام يعمل بفترة معاودة قدرها ثانيتان. ويحتاج المستقبل إلى وقت ليضبط نفسه بدقة وفقاً للقناة وليُصدر نتائج موثوقة. وفترة الرصد لكل قناة في هذا المثال أو زمن البقاء هي حوالي 5 ثوان. وتتوقف فترة المراقبة لكل قناة على سرعة مسح المستقبل.

ويجب عند برمجة نظام القياس في حالة استعمال أنواع مختلفة من المستقبلات مراعاة ضبطها على ذات المواضع حتى يتسنى الحصول على نتائج قابلة للمقارنة.

1.2.4.10.4 طول مدة الإرسال

تختلف أطوال الإرسال باختلاف أنماط المستعملين. إذ تكون رشقات البيانات عادة أقصر مدةً من الكلام. وتؤثر الاختلافات بين كثافة المستعملين في مناطق الحضر عنها في مناطق الريف على طول مدة الإرسال وإحصائيات الشغل أيضاً.

وينبغي التمييز بين الزمن المقيس الذي يكون البث فيه على الهواء والزمن الذي تنشغل فيه القناة باتصال ما. ففي حالة قنوات الإرسال المفرد مثلاً يكون وقت التبديل بين الترددات الراديوية جزءاً من استعمال القناة. وتستطيع أنظمة التسجيل الذكية تسجيل أزمنة التأخر هذه وإضافتها إلى فترات الشغل الفعلية.

2.2.4.10.4 العلاقة بين بعض المعلمات ذات الصلة

ثمة علاقة قوية بين زمن الرصد وعدد القنوات ومتوسط طول مدة الإرسال والدقة المنشودة ومدة المراقبة.

وتتوقف فترة المعاودة مباشرة على زمن الرصد وعدد القنوات:

فترة المعاودة = (زمن الرصد لكل قناة) × (عدد القنوات)

وينبغي في هذا النوع من القياس أن يكون زمن المعاودة أقصر (بكثير) من متوسط طول مدة الإرسال. وللحفاظ على زمن معاودة معقول القصر مع استعمال تجهيزات بطيئة نسبياً، ينبغي الحد من عدد القنوات المقيسة.

ويتعين على نظام المراقبة تنفيذ المسح بسرعة مقبولة للكشف عن فرادى الإرسالات القصيرة بغية الحصول على معلومات على سوية من الدقة والموثوقية وفقاً للتوصية ITU-R SM.182 كما ورد في الفقرة 1.4.10.4.

3.4.10.4 خشونة القياسات

ليس من المجدي تسجيل البيانات الأولية نظراً لضخامة أحجام البيانات وصعوبة معالجتها. ولذلك، فإن من الحكمة قصر البيانات على فترة محددة أثناء القياس الفعلي. ووفقاً للمهمة المنشودة وطول مدة القياس، يمكن للفواصل الزمنية التي تستغرق دقيقة واحدة، ما يعادل 440 1 سجل بيانات يومياً، أن تشكل حلاً وسطياً مقبولاً بدلاً من تسجيل كل البيانات وتكبد خسارة كبيرة جراء ضغطها. وإذا لم تكن خشونة قياس كهذه ضرورية أو إذا كانت فترة المراقبة طويلة جداً (تشمل عدة أشهر) يكفي حينئذ مباعدة القياس لفترات 5 دقائق أو 15 دقيقة أو 60 دقيقة. ومع ذلك، فإن الخشونة الزمنية المحددة لتجهيزات القياس يجب أيضاً أن أعلى كثيراً في هذه الحالات بغية الحصول على دقة أعلى عند حساب متوسطات متحركة.

ولذلك، ينبغي أن تتمكن برمجيات المراقبة من توليد بيانات الشغل لأي خشونة زمنية يمكن انتقاؤها بحرية.

4.4.10.4 اعتبارات الموقع

ينبغي مراعاة العديد من العوامل عند اختيار موقع لقياسات شغل قنوات التردد الراديوي.

وعلى غرار أكثر المواقع المستعملة لأغراض الاستقبال، ينبغي وضع تجهيزات المراقبة في موقع يتصف بالآتي:

- البعد عن الإرسالات الراديوية الشديدة؛
- البعد عن الهياكل والأبنية التي يمكن أن تسبب انعكاسات؛
- وجوده داخل منطقة الخدمة للأنظمة الراديوية التي ستخضع للمراقبة، وقد تكون أيضاً برمجيات التنبؤ بالتغطية أداة نافعة لتحديد مدى الاستقبال؛
- البعد عن مصادر الضوضاء الكهربائية، مثل أجهزة الحاسوب أو مراكز مراقبة سرعة المركبات أو غيرها.

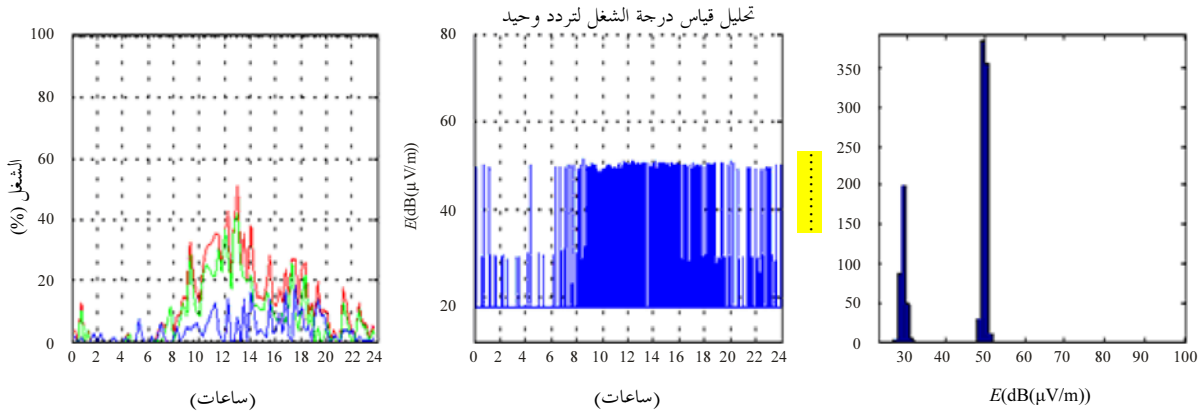
5.4.10.4 قيود المراقبة والحلول الممكنة

لئن كان من المتوقع الحصول على نتائج دقيقة للشَغل، إلا أن من الحكمة ألا تغيب عن الأذهان القيود المرتبطة بمراقبة الشغل الأوتوماتية والمناطق التي قد تعاني من نقص الدقة. فالمراقبة الأوتوماتية البسيطة لا يمكنها التمييز بين الإشارات الواردة من المحطة ألف وتلك الواردة من المحطة باء (البث المطلوب والبث غير المطلوب، على التوالي).

أما المراقبة الأوتوماتية المتطورة فيمكنها التمييز بين الإشارات الواردة من محطات مختلفة. ويمكن رسم الشغل الذي تسببه محطات مختلفة تعمل على ذات قناة التردد في رسم بياني لدرجة الشغل، كما هو ظاهر في الشكل 10.4-4.

الشكل 4.10.4-4

مثال لتحديد المرسِلات الثابتة



ويمكن تحديد اثنين من المستعلمين، المنحنى الأخضر هو المستعمل المستقبَل بسوية 50 dB(μV/m) تقريباً، ويوضح المنحنى الأزرق درجة الشغل الناجم عن المحطة الأخرى (حوالي 30 dB(μV/m)). أما المنحنى الأحمر فيمثل الشغل الكلّي (الأخضر + الأزرق).

ولتحقيق نتائج واضحة (تمثل الإبر الحادة المحطات الثابتة في الرسم الموجود جهة اليمين من الشكل) من المحبذ وجود عدد قليل من السويات المنفصلة مع عدد كبير لكل حدث.

1.5.4.10.4 الإشارات غير المطلوبة

تَستعمل أكثر أنظمة مراقبة الشغل الأوتوماتية سوية عتبية لتحديد متى يكون التردد مشغولاً.

وبالرغم من أن الغرض الواضح هو تسجيل نشاط الإشارات المطلوبة، لا تتمكن المراقبة الأوتوماتية البسيطة من التمييز بين البث المطلوب والبث غير المطلوب. ويتم التعامل مع النوعين باعتبارهما شغلا مشروعاً للقنوات.

ويمكن أن تَصدر الإشارات غير المطلوبة من أي من المصادر التالية:

- إرسالات غير مصرح بها؛
- مستعملون لإشارات قنوات مجاورة قوية؛
- بث هامشي وخارج عن النطاق صادر عن المرسِلات؛
- تداخل اصطناعي (مثلاً، محركات كهربائية غير مكبوتة)؛
- انتشار معزَّز بسبب أحوال الطقس والبيئة؛
- مستعملون لنفس القناة من موقع بعيد.

ولكن من وجهة نظر المستعمل، تُعتبر كل الأنواع مكونةً للشغل وبالتالي فهي غير هامة بالنسبة للقياس.

ويجب توخي الحذر عند تصميم النظام لتجنب نواتج التشكيل البيني أو لتحديد هذه النواتج لإزالتها بواسطة الخوارزميات البرمجية. ويوضع ناتج التشكيل البيني في الاعتبار من خلال الإدخال الأوتوماتي لتوهين تردد راديوي ثابت معروف على مسحات متناوبة ثم الإزالة الأوتوماتية لكل الإشارات المسجلة التي جرى توهينها بقيمة أكبر. ومع ذلك، من شأن تقنية القياس هذه أن تخفض مدة التسجيل إلى النصف. وكذلك، فهي ليست موثوقة بالضرورة نظراً لأنها تفترض عدم تغير البث بين الكنستين.

2.5.4.10.4 الشغل الكلي

حتى لو لم يكن نظام المراقبة يعاني من أي من المشاكل المذكورة أعلاه ولا يستقبل إلا الإشارات المشروعة فلا يزال الحرص لازماً في التعامل مع نتائج الشغل.

فإذا كان أكثر من مستعمل نشطاً في تردد ضمن المنطقة التي يغطيها نظام المراقبة، فإن الشغل المسجل يكون توليفة من الحركة الراديوية من المستعمل الآخر.

ومن الممكن أن يكون موقع إحدى الوحدات المتنقلة المطلوبة (وحدة متنقلة ألف) أبعد بكثير عن موقع محطة المراقبة من موقع قاعدة المستعمل بالذات (قاعدة ألف). وبالتالي قد تكون الإشارة المستقبلة أقل من قيمة العتبة المحددة للمراقبة ولكنها قوية بما يكفي في موقع القاعدة بحيث يمكن استعمالها. وعلى عكس ذلك، قد يتم استقبال وحدة متنقلة لمستعمل خارج المنطقة (وحدة متنقلة باء) في موقع المراقبة ولكنها لا تسمع في قاعدة المستعمل الأساسي.

وقد يؤدي هذان المثالان إلى تفسير نتائج الشغل تفسيرات خاطئة. وينبغي تقييم خيارات الخطأ هذه وتوثيقها في تقارير القياس. ويؤثر اختيار موقع القياس وجودة سلسلة الاستقبال تأثيراً كبيراً على نتائج القياس.

6.4.10.4 ضبط العتبة

هنالك تمييز ما بين ضبط عتبة ثابتة وعتبة دينامية.

وتعرّف العتبة الثابتة بأنها أدنى شدة مجال لازمة لتغطية راديوية. وهي بذلك تحاكي حالة محطة راديو في الشبكة الراديوية المرصودة. ويمكن في حالة استخدام قيمة ثابتة للعتبة أن تتم مقارنة نتائج القياسات الأخيرة بنتائج القياسات السابقة. أمّا في حالة استعمال سوية دينامية (متغيرة)، فلا يمكن مقارنة النتائج.

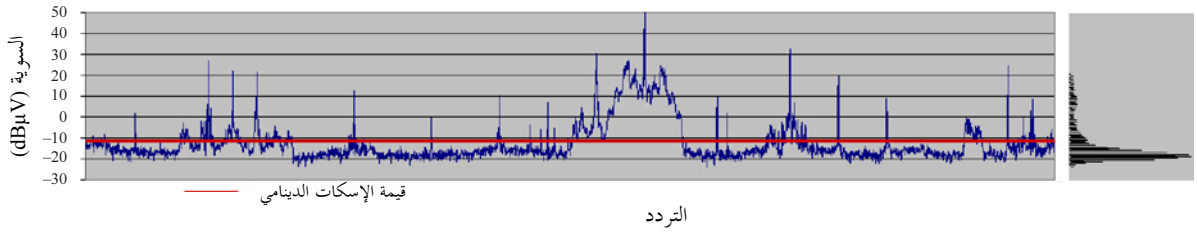
كما يمكن تحديد العتبة بمعرفة السويّات في موقع القياس. ولتحديد العتبة يمكن إضافة هامش مقداره 8-12 dB إلى الضوضاء. أما القيمة الفعلية التي ينبغي إضافتها إلى الضوضاء فتتوقف على "ما يُتوقّع رؤيتُه". وإذا دعت الحاجة إلى معرفة كل الإشارات داخل منطقة تغطية المستقبِل، تُضاف إلى السوية التي تم حسابها للضوضاء قيمةٌ لا تزيد على 3 dB إلى 5 dB كحد أقصى. وفي حالة العمل على سويَة عتبة ثابتة، يجب تحديد سوية الضوضاء من كل (مستقبِلات) المواقع (البعيدة) وتخزينها في قاعدة بيانات بسيطة. ثم تُستخدم القيم المختزنة في قاعدة البيانات هذه عند معالجة البيانات.

وسيبدو جلياً أن سوية ضوضاء الخلفية ذات الصلة بمعالجة النتائج في نطاق الإذاعة بتشكيل التردد 87,5-108 MHz تختلف عنها في نطاق الترددات 118-133 MHz الخاص بخدمة الطيران.

وإذا أُجريت القياسات باستعمال محلّل طيف أو مستقبِل، يمكن حساب أي إسكات دينامي باستخدام خوارزميات شتى. ويمكن اشتقاق ذلك الإسكات بكل سهولة من التوزيع الترددي للعينات المأخوذة خلال الكنسة. ويضاف هامش ثابت مقداره 5-10 dB إلى السوية، وهو ما يُمثَّل بأكبر عدد من قيم السوية المنفصلة. وبذلك تتشكل العتبة الخاصة بكشف درجة الشغل لهذه الكنسة تحديداً (انظر الشكل 10.4-5).

الشكل 5-10.4

تحديد الإسكات الدينامي



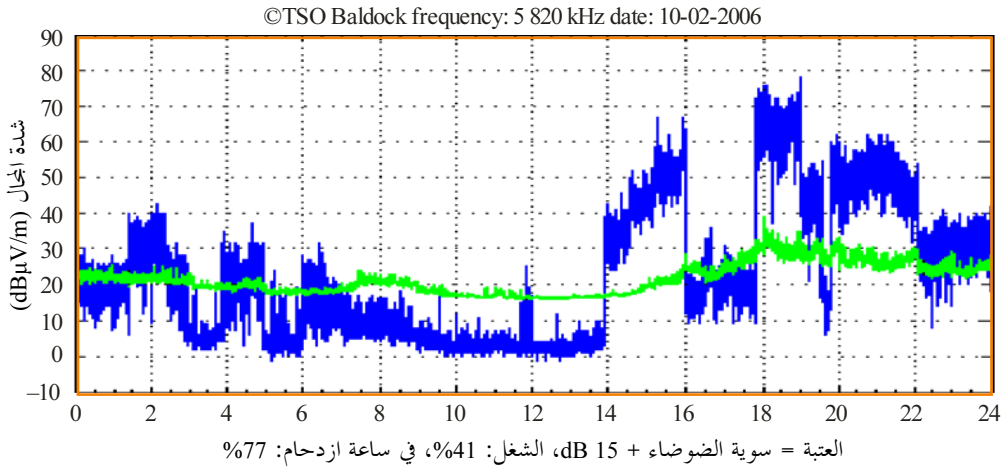
Spectrum-4.10-05

وعلى هذا النحو يتم حساب عتبة جديدة لكل كنسة. ولهذه الطريقة فائدة كبيرة في دورات القياس الطويلة. ولا يؤدي حدوث تغييرات في سوية الضوضاء أو الإشارات غير المطلوبة عريضة النطاق إلى تزييف قياس الشغل أو نفي استعماله. ورغم ذلك، لا بد من توخي الحذر لضمان أنّ الأطياف المسجّلة تحوي ما يكفي من العينات التي تكرر الضوضاء. وتتغير ضوضاء الخلفية مع الزمن تغيّراً طفيفاً في الترددات المترية/الديسيمترية/السنتيمترية (VHF/UHF/SHF). غير أن هذا التغيير لا يتعدى بضعة ديسيبلات في الظروف العادية. ولا يترك ذلك أي تأثير نظراً لإضافة عدد من الديسيبلات (من 3 إلى 5 dB) إلى الضوضاء. ومن هنا يتبيّن أنه ليست ثمة حاجة دائماً لحساب عتبة جديدة لكل كنسة. أمّا إذا بدأت ضوضاء الخلفية في التغير بأكثر من 5 dB، أصبح هناك ظروف (انتشار) استثنائية، مما قد يؤدي إلى إفساد النتائج ومن ثم لا ينبغي الاعتماد عليها.

أمّا بالنسبة لنطاق الترددات الديكامترية (HF) فالموقف يختلف اختلافاً كلياً. إذ تتغير سوية الضوضاء خلال اليوم وخلال الفصل من السنة مع اختلافات كبيرة على مدار 24 ساعة. وفي هذه الحالة يجب حساب العتبة الدينامية مقابل الزمن. ويجب أيضاً إضافة عدد من الديسيبلات إلى سوية الضوضاء لتحديد العتبة. ففي الشكل 6-10.4 يمكن إضافة 15 dB.

الشكل 6-10.4

تغير ضوضاء الترددات الديكامترية (HF) أثناء يوم ما



Spectrum-4.10-06

لن يكون من الملائم تغيير قيمة العتبة في وقت لاحق، إذ إنّ ذلك يتطلب تسجيل بيانات أوليّة.

وإذا افترضنا أن مدة القياس هي 24 ساعة، وأنّ مدة الكنس هي 500 ميكروثانية و1 000 خطوة، يصبح حجم البيانات 700 MB. (1 000 نقطة بيانات و4 بايتات لكل نقطة = 4 كيلوبايتات لكل كنسة أو مسح للطيف، 172,800 طيف في 24 ساعة × 4 kB = 700 MB تقريباً).

وتبعاً لطول إرسال الإشارات المتوقعة في نطاق الترددات الذي يتعين قياسه، ليس من الضروري دائماً استخدام مدة كنس تستغرق 500 ميكروثانية. فمن الممكن مثلاً قياس نطاقات ترددات الإذاعة باستعمال مدة كنس تبلغ 10 ثوان (يبلغ حجم الملف حوالي 35 MB). غير أنه حتى في حالة 500 ميكروثانية كمدة كنس، ينكمش ملف بيانات حجمه 700 MB إلى نحو 230 MB إذا تم ضغطه.

ويسهل تماماً الحصول على قرص صلب خارجي بسعة تبدأ من 1 Tb يمكن فيه تخزين ما يزيد على 000 4 ملف مضغوط، يحتوي كل منها بيانات قياس لمدة 24 ساعة بمدة كنس 500 ميكروثانية.

ولكن حتى مع توفر مساحة تخزينية كافية على قرص صلب، فإن حفظ هذه الكمية من البيانات ليس سهلاً وتقييمها صعب. ومن الحكمة بالتأكيد اختزال البيانات أثناء جمعها، لكنّ ذلك يعني ضمنياً وجوب معرفة المَعْلمات المطلوب ضبطها قبل بدء القياس.

5.10.4 القياسات في نطاقات التردد

لا تختلف من حيث المبدأ عمليات قياس شغل الطيف في النطاقات الأدنى من 30 MHz والأعلى منه. ويمكن استعمال نفس المنهجية الموضحة في التوصية ITU-R SM.1809 للطيف الراديوي بأكمله.

وفي الترددات الأدنى من 30 MHz لا تُستعمل عادة قياسات شغل قنوات التردد. (ويستثنى من ذلك شغل القنوات فيما يخص قنوات الإذاعة الديكامترية (HF) أثناء الحملات الأوروبية للمراقبة التي أطلقت تحضيراً للمؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية 2007).

وفي الترددات الأعلى من 30 MHz، تطبق عادة طريقة القياس الواردة في التوصية ITU-R SM.1536 أو قياسات نطاق الترددات الواردة في التوصية ITU-R SM.1809 مع طريقة المعالجة الواردة في التوصية ITU-R SM.1793. وتتيح الطريقة الأخيرة التمييز بين أكثر من مُستعمِل على نفس القناة.

1.5.10.4 الترددات دون 30 MHz

بالنسبة لمراقبة الشغل يدوياً للترددات دون 30 MHz، يجب أن توفر وحدة التحليل خياراً حصيفاً من مراشيح التحليل لعرض النطاق ما بين 100 Hz و10 kHz. ويساعد قياس التردد (حتى سوية دقة بمقدار 1 Hz) في عملية قياس الشغل بصفة خاصة عن طريق المساعدة في تحديد الإشارات.

وينبغي من حيث المبدأ أن يكون في الإمكان ضبط تجهيزات القياس بحيث يمكنها تسجيل البث على نحو صحيح. ويمكن كذلك، سعياً لزيادة حساسية تحديد الشغل، إجراء القياس في نطاق أضيق.

وتتوقف فترة القياس وما يرتبط بها من عدد عينات/فواصل القياس على المهمة الراهنة. وربما يُكتفى بقياس مجرد فترة قصيرة (يوم واحد مثلاً) لكن بدرجة خشونة أكبر، لتحديد ساعة ازدحام الحركة مثلاً أو، في حالة إجراء قياسات طويلة الأجل قد تمتد لأسابيع أو شهور، بإجراء القياس بنفس عدد عينات القياس على امتداد فواصل أطول.

وتُجرَى قياسات الشغل إمّا على أساس القنوات أو الترددات. ولا طائل من القياس على أساس الترددات إلا باستعمال محلّل طيف. وينبغي تفضيل القياسات ذات الصلة بالنطاق إذا كان شغل قناة وحيدة أو تردد وحيد أمراً غير ذي أهمية بالنسبة للمهمة الراهنة. ومن حيث المبدأ، تُجمَع في هذه القياسات حالات الشغل الفردية، وبذلك تستقى المعلومات عن نطاق الترددات أو القنوات المرصودة. وتؤدي خسارة السمة الفردية في القنوات أو الترددات الفردية إلى نتائج أقل تبايناً.

2.5.10.4 الترددات فوق 30 MHz

يمكن أيضاً لقياسات شغل الطيف فوق 30 MHz أن تدعم مختلف مهام إدارة الترددات وإنفاذ ما يتعلق بها.

- تسجيل شغل القنوات.
- تسجيل نطاق الترددات.
- تحليلات الحركة.

- بيان إتاحة نطاق تردد ما لاستعمال جديد بعد "معاودة توزيعه".
- تحديد الاستعمال غير المشروع للترددات.
- منع التداخل.
- التحليلات طويلة الأجل.
- تحليل الشبكات الخلوية ذات التخصيص الدينامي للقنوات (تحديد سلوك الخلية ككل).

1.2.5.10.4 قياس شغل قنوات التردّد

تخطط نطاقات التردد فوق 30 MHz في معظم البلدان وفقاً لأنظمة تخطيط معروفة، كنظام بنية خلية النحل على سبيل المثال. وتخصَّص قنوات الراديو للمستعملين حسب توفرها. وتستقى المعلومات عن المستعملين المرخصين من قواعد بيانات إدارة الترددات، لكنها تقتصر على تحديد السماح باستعمال التردد. ولا يوفر عدد التخصيصات لتردد ما دوماً المعلومات الكافية عن الاستعمال الفعلي لذلك التردد.

ولذلك من الضروري، في المناطق المزدحمة، أن يستند تخصيص الترددات إلى بيانات أكثر واقعية. وتساعد قياسات كثافة الحركة في قنوات الراديو في الحصول على قيم دقيقة لشغل هذه القنوات. وبتكرار هذه القياسات على فترات منتظمة يستطيع مديرو الترددات تحديد الاتجاهات انطلاقاً من البيانات التاريخية.

2.2.5.10.4 الخدمات

جرى العرف أن تقوم الخدمات الراديوية المتنقلة الخاصة على نظام الكلام التماثلي. غير أنه تم استحداث إرسال البيانات إما كخدمة مضافة أو كوسيلة أساسية للاتصالات. وإذا أراد المستعملون دمج تبادل رسائل البيانات في شبكاتهم المتنقلة القائمة، تظهر البيانات على قنوات راديو متقاسَمَة. ويتعين على الهيئة التنظيمية في هذه الحالة معرفة خصائص القناة الراديوية لتحديد كيفية أداء نظام اتصالات البيانات. وربما يكون لدى بعض المستعملين متطلبات لا يمكن تحقيقها إلا بتخصيص قنوات راديوية مناسبة.

وبصفة عامة، يكون للخدمات الجديدة أيضاً تأثير على شغل القناة الراديوية على أساس كل محطة متنقلة على حدة. ويؤدي ذلك عموماً إلى زيادة الحركة الكلية في القناة الراديوية. ولا يظهر ذلك في النظام الإداري الذي يقتصر على تسجيل عدد المحطات المتنقلة، ولذلك يجب إيلاء الاعتبار لمزيد من التفاصيل.

3.2.5.10.4 معلومات إضافية عن مستعملين معيّنين

باستثناء التحديد المنفرد لشدة الإشارة فوق العتبة في شكل بيان نعم/لا، ثمة مَعْلَمات كثيرة يمكن تخزينها مثل سوية الإشارة، ونمط التشكيل، أو المعلومات لأغراض تعرف الهوية (النداءات الانتقائية مثلاً).

وفيما عدا مجرد تسجيل الشغل، من المفيد تسجيل القيم القصوى والمتوسطة والدنيا للسوية في كل فترة. ولا يؤدي ذلك إلى الحصول على بيانات الشغل وحسب، بل يمكن أيضاً من إجراء تحليلات إضافية فيما يخص أنشطة الترددات، حيث يتم مثلاً التعرف على البث المنتظم القصير الأجل الذي لولا ذلك يتحجب جراء عملية حساب المتوسطات.

ويمكّن السلوك المسجل زمنياً من اشتقاق معلومات عن نمط الاستعمال.

4.2.5.10.4 المسح البطيء للقنوات

لا تختلف هذه الطريقة كثيراً عن قياس شغل الترددات الموصوفة آنفاً سوى أن معدل مسح الترددات في هذه الطريقة أبطأ كثيراً، ربما يقتصر على ترددين في الثانية. ويمكن استخدام هذه الطريقة عندما تُرَسل هوية المستعمل على طول عملية الإرسال الخاص بالمستعمل ومن ثم يمكن الحصول عليها بالاعتيان في أي نقطة.

وهذا ممكن في النظامين التاليين:

- نظام إسكات تحكمه نغمة مستمرة (CTCSS).
- نظام إسكات مشفر رقمياً (DCS).

وإذا تطلب الأمر بياناً أكثر تمييزاً عن استعمالات التردد، يكون من الضروري عادة تسجيل بيانات بروتوكولات إضافية وتقييمها.

وفي أنظمة الراديو الرقمية ذات الإرسال المستمر، مثل نظامي النظام الراديوي للأرض متعدد القنوات (TETRA) وGSM، فإن تسجيل البروتوكول المتضمن في قناة تحكم هو الوسيلة الوحيدة لاشتقاق معلومات حول سوية الشغل.

5.2.5.10.4 مراقبة القنوات الساكنة

تمكن هذه الطريقة من جمع المعلومات بشأن طول الإرسالات ويمكن استعمالها أيضاً في الأنظمة التي يقوم فيها المستعمل النهائي بإرسال هويته مرة واحدة فقط لكل عملية إرسال. ومن غير الممكن استخدام تقنيات مسح حيث يجب أن يظل المستقبل على تردد وحيد لئلا تفوته أي معلومات (انظر الشكل 10.4-7).

ويسري ذلك على أنماط الأنظمة التالية:

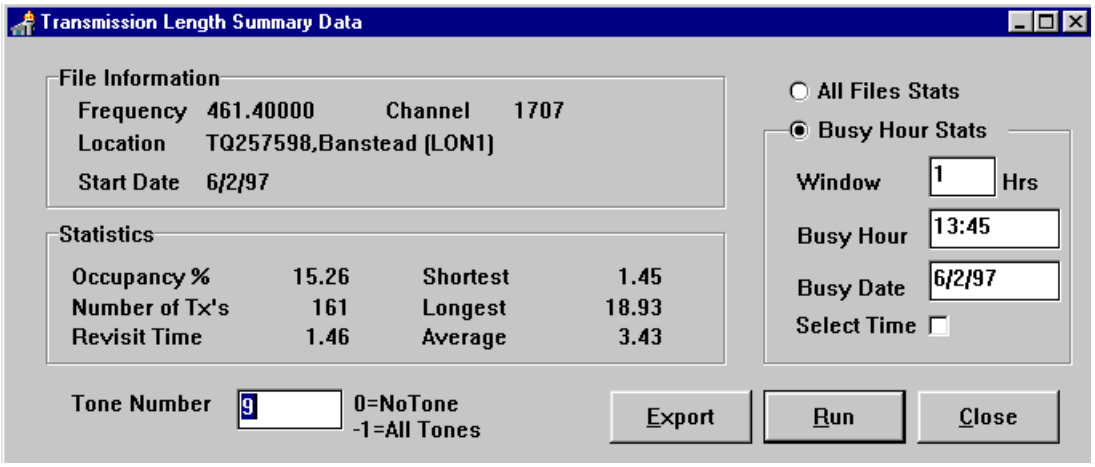
- نظام النداء الانتقائي (SELCAL) الخماسي النغمات.
- النظام الآلي لتحديد هوية المرسل (ATIS).
- قناة التحكم في قنوات التقاسم MPT 1327.
- نظام الاستدعاء الراديوي القائم على بروتوكول POCSAG.

وفي حالة الحصول على معلومات إضافية بشأن فرادى المستعملين، يمكن حينئذ تقسيم إجمالي شغل ذلك التردد إلى قيم شغل محددة لكل مستعمل.

وفي حالة التطبيقات التي تتحكم في تدفق الحركة عبر قنوات تحكم، مثلما هو الحال في الراديو القائم على تقاسم القنوات، أو التي يمكن اختزالها إلى قناة وحيدة (مثل المناداة الانتقائية الرقمية (DSC) وبروتوكول POCSAG)، فمن الممكن اشتقاق تحليل حركة دقيق للغاية من بيانات البروتوكول المسجلة.

الشكل 10.4-7

مثال على مراقبة القنوات الساكنة



Spectrum-4.10-07

6.2.5.10.4 قياسات شغل نطاق التردد

يسري عموماً النهج التالي:

تبدأ المراقبة الأوتوماتية بقياسات شغل نطاق التردد (FBO). ولا حاجة لأي عتبة لعدد من المخططات (مثل مخطط الطيف، والتخطيط الشلالي، والسوية الدنيا/القصوى/المتوسطة، وما إلى ذلك). ولا حاجة لتحديد سوية عتبة إلا لاحتساب شغل طيف التردد.

لذلك، يجب البدء بقياسات شغل نطاق التردد (التوصية ITU-R SM.1809)، ولكن إذا لزم توفير معلومات أكثر تفصيلاً عن كل قناة، عندئذ ينبغي إجراء قياسات لشغل قنوات التردد. أو ربما من الأفضل معالجة نتيجة تطبيق التوصية ITU-R SM.1809 بمثابة شغل قناة التردد (FCO) على النحو الموضح في التوصية ITU-R SM.1793.

وتتوقف ضوابط تجهيزات المستقبل على نطاق الترددات الواجب مسحها. ويتوقف زمن المسح على كمية البيانات المرغوبة. ويتعين ضبط سوية العتبة عند أقل سوية ممكن، ولكن مع تجنب تسجيل الضوضاء. ومن المفيد للغاية أن يتم تغيير سوية العتبة فيما بعد ومن ثم السماح بإجراء نوع مختلف من التقييمات. ويجري تسجيل سوية الإشارات عند كل كنسة، مثلاً عند 900 كنسة خلال 15 دقيقة بمعدل كنسة واحدة في الثانية. أما الترددات عند المستويات فوق سوية العتبة المختار فتعتبر مشغولة. وباستعمال برمجية مخصصة، ثمة إمكانية أيضاً تقريب مشهد نطاق التردد الممسوح من حيث الزمن والتردد.

ويُفضل استعمال مستقبلات مراقبة ذات مراشيح تردد متوسط (IF) عالية الانتقائية بمعامل شكل مقداره 2:1 أو أفضل عن استعمال محللات الطيف لقياسات شغل الطيف. وبالنسبة لمتطلبات السرعة غالباً ما تستعمل محللات للطيف. وهي تجهز عادة بمراشيح غوسيه IF لمنع الرنين. ولكن هذا النمط من المراشيح لا يعمل على تمييز الإشارات الصادرة في القنوات المتجاورة على نحو ملائم. ومع ذلك، يمثل المرشاح الغوسي أفضل حل وسط بين السرعة والاستبانة. ونتيجة ذلك، تميل محللات الطيف إلى المبالغة في تقدير الشغل الفعلي. وباستعمال مستقبلات المراقبة، ينبغي مواءمة عرض نطاق المراشيح IF مع عرض النطاقات المقسمة إلى قنوات. وبالتالي، يلزم وضع مجموعة من المراشيح IF تتناسب مع عُروض نطاقات القنوات الواجب مراقبتها. ويوصى بأن يكون لتجهيزات الاستقبال معاملات ضوضاء منخفضة.

وإضافة إلى ذلك، من المرغوب فيه للغاية استخدام مراشيح بدارة انتقاء أولي قابلة للتوليف، كما يمكن دمج مضخمات الضوضاء المنخفضة في دارة الانتقاء الأولي بعد المرشاح. وقد يلزم استعمال مراشيح تمرير نطاق خاصة للمساعدة في تحسين المدى الديناميي لنظام القياس لبعض حالات المراقبة عند استعمال مستقبل مراقبة أو محلل طيف.

فعلى سبيل المثال، قد يكون من اللازم استخدام هذه المراشيح للحصول على بيانات شغل سليمة للقنوات التي تحتوي على إشارات صغيرة نسبياً (منخفضة السوية) في النطاقات المجاورة للنطاقات التي تحتوي على إشارات كبيرة نسبياً (مثل نطاقات البث الإذاعي).

وأخيرا، قد يكون من الضروري استعمال موهّنات مسبقة قبل استعمال مستقبل للمراقبة أو مضخم مسبق لمحللات الطيف لوضع المدى الديناميي لنظام المراقبة في موضع صحيح عند مراقبة النطاقات ذات الإشارات الكبيرة.

ويتم تخزين شدة الإشارة المستقبلة أثناء كل كنسة في هذا النمط من قياس الطيف من جميع نقاط القياس (1 000 نقطة مثلاً). ويمكن اعتبار هذه الدرجات بمثابة 1 000 قناة مفردة. ويمكن معالجة البيانات المستقبلة عبر كل قناة.

ويمكن الحصول، بسهولة نسبية، على مخططات توزيع القيم المقيسة للاستدلال على عدد المحطات القاعدية وشدة الإشارة المستقبلة بمرور الزمن (24 ساعة عموماً) ومعلومات عن متوسط طول الكلام وغيرها.

نظراً لأن حجم عرض نطاق استبانة المرشاح أكبر عادة من حجم الدرجات فإنه لا يمكن استعمال جميع هذه "القنوات". ولنفترض مثلاً أن تردد النطاق الواجب فحصه هو 7,5 MHz. فيُجرى ذلك مثلاً في 1 000 خطوة بحيث يكون حجم الخطوة 7,5 kHz. ويمكن أن يبلغ مقدار عرض نطاق استبانة المرشاح 10 kHz.

ويمكن معالجة المعلومات المستقاة من كل ثالث خطوة والتي تفضي إلى معلومات شغل لكل 25 kHz، وهو ما يمكن أن يكون المباعدة الحالية للقنوات في النطاق المقيس. وفي حالة استخدام 12,5 kHz كخطوة تردد، يمكن معالجة المعلومات كل ثاني خطوة.

وثمة حل آخر يكمن في تغيير حجم المرشاح (إن أمكن) إلى 10 kHz وبذلك تحل المشكلة. ولا يمكن تطبيق ذلك إلا على شغل قنوات التردد لأن في كل خطوة يتم تجاوز (عدم قياس) جزء صغير من الطيف. ويتم لكل قناة رصد الترددين –5 kHz و+5 kHz.

ولن تختلف بيانات الشغل إذا ما قيس بمرشاح قدره 15 kHz. وينبغي أن ندرك أن مدة الكنس، التي يمكن مقارنتها بزمن المعاودة في قياسات شغل قنوات التردد تبلغ، في هذه الحالة، حوالي 10 ثوان ولا يمكن خفضها إلى ما لا نهاية.

وجدير بالملاحظة أن الاختبارات المطولة أوضحت أن درجة الدقة لن تتغير تغيراً هائلاً في حالة زيادة زمن المعاودة من ثانية إلى عشر ثوان. (انظر الفقرة 2.10.4)

6.10.4 عرض البيانات المجمعة وتحليلها

ينبغي بعد جمع بيانات الشغل تحليل النتائج وعرضها في نسق مفيد. وينبغي تحويل البيانات إلى معلومات وإلى معرفة في نهاية المطاف.

وقد يتضمن نظام المراقبة أصلاً وظائف توضيحية وتحليلية مبيّتة في البرمجية المزودة. وبغض النظر عما إذا كانت هذه الوظائف مدرجة في برمجية جمع بيانات القياس، أو مزودة كتطبيق منفصل، فالعمليات متماثلة.

وتوصف العملية الكاملة في ثلاث خطوات، وهي:

1 قياس البيانات وجمعها.

2 معالجة البيانات وتحويلها إلى معلومات (مخططات ورسوم بيانية، وما إلى ذلك).

3 عرض نتائج التقارير أو نشرها على المواقع الإلكترونية، وما إلى ذلك.

ويمكن من جمع البيانات الأولية توليد الخيارات التوضيحية التالية:

– الجداول؛

– الرسوم البيانية النصية؛

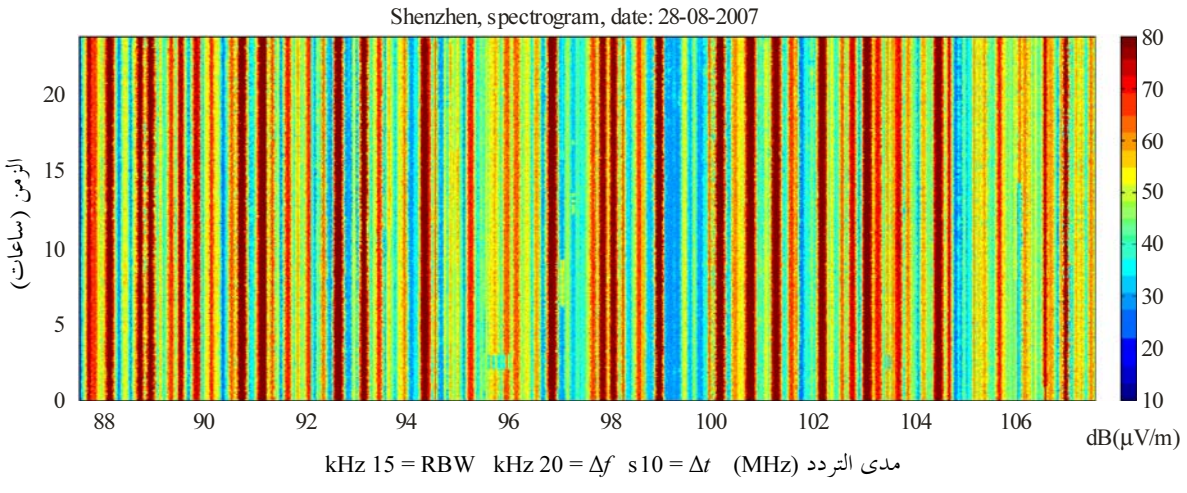
– الرسوم البيانية؛

– الخرائط.

ويرد فيما يلي بعض الأمثلة على قياسات نطاقات التردد:

الشكل 8-10.4

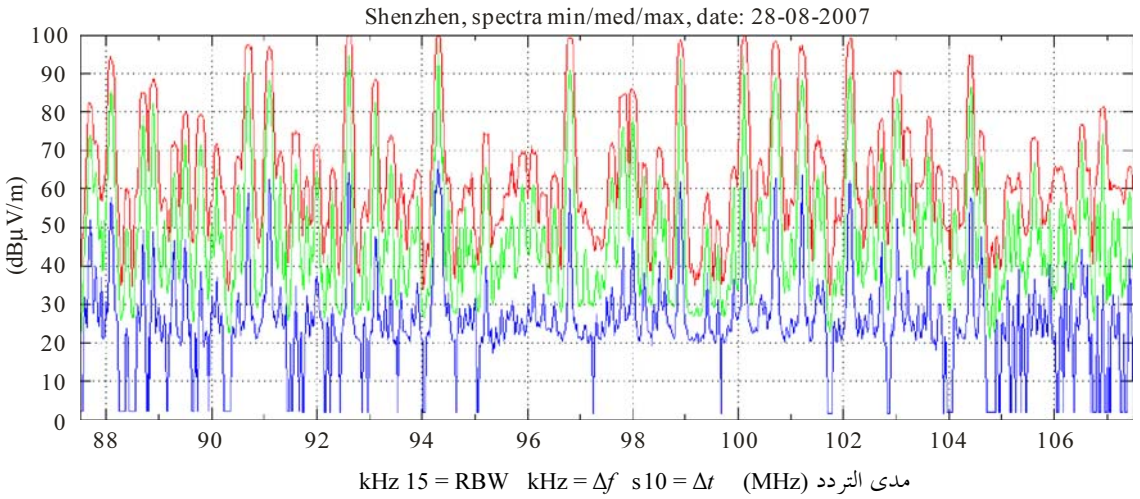
مخطط طيف



الشكل 9-10.4

منحنيات السوية الدنيا والقصوى والوسطى

(من نفس قاعدة بيانات القياس لمخطط الطيف الوارد أعلاه)



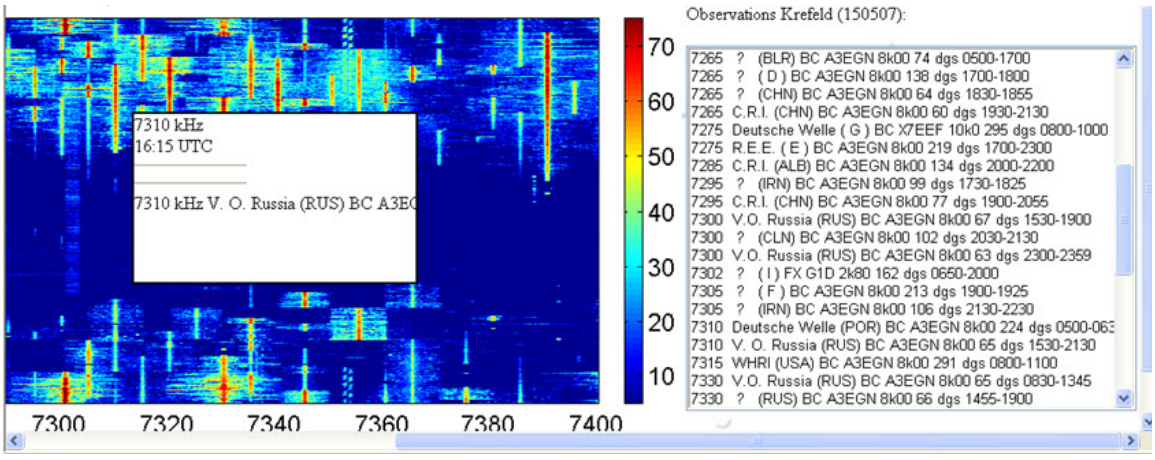
Spectrum-4.10-09

وفي حالة قياس شغل قناة التردد، ينبغي أن يحتوي العرض التوضيحي على المعلومات التالية:

- موقع المراقبة؛
- تاريخ وفترة القياس؛
- التردد؛
- نمط المستعمل (المستعملين)؛
- الشغل خلال ساعة الازدحام.

الشكل 10-10.4

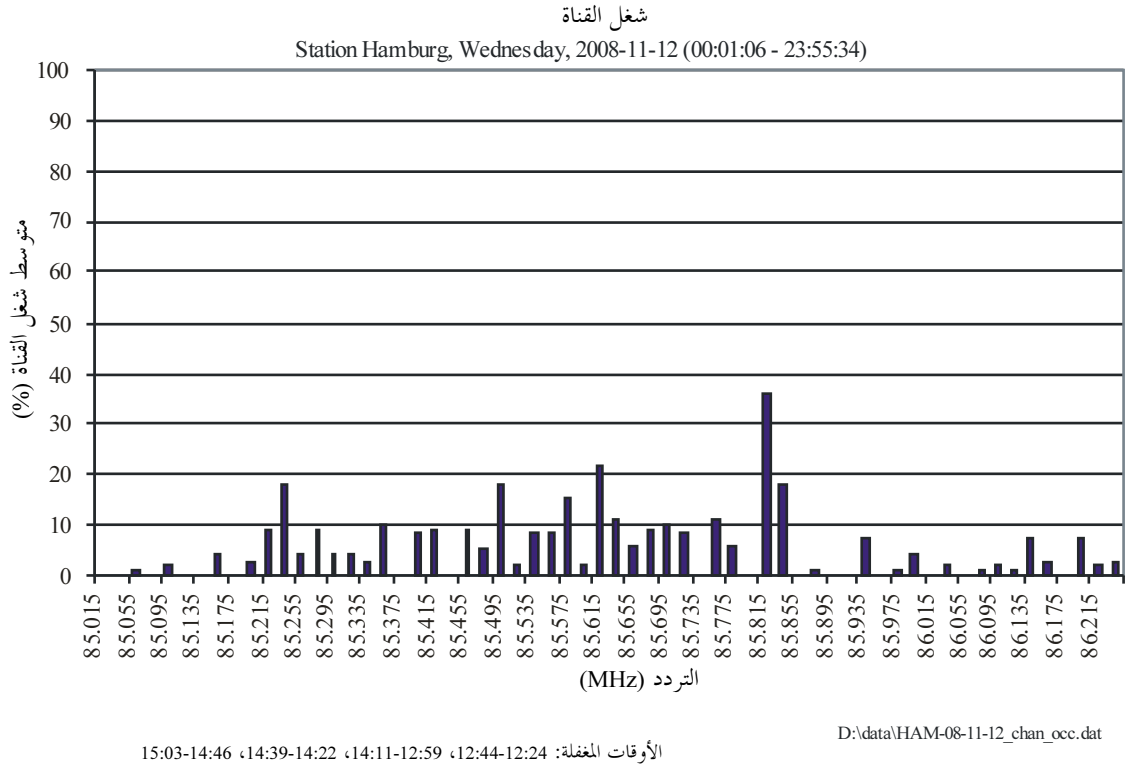
صورة شاشة لقياسات الترددات الديكامترية (HF) إلى جانب نتائج المراقبة اليدوية



Spectrum-4.10-10

الشكل 11-10.4

مثال على قياس شغل القنوات



Spectrum-4.10-11

قد يكفي، بالنسبة لكثير من قرارات الهيئات التنظيمية، إجراء استعراض سريع لشغل القناة. وقد تُستعمل بيانات الشغل لإجراء هذا الاستعراض، وذلك باستعمال برمجية حساب جدولية (Open Office أو Excel). وباستعمال زرين لتعيين الحدود يمكن دائماً تكييف التقييم بما يتناسب مع الظروف الراهنة.

الشكل 12-10.4

مثال على إجراء استعراض سريع لقياس شغل القنوات

استعراض سريع
شغل القناة عبر الزمن

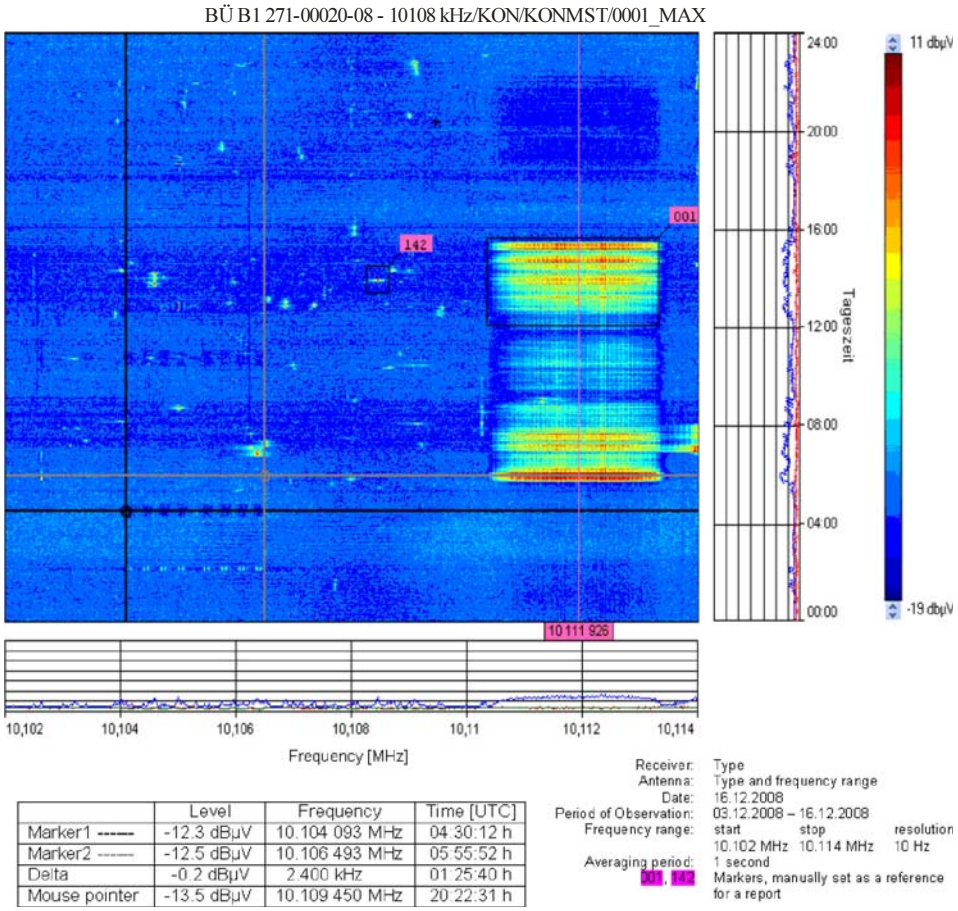
Hours	0..1	1..2	2..3	3..4	4..5	5..6	6..7	7..8	8..9	9..10	10..11	11..12	12..13	13..14	14..15	15..16	16..17	17..18	18..19	19..20	20..21	21..22	22..23	23..24
Channel 01	15%	16%	17%	18%	19%	21%	22%	24%	25%	27%	29%	31%	33%	36%	38%	41%	44%	47%	51%	27%	23%	21%	18%	19%
Channel 02	8%	9%	8%	5%	9%	9%	19%	5%	13%	12%	4%	12%	14%	5%	6%	19%	38%	24%	16%	18%	5%	25%	11%	7%
Channel 03	10%	11%	12%	17%	17%	18%	2%	5%	17%	25%	14%	22%	12%	24%	18%	24%	21%	4%	12%	1%	2%	15%	25%	10%
Channel 04	4%	10%	10%	13%	5%	15%	6%	2%	9%	6%	11%	1%	11%	29%	34%	10%	41%	7%	7%	24%	6%	26%	23%	11%
Channel 05	14%	12%	5%	4%	5%	5%	18%	4%	16%	1%	4%	12%	27%	15%	8%	9%	27%	2%	4%	24%	17%	30%	24%	19%
Channel 06	9%	9%	9%	1%	3%	1%	6%	7%	13%	11%	14%	8%	27%	26%	8%	12%	25%	39%	39%	11%	28%	17%	10%	8%
Channel 07	10%	1%	1%	8%	6%	2%	7%	14%	15%	2%	25%	16%	34%	10%	15%	21%	46%	26%	21%	8%	15%	33%	21%	12%
Channel 08	4%	15%	8%	15%	1%	3%	15%	11%	2%	19%	27%	21%	10%	30%	32%	9%	30%	9%	50%	9%	23%	21%	22%	23%
Channel 09	4%	14%	2%	5%	17%	2%	2%	20%	1%	8%	9%	23%	24%	10%	9%	12%	15%	3%	7%	23%	22%	4%	4%	35%
Channel 10	0%	8%	16%	15%	5%	11%	4%	19%	7%	15%	17%	15%	14%	20%	24%	37%	38%	44%	7%	19%	25%	7%	31%	16%
Channel 11	12%	1%	15%	16%	1%	1%	6%	9%	22%	20%	12%	24%	12%	32%	18%	14%	5%	11%	9%	15%	14%	19%	32%	12%
Channel 12	10%	13%	13%	3%	4%	9%	1%	3%	6%	27%	18%	21%	3%	2%	36%	6%	37%	11%	20%	23%	15%	9%	29%	16%
Channel 13	8%	2%	1%	12%	17%	10%	8%	16%	24%	28%	16%	25%	24%	24%	6%	37%	14%	20%	6%	9%	24%	24%	30%	20%
Channel 14	13%	8%	1%	8%	4%	3%	7%	14%	25%	10%	26%	24%	8%	23%	20%	2%	30%	46%	22%	24%	17%	3%	23%	22%
Channel 15	2%	14%	0%	15%	10%	19%	15%	16%	24%	27%	18%	19%	20%	30%	37%	8%	43%	29%	37%	20%	28%	20%	31%	1%
Channel 16	3%	12%	11%	4%	2%	17%	8%	7%	18%	12%	28%	11%	19%	17%	17%	30%	34%	20%	49%	8%	6%	7%	3%	5%
Channel 17	14%	0%	4%	1%	8%	3%	7%	7%	23%	7%	13%	7%	24%	4%	3%	9%	2%	14%	5%	23%	5%	15%	28%	10%
Channel 18	10%	3%	1%	10%	17%	16%	12%	12%	17%	25%	23%	24%	28%	4%	36%	37%	18%	10%	12%	10%	18%	25%	33%	25%
Channel 19	3%	7%	15%	13%	7%	10%	16%	6%	1%	5%	13%	7%	27%	22%	13%	23%	39%	11%	21%	10%	26%	4%	28%	4%
Channel 20	3%	1%	6%	2%	12%	14%	1%	12%	1%	23%	2%	23%	4%	17%	19%	20%	13%	18%	12%	3%	28%	14%	11%	9%

< 10% 10% <-> 20% > 20%

Spectrum-4.10-12

الشكل 10.4-13

مثال على قياس نطاق التردد



	Level	Frequency	Time [UTC]
Marker1 ------	-12.3 dBµV	10.104 093 MHz	04:30:12 h
Marker2 ------	-12.5 dBµV	10.106 493 MHz	05:55:52 h
Delta	-0.2 dBµV	2.400 kHz	01:25:40 h
Mouse pointer	-13.5 dBµV	10.109 450 MHz	20:22:31 h

Spectrum-4.10-13

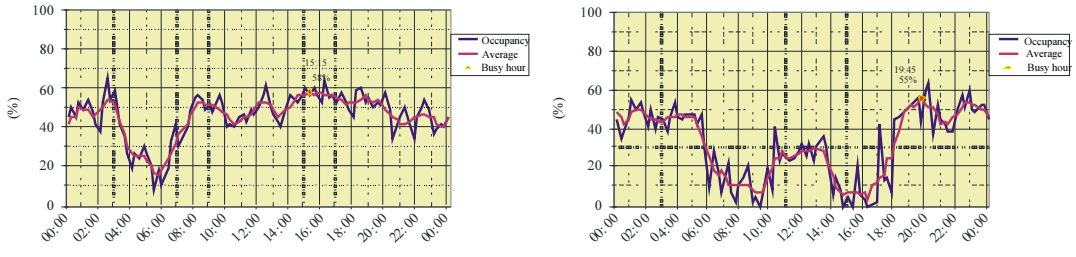
يوضح المثال التالي لعرض توضيحي عملية معالجة بيانات نظام ما لا يشير سوى إلى أن إشارة مرصودة ما هي فوق سوية العتبة المحددة مسبقاً.

وقد يعمل المستقبل على مراقبة رزمة من 50 قناة بصورة متواصلة أثناء القياسات على مدار 14 يوماً متعاقبة. ويمكن تقسيم البيانات المجمعة إلى دفعتين. تحتوي إحداهما على بيانات أيام العمل، والأخرى على بيانات نهاية الأسبوع.

ثم يجري تجهيز كل دفعة بالطريقة التالية المبينة في الشكل 10.4-14.

الشكل 10.4-14

تقرير الشغل في قناة مفردة



شغل في يومي السبت والأحد (ساعات)

شغل في يوم من الإثنين إلى الجمعة (ساعات)

Spectrum-4.10-14

يحسب متوسط العينات التي تستغرق 15 دقيقة، مما يؤدي إلى إنتاج 96 عينة يومياً.

ثم تستعمل قيمة شغل كل 15 دقيقة لتشكيل ما يطلق عليه متوسط متحرك لمدة ساعة واحدة. أي يُحسب متوسط 4 قطع من عينات شغل كل 15 دقيقة 96 مرة يومياً لبناء قيمة متوسطة لمدة ساعة واحدة.

ثم تُخطط جميع القيم في رسم بياني يوضح السوية القصوى ومتوسط الشغل الجاري خلال أيام العمل، ورسم بياني آخر له نفس الصبغة يبيّن الشغل خلال نهاية الأسبوع.

ويطلق اسم "ساعة الازدحام" على اللحظة في خط المتوسط المتحرك التي يصل عندها الشغل إلى أعلى مستوياته. ويفضل تقديم عرض أيضاًحي (رسم بياني) واستعراض الشغل بشأن مشكلات التداخل على أساس يومي.

ومن شأن هذه الرسوم البيانية التوضيحية التي تجرى على أساس يومي أن تساعد في حل مشكلات التداخل. وهي توضح الفرق في الشغل في إحدى القنوات المحددة التي تستخدم عادة لترددات سيارات التكسي. ويوضح الجانب الأيسر من الشكل 10.4-14 الرسم البياني الخاص بالفترة من يوم الإثنين إلى يوم الجمعة، بينما يوضح الجانب الأيمن بيانات الشغل يومي السبت والأحد. ويمثل المنحنى العلوي في الرسم البياني الحد الأقصى للشغل، ويمثل الآخر المتوسط المتحرك. ويمثل المحور السيني الزمن والمحور الصادي النسبة المئوية للشغل. وتمتد فترة القياس على مدى 14 يوماً. وتبلغ شدة التردد في العينة مقدار 0,54 Hz. ويشار إلى ساعة الازدحام بالنقاط الحمر في الشكل 10.4-14 عند الساعة 15:15 (المخطط الأيسر) والساعة 20:45 (المخطط الأيمن).

7.10.4 تبادل البيانات

قد تكون الإدارات المجاورة مهتمة بتبادل بيانات الشغل، وخاصة البيانات المتعلقة بالأقاليم المجاورة لحدود البلد، وذلك لمساعدتها في تحديد تخصيصات التردد. ومن المهم في هذه الحالات استعمال نسق فريد لا لبس فيه يسمح بالتفسير الصحيح للبيانات التي تتبادلها الأطراف المتعاونة.

على سبيل المثال، تنص التوصية ECC/REC(05)01 بعنوان "مواءمة طرائق القياس الأوتوماتي ونقل البيانات لتسجيل نطاقات التردد" على استعمال نسق ملفات القيمة المفصولة بفاصلة (CSV) لهذا الغرض. ومعظم برامج قواعد البيانات والحسابات الجدولية قادرة على قراءة هذا النسق.

ويرد في جزء من الرأسية وصف المكان الذي يتم إجراء القياسات من خلاله وكذلك المدى الترددي وعدد المعلمات التقنية الأخرى.

ويُفصل جزء الرأسية عن البيانات الفعلية بسطر فارغ. ويبدأ كل سطر (مسحة) في جزء البيانات بالزمن ثم قيمة السوية (أو شدة المجال) لكل خطوة تردد، 1 000 مثلاً. فإذا كان زمن المسح أو الكنس هو 10 ثوان، فإن ملف البيانات يحتوي على أكثر من 8 630 سطراً.

```
FileType          Bandscan
LocationName      Shenzhen
Latitude          2W23.00
Longitude         5N35.00
FreqStart         87500
FreqStop          107500
AntennaType       HK-014
FilterBandwidth   15
LevelUnits        dBuV/m
Date              2007-08-30
DataPoints        1001
ScanTime          10.0
Detector          Average
Note              Receiver:
```

```
00:01:40,19,2.3,19.1,44.5,34,39.9,43.9,63.5,65,66.2,75.1,74.6,63.6,etc
00:01:50,21.5,22,21.8,34.7,32.8,46.5,43.2,62.9,62.4,75.9,76.4,67.4,etc
00:02:00,27.7,22.8,23.2,41.7,35.1,36.4,53.5,51.4,61.6,64.8,64.3,64.5,etc
00:02:10,2.3,19.2,22.1,41.4,33.1,36.4,53.8,47.6,66.4,66.2,76.4,64.1,etc
00:02:20,22.5,20.8,32,32.7,37.8,47.2,49.3,61.1,71,75.1,73.4,73.9,59.2,etc
00:02:30,22.3,22.1,26.6,30.3,39.2,41.9,51.2,44,61.2,67.7,64.8,77.5,59,etc
00:02:40,22.8,28.3,19.3,30.6,40.1,45.4,47.8,52.5,66.7,70.4,74.8,66.5,etc
00:02:50,20.9,20.6,28,29.3,43.4,43.8,47.1,63,64.5,74,72.5,65.4,62.6,etc
00:03:00,22,23.4,23.5,24.3,37.2,46.2,42.3,59.4,65.7,64,73.4,78,62.9,etc
00:03:10,20.8,20.3,2.3,32.7,34.7,45.8,51.7,45.4,63.2,78.1,65.9,62,etc
.......
.......
.......
23:58:50,20.7,20.6,28.9,31.9,38.1,42.8,51,53.5,48.1,81.7,66.5,79.6,etc
23:59:00,23.4,2.3,35.2,24.6,43.4,43.2,49.8,48.8,59.7,72.6,73.2,73.1,etc
23:59:10,22,24.3,2.3,27.1,37.7,43.8,33.6,51.7,58,66.4,78.4,64.3,51.6,etc
23:59:20,21.8,2.3,22.2,30.2,48.3,34.8,57.9,58.5,71.7,73.2,66.8,72.9,etc
23:59:30,20.7,20.9,32,33.3,41.2,46.5,41.7,37.9,72.2,66.9,74.6,61.8,etc
23:59:40,2.3,22.1,20.5,43.2,34.1,42.2,42.2,53.4,58,71.1,78.3,74.9,etc
23:59:50,2.3,20.5,20.2,33,40.5,40.6,51.9,55.2,66.5,50.4,65.3,72.6,etc
```

وثمة إمكانية أخرى لتبادل البيانات أو حتى نشرها وهي استعمال لغة الوسم للنصوص الفوقية (HTML).

بيبليوغرافيـــا

SPAULDING, A. D. & HAGN, G. H. [1977] *On the Definition and Estimation of Spectrum Occupation* IEEE, Vol. EMC-19, No. 3, Aug 1977

توصيات قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد

ملاحظة – يُشجع استعمال الإصدار الأخير من التوصية في كل حالة.

التوصية ITU-R SM.182* – المراقبة الأوتوماتية لشغل طيف الترددات الراديوية.

التوصية ITU-R SM.1536* – قياسات شغل قنوات التردد.

التوصية ITU-R SM.1753 – طريقة لقياسات الضوضاء الراديوية.

التوصية ITU-R SM.1793* – قياس درجة انشغال قنوات التردد باستعمال أسلوب قياس نطاق التردد.

التوصية ITU-R SM.1809 – النسق المعياري لتبادل البيانات بشأن تسجيل نطاقات التردد وقياسها في محطات المراقبة.

* *مذكرة من الأمانة:* ألغيت هذه التوصية وحلت محلها التوصية ITU-R SM.1880 – قياس درجة انشغال الطيف.

11.4 قياسات التغطية

1.11.4 مقدمة

يتعين على خدمات المراقبة قياس تغطية المُرسِلات والشبكات الراديوية لأغراض مختلفة:

- التحقق من التنبؤات الصادرة عن الأدوات المحوسبة والمستخدمة في تخطيط الشبكة.
- التحقق من الامتثال لشروط الرخصة إذا كان يقضي جزء منها بأن تغطي الخدمة الراديوية منطقة معينة أو نسبة مئوية معينة من السكان.
- التحقق من جودة الخدمة في منطقة معينة.
- تقييم ظروف استقبال الإشارة في مواقع معينة يبلغ عن حدوث تداخل فيها.

وفي الأنظمة المشكّلة تماثلياً، قد يكفي قياس شدة المجال. ونظراً لبعض الظروف والمبادئ المتأصلة في استقبال الأنظمة المشكلة رقمياً، يتعين قياس تغطية الشبكات الرقمية للأرض بطريقة مختلفة عن الشبكات التماثلية.

ويصف هذا القسم مبادئ القياس والإجراءات والتجهيزات اللازمة لقياسات تغطية الخدمة الثابتة والمتنقلة للمُرسِلات والشبكات الراديوية. ومع ذلك، قد يكون من الضروري تكييف المعلومات المقدمة بما يتناسب مع متطلبات كل نظام أو شروط كل رخصة.

2.11.4 التنبؤ بالتغطية

التنبؤ بالتغطية هو إجراء لحساب المنطقة الجغرافية التي يمكن استقبال الخدمة داخلها. وهو يستند إلى معلمات المُرسِلات ونماذج التضاريس والانتشار ويُجرى باستخدام أدوات محوسبة. وتمثل النتيجة موقعاً محدداً واحتمالية زمنية.

فعلى سبيل المثال، تعتبر منطقة ما بأنها "مغطاة" بالإذاعة الفيديوية الرقمية للأرض (DVB-T)، عندما يكون وسطي شدة المجال لحالة الاستقبال المعينة في ارتفاع محدد فوق الأرض (غالباً بمقدار 10 أمتار) وعندما تصل نسبة الحماية إلى القيم الواردة في وثائق التخطيط ذات الصلة أو تتجاوزها (الاتفاق الإقليمي GE06، على سبيل المثال).

ويأتي افتراض تغطية منطقة معينة من عدمه نتيجة لعملية حساب تُجرى باستخدام أداة التنبؤ بالتغطية التي تراعي الأوضاع و/أو القيم المحددة لما يلي:

- وضع الاستقبال (استقبال ثابت أو محمول، مثلاً)؛
- خسارة شدة المجال مع بُعد المسافة بسبب طبوغرافية وشكل المكان؛
- نموذج المستقبِل (مثل الحساسية والانتقائية)؛
- هوائي الاستقبال (الارتفاع والكسب والاتجاهية)؛
- قناة الاستقبال (غوس أم رايس أم رايلي).

ويرتبط بالنعت "مغطاة" احتمالية زمنية ومكانية معينة أيضاً. ويجري، باستعمال أدوات للتخطيط، حساب منطقة التغطية لهذه الاحتمالية (مثلاً 50% بالنسبة للزمن و50% للمواقع). ومن ثم، لا يمكن افتراض أنه يمكن استقبال الإشارة في مستقبِل عادي في كل موقع بعينه داخل المنطقة المعرّفة بأنها مغطاة.

ومن المهم تعريف مجال تغطية شبكة ما بطريقة شاملة ولا لبس فيها قبل إصدار الرخصة. وإلا قد يعقب ذلك مناقشات غير مستحبة إذا لم يتم التوصل لاتفاق بشأن التغطية الفعلية بين مشغل الشبكة والهيئة التنظيمية.

3.11.4 المبدأ الأساسي للقياس

من غير الممكن عادة قياس شدة المجال أو غيره من المعلمات ذات الصلة في جميع النقاط في المنطقة المعنية. وفي الواقع يُقاس تطابق التنبؤ مع التغطية الفعلية وليس التغطية نفسها.

وتقاس شدة المجال في الأنظمة التماثلية عادة في عدد كاف إحصائياً من المواقع الثابتة أو بالتنقل عبر المسيرات. والعوامل المقيدة هي إمكانية النفاذ إلى نقاط القياس والزمن المتاح وساعات العمل. ولذلك تقارن القيم المقيسة لشدة المجال بقيم شدة المجال المتنبؤ بها.

وينطبق المبدأ ذاته على المعلمات الخاصة بكل نظام أو على معلمات جودة الخدمة في الأنظمة الرقمية. وجدير بالملاحظة أن تعاريف التغطية المعقدة تسفر عن إجراءات قياس وتقييم معقدة.

ويمكن الاستشهاد بالتوصية ITU-R SM.1875 بشأن قياسات تغطية الإذاعة الفيديوية الرقمية للأرض (DVB-T) والتحقق من معايير التخطيط المستمدة من اتفاق GE06 مثالاً على درجة التعقيد.

وقبل إجراء القياسات، يتعين تحديد المناطق أو المسيرات المرجعية بما يسمح باستقراء نتائج القياس المتحصل عليها في المنطقة المرجعية فيما يتعلق بالتغطية في المنطقة المعنية بأسرها.

بعبارة أخرى، إذا طابقت التنبؤات مجال التغطية الفعلي تماماً، يمكن افتراض أن تنبؤات التغطية التي يقدمها مشغل الشبكة دقيقة بالقدر الكافي أيضاً خارج المسيرات والمناطق المرجعية.

وثمة عدد من الخيارات بشأن كيفية تخطيط مسيرات القياس. وأحد هذه الخيارات هو تتبع الإشعاعات نصف القطرية التي تبدأ في مركز منطقة الخدمة إلى أن تخف الإشارة تدريجياً بما يتجاوز المعلمات المحددة من حيث شدة المجال أو غيرها من المعلمات ذات الصلة.

وثمة خيار آخر هو تفحص المناطق التي تمثل أنماطاً محددة من المناطق الحضرية أو شبه الحضرية أو المناطق الصناعية أو الريفية ذات الكثافة السكانية المرتفعة.

وأخيراً، من المهم للتحقق من التغطية أن تشمل القياسات المناطق الواقعة على الحدود بين المناطق المشمولة وغير المشمولة بالتغطية.

والشكل 11.4-1 مثال على النتائج التي تمخضت عنها تلك القياسات.

ويشير اللون الأخضر إلى المناطق المشمولة بالتغطية واللون الأحمر إلى المناطق غير المشمولة بالتغطية. وتغطى المناطق الرمادية وفقاً لأداة التنبؤ، أما المناطق البيضاء فتشير إلى المناطق التي تم التنبؤ بعدم تغطيتها.

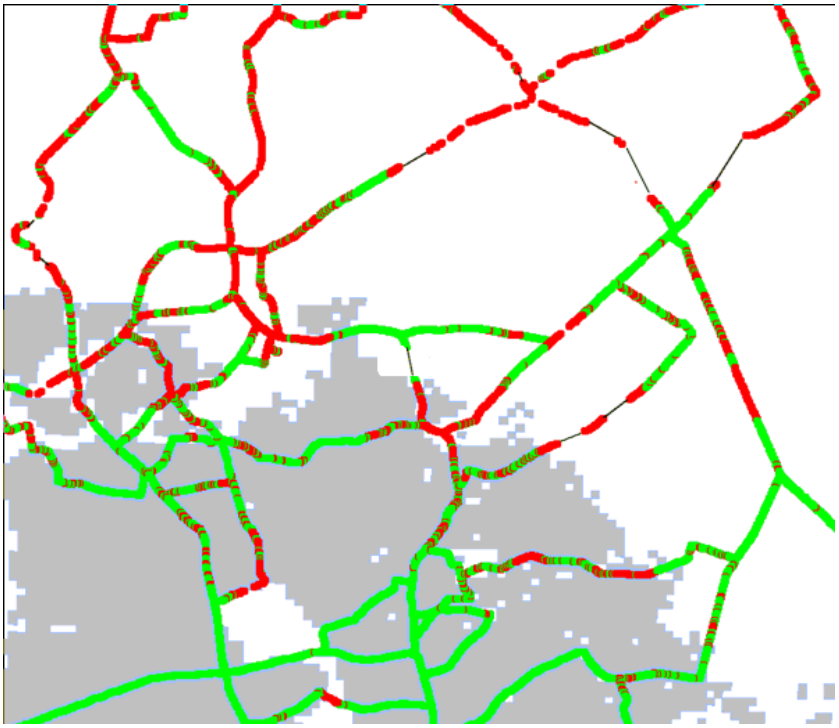
وقد تُجرى القياسات من على الجسور وفي الأنفاق وبقرب البنى التحتية لتوزيع الطاقة أو حتى داخل المباني، وذلك لأغراض خاصة ذات تأثير على التغطية.

4.11.4 معدات القياس

تتألف معدات القياس عادة من هوائي ومستقبِل ونظام لتحديد المواقع وحاسوب. ويُستخدم الحاسوب في المساعدة على إجراء القياس عن طريق التحكم في مستقبِلات القياس وتسجيل بيانات القياسات وبيانات تحديد المواقع إلى جانب البيانات الإضافية الخاصة بكل نظام حسب الاقتضاء.

الشكل 1-11.4

عينة قياس على امتداد مسير يقع داخل منطقة مرجعية



Spectrum-4.11-01

ثمة بديلان أساسيان في معدات القياس. الخيار الأول هو استعمال التجهيزات المطرافية المرجعية والثاني هو استعمال تجهيزات المراقبة المعيارية.

وقد يقتصر استعمال المطاريف المرجعية على تحقيق نتائج محدودة، حيث تشير فقط إلى سلوك جهاز بعينه في البيئة المعنية. وقد تكون معلمات مثل حساسية المستقبِل مجهولة ومن ثم تختلف عن المعلمات التي تفترضها أداة التنبؤ.

ومن جهة أخرى، قد توفر هذه النتائج معلومات قيمة عن خصائص الشبكة وجودة الخدمة من خلال تمثيل تصور المستعمل للشبكة.

وقد يُنظر إلى أن الاستخدام المتآون لأكثر من مطراف واحد، بما في ذلك استخدام نماذج مختلفة، يؤدي إلى تحسين موثوقية هذه القياسات أو استقصاء مجال تغطية أنماط مختلفة من المطاريف، مثل مستقبلات السيارات والأجهزة المحمولة بأنواعها.

ويمكن استعمال البديل الآخر، وهو استعمال تجهيزات مراقبة اعتيادية، في تقييم المعلمات التقنية مثل شدة المجال. ويجبذ أن يكون ذلك في ظل نفس ظروف الاستقبال على النحو المفترض في أداة التخطيط بما يسمح بمواصلة المقارنة بين القياسات والتنبؤات.

وينصب الهوائي عادة على أسطح مركبات صغيرة من أجل قياس تغطية استقبال الخدمة المتنقلة بينما قد يكون من الملائم إجراء القياس على ارتفاع 10 أمتار لتحديد تغطية مُرسِلات البث الإذاعي.

وقد تُستعمل المستقبلات أو محللات الطيف في توفير قيم شدة المجال لأغراض القياس في الشبكات التماثلية. وتستخدم كذلك في تعرّف أي تداخلَ يمكن أن يعوق إجراء قياسات صحيحة.

ويتألف نظام تحديد المواقع من مستقبِل GPS أو نظام لتقدير الموضع. وتستعمل هذه الأنظمة في تعقب حركة المركبات على أساس مقياس مسافات وبوصلة عند فقدان إشارة النظام GPS، عند الدخول في نفق مثلاً.

ويجب استعمال مستقبلات محددة لإجراء قياسات التغطية في النظام الرقمي. فهي توفر معلمات محددة مثل معدل الخطأ في البتات (BER) وغيرها من معلمات الجودة مثل انقطاع النداءات على سبيل المثال.

5.11.4 المعلمات التي ينبغي تسجيلها لأغراض قياسات التغطية

تتوقف المعلمات التي يتعين تسجيلها إلى حد كبير على الغرض من القياسات. وقد يتطلب التحقق الرسمي من معلمات الترخيص قياس معلمات أخرى وتسجيلها مقارنة بتقييم الشبكة من منظور المستعمل.

وفي إطار مراقبة الطيف، يُحبذ قياس المعلمات الأصيلة للإشارة وأثرها على الطيف. ويمكن أن تتضمن هذه المعلمات ما يلي:

- شدة المجال؛
- نسبة الإشارة إلى الضوضاء؛
- سوية الضوضاء في القناة المجاورة.

وإضافة إلى تسجيل هذه المعلمات، يمكن أيضاً تسجيل سياق القياس (أي البيئة المحيطة به) والإبلاغ عن بعض المعلومات مثل إحداثيات القياسات وخاتم التوقيت أو أحداث محددة مثل معلومات التداخل والمعلومات البيئية (المناطق الريفية والأنفاق والمباني المرتفعة المجاورة، وما إلى ذلك).

وكما هو موضح في الفقرة 4.11.4، قد يتطلب إجراء قياس لتغطية خدمات محددة قياس بعض المعلمات الإضافية بغية تقييم جودة الخدمة.

فعلى سبيل المثال، يمكن قياس المعلمات التالية في حالة القياس الذي يُجرى على شبكة اتصالات متنقلة:

- معدلات الخطأ في البتات و/أو الفدرات و/أو التشكيل؛
- وقت البدء والمدة الزمنية للنداء؛
- أوقات النفاذ إلى الشبكة والانفصال عنها؛
- تجاوز معدلات البيانات المحددة والقصور عنها؛
- عدد النداءات المنقطعة؛
- عدد النداءات الموقوفة.

وفضلاً عن ذلك، تتضمن كل شبكة معلماتها المحددة الخاصة بها لتقييم التغطية. فعلى سبيل المثال، تمثل القيمتان جودة المستقبل (RxQual) وسوية المستقبل (RxLev) معلمتين هامتين لشبكات النظام العالمي للاتصالات المتنقلة (GSM) ومعلمات مختلفة لشبكات نظام العالمي للاتصالات المتنقلة (UMTS) في مجال الشفرة بنفس أهمية قُدرة شفرة الإشارة الواردة (RSCP) ومعلومات شدة الإشارة الواردة (RSSI).

6.11.4 التحقق من التغطية

يتطلب الأمر استعمال برمجية خاصة تتضمن نظاماً للمعلومات الجغرافية (GIS) لعرض القيم المقيسة إضافة إلى الإحداثيات الجغرافية لمركبة القياس على الخريطة ومقارنتها بالتنبؤ بالتغطية.

ويمكن استقراء نتائج التغطية المتحصل عليها عبر المسيرات بغية التنبؤ بتغطية منطقة ما. وقد تُجمع أيضاً مع البيانات المستقاة من مصادر أخرى، بما يفضي مثلاً إلى بيان التغطية معبراً عنها كنسبة مئوية من السكان.

المراجـــع

الاتفاق الإقليمي GE06 - تحتوي الوثائق الختامية للمؤتمر الإقليمي للاتصالات الراديوية لتخطيط خدمة الإذاعة الرقمية للأرض في أجزاء من الإقليمين 1 و3، في نطاقات التردد MHz 230-174 وMHz 862-470 (RRC-06)، على الاتفاق الإقليمي GE06، الذي اعتمده المؤتمر الإقليمي للاتصالات الراديوية لعام 2006، والذي يحكم استعمال الترددات في خدمة الإذاعة والخدمات الأولية الأخرى للأرض في نطاقات التردد MHz 230-174 وMHz 862-470. وتتضمن أيضاً خططاً لتخصيص الترددات وتعيين الترددات لخدمة الإذاعة الرقمية (التلفزيون والصوت)، وخطة التلفزيون التماثلي السارية في المرحلة الانتقالية، وقائمة التخصيصات المنسّقة للخدمات الأولية الأخرى للأرض في هذين النطاقين، والقرارات المعتمدة في المؤتمر الإقليمي للاتصالات الراديوية لعام 2006. ويسري الاتفاق الإقليمي GE06 بصورة مؤقتة اعتباراً من 17 يونيو 2006.

طالع الموقع الإلكتروني: http://www.itu.int/publ/R-ACT-RRC.14-2006/en.

توصيات قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد

ملاحظة – يُشجع في كل حالة استعمال الإصدار الأخير من التوصية.

التوصية SM.1875 R-ITU – قياسات تغطية الإذاعة الفيديوية الرقمية للأرض (T-DVB) والتحقق من معايير التخطيط.

12.4 قياسات البث غير المطلوب

1.12.4 مقدمة

قياس البث غير المطلوب هو مهمة مشتركة لخدمات المراقبة. فمن جهة أولى، قد يكون الهدف من هذه القياسات هو التأكد من مطابقة البث مقارنة بقناع البث المدرج في المعيار أو التوصية المعنية. ومن جهة أخرى، قد يكون من اللازم إجراء مثل هذه القياسات في حالة حدوث تداخل ناجم عن بث غير مطلوب.

والبث غير المطلوب هو بث خارج عن عرض النطاق اللازم لإشارة ما ويشمل البث خارج النطاق والبث الهامشي.

وقد يكون من الصعب إجراء قياسات البث غير المطلوب نظراً لأنها تقتضي وجود تجهيزات قياسات بنطاق دينامي بالغ الارتفاع. ووفقاً للنظام المطلوب قياسه، تصف توصيات قطاع الاتصالات الراديوية ومعايير الأنظمة ذات الصلة المتطلبات المتعلقة بالتكوين الأمثل للقياس.

2.12.4 التعاريف والمصطلحات

المصطلحات والتعاريف التالية مأخوذة من إصدار عام 2008 من لوائح الراديو.

"144.1 *البث خارج النطاق:* هو بث بتردد واحد أو ترددات واقعة خارج عرض النطاق اللازم، ولكنها في جواره المباشر، وهو ناتج عن عملية التشكيل، باستثناء البث الهامشي."

"145.1 *البث الهامشي:* هو بث بتردد واحد أو بترددات واقعة خارج عرض النطاق اللازم، ويمكن إنقاص سويته دون المس بإرسال المعلومات المقابلة. ويشمل البث الهامشي الإرسالات التوافقية، والإرسالات الطفيلية، وأنتجة التشكيل البيني وتحويل التردد، باستثناء البث خارج النطاق."

"146.1 *البث غير المطلوب:* هو مجموعة من إرسالات تتكون من البث الهامشي والبث خارج النطاق."

"146A.1 *مجال البث خارج النطاق (لبث ما):* هو مدى التردد الواقع خارج عرض النطاق اللازم مباشرة ولكن لا يدخل فيه مجال البث الهامشي، الذي يسود فيه البث خارج النطاق بصفة عامة. ويحدث البث خارج النطاق، الذي يعرّف بحسب

مصدره، في الميدان خارج النطاق، كما يحدث بدرجة أقل في مجال البث الهامشي. وبالمثل، قد يحدث البث الهامشي في مجال البث خارج النطاق وكذلك في مجال البث الهامشي."

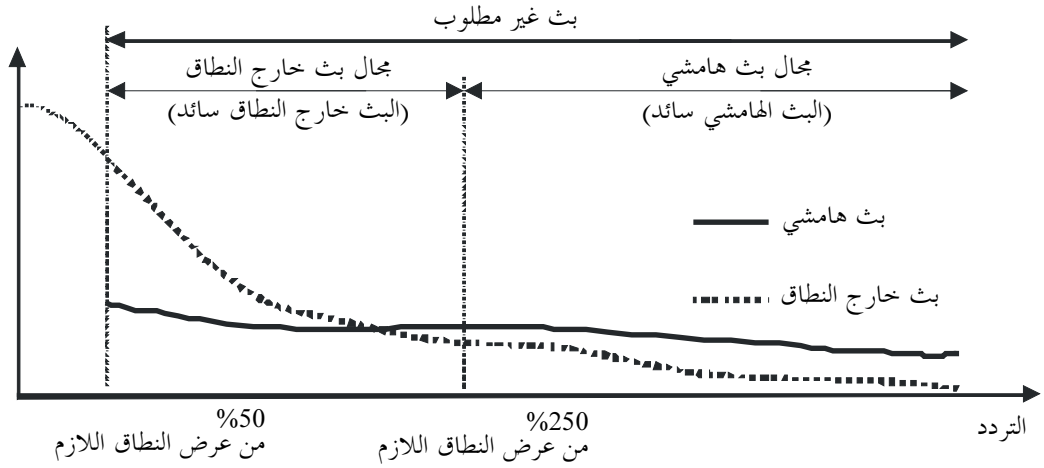
"146B.1 *مجال البث الهامشي (لبث ما):* هو مدى التردد الذي يتجاوز مجال البث خارج النطاق الذي يسود فيه البث الهامشي بصفة عامة."

"152.1 *عرض النطاق اللازم:* هو عرض نطاق الترددات الذي يكفي على الضبط، في صنف إرسال معطى، لتأمين إرسال المعلومات بالسرعة والجودة المطلوبتين في ظروف معينة."

ويوضح الشكل 12.4-1 هذه التعاريف. ويوفر الحد الفاصل بين مجال البث خارج النطاق والبث الهامشي للعلم (على سبيل المثال، يستخدم الحد 250% بشكل شائع في أنظمة الرادار).

الشكل 12.4-1

توضيح مجال البث خارج النطاق والبث الهامشي



Spectrum-4.12-01

3.12.4 أمداء التردد للبث غير المطلوب

ينقسم البث غير المطلوب إلى مجالين، وهما:

- مجال البث خارج النطاق؛
- مجال البث الهامشي.

وللتمييز بين المجالين، ينبغي تعيين الحد الفاصل بينهما. وترد بعض المبادئ التوجيهية المتعلقة بذلك في التوصية ITU-R SM.1539: فيتضمن الجدولان 1 و2 من الملحق 1 القيم الخاصة بتقييم فصل الترددات بين مركز تردد الإشارة والحد الفاصل بين مجال البث خارج النطاق ومجال البث الهامشي. ويُحدد هذا الفصل بين الترددات بعتبتين تتوقفان على طبيعة الإشارة (بث ضيق النطاق (B_L) وبث عريض النطاق (B_U)). وعملياً، يتسم مجال البث خارج النطاق باتساعه نسبياً مقارنة بعرض النطاق اللازم (حيث يبدأ حد مجال البث الهامشي عند سوية تخالف أكبر من عرض النطاق اللازم بمرتين ونصف)، وذلك بالنسبة للبث ذي النطاق الضيق جداً. وعلى العكس، إذا كان البث عريضاً للغاية، يكون مجال البث خارج النطاق أضيق أيضاً مقارنة بعرض النطاق اللازم.

وعند تعيين الحد الفاصل بين مجال البث خارج النطاق والبث الهامشي، ينبغي تحديد المدى الترددي للقياس. وينبغي إجراء قياسات البث غير المطلوب بحيث تغطي مدى تردد واسع. والجدول التالي مقتبس من التوصية ITU-R SM.329 ويوفر مدى التردد لتحليله وفقاً للتردد الأساسي للإشارة.

الجدول 1-12.4

مدى التردد لقياس البث غير المطلوب

التردد الأساسي	مدى التردد للقياسات	
	السوية الأدنى	السوية الأعلى
MHz 100-kHz 9	kHz 9	GHz 1
MHz 300-MHz 100	kHz 9	التوافقية العاشرة
MHz 600-MHz 300	MHz 30	GHz 3
GHz 5,2-MHz 600	MHz 30	التوافقية الخامسة
GHz 13-GHz 5,2	MHz 30	GHz 26
GHz 150-GHz 13	MHz 30	التوافقية الثانية
GHz 300-GHz 150	MHz 30	GHz 300

يرجى ملاحظة أن القياس ينبغي أن يشمل نطاق التوافقية بأسره وألا يكون مبتوراً عند حد التردد الأعلى المحدد على وجه الدقة.

4.12.4 القياسات في مجال البث الهامشي

يكون البث الهامشي عادة عبارة عن إشارات ضعيفة ومن ثم يتعين أن تستوفي التجهيزات متطلبات صارمة لقياسها. والنهج العام هو توهين الإشارة الرئيسية باستخدام المراشيح قدر الإمكان ومسح مدى التردد اللازم (انظر الجدول 1-12.4) بعرض نطاق القياس المحدد في المعيار أو التوصية ذات الصلة. ويكون عادة مدى التردد هذا واسعاً للغاية بما يتعذر تسجيله في خطوة واحدة (كنسة واحدة مثلاً باستعمال محلل طيف). وتعرض محللات الطيف الحديثة الطيف باستعمال شاشة عرض بلورات سائلة (LCD) قائمة على المسح التنقيطي. وتتسم هذه الشاشات في محدودية عدد البكسلات في محور السويات وكذلك في محور الترددات. ويؤدي ذلك إلى نقص الاستبانة لكل من السوية والتردد. وقد يؤدي نقص استبانة الترددات إلى فقدان الإشارات على الشاشة عند قياس أمداء التردد ذات عرض نطاق الاستبانة الضيق (أضيق من بكسل واحد). وتسمح بعض التجهيزات بأن يقوم المستعمل بتحديد عدد من نقاط الكنس. وكلما ازداد عدد النقاط المعروضة ازدادت درجة استبانة ترددات القياس.

ومع ذلك، لا يظهر عدد النقاط الأعلى من استبانة الشاشة جميع النتائج على الشاشة المدمجة. ولا تستعمل زيادة استبانة الترددات إلا إذا تم تصدير بيانات التعقب ومعالجتها اللاحقة بواسطة البرمجية.

وفي معظم الحالات، يتعين إجراء قياسات متعددة، يغطي كل منها جزءاً معيناً من إجمالي مدى الترددات.

5.12.4 القياسات في مجال البث خارج النطاق

يعبَّر عن نتيجة قياس البث غير المطلوب، بالنسبة لمعظم الخدمات، إما باعتبارها متوسط القدرة (جذر متوسط التربيع) المرسلة في قنوات غير القناة المخصصة، أو في كثافة قدرة الطيف (أو قدرة المكونات المنفصلة) بترددات أعلى أو أدنى من حدود عرض النطاق اللازم. ولتحديد مدى مطابقة الإشارات فيما يتعلق بالبث خارج النطاق، يمكن تحديد نوعين مختلفين من القياس:

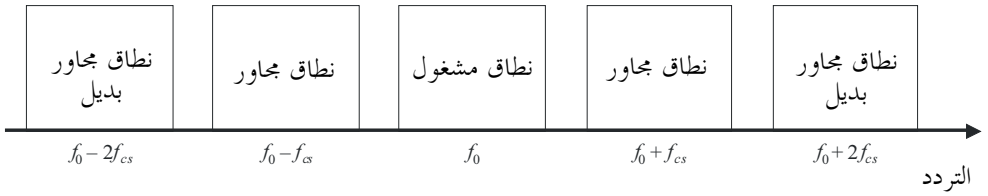
- طريقة قدرة القناة المجاورة والقناة المجاورة البديلة؛
- طريقة قناع الطيف.

1.5.12.4 قياسات قدرة القناة المجاورة

تكمن هذه الطريقة في قياس متوسط قدرة الإشارة في النطاقات الموضحة في الشكل 2-12.4.

الشكل 2-12.4

نطاقات قياسات القدرة



f_{cs}: مباعدة ما بين الترددات المخصصة

Spectrum-4.12-02

يشيع إجراء هذا القياس باستعمال محللات الطيف. وينطوي معظم المحللات الحديثة على وظيفة قياس مبيّتة تعمل على قياس القدرة داخل النطاق والقدرة في القنوات المجاورة في الوقت ذاته. وينبغي إدخال بيانات عرض نطاق القناة ومباعدة القنوات يدوياً. ويمكن أخذ قيمها من المعيار ذي الصلة، وخطط توزيع القنوات الوطنية أو الدولية، أيها ينطبق على الخدمة. وفي بعض الأنظمة، تكون المباعدة بين القنوات أوسع من عرض نطاق القناة (النطاقات الحارسة)، غير أن معظم المحللات يسمح بإدخالها بصورة منفصلة.

وتقاس متوسطات قدرة القنوات المطلوبة عن طريق دمج كثافة القدرة الطيفية في كل قناة بصورة منفصلة بعد تسجيل مجموع الطيف باستعمال عرض نطاق استبانة (RBW) ضيق نسبياً. وبحكم التجربة، يكون عرض نطاق الاستبانة نحو 100/1 إلى 500/1 من إجمالي الباع. ويجب توخي الحذر بعدم استخدام مكشاف الذروة في هذا القياس.

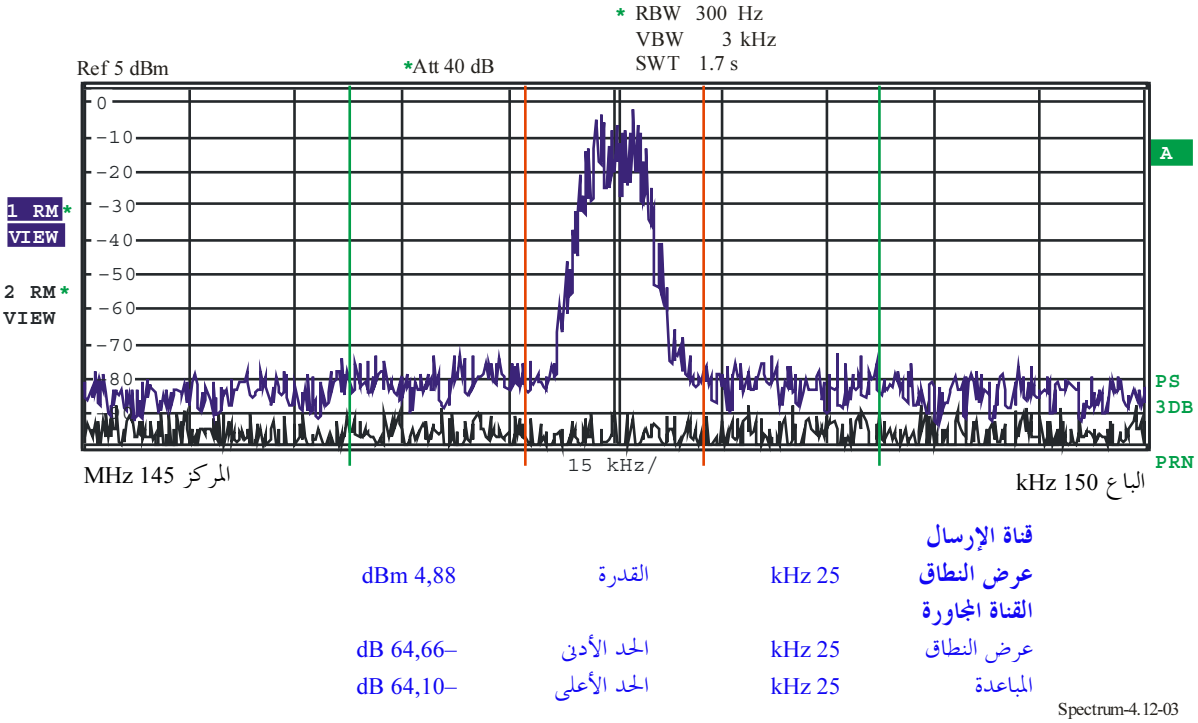
وفي معظم الخدمات، وتبعاً لتجهيزات القياس، ينبغي استعمال المكشاف العينة أو مكشاف جذر متوسط التربيع وأن يكون أسلوب التتبع 'مسح/كتابة'. وإذا لم تتوفر وظائف إضافية مثل "الإطلاق البوابي"، لا يمكن استعمال هذا القياس إلا في حالة الإرسالات المتواصلة، ولا يمكن استعماله في أنظمة تعدد الإرسال بتقسيم الزمن (TDMA). ومع ذلك، جدير بالملاحظة أن بعض الأنظمة (مثل الرادارات) تقتضي إجراء القياس بمكشاف ذورة ونظام تتبع Maxhold.

وأكثر المشكلات العملية شيوعاً في هذا القياس هي أن القدرة في القنوات المجاورة أو البديلة دون سوية الضوضاء الخلفية لمستقبِل/محلل القياس أو قريبة منها. ولضمان سلامة النتيجة، ينبغي إجراء قياس أولي مع إقفال المرسل، باستعمال نفس ضوابط التجهيزات المحددة في القياس الفعلي. وتدوّن قدرة القنوات المجاورة والبديلة المعروضة. ويكون القياس الفعلي صحيحاً إذا بلغت القدرة في القنوات المجاورة والبديلة التي يكون فيها المُرسِل موصولاً بالطاقة بما لا يقل عن 10 dB فوق قيم القياس الأولي.

ويعطي الشكل 3-12.4 مثالاً عن قياس قدرة القنوات المجاورة لمحطة هواة. والتتبع الأخفض هو المتوسط المعروض لضوضاء خلفية النظام (DANL) عندما يكون المرسل قيد الاختبار مفصولاً عن الطاقة.

الشكل 3-12.4

مثال على قياس قدرة القناة المجاورة



2.5.12.4 قياسات قناع الطيف

يمكن تطبيق هذه الطريقة على البث خارج النطاق وعلى البث الهامشي. وهي تستند إلى المقارنة بين كثافة قدرة الطيف لبث ما في عرض نطاق قياس معين وبين قناع طيف محدد في التوصيات أو المعايير.

ومن جانب التشدد، لا تسري هذه الطريقة ما لم يحدد قناع طيف نسبي متواصل باستعمال نفس عرض النطاق المرجعي. ومع ذلك، ترد الحدود خارج النطاق في العديد من المعايير كمزيج من السويات المطلقة والنسبية. وذلك حرصاً على ألا تتجاوز القدرة المشعة القصوى قيماً محددة، بغض النظر عن مجموع القدرة المشعة الصادرة عن المستقبل. وفي هذه الحالات، يتعين حساب القناع المستعمل في مقارنة الطيف المقيس أولاً (باستعمال سويات نسبية). ومع ذلك، لا يسري هذا القناع إلا لقدرة خرج معينة للمرسل.

ويطبق الكثير من المعايير عروض نطاق مرجعية مختلفة لأجزاء مختلفة من الطيف خارج النطاق. وفي هذه الحالات، لن تفضي طريقة قناع الطيف إلى نتائج دقيقة وفقاً للمعيار. ومع ذلك، ونظراً لأن البث في المجال خارج النطاق ينطوي عادة على توزيع طيفي متواصل لكثافة القدرة (أي عدم وجود ترددات مميزة)، لا يزال من الممكن تطبيق هذه الطريقة بدقة معقولة إذا ما تضمن حساب قناع الطيف النسبي التصحيح اللازم لعرض النطاق.

مثال:

يمكن أخذ المعيار EN 125 101 الصادرعن المعهد الأوروبي لمعايير الاتصالات (ETSI) لتجهيزات مستعملي النظام العالمي للاتصالات المتنقلة (UMTS) مثالاً لتوضيح حساب قناع الطيف. وفي هذا المعيار، تشكل متطلبات القناع مزيجاً من السويات المطلقة والنسبية. وفضلاً عن ذلك، يتم تعريف عرضيْ نطاق مرجعيين مختلفين. ويقتبس الجدول 2-12.4 الجدول ذي الصلة المأخوذ من هذا المعيار.

الجدول 2-12.4

متطلبات قناع بث الطيف لتجهيزات مستعملي النظام العالمي للاتصالات المتنقلة

Δf (MHz) (الملاحظة 1)	**المتطلبات الدنيا (الملاحظة 2) النطاقات الأول والثاني والثالث والرابع والخامس والسادس**		**المتطلبات الإضافية النطاقات الثاني والرابع، والخامس** (الملاحظة 3) **(dBm)**	**عرض نطاق القياس** (الملاحظة 6)
	المتطلبات النسبية (dBc)	**المتطلبات المطلقة (dBm)**		
3.5-2.5	$\left\{-35-15\cdot\left(\frac{\Delta f}{\text{MHz}}-2.5\right)\right\}$	71,1–	15–	kHz 30 (الملاحظة 4)
7.5-3.5	$\left\{-35-1\cdot\left(\frac{\Delta f}{\text{MHz}}-3.5\right)\right\}$	55,8–	13–	MHz 1 (الملاحظة 5)
8.5-7.5	$\left\{-39-10\cdot\left(\frac{\Delta f}{\text{MHz}}-7.5\right)\right\}$	55,8–	13–	MHz 1 (الملاحظة 5)
12.5-8.5	dBc 49–	55,8–	13–	MHz 1 (الملاحظة 5)

الملاحظة 1 – يشير الرمز Δf إلى الفصل بين تردد الموجة الحاملة ومركز عرض نطاق القياس.

الملاحظة 2 – تحسب المتطلبات الدنيا للنطاقات الأول والثاني والثالث والرابع والخامس والسادس من المتطلبات النسبية أو المتطلبات المطلقة، أيهما أعلى قدرة.

الملاحظة 3 – بالنسبة للتشغيل في النطاقات الثاني والرابع والخامس فقط، تحتسب المتطلبات الدنيا من المتطلبات الدنيا الواردة في الملاحظة 2 أو المتطلبات الإضافية للنطاق الثاني، أيهما أخفض قدرة.

الملاحظة 4 – وضع القياس الأول والأخير باستخدام مرشاح 30 kHz عند Δf يساوي 2,515 MHz و3,485 MHz.

الملاحظة 5 – وضع القياس الأول والأخير باستخدام مرشاح 1 MHz عند Δf يساوي 4 MHz و12 MHz.

الملاحظة 6 – كقاعدة عامة، ينبغي أن يكون عرض نطاق الاستبانة لتجهيزات القياس مساوياً لعرض نطاق القياس. ومع ذلك، قد يتطلب تحسين دقة القياس وحساسيته وكفاءته أن يكون عرض نطاق الاستبانة أصغر من عرض نطاق القياس. وعندما يقل عرض نطاق الاستبانة عن عرض نطاق القياس، ينبغي دمج النتيجة في عرض نطاق القياس بغية الحصول على عرض نطاق الضوضاء المكافئ لعرض نطاق القياس.

وباستخدام المعلومات الواردة في الجدول أعلاه، يحتسب قناع الطيف لتجهيزات المستعمل بقدرة قصوى تبلغ +24 dBm في نطاق الترددات الديسيمترية (UHF) الأول. ويبلغ عرض نطاق بث النظام العالمي للاتصالات المتنقلة (UMTS) مقدار 3,84 MHz. والقدرة المرجعية لقناع الطيف هي إجمالي سوية جذر متوسط التربيع (+24 dBm)، ولكن تُحال نقاط الانقطاع عند حد مجال البث خارج النطاق (fc +/–2,5 MHz) إلى عرض نطاق للقياس يبلغ 30 kHz، أي أن القناع يبدأ عند سوية مطلقة قدرها:

24 dBm +10*log(30 kHz/3.84 MHz) = +3 dBm

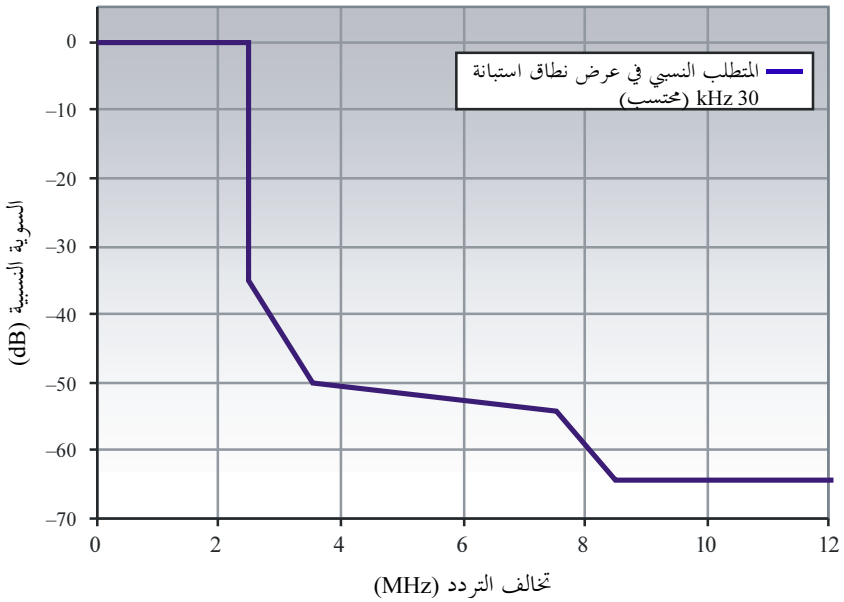
وتمثل هذه القيمة السوية المرجعية 0 dB لقناع الطيف بأكمله. وينخفض القناع بحوالي 35 dB عند النطاق 2,5 MHz حيث يمثل ذلك نتيجة المعادلة الواردة في عمود "المتطلبات النسبية" للنطاق 2,5 MHz. وينخفض القناع بين النطاقين 2,5 و3,5 MHz بمعدل 15 dB/MHz ليصل إلى –50 dBc. وعند الوصول إلى سوية التخالف 3,5 MHz، يتغير عرض النطاق المرجعي من 30 kHz إلى 1 MHz. غير أنه في حالة الطيف المقيس، يتعين إعادة احتساب الجزء التالي من القناع حتى عرض نطاق 30 kHz وهو ما يعني ضرورة تصحيح جميع السويات بالقيمة 10*log(30/1 000) = 15 dB.

وهكذا تكون السوية النسبية للقناع الناتج عند التخالف MHz 3,5 هي –dBc 35 –dB 15 = –dBc 50، مما يوفر انتقالاً سلساً من الجزء السابق. ثم يهبط القناع بدرجة ميل تبلغ dB/MHz 1 ليصل إلى –dBc 39 عند التخالف MHz 7,5 وهكذا. وتبلغ السوية النهائية لعمود "المتطلبات النسبية" –dBc 49 بتخالفات أعلى من MHz 8,5. وبالسويات المطلقة (أو كثافات القدرة الطيفية)، يرتبط ذلك بالقيمة +dB 3 –dB 49 = –dBm 46 في عرض النطاق kHz 30.

ويتعين أيضاً تصحيح عرض النطاق لجزء من الحدود المطلقة الواردة في العمود التالي، بحيث تصبح نتائج عرض نطاق القياس البالغ kHz 30 عند سوية ثابتة –dBm 71 لجميع تخالفات التردد. ومع ذلك، تشير الملاحظة 2 إلى أنه في حال ارتفاع السوية النسبية، يمكن إغفال السوية المطلقة والعكس صحيح. وتصل قيمة المتطلب الإضافي للنطاق الرابع –dBm 28 وهو ما يزيد على القيم النسبية على أي حال. ويوضح الشكل 4-12.4 قناع الطيف الناتج الذي يمكن مقارنته بالطيف مباشرة، مقيساً بعرض نطاق استبانة يبلغ kHz 30.

الشكل 4-12.4

مثال على قناع الطيف للنظام العالمي للاتصالات المتنقلة (UMTS) في تجهيزات المستعمل

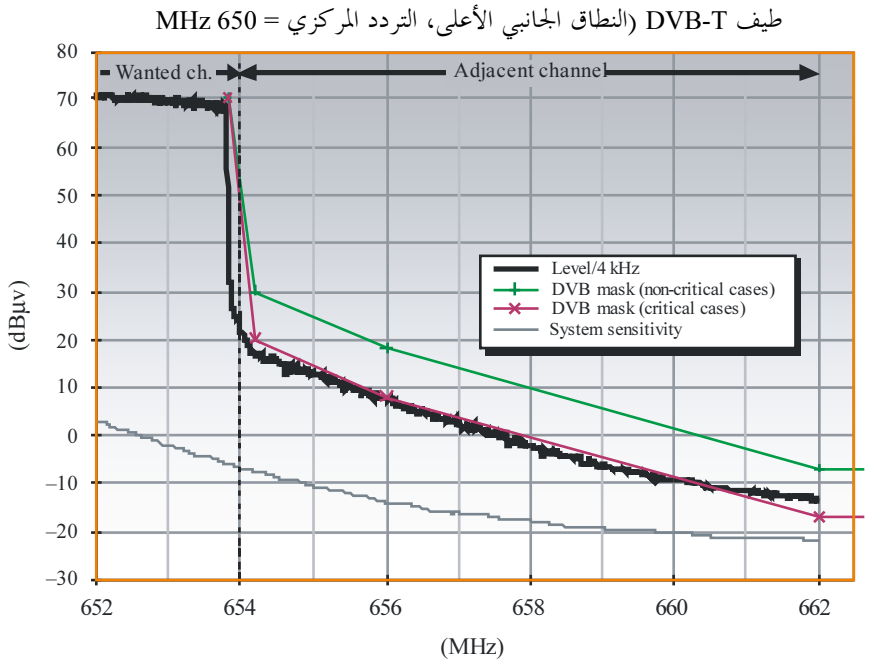


وينبغي عرض نتائج قياس قناع الطيف بوحدات dBsd أو dBc أو dBpp (انظر التوصيتين ITU-R SM.329 وITU-R SM.1541).

ويوضح الشكل 5-12.4 نتيجة مثال لقياس بث خارج النطاق لمُرسل بنظام الإذاعة الفيديوية الرقمية للأرض (DVB-T) باستعمال طريقة قناع الطيف.

الشكل 5-12.4

قياس البث خارج النطاق لمُرسل يعمل بنظام الإذاعة الفيديوية الرقمية للأرض (DVB-T)



6.12.4 متطلبات التجهيزات وتكوينها وقيود القياس

تتطلب قياسات البث غير المطلوب مدى دينامياً مرتفعاً يمكن أن يخرج عن مواصفات التجهيزات من أجل تكوين قياس معين. ولذلك، ينبغي إيلاء عناية خاصة لدى إجراء هذا القياس للوصول بتكوين القياس إلى الحد الأمثل.

7.12.4 الوصول بالمدى الديناميِ لتكوين القياس إلى الحد الأمثل

للحصول على المدى الديناميِ الأقصى لقياسات البث غير المطلوب، ينبغي تحميل مستقبِل القياس أو محلل الطيف بأقصى سوية ممكنة عند مخلاط الدخل، دون ضغط إشارة الإرسال. ويجب ضبط توهين التردد الرَاديوي عند أقل قيمة ممكنة لا يترتب عليها انضغاط مسير الإشارة.

وتمثل ضوضاء خلفية التجهيزات أحد القيود. وتحدد ضوضاء الخلفية لمحللات الطيف أو المستقبِلات عادة على أنها متوسط سوية الضوضاء المعروضة (DANL) في عرض نطاق الاستبانة البالغ 10 Hz أو 1 Hz. وتعبر هذه الخصيصة عن قدرة المحلل على قياس الإشارة الضعيفة، وتحد قيمة هذه الخصيصة من السوية الدنيا للإشارة القابلة للتمييز على الجهاز. وتتوقف قدرة الضوضاء الملازمة لمحلل طيف أو مستقبِل على ضبط عرض نطاق الاستبانة وتحديد السوية المرجعية. وكلما انخفض عرض نطاق الاستبانة، انخفضت قدرة ضوضاءِ المحلل الملازمة. ومع ذلك، يكون عرض نطاق الاستبانة محدداً عادة في التوصية أو المعيار ذي الصلة، وفقا لنمط الإشارة المقرر قياسها.

8.12.4 التجهيزات المطلوبة

إن النهج العام المتبع في قياس البث غير المطلوب هو استعمال محلل للطيف. ومع ذلك، قد تستعمل أيضاً مستقبِلات القياس. وثمة طريقة عملية، لاسيما في قياسات قناع الطيف في مجال البث خارج النطاق، وهي إجراء مسح متحكم فيه حاسوبياً على مدى التردد موضع الاهتمام، وذلك باستعمال مستقبِل قياس. وغالباً ما توفر مراشيح الانتقاء المسبق التي تستخدم عادة في مستقبِلات القياس مدى دينامياً أعلى من استعمال محلِلات الطيف.

وقد يتطلب خفض قدرة الضوضاء الملازمة في قياس البث غير المطلوب استعمال مكبرات منخفضة الضوضاء (LNA) داخلية أو خارجية. ومع ذلك، يتوقف تحديد أقصى سوية قابلة للقياس من دون الإفراط في تحميل الجهاز على قدرات المكبرات منخفضة الضوضاء وليس على محلل الطيف أو المستقبِل بالذات. ويتعين الحرص على عدم فرط تحميل أي مكون من مكونات نظام القياس.

فإن سمح تكوين القياس بإجراء قياس مباشر بمدى دينامي كاف، فمن الممكن إجراء القياس بشكل مباشر ومعالجة النتيجة دون أي معالجة لاحقة.

وفي الكثير من الحالات (كما في مثال الإذاعة DVB-T الوارد في الشكل 12.4-5)، يغطي قناع الطيف مدى سوياً بمقدار 100 dB أو أكثر، وإلا ينبغي كبت البث الهامشي بمقدار 100 dB. ولا تسري القياسات في هذه المجالات إلا عندما تظل ضوضاء المستقبل أقل بمقدار 10 dB على الأقل من أضعف مكون إشارة يتعين قياسه. ويتطلب ذلك ديناميات قياس تبلغ 110 dB على الأقل، وهو ما يتجاوز المواصفات الخاصة بأي محلل للطيف أو مستقبِل. ولدى تحميل دخل محلل الطيف بسوية مرتفعة للإشارة المقرر قياسها، قد يلاحظ تشوه في الإشارة بسبب النمط اللاخطي في مسير إشارة محلل الطيف. وعلى وجه التحديد، تمثل النواتج الهامشية المعروفة نواتج تشكيل بيني من الدرجة الثالثة ونواتج تشوه توافقية. وفي هذه الحالات، ينبغي كبت الإشارة الرئيسية في القناة المطلوبة باستعمال المراشيح. وبالنسبة للترددات الأعلى من 1 GHz، تعد المراشيح YIG ملائمة تماماً حيث يمكن توليفها إلكترونياً ولا تتجاوز سوى المدى الترددي المقيس آنذاك. ثم يُقاس البث غير المطلوب من خلال المراشيح وتصحح النتائج بتوهين المراشيح (المقيسة). ويحدث ذلك عادة بواسطة برمجية المعالجة اللاحقة.

وفضلاً عن ذلك، وبالنسبة لأي إشارة مطلوبة يتغير فيها إتساع الخرج مع الزمن (مثل تشكيل الغلاف غير الثابت)، من الممكن استعمال عشرة قياسات متوسطة أو أكثر تحقيقاً للاتساق.

9.12.4 الجوانب العملية للقياس

يقتضي المعيار أو التوصية ذات الصلة عادة إجراء قياس للبث بالإيصال عند خرج المرسل. ومع ذلك، إذا أجري القياس 'خارج الهواء'، عندئذ يتعين قياس النتائج كقيم لشدة المجال. ويعني ذلك أنه قد يتحتم استعمال هوائيات قياس مختلفة ذات عوامل تصحيح مختلفة. وينبغي الحرص على أن يقتصر استعمال هوائيات القياس داخل مداها التشغيلي المحدد.

ولعل إحدى المشكلات العملية الرئيسية، لا سيما عند إجراء هذه القياسات 'خارج الهواء'، هي أن الإشارات الصادرة عن المُرسِلات الأخرى، التي لا يمكن كبتها تماماً، ستظهر في النتيجة. وللحد من تأثير هذه الإشارات، يمكن إجراء قياسين متتابعين لكل جزء من مدى التردد، حيث يُقطع المرسل قيد الفحص أثناء القياس الأول ويوصل أثناء القياس الثاني. ويعزى البث الظاهر في كلا المسحين إلى إشارات خارجية، وقد يعزى ظهور البث في المسح الثاني فقط إلى البث الهامشي الصادر عن المُرسل قيد الاختبار. ونظراً لأن البث الخارجي أيضاً ليس نشطاً دوماً، فإن هذا النهج يؤدي إلى تحقيق نتائج أفضل إذا كان ثمة فارق زمني أقل بين المسح الأول والثاني. وإذا كان البث الصادر عن المُرسل قيد الاختبار نبضياً، فمن الممكن تقييم لحظات التوقف للكشف عن الإشارات الخارجية. ومع ذلك، يتطلب هذا النهج مزامنة تجهيزات القياس مع المرسل قيد الاختبار.

وتناقش قياسات قناع الطيف في مجال البث خارج النطاق بالتفصيل في الملحق 1 من التوصية ITU-R SM.1541.

ويرد وصف مثال آخر لقياسات البث غير المطلوب لأنظمة الرادار في القسم 5.5 من هذا الكتيب.

وتبحث مسألة قياس البث غير المطلوب في مجال البث الهامشي بإسهاب في الملحق 2 من التوصية ITU-R SM.329.

بيبليوغرافيـــا

Application note 1EF45_0E, Rohde and Schwarz, “spurious emission measurements on 3GPP Base Station Transmitters”, 2002

Recommendation CEPT, REC(02)05, “unwanted emissions”.

توصيات قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد

ملاحظة – يشجع في كل حالة استعمال الإصدار الأخير من التوصية.

التوصية ITU-R SM.328 – أطياف وعرض نطاق البث.

التوصية ITU-R SM.329 – الإرسالات غير المطلوبة في مجال البث الهامشي.

التوصية ITU-R SM.1541 – البث غير المطلوب في مجال البث خارج النطاق.

التوصية ITU-R SM.1792 – قياس إرسالات النطاق الجانبي في مُرسِلات الإذاعة السمعية الرقمية للأرض (T-DAB) والإذاعة الفيديوية الرقمية للأرض (DVB-T) لأغراض المراقبة.

الفصـــل 5

أنظمة وإجراءات مراقبة محددة

الصفحة

1.5 مراقبة إرسالات المركبات الفضائية 412

1.1.5 المهام والقياسات التي يجب القيام بها 412

1.1.1.5 أنماط القياسات 414

2.1.1.5 أنماط التداخلات الناجمة عن الأنظمة الساتلية: 414

2.1.5 تقنيات القياس 415

1.2.1.5 اعتبارات عامة 415

2.2.1.5 قياسات التردد 416

1.2.2.1.5 تأثير زحزحة دوبلر 416

2.2.2.1.5 طريقة القياس 417

3.2.2.1.5 الإجراء الخاص بحساب التردد ودقة القياس 417

3.2.1.5 قياسات عرض النطاق 417

4.2.1.5 قياسات كثافة تدفق القدرة (pfd) 419

1.4.2.1.5 القياسات في عرض نطاق مرجعي 419

2.4.2.1.5 قياس القدرة pfd الكلية 420

3.4.2.1.5 إجراء القياس 420

4.4.2.1.5 عدم اليقين في القياس 422

5.2.1.5 قياسات الاستقطاب 422

6.2.1.5 تحديد المواقع المدارية والعناصر المدارية 422

1.6.2.1.5 السواتل الموجودة في المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض 422

2.6.2.1.5 السواتل الموجودة في مدارات غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض 423

7.2.1.5 تحديد الموقع الجغرافي لمرسلات موجودة على سطح الأرض باستعمال قياسات اختلاف الزمن والتردد من ساتلين موجودين على المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض 423

1.7.2.1.5 قياس الاختلافات في الزمن والتردد 425

2.7.2.1.5 خوارزمية تحديد الموقع الجغرافي 425

3.7.2.1.5 تحليل عدم اليقين 426

الصفحة

8.2.1.5 تحديد الموقع الجغرافي لمرسلات على الأرض باستعمال ساتل GSO واحد وزحزحة دوبلر معكوسة 427
1.8.2.1.5 خوارزمية تحديد الموقع الجغرافي 428
2.8.2.1.5 قياس التردد (الدوبلري) 429
3.8.2.1.5 تصحيح الموقع والسرعة 429
9.2.1.5 قياسات شغل التردد وقياسات شغل الموقع المداري بالمدار المستقر بالنسبة إلى الأرض 429
10.2.1.5 القياسات تحت مستوى الضوضاء الأساسية 431
3.1.5 المتطلبات الخاصة بالمعدات والمرافق 431
1.3.1.5 اعتبارات عامة 431
2.3.1.5 رقم الجدارة لنظام مراقبة فضائية 432
1.2.3.1.5 الشروط التي تحدد رقم الجدارة 433
2.2.3.1.5 إجراءات قياس *G/T* 435
3.3.1.5 أنظمة الهوائيات 435
4.3.1.5 توجيه الهوائي 436
5.3.1.5 عرض حزمة الهوائي اللازم للقياسات الزاوية 436
6.3.1.5 استقطاب النظام 437
7.3.1.5 المستقبلات 437
8.3.1.5 التجهيزات المحيطية 439
1.8.3.1.5 التجهيزات العامة 439
2.8.3.1.5 المحلل 439
9.3.1.5 القناة عريضة النطاق لمراقبة الترددات الراديوية (RF) أو المتوسطة (IF) 439
10.3.1.5 تجهيزات تسجيل الطيف الترددي الراديوي 439
11.3.1.5 الاحتياجات الحاسوبية 440
4.1.5 دعم المراقبة الفضائية بالوثائق وبقاعدة بيانات 440
1.4.1.5 اعتبارات عامة بخصوص الوثائق وقاعدة البيانات 440
2.4.1.5 قاعدة بيانات المعلومات العامة للسواتل القائمة 440
3.4.1.5 قاعدة بيانات معلومات المراقبة 441
4.4.1.5 استعمال الوثائق وقواعد البيانات لتسهيل المراقبة 441
5.1.5 تعيين هوية المحطات الفضائية وتحديد الموقع الجغرافي للمحطات الأرضية 441
1.5.1.5 نتائج المراقبة المستعملة لتعيين الهوية 442
1.1.5.1.5 تقييم تسجيلات النطاق الترددي 442
2.1.5.1.5 حساب فترة الدوران 442
3.1.5.1.5 تحديد الاتجاه (DF) 442

الصفحة

4.1.5.1.5 حساب بيانات التقويم الفلكي من القياسات الزاوية للهوائي 443
5.1.5.1.5 خصائص البث 443
2.5.1.5 إجراء تعيين الهوية 443
3.5.1.5 الاحتمالات الأخرى لتعيين هوية المحطات الفضائية 443
4.5.1.5 اعتبارات تشغيلية تتعلق بتحديد الموقع الجغرافي لمحطات الوصلة الصاعدة الأرضية باتجاه سواتل GSO 443
1.4.5.1.5 حيازة المعلومات الضرورية 444
2.4.5.1.5 انتقاء الساتل المجاور 444
3.4.5.1.5 الإشارات المرجعية 445
4.4.5.1.5 بيانات التقويم الفلكي 445
5.4.5.1.5 إنشاء مرسلات مرجعية تكميلية مكرّسة 446
6.4.5.1.5 المرسل المرجعي القابل للنقل 446
6.1.5 حلول تقنية بالأمثلة 447
1.6.1.5 مثال لمحطة مراقبة راديوية فضائية 447
1.1.6.1.5 نظام الهوائي 449
2.1.6.1.5 مرافق الاستقبال 455
3.1.6.1.5 تجهيزات المراقبة 459
4.1.6.1.5 مرافق التحكم 464
2.6.1.5 عملية المراقبة الراديوية لسواتل GSO 467
3.6.1.5 المراقبة الدقيقة لخط الطول المداري (قياس بالتداخل الراديوي) 467
1.3.6.1.5 أغراض المراقبة المدارية الدقيقة 467
2.3.6.1.5 عتاد مقياس بالتداخل 469
3.3.6.1.5 عمليات تشغيل مقياس التداخل 472
4.3.6.1.5 معايرة الأخطاء 473
7.1.5 نتائج المراقبة بالأمثلة 474
1.7.1.5 تسجيل نطاق التردد في نطاق VHF 474
2.7.1.5 حساب العناصر المدارية من قياسات زاوية الهوائي 476
3.7.1.5 قياسات شغل المرسل–المستجيب 477
4.7.1.5 ميل سواتل GSO 478
5.7.1.5 نتيجة قياس لتحديد الموقع الجغرافي وعرضها 479
2.5 المراقبة الإذاعية 482
1.2.5 مقدمة 482
1.1.2.5 نوعية الخدمة 483

الصفحة

2.2.5 المعايير والمقاييس الإذاعية 488
1.2.2.5 الإذاعة الصوتية التناظرية المشكلة بالاتساع (AM) 488
2.2.2.5 الإذاعة الصوتية التناظرية FM 488
3.2.2.5 الإذاعة التلفزيونية التناظرية 491
4.2.2.5 الإذاعة الصوتية الرقمية 492
5.2.2.5 الإذاعة التلفزيونية الرقمية للأرض 498
3.2.5 أجهزة مخصوصة مستخدمة في مراقبة الإذاعة 503
1.3.2.5 الطبولوجيا العامة 504
2.3.2.5 نظام الهوائي 505
3.3.2.5 الاستقبال وفك الشفرة 506
4.3.2.5 مقياس النوعية المخصصة/المعلمات التقنية 509
5.3.2.5 الرقمنة والانضغاط 509
6.3.2.5 تحليل الوسائط الأولي والبيانات الشرحية 511
7.3.2.5 توزيع ومعالجة البيانات 511
8.3.2.5 تخزين البيانات 513
3.5 مراقبة الأنظمة الخلوية 516
1.3.5 مقدمة 516
2.3.5 الأنظمة والمعايير الراديوية الخلوية 516
3.3.5 وصف نظم الاتصالات الشخصية 520
4.3.5 أنظمة الخدمة الساتلية المتنقلة 521
5.3.5 النفاذ اللاسلكي العريض النطاق 521
6.3.5 اعتبارات القياس 524
1.6.3.5 قياس معلمات RF 524
2.6.3.5 قياسات نوعية الخدمة 525
3.6.3.5 آليات التداخل 527
4.6.3.5 قياسات التغطية 529
7.3.5 تحديد الهوية 530
1.7.3.5 اكتشاف الاتجاه وتحديد موقع الباث 530
2.7.3.5 فك التشفير 531
4.5 وصلات الموجات الصغرية والوصلات الساتلية الصاعدة 534
1.4.5 مقدمة عامة 534

الصفحة

2.4.5 استخدام وصلات الموجات الصغرية 535
1.2.4.5 الوصلات التناظرية 535
2.2.4.5 القنوات الرقمية 536
3.2.4.5 الطيف الناتج 536
4.2.4.5 تعدد الإرسال في أنظمة الموجات الصغرية الراديوية 537
1.4.2.4.5 الإرسال المتعدد بتقسيم الترددات 537
2.4.2.4.5 الإرسال المتعدد بتقسيم الزمن 538
5.2.4.5 عملية المراقبة 538
3.4.5 تقنيات القياس العامة 539
1.3.4.5 نظام الاعتراض المباشر 540
2.3.4.5 نظام اعتراض يستخدم مخاليط RF 540
4.4.5 معدات مركبات المراقبة 541
1.4.4.5 نظام الهوائي 542
1.1.4.4.5 نطاق التردد من 1 إلى GHz 26/18 542
2.1.4.4.5 نطاقا التردد GHz 26-18 وGHz 40-26 543
2.4.4.5 معدات التحليل 543
3.4.4.5 معدات المعايرة 543
4.4.4.5 أنظمة الملاحة والموضعة 544
5.4.4.5 توجيه الدوران والدعم التلسكوبي 545
5.4.5 خدمة ساتلية ثابتة تتقاسم مع خدمة ثابتة 545
1.5.4.5 تداخل FSS وFS 545
2.5.4.5 طرائق التحليل 546
3.5.4.5 طور البحث الأرضي في تحري عن تداخل ساتل GSO 548
1.3.5.4.5 اعتبارات عامة 548
2.3.5.4.5 النهج التقليدية المستخدمة في الهوائيات الاتجاهية أو الهوائيات الشاملة الاتجاه 548
3.3.5.4.5 استخدام خوارزميات التعالق المتبادل لتحسين حساسية النظام 549
6.4.5 السلامة 549
5.5 مراقبة عمليات البث الراداري 551
1.5.5 مقدمة 551
2.5.5 مبادئ الرادار الأساسية 551
3.5.5 معادلة مدى الرادار 552
4.5.5 العناصر الرئيسية للأنظمة الرادارية 552

الصفحة

5.5.5 تطبيق الرادار 553
6.5.5 تكنولوجيات الرادار الأساسية..... 554
7.5.5 أنواع وتصنيفات الرادارات..... 554
8.5.5 نطاقات الترددات الرئيسية لأنظمة الرادار..... 558
9.5.5 أجهزة لقياس إشارات الرادار 559
10.5.5 قياس إشارات الرادار..... 559
1.10.5.5 معلمات الرادار الرئيسية..... 559
2.10.5.5 وضعية القياسات 560
3.10.5.5 قياس التردد المركزي..... 562
4.10.5.5 قياس معلمات النبضة..... 562
5.10.5.5 قياس قدرة النبضة..... 563
6.10.5.5 قياس عرض النطاق المشغول 564
7.10.5.5 قياس البثات غير المطلوبة 564
8.10.5.5 قياس تشكيل طور النبضة..... 570
6.5 قياسات الإشعاع غير المتأين 572
1.6.5 مقدمة 572
2.6.5 حدود NIR وحاصل قسمة التعرض..... 572
3.6.5 الميادين الكهربية والمغنطيسية 575
4.6.5 أجهزة لقياسات NIR..... 576
1.4.6.5 مسبارات ومقاييس متناحية عريضة النطاق..... 576
2.4.6.5 هوائيات ثلاثية المحور ومقاييس شدة المجال 578
3.4.6.5 المحطة القابلة للنقل 579
4.4.6.5 استعمال معدات معيارية لقياس شدة المجال..... 580
5.6.5 إجراءات القياس..... 580
1.5.6.5 اختيار موقع القياس..... 580
2.5.6.5 موضعة الأجهزة وتقدير متوسط القيم 581
3.5.6.5 تحذيرات بشأن المجالات الكهربائية أو المغنطيسية القوية..... 582
4.5.6.5 استخدام مسبارات ومقاييس عريضة النطاق 582
5.5.6.5 اعتبارات عامة بشأن التقييم الانتقائي للترددات..... 582
6.5.6.5 التقييم العام بين 9 kHz و6 GHz 583
7.5.6.5 الإشارات الأعلى من 6 GHz 584
8.5.6.5 الرادار والبثات النبضية 584

الصفحة

9.5.6.5 الإشارة المتقطعة 585
10.5.6.5 GSM 585
11.5.6.5 بثات واسعة النطاق (تلفزيون تماثلي/رقمي؛ شبكات رقمية...) 586
12.5.6.5 أنظمة CDMA (UMTS...) 586
6.6.5 عدم التيقن 587
7.6.5 الإبلاغ 587
7.5 قياسات الضوضاء الراديوية 589
1.7.5 مقدمة والخلفية 589
2.7.5 مصادر الضوضاء الراديوية 589
3.7.5 عناصر الضوضاء الراديوية 590
4.7.5 المعلمات الرئيسية 591
5.7.5 أنواع القياسات 591
6.7.5 مواقع القياسات وتردداتها 591
7.7.5 أمثلة لتقديم النتائج 592
8.7.5 بنك بيانات الاتحاد الدولي للاتصالات بشأن الضوضاء الراديوية 593

1.5 مراقبة إرسالات المركبات الفضائية

1.1.5 المهام والقياسات التي يجب القيام بها

إن أي خدمة مراقبة مسؤولة عن إنفاذ القوانين واللوائح المحلية وتشارك في المراقبة الدولية، طبقاً للمادة 16 من لوائح الراديو، تشارك عادة في مراقبة الإرسالات الصادرة عن المحطات الفضائية كامتداد طبيعي وضروري لمرافق وتقنيات المراقبة الاعتيادية وعملياتها.

وبوجه عام، لا تختلف المهام التي تقوم بها محطة مراقبة راديوية للخدمات الفضائية عن تلك التي تقوم بها محطة مراقبة راديوية لخدمات الأرض. بيد أن المراقبة الراديوية للخدمات الفضائية تتطلب استعمال معدات قياس أعقد نسبياً، مثل أنظمة الهوائيات الأكثر تعقيداً، فضلاً عن اختلاف إجراءات المراقبة والقياس. ويرجع ذلك في المقام الأول إلى أن المحطات الفضائية توجد على متن سواتل يتغير موقعها مع الزمن، فيما عدا تلك الموجودة في مدارات مستقرة بالنسبة إلى الأرض متحكم بها جيداً. ويعد الإلمام بالمعرفة الأساسية بشأن مدارات هذه السواتل من الشروط المسبقة الهامة للقيام بأي نوع من أعمال الرصد والقياس لها.

ونظراً لاختلاف المراقبة الفضائية عن المراقبة الأرضية من حيث تقنيات القياس ومصطلحاته التقنية على حد سواء، فقد أدى ذلك إلى أن تُعرف الوظيفة الفضائية بأنها "محطة مراقبة للخدمات الراديوية الفضائية". ويمكن إيجاز وظائف هذه المحطة فيما يلي:

- الرصد الاعتيادي والنظامي لطيف الترددات الراديوية بغرض اكتشاف إرسالات المحطات الفضائية وتحديد معالمها؛
- تحديد مدى الإشغال والنسبة المئوية لاستعمال المرسلات المستجيبات أو مرسلات المحطات الفضائية؛
- قياس وتسجيل خصائص إرسالات المحطات الفضائية؛
- التحري عن التداخلات الضارة الناجمة عن إرسالات المحطات الفضائية وإزالتها، إن أمكن، بالتعاون مع محطات المراقبة الأرضية وغيرها من محطات مراقبة الخدمات الفضائية؛
- التحري عن التداخلات الضارة على الترددات التي تستعملها محطات فضائية والناجمة عن إرسالات محطات الأرض أو المحطات الأرضية المجهولة أو السواتل الأخرى وإزالتها، وذلك مثلاً من خلال رصد وقياس الإشارة المتداخلة على مرسل مستجيب بطريقة مماثلة لما يتم مع إرسالات المحطات الفضائية التقليدية (انظر الفقرة 1.1.1.5 أدناه)؛
- عمليات قياس وتسجيل بشأن المشاريع التقنية والعلمية؛
- الكشف عن الاستعمالات غير المشروعة للمرسلات المستجيبة وتحديد مصدرها (مصادرها)؛
- استعمال تقنيات ساتلية خاصة لتحديد مواقع المرسلات على الأرض؛
- مراقبة ما قبل الإطلاق، أثناء المرحلة التي تسبق إطلاق الساتل، لمراقبة الترددات المستعملة في القياس عن بعد والتحكم عن بعد والتتبع بالنسبة للموقع المداري. ومن شأن مراقبة ما قبل الإطلاق تلك أن تسهل من إطلاق أكثر أمناً للساتل وتحديد مبكر للمدار، بما في ذلك الموقع.

وإذا كان من المقرر رصد جميع أنماط المركبات الفضائية، يجب أن يكون بمقدور نظام الهوائي تتبع السواتل الموجودة في المدارات المنخفضة والمدارات شديدة الإهليلجية فضلاً عن القدرة على التسديد بدقة نحو السواتل الموجودة في المدارات المستقرة بالنسبة إلى الأرض.

وتنقسم الاتصالات الساتلية إلى الخدمات الراديوية التالية:

- *الخدمة الثابتة الساتلية (FSS)*

تشمل الخدمة الثابتة الساتلية جميع خدمات الاتصالات الساتلية القائمة على بنية تحتية ثابتة عبر شبكات خاصة أو عمومية توفر خدمات المهاتفة والفاكس والإنترنت والفيديو والبيانات.

- *الخدمة الإذاعية الساتلية (BSS)*

تستعمل هذه الخدمة الراديوية في الأساس لتوزيع إشارات التلفزيون والفيديو.

- *الخدمة المتنقلة الساتلية (MSS)*

تستعمل هذه الخدمة في الأساس من أجل المهاتفة المتنقلة وخدمات البيانات ومن أجل الملاحة وإدارة أسطول السواتل.

ويجب موازنة التكلفة الإجمالية للنظام مقابل اختيارات التصميم التي تُحدد لتوفير القدرات المشار إليها آنفاً: التغطية الترددية وحساسية النظام، ومعدل دوران الهوائي ودقة تسديد الهوائي، وسهولة تغيير عتاد تغذية الهوائي إذا استدعى الأمر، وقدرات عرض نطاق الاستقبال، ودرجة تعقيد أجهزة تحليل الإشارة ودرجة أتمتة القياسات. ونظام المراقبة العالي التعقيد والأتمتة للمركبات الفضائية متحكم فيه بالكامل مع التغطية المستمرة للترددات عبر مدى الطيف الترددي 1-30 GHz، على سبيل المثال، وله من الحساسية ما يكفي لتقديم نسب الموجة الحاملة إلى الضوضاء تبلغ 26 dB على الأقل مع جميع الإشارات موضع الاهتمام، يعتبر نظاماً نموذجياً. ومع ذلك، ومن منظور عملي بالنسبة لهذا المثال، فإن زيادة تحسين الحساسية تتحقق على حساب تكلفة تتزايد أسياً في الغالب. وبالتالي، يجب على كل إدارة أن تحلل أولوياتها الخاصة واحتياجاتها الداخلية فيما يتعلق بإدارة الطيف، وأن تحدد الأولويات بالنسبة لمراقبة الخدمات الفضائية.

ويقدم الجدول 1.5-1 نظرة عامة عن العوامل التي يتعين بحثها عند القيام بأنشطة مراقبة تضم إشارات ساتلية. والجدول مرتب حسب نمط الساتل ومسير الإشارة (الوصلة الصاعدة إلى الساتل، الوصلة الهابطة من الساتل).

الجدول 1.5-1

العوامل التي يتعين بحثها عند القيام بأنشطة مراقبة تضم إشارات ساتلية

نمط الساتل	إرسالات مركبات فضائية ساتلية (وصلات هابطة)	إرسالات محطات أرضية ساتلية (وصلات صاعدة)
المدار الساتلي المستقر بالنسبة إلى الأرض (GSO)	تُنفذ مهام المراقبة عادة من محطات مراقبة ثابتة، اعتماداً على الأداء الفائق لهوائياتها وحساسية النظام. ويقتصر وضع الهوائيات المطلوبة لسواتل المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض على امتداد القوس الاستوائي فقط.	مراقبة الإرسالات الصادرة من المحطات الأرضية الساتلية إلى السواتل الموجودة في المدار الساتلي المستقر بالنسبة إلى الأرض، بما في ذلك المطاريف ذات الفتحات الصغيرة جداً (VSAT) المستعملة في كثير من الأعمال، تنفذ بواسطة مركبات متنقلة تعمل في مدى الترددات الملائم. والاتجاهية العالية لهوائيات المحطات الأرضية الساتلية النمطية تتطلب أن تكون معدات القياس قريبة من هوائيات الإرسال أو في مكان ما داخل الحزمة الرئيسية.
المدار الساتلي غير المستقر بالنسبة إلى الأرض (Non-GSO)	تُنفذ مهام المراقبة عادة من محطات مراقبة ثابتة مزودة بقدرات تتبع للهوائي (لذا يمكن استعمال أنظمة متنقلة مزودة بقدرات تتبع). ويجب أن يقوم هوائي محطة المراقبة بالتتبع المستمر لموقع الساتل استناداً إلى واحدة من الطرائق العديدة لتتبع الساتل التي سيتم تناولها فيما بعد في هذا الفصل.	تُنفذ مراقبة الإرسالات الصادرة عن المحطات الأرضية الساتلية إلى السواتل الموجودة في مدار غير مستقر بالنسبة إلى الأرض باستخدام مركبات متنقلة. وكما هو الحال مع الحالة الخاصة بالمدار GSO، تتطلب اتجاهية الهوائيات أن تكون معدات القياس قريبة من هوائيات الإرسال أو في مكان ما داخل الحزمة الرئيسية. وهناك عامل إضافي يتمثل في أن هوائيات الإرسال ستتحرك لتتبع المدار الساتلي، مما يعقد من القياسات الخاصة بالمعلمات المتعلقة بالاتساع.

1.1.1.5 أنماط القياسات

بالنسبة للمراقبة الساتلية، تُنفذ القياسات والتحديدات التالية:

- التردد.
- التردد الدوبلري.
- كثافة تدفق القدرة (pfd) بالنسبة لعرض النطاق والمجموع.
- القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) الكلية والقدرة e.i.r.p. للقناة والقدرة e.i.r.p. للموجة الحاملة.
- نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء (C/N_0).
- عرض النطاق وعرض نطاق الموجة الحاملة.
- قياسات الطيف الترددي خارج النطاق.
- خصائص الإرسال.
- تعريف نمط التشكيل.
- تسجيل رصدات الطيف.
- رسم سريع لمخططات الطيف لتصوير التراكمات السريعة للفواصل الزمنية وإشارات الكنس.
- قياسات الاستقطاب.
- الموقع المداري للساتل (دقة الموقع المداري تساوي 0,1° على الأقل).
- خصائص النطاق الأساسي للإشارات المستقبلة، أي BPSK، QPSK، QAM، FDM/FM.
- نسبة الإشارة إلى الضوضاء (S/N) المستقبلة.

2.1.1.5 أنماط التداخلات الناجمة عن الأنظمة الساتلية:

- التداخل من القناة المجاورة.
- التداخل من القناة المشتركة.
- تداخل القناة المتعارضة (الاستقطاب المتعارض).
- التداخل من النظام المجاور.

وتنتج هذه الأنماط من التداخل عند مُدخل محطة الاستقبال الأرضية بواسطة الموجات الحاملة المرسلة إما من ساتل النظام المعني (المكون من محطة أرضية وساتل) أو من ساتل لنظام آخر.

التداخل من القناة المجاورة

ينتج هذا النمط من التداخل بواسطة الموجات الحاملة المرسلة من الساتل إلى المحطات الأرضية التابعة لنفس النظام والموجودة في نفس الحزمة النقطية الموجودة فيها المحطة الأرضية المقصودة، والتي سيشار إليها فيما بعد بالمحطة الأرضية المتأثرة، حيث تُرسل هذه الموجات الحاملة على ترددات مختلفة ولكن بنفس الاستقطاب.

وفي مخططات النفاذ FDMA (النفاذ المتعدد بتقسيم التردد) وTDMA (النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن)، تتداخل هذه الموجات الحاملة مع الموجة الحاملة للمحطة المتأثرة وذلك نتيجة للأداء غير النموذجي للمرشاح الخاص بالمحطة الأرضية المرسلة.

تداخل القناة المشتركة (الاستقطاب المشترك)

ينتج تداخل القناة المشتركة عن الموجات الحاملة المرسلة من الساتل إلى المحطات الأرضية المنتمية لنفس النظام على نفس تردد ونفس استقطاب الموجة الحاملة المتأثرة.

وتُرسل هذه الموجات الحاملة المتداخلة إلى المحطات الأرضية الموجودة في حزمة نقطية تختلف عن تلك الخاصة بالمحطة الأرضية المتأثرة في مخططي النفاذ FDMA وTDMA ولكن هذه المحطات تكون موجودة في نفس الحزمة النقطية الموجود فيها المحطة الأرضية المتأثرة وذلك في مخطط النفاذ CDMA (النفاذ المتعدد بتقسيم الشفرة).

وفي مخططي النفاذ FDMA وTDMA، يتم الحد من هذا التداخل بلف الهوائي الساتلي للحزمة النقطية المجاورة في اتجاه المحطة الأرضية المتأثرة، بينما يتحقق ذلك في المخطط CDMA من خلال خواص ترابط الشفرة.

تداخل القناة المتعارضة

ينتج هذا النمط من التداخل عن الموجات الحاملة المرسلة من الساتل إلى المحطات الأرضية المنتمية للنظام نفسه على نفس تردد الموجة الحاملة للمحطة الأرضية المتأثرة وباستقطاب عمودي على استقطابها.

وتُرسل هذه الموجات الحاملة المتداخلة إلى المحطات الأرضية الواقعة في حزمة نقطية تختلف عن تلك الواقعة فيها المحطة الأرضية المتأثرة، وذلك في حال استعمال استقطاب وحيد ولكنها تُرسل إلى محطات أرضية تقع في نفس الحزمة النقطية الواقعة فيها المحطة الأرضية المتأثرة بالنسبة للأنظمة ثنائية الاستقطاب.

وبالنسبة للأنظمة أحادية الاستقطاب، يتم الحد من هذا التداخل بلف الساتل للحزمة النقطية المجاورة في اتجاه المحطة الأرضية المتأثرة وباستخدام العزل في استقطاب هوائيات الساتل. وفي حالة إعادة استعمال الاستقطاب، يتم الحد من هذا التداخل بعزل استقطاب كل من هوائي الساتل وهوائي المحطة الأرضية فقط.

تداخل النظام المجاور

ينتج هذا التداخل عن الموجات الحاملة المرسلة من ساتل آخر إلى محطات أرضية تنتمي لنظام اتصالات ساتلي آخر على نفس تردد واستقطاب الموجة الحاملة للمحطة الأرضية المتأثرة.

ويتم الحد من هذا التداخل عن طريق الفصل الزاوي للساتلين عن موقع المحطة الأرضية المتأثرة.

2.1.5 تقنيات القياس

1.2.1.5 اعتبارات عامة

العوامل الرئيسية التي تستوجب وجود تقنيات مختلفة لمراقبة الإرسالات الصادرة عن المحطات الفضائية ورصدها وقياسها مقارنة بالإرسالات الصادرة عن محطات راديوية ثابتة أو متنقلة موجودة على سطح الأرض أو قريبة منها هي:

- الاختلاف بين التردد المستقبل والتردد المرسل والطبيعة المتغيرة للتردد المستقبل الناتجة عن تأثير زحزحة دوبلر، خاصة بالنسبة للسواتل غير الموجودة في المدار الساتلي المستقر بالنسبة إلى الأرض؛
- كثافة تدفق القدرة الضعيفة عند نقطة الاستقبال الأرضية نتيجة للمسافة ولانخفاض قدرة المرسل بوجه عام؛
- الوقت القصير نسبياً الذي يمكن فيه استقبال إشارة من ساتل موجود في مدار قريب من الأرض عند نقطة مراقبة ثابتة؛
- التغيرات المستمرة في الاتجاه التي يتعين القيام بها لهوائيات المحطات الأرضية مرتفعة الاتجاهية المستعملة في استقبال الإرسالات الصادرة عن محطات فضائية غير موجودة في المدار الساتلي المستقر بالنسبة إلى الأرض.

2.2.1.5 قياسات التردد

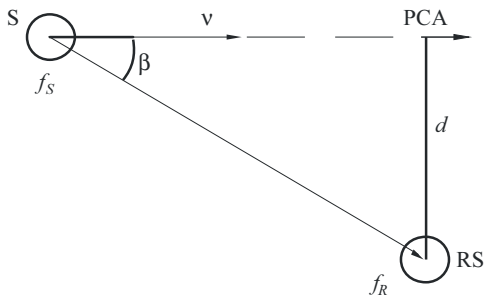
في حالة المحطات الفضائية الموجودة في المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض، يمكن تطبيق نفس طرائق قياس التردد المستعملة لمحطات الأرض. وترد مناقشة لهذه الطرائق بالتفصيل في الفقرة 2.4.

1.2.2.1.5 تأثير زحزحة دوبلر

في حال وجود سرعة نسبية بين محطة الإرسال الفضائية ومحطة المراقبة، ينشأ اختلاف في التردد يتناسب مع هذه السرعة النسبية بين الإشارة المرسلة والإشارة المستقبلة نتيجة لتأثير زحزحة دوبلر. والمعادلتان (1-1.5) و(2-1.5) مشتقتان من الشكل 1-1.5.

الشكل 1-1.5

العلاقات الرئيسية في حالة تأثير زحزحة دوبلر



$$f_R = \frac{cfs}{c - (\nu \cos\beta)} \qquad (1\text{-}1.5)$$

$$\left(\frac{df_R}{dt}\right)_{max} = \frac{f_S}{c} \cdot \frac{\nu^2}{d} \qquad (2\text{-}1.5)$$

حيث:

S: الساتل

RS: المحطة المستقبلة

PCA: موقع الاقتراب الأقرب

f_s: تردد الإرسال

f_R: تردد الاستقبال

v: سرعة الساتل

d: المسافة الدنيا وقت الطيران أعلى المحطة

c: سرعة انتشار الموجات الكهرمغنطيسية

β: الزاوية بين اتجاه الطيران واتجاه خط البصر (LoS) نحو محطة الاستقبال.

وتوصل هاتان المعادلتان إلى النتائج التالية:

- يكون التردد المستقبل أكبر من تردد المصدر عندما يكون الساتل مقترباً نحو محطة المراقبة؛
- التردد المقاس يساوي تردد المصدر الساتلي الصحيح فقط عند زمن الاقتراب الأقرب (TCA) والذي يتطابق مع موقع الاقتراب الأقرب (PCA)؛
- أثناء زمن الاقتراب الأقرب (TCA)، يتم رصد الحد الأقصى لمعدل التغير في التردد (MRCF) والذي يعطي ميل المماس الانقلابي $(d_{fR}/d_t)_{max}$؛
- يكون التردد المستقبل أقل من تردد المصدر عندما يكون الساتل مبتعداً عن محطة المراقبة؛
- يتناسب تأثير زحزحة دوبلر مع تردد المصدر للساتل ويعتمد على السرعة النسبية بين المصدر ومحطة المراقبة.

2.2.2.1.5 طريقة القياس

تعتمد الدقة المتحققة لتردد محدد صادر عن ساتل على المعلمة المدارية للساتل وعلى مسير الانتشار ومعدات القياس وطريقة التقييم. وقياس تردد ساتل موجود في مدار غير مستقر بالنسبة إلى الأرض عبارة عن عملية غير مباشرة تحتاج بداية إلى تسجيل زحزحة دوبلر ويلي ذلك تقييم المنحني الدوبلري.

وللحصول على قياس واف، يُفضل استعمال طريقة قياس مؤتمتة. انظر الفقرة 1.6.1.5 لمزيد من التفصيل بشأن حل تقني محتمل.

3.2.2.1.5 الإجراء الخاص بحساب التردد ودقة القياس

يمكن باستعمال الطرائق البيانية تحديد تردد الساتل وزمن الاقتراب الأقرب (TCA) والحد الأقصى لمعدل التغير في التردد (MRCF) (الشكل 1.5-2). والدقة المتحققة في قياس التردد تبلغ $\pm 1\times10^{-7}$ Hz.

وهناك طريقة معدّلة تؤدي إلى تحسين درجة الدقة. حيث إنه يتم بإجراء تفاضل وحيد لمنحني التردد الدوبلري بالنسبة للزمن الحصول على قطع مكافئ يشير رأسه إلى زمن الاقتراب الأقرب وكذلك إلى تردد المصدر المرسل للساتل.

ولرسم القطع المكافئ، يكفي استخدام القيم الإفرادية المقاسة في غضون فترة قدرها 30 ثانية من زمن الاقتراب الأقرب. ويجب اختيار الفاصل الزمني بين القيم المقاسة بحيث يتم تحديد شكل المنحني بوضوح، كأن يكون هذا الفاصل 5 ثوان على الأقل مثلاً.

وباستعمال هذه الطريقة وطرائق التقييم البيانية، يمكن الحصول على دقة تبلغ $\pm 5\times10^{-9}$ Hz، وذلك إذا تم استعمال مذبذب مرجعي من النمط سيزيوم أو نمط أفضل.

ويبين الشكل 1.5-3 نتائج تحديد التردد الذي يتم بهذه الطريقة.

وبدلاً من طرائق التقييم البيانية المستنفدة للوقت، قد يكون من الأفضل استخدام حل في صورة برمجيات يمكنها معالجة نتائج قياس تردد وحيد بصورة مباشرة.

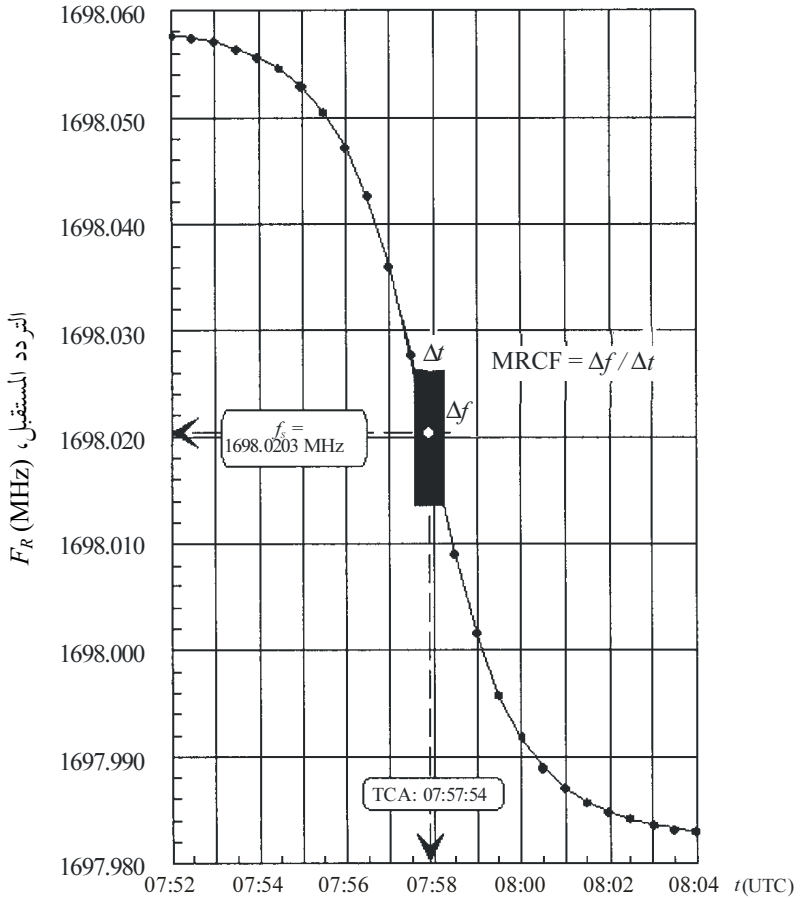
ومن الواضح أن قياسات التردد التي يعول عليها لا يمكن القيام بها إلا إذا كان الطيف الترددي يحتوي على مكون تردد مميز يمكن مزامنة المستقبل عليه. وينطبق هذا الأمر بالطبع على قياس ترددات محطات الأرض.

3.2.1.5 قياسات عرض النطاق

بالنسبة لقياسات عرض النطاق للإرسالات الصادرة عن سواتل موجودة في مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض، يمكن مبدئياً تطبيق نفس الطرائق المستعملة في قياسات محطات الأرض. ويمكن الرجوع إلى وصف لهذه الطرائق في الفقرة 5.4.

الشكل 5.1-2

حساب تردد الساتل من المنحني الدوبلري



Spectrum-5.1-02

في الحالات التي يوجد فيها سرعة نسبية بين المحطة الفضائية ومحطة المراقبة، يختلف عرض النطاق المرسل الظاهري عند قياسه عند محطة المراقبة وذلك بسبب تأثير زحزحة دوبلر على غرار ما تم شرحه بالنسبة لتردد الموجة الحاملة.

وهناك عاملان يتعين أخذهما في الاعتبار:

- التراكمات الكلية للطيف الترددي أثناء الوقت اللازم لقياس عرض النطاق؛
- تكون الإزاحة الترددية أكبر بقدر طفيف بالنسبة لأجزاء الإشارة القريبة من الحافة العلوية لطيف الإرسال عن الأجزاء القريبة من الحافة السفلية. ويمكن لهذا الفرق أن يصل إلى المئات من وحدة الهرتز (Hz) في عروض النطاقات العريضة. ويتسبب هذا التأثير في أن عرض النطاق الظاهري، المرصود عند محطة المراقبة، يتفاوت بشكل طفيف.

ويمكن للتحكم الأوتوماتي في التردد عند مستقبل المراقبة أن يلاشي تأثير إزاحة التردد الدوبلري لإرسال ما. وفي هذه الحالة، يمكن تطبيق طرائق القياس الاعتيادية المستعملة في تحديد عرض النطاق عند محطات المراقبة الخاصة بالأرض دون تغييرات جوهرية.

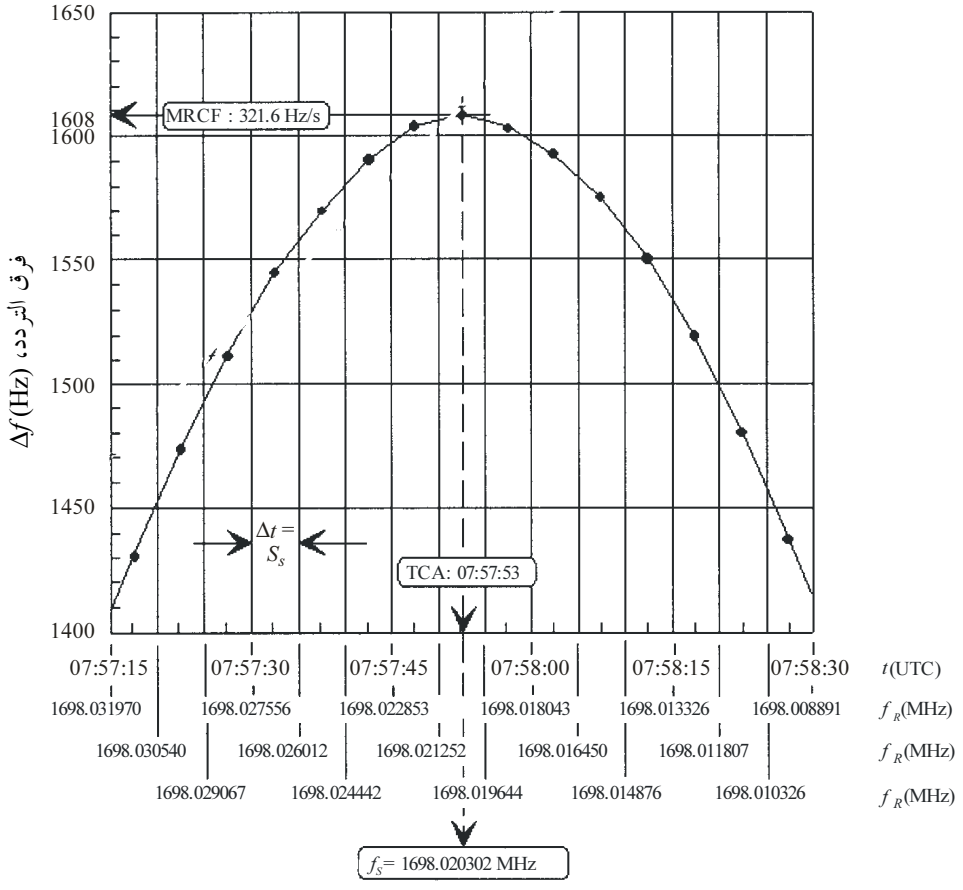
وإذا كانت الإشارة المستقبلة ضعيفة جداً، يمكن ضمان التصحيح الأوتوماتي لتردد مذبذب المستقبل باستعمال تردد موجة حاملة أو تردد إرشادي يصدر عن المحطة الفضائية، كإشارة مرجعية، حيث يتم ترشيحه بمرشاح تمرير نطاقي ضيق إلى حد كبير.

وإذا كانت محطة مراقبة الخدمات الفضائية لا تحتوي على المستقبلات المناسبة المزودة بالتحكم الأوتوماتي في التردد، يتعين في هذه الحالة مراعاة الإزاحة الترددية للمحطة الفضائية أثناء القياس، حسب الضرورة، وذلك بإجراء قياسات متآونة للتردد الدوبلري عند تحديد عرض النطاق.

وقد يتعين إجراء تسجيل متآون لكثافة تدفق القدرة، بحيث يحذف من الحسابات التأثير الناجم عن الاختلافات في كثافة تدفق القدرة أثناء تحليل الطيف الترددي.

الشكل 5.1.5-3

حساب تردد الساتل بإجراء تفاضل للمنحنى الدوبلري



Spectrum-5.1-03

4.2.1.5 قياسات كثافة تدفق القدرة (pfd)

1.4.2.1.5 القياسات في عرض نطاق مرجعي

يتطلب تنسيق المحطات الفضائية وتشغيلها على الوجه الأمثل عدم تجاوز القيم القصوى المحددة لكثافة تدفق القدرة على سطح الأرض بواسطة أي إرسالات صادرة عن محطات فضائية، بما في ذلك الإرسالات الصادرة عن السواتل العاكسة.

ويرد في القسم V من المادة 21 من لوائح الراديو قيم نطاقات التردد الإفرادية والخدمات الفضائية وزوايا الوصول وشروط التقاسم، ومن ثم ينبغي توفر هذه اللوائح بمرفق المراقبة الفضائية.

وترتبط كثافة تدفق القدرة ($dB(W/m^2)$) بعرض نطاق محدد، ويكون في العادة 4 kHz أو 1 MHz أو 1,5 MHz، وذلك حسب تردد الإرسال الأساسي.

وبيان عرض النطاق المرجعي (RBW) أمر ضروري وذلك لأن القدرة المشعة لا تتركز عادة عند تردد الإشارة وإنما تتوزع داخل نطاق من الترددات.

2.4.2.1.5 قياس القدرة pfd الكلية

في هذه الحالة، تحدد القدرة pfd بشكل كامل على أساس عرض النطاق المشغول بإرسال ما.

وينبغي اختيار عرض نطاق مرشاح القياس تبعاً لذلك. وهذه القياسات تتسم بالأهمية إذا استدعى الأمر، على سبيل المثال، حساب القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) للمحطة الفضائية.

وبالنسبة لنطاقات التردد دون GHz 13، وبشرط أن تكون السماء صافية، يمكن اعتبار الخسارة الجوية الكلية dB 0,2-0,1 وذلك في الحسابات.

3.4.2.1.5 إجراء القياس

إذا كان يتعين قياس أي من القدرة pfd أو القدرة pfd الكلية، من المستحسن تحديد القدرة pfd بقياس مباشر للقدرة، خاصة عند الترددات التي تزيد عن GHz 1. وعند استعمال هذه الطريقة، يمكن تحديد القدرة pfd بالمعادلتين (3a-1.5) و(3b-1.5).

$$pfd_{RBW} = P_{SYS} - 30 - A_e - K_{BW} + K_{POL} \quad (3a\text{-}1.5)$$

$$pfd_{TOT} = P_{SYS} - 30 - A_e + K_{POL} \quad (3b\text{-}1.5)$$

حيث:

pfd_{RBW}: الكثافة pfd في عرض النطاق المرجعي ((dB(W/m^2) (RBW))

pfd_{TOT}: الكثافة pfd في عرض النطاق المشغول بالإرسال ((dB(W/m^2))

P_{SYS}: قدرة دخل النظام (dBm)

30: عامل لتحويل الوحدات dBm إلى وحدات dBW

A_e: المساحة الفعالة للهوائي (انظر الملاحظة 2) (dBm^2)

K_{BW}: عامل تصحيح لعرض النطاق المقاس (انظر الملاحظة 3) (dB)

K_{POL}: عامل تصحيح الاستقطاب (انظر الملاحظة 4) (dB).

ويمكن استعمال قيمة القدرة pfd المشتقة من المعادلتين (3a-1.5) و(3b-1.5) في حساب القدرة e.i.r.p. للمحطة الفضائية باستعمال المعادلة (4-1.5). ويتعين معرفة المدى المائل للمحطة وقت القياس وذلك من أجل الحسابات:

$$\text{e.i.r.p.} = \text{pfd} + 10 \log (4\pi d^2) + L_{ATM} \quad (4\text{-}1.5)$$

حيث:

e.i.r.p.: القدرة المشعة المكافئة المتناحية للمحطة الفضائية (dBW)

pfd: الكثافة pfd المقاسة ((dB(W/m^2))

d: المسافة بين المحطة الفضائية والمحطة المستقبلة (m)

L_{ATM}: الخسارة الجوية بالنسبة لفضاء حر (dB).

الملاحظة 1 – تقاس القدرة الداخلة بواسطة جهاز قياس للقدرة الحرارية، يوصل عادة عند الخرج ذو التردد المتوسط للمستقبل ويسبقه مرشاح تمرير نطاقي معروف عرض نطاقه الفعال (قياس جذر متوسط التربيع). وتستبدل الإشارة الداخلة بعد ذلك بإشارة من مولد إشارات معاير. ويجب أن يُسبق الخرج ذو التردد المتوسط بوسيلة لملاشاة إزاحة التردد الدوبلري للإشارة الساتلية المستقبلة.

الملاحظة 2 – المساحة الفعالة للهوائي (A_e) يمكن حسابها من فتحة الهوائي أو من كسبه باستعمال المعادلة (5-1.5):

$$A_e = 10 \log (A\eta) = 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) + Gi \qquad (5\text{-}1.5)$$

حيث:

A_e: المساحة الفعالة للهوائي (dBm^2)

A: فتحة الهوائي (m^2)

η: الكفاءة مُعبر عنها كرقم عشري

λ: طول الموجة (m)

G_i: الكسب المتناحي للهوائي (dBi).

الملاحظة 3 – قد يكون عرض النطاق المستعمل في القياس أكبر من عرض النطاق المرجعي، ما دامت القدرة موزعة بانتظام في عرض نطاق القياس. ويمكن التحقق من هذا الشرط بتحليل الطيف. وعرض نطاق القياس هو عرض النطاق الفعال للمرشاح والذي لا يقابل بالضرورة عرض النطاق عند المقدار 3 dB أو المقدار 6 dB. ويحسب عامل التصحيح باستخدام المعادلة (5-1.6):

$$K_{BW} = 10 \log \left(\frac{B_M}{RBW} \right) \qquad (6\text{-}1.5)$$

حيث:

K_{BW}: عامل تصحيح عرض النطاق (dB)

B_M: قياس عرض النطاق

RBW: عرض النطاق المرجعي بنفس وحدات عرض نطاق القياس (B_M).

الملاحظة 4 – في حالة تطابق الاستقطاب بين هوائي الاستقبال والإشارة المستقبلة، فإن عامل تصحيح الاستقطاب $KPOL$ يساوي صفر dB. ولاستقبال مستقطب خطياً لإرسال مستقطب دائرياً أو العكس: K_{POL} = 3 dB.

وحيث إن الكثافة pfd لا تختلف باختلاف التردد فحسب، بل تختلف باختلاف الزمن أيضاً، لذا يتعين تحديد قيمتها القصوى. ويمكن القيام بذلك عن طريق تسجيل إشارة الخرج لجهاز قياس القدرة خلال فترة زمنية ما عند التردد المعني. وثابت الزمن لمحساس القدرة المستعمل هو الذي يحدد معدل التغير في القدرة الذي يمكن اكتشافه. ويمكن الحصول على مزيد من المعلومات بشأن حساب القدرة e.i.r.p. من الكتيب الحالي.

4.4.2.1.5 عدم اليقين في القياس

تتأثر درجة عدم اليقين في قياسات الكثافة pfd بشكل أساسي بالعوامل الثلاثة التالية:

- عدم اليقين في كسب هوائي الاستقبال؛
- عدم اليقين في الإشارة المرجعية (المولد المرجعي للقدرة) المستعملة في معايرة قياس المستقبل/المحلل الطيفي؛
- دقة تسديد/تتبع الهوائي.

وفي حين أن عدم اليقين في المصدر المرجعي يمكن، إلى حد كبير، التحكم فيه وتدنيته، فإن المشكلة الفعلية تكمن في المعايرة الدقيقة لكسب هوائي الاستقبال. حيث يمكن فقط معايرة أنظمة العواكس البيضاوية الكبيرة بعد تجميعها في مكان التركيب. وتبعاً لذلك، يجب أن يأخذ الحساب المقنع لكسب الهوائي في الاعتبار الظروف المحددة الخاصة بموقع التركيب. [Satoh and Ogawa, 1982]؛ [Newell *et al.*, 1986] [Newell *et al.*, 1973].

وينبغي ألا تتجاوز قيمة عدم اليقين في القياسات الموسعة (عامل تغطية 2) المقدار 2 dB. وينبغي السعي نحو تحقيق خفض في عدم اليقين في القياسات في جميع النطاقات الترددية.

5.2.1.5 قياسات الاستقطاب

من الضروري معرفة استقطاب إشارة الساتل لأن تحديد هذه الخاصية الأساسية للإشارة يمكن أن يساعد في التعرف على الإرسالات المجهولة. ونتيجة لذلك، ينبغي أن يكون بمقدور نظام الهوائي الكفؤ أن يميز بين الأنماط المختلفة من الاستقطاب.

ويجب أن يراعي التنفيذ التقني لقياسات الاستقطاب الاستعمال الواسع النطاق لتقنية الاستقطاب الثنائي في نطاقات التردد التي تزيد عن 1 GHz والتي تستعملها الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الإذاعية الساتلية.

وللحصول على الظروف المثلى للاستقبال والقياس بالنسبة لإشارة الساتل من حيث:

- الحد الأقصى لنسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء (*C/N*)؛
- الحد الأقصى لنسبة الموجة الحاملة إلى التداخل (*C/I*) من خلال التمييز بشكل واف بالنسبة للاستقطاب بين الإشارات المستقطبة عمودياً.

ينبغي أن يتسنى مواءمة استقطاب هوائي الاستقبال عند محطة المراقبة مع استقطاب الإشارة الواردة. وفي حالة الاستقطاب الخطي الثنائي، يلزم توفر توجيه كامل لمستوى الاستقطاب. وينبغي توفير تمييز استقطاب بمقدار 20 dB على الأقل.

6.2.1.5 تحديد المواقع المدارية والعناصر المدارية

يختص تحديد المواقع المدارية بالسواتل الموجودة في المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض في حين يختص تحديد العناصر المدارية بالسواتل الموجودة في المدارات غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض.

1.6.2.1.5 السواتل الموجودة في المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض

يتعرض الساتل الموجود في المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض إلى اضطرابات نتيجة لتغير موقعه على المدار. وتؤدي هذه الاضطرابات إلى دوران عَرَضي للمستوى المداري وإلى ظهور محور شبه أساسي وأخطاء اللامركزية. وينتج عن ذلك، أن يُظهر الساتل عندما يُرصد من على الأرض حركة تذبذبية لفترة تبلغ 24 ساعة. وهذه الحركة (والتي تسمى "الرقم ثمانية") تتألف من مكون شمالي جنوبي ومكون في المستوى.

والمحطات الفضائية المحمولة على متن السواتل الموجودة في المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض والتي تستعمل ترددات موزعة للخدمة الثابتة الساتلية أو الخدمة الإذاعية الساتلية ينبغي أن تُبقى في حدود ±0,1° من خط الطول الخاص بموقعها الاسمي (انظر لوائح الراديو، المادة 22، القسم III)، فيما عدا المحطات التجريبية الموجودة على متن هذه السواتل والتي ينبغي أن تُبقى

في حدود ±0,5° من خط طول موقعها الاسمي ومحطات الخدمة الإذاعية الساتلية العاملة في النطاق GHz 12,75-11,7 والتي ينبغي أن تبقى داخل الحدود الواردة في التذييل 30 من لوائح الراديو. ولا يتعين على المحطات الفضائية أن تلتزم بهذه الحدود طالما لم تتسبب الشبكة الساتلية في تداخلات غير مقبولة على أي شبكة ساتلية أخرى تلتزم محطاتها الفضائية بهذه الحدود. وبالتالي، يعتبر تحديد موقع السواتل الموجودة في المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض مهمة مطلوب أن تؤديها محطة المراقبة للخدمات الفضائية. ويُحسب الموقع المداري عادة من القياسات الزاوية في مستوى السمت ومستوى الارتفاع لهوائي الاستقبال. ويوضح القسم 4.7.1.5 أحد الأمثلة لعملية القياس تلك.

2.6.2.1.5 السواتل الموجودة في مدارات غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض

يعتبر حساب العناصر المدارية لساتل موجود في مدار غير مستقر بالنسبة إلى الأرض (بيانات فلكية) من قياسات تتسم بدقة كافية من الشروط الأساسية بالنسبة لما يلي:

- التعرف على محطة فضائية مجهولة (انظر الفقرة 5.1.5)؛
- تحري أوقات الاستقبال المحتملة؛
- تحديد مسبق للسمت والارتفاع كدالة للزمن، وذلك على سبيل المثال لتوجيه متحكم فيه حاسوبياً للهوائي في الحالات التي لا تتوفر فيها بيانات منشورة رسمياً.

ويمكن لمحطة مراقبة خدمات فضائية تستعمل قياسات الأسلوب المنفعل أن توفر بيانات القياس الموقوتة التالية:

- السمت؛
- الارتفاع؛
- زحزحة دوبلر.

ولما كان التحديد المداري يحتاج إلى حل ما لا يقل عن ستة عناصر (مثل العناصر المدارية لكبلر)، لذا من الضرورة إجراء العديد من القياسات للكميات المذكورة آنفاً. ونمطياً، تنتج التحديدات المدارية عن إجراء إحصائي كلما زاد فيه حجم البيانات المدخلة، كلما أدى ذلك إلى زيادة دقة العناصر المدارية. وعند مراقبة ترددات أعلى، أي فوق GHz 1، يفضل استعمال الطرائق التي تقوم على تقييم القياسات الزاوية في مستوى السمت ومستوى الارتفاع وذلك نتيجة لعرض النطاق الأضيق لهوائي استقبال هذه الترددات.

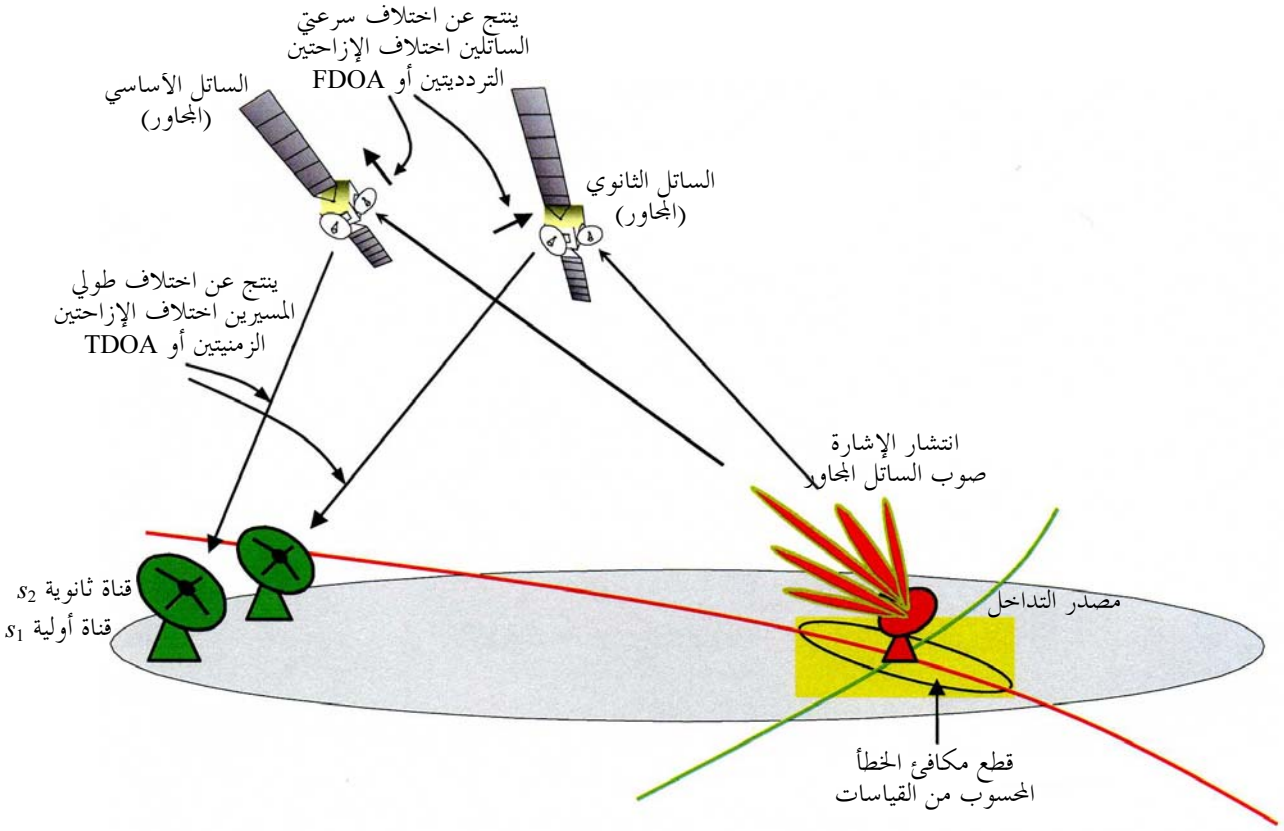
7.2.1.5 تحديد الموقع الجغرافي لمرسلات موجودة على سطح الأرض باستعمال قياسات اختلاف الزمن والتردد من ساتلين موجودين على المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض

يمكن لمصادر التداخل الواقعة على الأرض أن تؤثر على إشارة الوصلة الصاعدة التي يستقبلها الساتل. ويحس مستقبل الإشارة المرغوبة بالتداخل على أنه تداخل من الوصلة الهابطة. ومن المهام الصعبة، تحديد الموقع الجغرافي للمرسلات الراديوية التي تؤثر على سواتل الاتصالات الموجودة في المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض، حيث تتم عادة عن طريق تحليل قياسات مركبة لاختلاف زمن الوصول (TDOA) واختلاف تردد الوصول (FDOA). وهذان النمطان من القياس يستلزمان مراقبة الإرسالات من خلال ساتل آخر في المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض يقع داخل حزمة المرسل. ويُشار إلى الساتل الموجود في المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض والذي يحمل الإشارة المجهولة في العادة "بالساتل الأساسي" والساتل الآخر المذكور أعلاه يطلق عليه اسم "الساتل المجاور". ويغل قياس اختلاف زمن الوصول معرفة الفرق في الزمن الذي تصل فيه الإشارة نفسها إلى مستقبل مقام على الأرض عبر الساتل الأساسي وإلى مستقبل آخر قائم على الأرض عبر الساتل المجاور. ويغل قياس اختلاف تردد الوصول معرفة الفرق في التردد المقاس بين الإشارتين اللتين تصلان بشكل منفصل عند المستقبلين. وعادة يتم وضع المستقبلين في نفس الموقع الجغرافي، وإن كان هذا الأمر ليس شرطاً بالضرورة (انظر الشكل 1.5-4). وفي "الأسلوب المضطرب"، يتم الفصل بين المستقبلين المستخدمين من أجل تحديد الموقع الجغرافي وإن كان يتعين الحفاظ عليهما داخل حزمة الوصلة الهابطة لكل محطة فضائية، على التوالي. ويجب استعمال الأسلوب المضطرب في حال عدم تقاطع تداخلات الوصلة الهابطة؛ حيث يمكن في واقع الأمر استقبال

الوصلات الهابطة هذه في قارات مختلفة. وعند العمل في الأسلوب المضطرب، يجب نقل قياسات الإشارة غير المعالجة إلى موقع مشترك من أجل مزيد من المعالجة بخصوص تحديد الموقع الجغرافي.

الشكل 4-1.5

تحديد الموقع الجغرافي لمرسلات على الأرض باستعمال TDOA وFDOA من ساتلين GSO مختلفين



Spectrum-5.1-04

ويتباين زمن الوصول نظراً لقطع الإشارة المرسلة لمسافتين مختلفتين حيث إنها تعبر خلال ساتلين مختلفين إلى كل مستقبل من المستقبلين. فيما يختلف التردد المستقبل لأنه يوجد عادة حركة نسبية بين الساتلين تتسبب في اختلاف إزاحة التردد الدوبلري على كل من الإرسالين. وعلى الرغم من أن موقع الساتلين GSO محددين بمرونة بأنهما ثابتان على موقعين محددين فوق خط استواء الأرض، فإنهما يتحركان فعلياً بعيداً عن هذين الموقعين الاسميين ضمن حدود معينة. وهذه الحركة هي التي ينتج عنها زحزحة دوبلر قابلة للقياس في الإشارتين المستقبلتين. ويمكن للترددين المستقبلين أن يختلفا أيضاً نتيجة للتراكمات في المذبذبات التي تحدد تردد إعادة الإرسال على الوصلة الهابطة لكل ساتل.

وكل قياس وحيد من قياسات TDOA أو FDOA إلى جانب تشكيل المحطات الساتلية والأرضية، يصف سطحين مختلفين يجب أن يقع عليهما المرسل المجهول. ويوفر سطح الأرض (حيث توجد جميع المرسلات محل الاهتمام تقريباً) سطحاً ثالثاً يقيد موقع المرسل المجهول. ويوفر تقاطع هذه الأسطح الثلاثة تقديراً للإشارة المجهولة من زوج واحد من قياسات TDOA وFDOA. وأخطاء القياسات أو النمذجة يمكن أن تؤدي إلى أخطاء في تحديد الموقع الجغرافي، فإنه يمكن لقياسات إضافية لكل من TDOA وFDOA تُدمج ضمن حل إحصائي أن تقلل من هذه الأخطاء.

1.7.2.1.5 قياس الاختلافات في الزمن والتردد

يتم تسجيل وتحليل السلسلتان الزمنيتان لإشارة المرسل الهابطتان من كل ساتل من الساتلين الموجودين في المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض للحصول على الاختلافات في الزمن والتردد بينهما (أي TDOA وFDOA). ويتم ذلك عن طريق حساب دالة الغموض المتبادل (CAF) أو خارطة الترابط في بعدين. وقيمة الدالة (CAF) لاختلاف محدد في الزمن والتردد هي الرابطة التبادلية للإشارتين المسجلتين. وفي الحالة الخاصة بإرسالات الموجة المستمرة (CW)، لا يمكن توليد قياسات للاختلاف TDOA نظراً لترابط الإشارتين بالنسبة لجميع اختلافات زمن التأخير.

ويمكن تصور الدالة CAF في ثلاثة أبعاد حيث تكون قيمة الدالة (CAF) عبارة عن دالة لكل من TDOA وFDOA. وفي حالة وجود إشارة تداخل وحيدة في مدى الترددات المختار، فإن القيمة القصوى للدالة CAF بالنسبة إلى TDOA وFDOA تحدد هذه الإزاحات باعتبارها قيم TDOA وFDOA التي تُقدم إلى خوارزمية تحديد الموقع الجغرافي التي تقوم بحساب موقع مرسل الإشارة. وبالنسبة لإرسال مستمر (CW)، يؤدي ذلك إلى قمة عبر خط من القيم الثابتة للاختلاف FDOA. ومن جهة أخرى، ينتج عن عدة مرسلات عريضة النطاق من مواقع متعددة العديد من قيم الدالة CAF. وقد قُدمت مناقشة مفصلة للخوارزميات المستعملة في حساب وتحليل الدالة CAF بواسطة ستين (Stein) [1981].

2.7.2.1.5 خوارزمية تحديد الموقع الجغرافي

تستعمل خوارزمية تحديد الموقع الجغرافي عادة قياسات TDOA و/أو FDOA في إجراء متكرر للمربعات الصغرى لتقدير الموقع الذي تصدر عنه الإشارة المرسلة. وفي أبسط صورة هذه الطريقة، يتم دمج تنبؤ أولي بالموقع والمدارين المحددين للساتلين مع القوانين الفيزيائية لحركة السواتل لتوليد قياسات متوقعة لكل من TDOA وFDOA. ويستعمل الفارق بين قيم القياسات الفعلية والمتوقعة لكل من TDOA وFDOA (القيم المتبقية) لتوليد تعديلات لموقع المرسل. ويستعمل هذا الموقع المعدل للمرسل لتوليد مجموعة ثانية من القياسات المتوقعة لكل من TDOA وFDOA والتي تستوجب مزيداً من التعديلات لموقع المرسل وهكذا دواليك. ويعد الحل المتكرر ضرورياً لأن المشكلة غير خطية في الأساس.

ويستمر التكرار إلى أن تصبح التعديلات على موقع المرسل صغيرة بصورة يمكن القول عندها إن حل تحديد الموقع الجغرافي قد أصبح قريباً.

ونظراً إلى أن قياسات TDOA وFDOA تتقارب بمرور الزمن بشأن موقع المرسل استنادا إلى قوانين فيزيائية. كما تُتاح حلول إضافية بشأن تحديد الموقع الجغرافي للتوليفات الأخرى من أنماط القياس. فمثلاً، يمكن تحديد الموقع الجغرافي لمرسلات الموجات المستمرة (CW) من سلسلة من قياسات FDOA فقط بدقة أقل مقارنة بما هو متاح مع قياسات TDOA المقابلة التي يمكن إجراؤها من إشارة عريضة النطاق. ومن جهة أخرى، فإن استعمال ساتل ثالث لإنتاج مجموعة ثانية من قياسات TDOA و/أو FDOA يمكن أن يوفر حلولا محسنة أيضاً، بيد أن هذا يكون على حساب استعمال أكبر لموارد هوائي المستقبل. وتعتبر حلول TDOA وحدها ممكنة باستخدام ساتل ثالث، غير أن سطح ثابت TODA المشتق من زوجي السواتل تكون متوازية تقريباً مما يجعل استعمالها عملياً أكثر اعتماداً على دقة قياس TDOA أو تستغرق وقتاً أطول عند جمع القياسات.

وعملياً، تحد دقة المواقع المدارية الساتلية لكل ساتل من الساتلين من دقة الحل الخاص بتحديد الموقع الجغرافي. ويتحقق التحسن في أداء تحديد الموقع الجغرافي من خلال قياسات لكل من TDOA وFDOA لإشارات منفصلة للمرسل، يُشار إليها في بعض الأوقات بالمحددات المرجعية للموقع، والتي تنشأ عن مواقع معروفة وتمر عبر نفس الزوج من السواتل مثل الإشارة المعنية. وتستعمل محددات الموقع المرجعية هذه في صقل المواقع المدارية لواحد من الساتلين أو كليهما وهو ما يؤدي بدوره إلى تحسين الدقة في تقدير موقع إشارة المرسل موضع الاهتمام.

3.7.2.1.5 تحليل عدم اليقين

الهدف من تحليل عدم اليقين بشأن مشكلة خاصة بتحديد الموقع الجغرافي هو تقديم تقييم واقعي لدقة الحل الخاص بتحديد الموقع الجغرافي.

وقد يكون من الصعب والمعقد أيضاً توفير تحليل دقيق لعدم اليقين في بعض الأوقات. وتتناسب دقة قياسات TDOA وFDOA الإفرادية مع الجذر التربيعي لنسبة الإشارة إلى الضوضاء (*S/N*) المتحصلة في حل الترابط. كما تتناسب دقة قياسات TDOA وFDOA مع عرض نطاق الإشارة ومع زمن القياس، على التوالي. ويوفر حل تحديد الموقع الجغرافي بالمربعات الصغرى تقديرات أساسية للخطأ وفواصل زمنية للثقة بالنسبة لموقع المرسل محل الاهتمام تقوم على قيم عدم اليقين المخصصة لقياسات TDOA وFDOA. ويمكن التحقق من مصداقية قيم عدم اليقين تلك في TDOA وFDOA إحصائياً إزاء نواتج القياس المتبقية المقابلة. ومن جهة أخرى، إذا توفر عدد كاف من قياسات TDOA وFDOA، يمكن تقدير قيم عدم اليقين في TDOA وFDOA بإجراء نفس الحلول. وقد قدم باردياللي وآخرون [1995] مثالاً لتحليل الخطأ.

كما يجب تقديم توضيحين في هذا الصدد. الأول، أن قيم عدم اليقين في قياسات TDOA وFDOA قد تكون كبيرة لدرجة تبطل الافتراض الخاص بأن الحل يكون خطياً في المنطقة الممتدة من حيز المعلمة.

وهذا يعني أن الأخطاء النظامية المتولدة عن خوارزمية تحديد الموقع الجغرافي والقائمة على تحليل إحصائي خطي تكون أقل دقة. ويمكن استخدام تقنيات مونت كارلو الإحصائية لتوليد تقديرات عدم يقين أفضل في هذه الحالات.

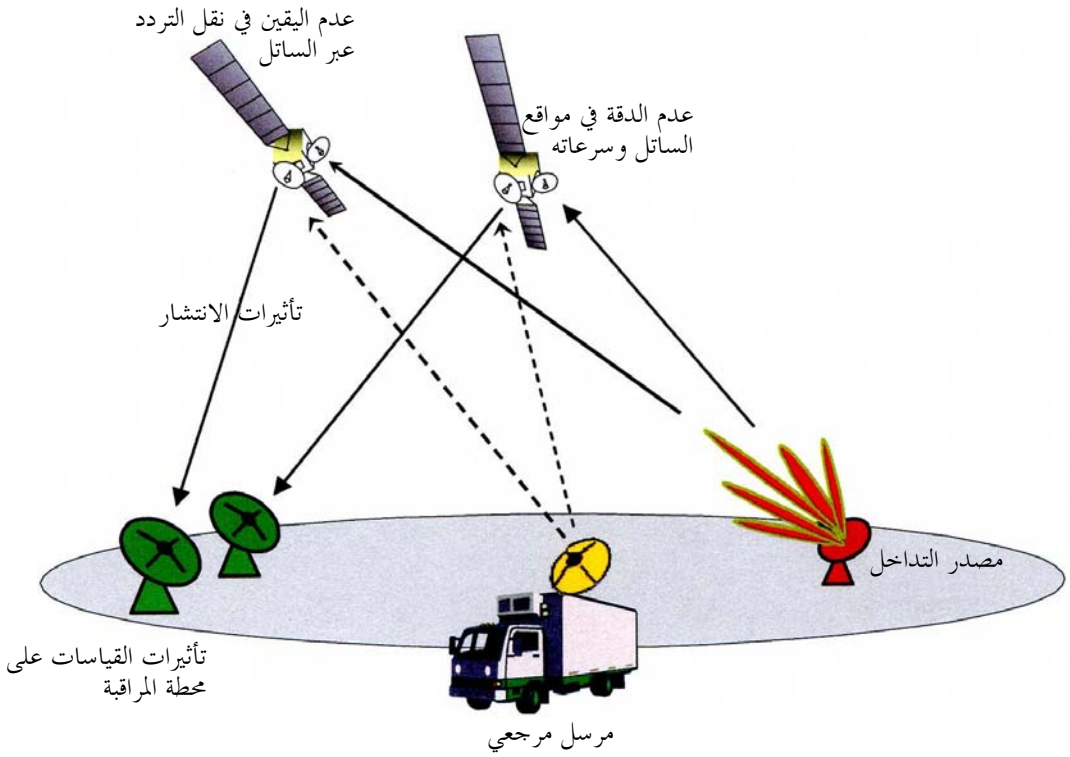
والثاني، أن عدم اليقين الأساسي يرجع إلى خطأ عشوائي ويرجع بصورة جزئية فقط إلى أي أخطاء منهجية. ومن المكن أن تنشأ الأخطاء المنهجية مثلاً عن طريق النمذجة غير الكاملة لفيزياء قياسات TDOA وFDOA أو عن نموذج القوة المستعمل في إنتاج العناصر المدارية للساتل.

ويمكن تقييم تأثير الأخطاء النظامية من خلال محاكاة شاملة جداً لتقنية تحديد الموقع الجغرافي ولجميع مصادر الأخطاء المنهجية الخاصة بها.

وهناك العديد من أوجه عدم الدقة المحتملة التي تؤدي إلى خطأ في تحديد الموقع. ويمكن خفض الخطأ بدرجة كبيرة باستعمال مرسلات مرجعية معروف إحداثياتها الجغرافية بصورة دقيقة (انظر الشكل 1.5-5).

الشكل 5.1.5-5

تحديد الموقع الجغرافي لمرسلات على الأرض باستعمال TDOA وFDOA من ساتلين GSO باستعمال مرسل مرجعي



Spectrum-5.1-05

ويمكن إزالة الأخطاء الناتجة عن عدم الدقة في العناصر المدارية بنشر المحطات المرجعية في مساحة واسعة، في حين أن استعمال محطات مرجعية توضع بالقرب من مصدر التداخل يؤدي إلى تدنية الخطأ في تحديد الموقع (انظر الفقرتين 5.4.5.1.5 و6.4.5.1.5).

8.2.1.5 تحديد الموقع الجغرافي لمرسلات على الأرض باستعمال ساتل GSO واحد وزحزحة دوبلر معكوسة

يمكن تحديد موقع مرسل (أو تداخل) على سطح الأرض طبقاً لشروط معينة باستعمال إشارات مرسلة يتم نقلها عبر ساتل اتصالات GSO وحيد. وزحزحة دوبلر الصغيرة على تردد الموجة الحاملة للإشارة، والمستحثة بواسطة الحركة الطفيفة للساتل بالنسبة للأرض أثناء مداره يمكن استعمالها في تقدير موقع المرسل من نقطة (في حدود عشرات الكيلومترات) يمكن عندها نشر الوحدات المتنقلة لتحديد موقع المرسل أو التداخل بدقة. وتستعمل هذه التقنية قياسات تردد الموجة الحاملة التي توفر إرسالات قصيرة غير نظامية على مدار ساعات عديدة. وتستعمل تقنيات الاستبانة الفائقة مع معالجة الإشارة لتقدير زحزحة دوبلر الصغيرة في الإشارات المرسلة بدرجة الدقة المطلوبة. ويمكن تحسين التوقعات الخاصة بموقع الساتل وسرعته باستعمال مرسل مرجعي. [Koets, Bentley, 1999].

ينتج عن القيمة اللاصفرية لميل المدار GSO ولا تمركزيته حركة طفيفة للساتل بالنسبة إلى سطح الأرض. وتولد هذه الحركة زحزحة دوبلر صغيرة يمكن استغلالها في تقدير موقع المرسل. بل وتستفيد هذه التقنية من عمليات الرصد الخاصة بالإرسالات القصيرة غير النظامية الممتدة على مدار فترة من عدة ساعات. ويجب قياس ترددات الموجات الحاملة للإرسالات بدقة عالية جداً لكي يتسنى استعمال هذه الطريقة. وتُطبق بعد ذلك تقنية التقدير المتكرر غير الخطي. انظر الفقرة 3.8.2.1.5 والشكل 6-1.5 من أجل شرح انحرافات الساتل GSO.

ولكل هذه الأسباب مجتمعة، من الصعب جداً تنفيذ طريقة تحديد الموقع الجغرافي باستعمال ساتل واحد. وعلاوة على ذلك، ترتب هذه الطريقة افتراضات بشأن المرسل ذاته يصعب الوفاء بها بشكل عام، وذلك مثل:

- وجود مذبذب محلي فائق الاستقرار للمرسل أثناء فترة زمنية طويلة؛
- أن يستمر إرسال المرسل لفترة زمنية طويلة.

1.8.2.1.5 خوارزمية تحديد الموقع الجغرافي

تستخدم خوارزمية تحديد الموقع الجغرافي تعبيراً رياضياً (f_R) للتنبؤ بتردد الموجة الحاملة لإشارة تُنقل عبر ساتل GSO. ويضم هذا التعبير الموقع والسرعة المعلومين للساتل وموقع المستقبِل فضلاً عن الموقع المجهول للمرسل مثار البحث. ويجب أن يؤخذ في الاعتبار تأثير زحزحة دوبلر للوصلة الصاعدة ونقل التردد داخل المرسل المستجيب بالساتل وزحزحة دوبلر للوصلة الهابطة.

ويُعبر عن جميع الكميات المتجهة بنظام إحداثي كارتيزي ثلاثي الأبعاد مركزه الأرض وثابت على الأرض:

$$f_R = \left[f_T \cdot \left(1 + \frac{\vec{v}_S \cdot (\vec{r} - \vec{r}_S)}{c \cdot \|\vec{r} - \vec{r}_S\|} \right) + \Delta_f \right] \cdot \left(1 + \frac{v_D}{c} \right) \quad (7\text{-}1.5)$$

حيث:

f_R: تردد الموجة الحاملة للإشارة المستقبلة

f_T: تردد الموجة الحاملة للإشارة المرسلة

v_S: متجه السرعة للساتل وقت الرصد

r_S: متجه الموقع للساتل وقت الرصد

r: متجه الموقع للمرسل

Δ_f: فرق انتقال التردد في المرسل المستجيب بالساتل

v_D: معدل غير اتجاهي للمدى بين الساتل والمستقبل

c: سرعة انتشار الإشارة.

والمعادلة (7-1.5) عبارة عن دالة لمعلمات معلومة ومجهولة. وتتألف المعلمات المعلومة من موقع الساتل وسرعته وفرق انتقال التردد ومعدل المدى بين الساتل والمستقبل. وموقع الساتل وسرعته ومعدل المدى عبارة عن دوال في الزمن. وتتكون مجموعة المعلمات المجهولة من موقع المرسل وتردد موجته الحاملة. وتتم قياسات التردد الفعلي للموجة الحاملة للإشارة عند المستقبل عبر مرات عديدة من الرصد. وتقدر خوارزمية تحديد الموقع الجغرافي مجموعة من المعلمات المجهولة بحيث يكون مجموع الأخطاء المربعة بين تردد الموجة الحاملة المقاس وترددها المتوقع من المعادلة أدنى ما يمكن.

وتستعمل الخوارزمية صيغة خطية للتعبير الخاص بالتردد المستقبل (المعادلة)، وهي عبارة عن تحديد من الدرجة الأولى متعدد الأبعاد في شكل متسلسلة من متسلسلات تايلور للمعادلة (7-1.5). ويمكن صياغة مجموعة من المعادلات الخطية باستعمال هذا التعبير وتجميعها في صورة معادلة مصفوفات:

$$E = A\Delta \quad (8\text{-}1.5)$$

حيث تكون E عبارة عن متجه عمود قياسات تردد الموجة الحاملة للإشارة المستقبلة عند كل مرة من مرات الرصد و$A=[A_f A_x A_y A_z]$ حيث يكون كل متجه عمود A_i عبارة عن مشتقة للتعبير بالنسبة للمعلمة i، محسوبة عند كل مرة من مرات الرصد، وΔ عبارة عن متجه الأخطاء بين القيم الحقيقية للمعلمات وتقديراتها الأولية. ويتم حل معادلة المصفوفات بالنسبة للمتجه Δ من منظور خطي بالمربعات الصغرى ويستعمل متجه الخطأ هذا في تكرار وتحسين التقديرات الأولية للمعلمات. ولما كانت المعادلة الخطية المستعملة عبارة عن تقريب للنموذج فحسب، لذا يتم إجراء العديد من التكرارات لهذه العملية باستعمال آخر ما تم الحصول عليه من تقديرات للمعلمات بالنسبة لكل خطوة. وتتقارب قيم المعلمات مع التقديرات النهائية للتردد والموقع.

2.8.2.1.5 قياس التردد (الدوبلري)

نظراً لتحرك الساتل GSO ببطء بالنسبة إلى نقطة أرضية ثابتة، فإن الإزاحات الدوبلرية الملاحظة في وصلة الاتصالات تكون صغيرة، في حدود العشرات من وحدة Hz. بيد أن التحديد الدقيق للموقع الجغرافي يعتمد على التقديرات الدقيقة جداً لتردد الموجة الحاملة (معيار الروبيديوم يعتبر كافياً).

ويمكن استعمال خوارزمية التصنيف المتعدد للإشارة (MUSIC) لتقدير التردد. ولا يحد من استبانة وحدة تقدير التردد سوى دقة الآلة ولا تتأثر بطول مجموعة البيانات. ودقة التقديرات مقيدة بنسبة الإشارة إلى الضوضاء (S/N). وينتج عن خوارزمية MUSIC تقديرات للتردد أدق بكثير من التقديرات الناتجة عن الخوارزميات القائمة على محول فورييه السريع.

3.8.2.1.5 تصحيح الموقع والسرعة

تعتمد نتائج التحديد الدقيق للموقع الجغرافي على المعرفة الدقيقة بمتجهي موقع وسرعة الساتل في كل مرة من مرات الرصد. ويتم حساب هذين المتجهين في المعهود باستعمال نموذج انتشار مداري ومجموعة من ستة عناصر مدارية تصف مدار الساتل. ويتم تحديث هذه العناصر دورياً استناداً إلى عمليات رصد الساتل ومجموعات العناصر المحدثة المتاحة. وتقوم خوارزميات الانتشار المداري بنمذجة تأثيرات جاذبية الأرض والشمس والقمر للتنبؤ بموقع الساتل وسرعته في أوقات تعقب الوقت الذي تم فيه حساب العناصر. وهناك قوى تؤثر في حركة الساتل لا تتم نمذجتها. ومن ثم فإن تقديرات الموقع والسرعة الناتجة تكون أقل دقة كلما زاد الفارق الزمني بين وقت التنبؤ ووقت تحديث مجموعة العناصر. كما أن فرق تحويل التردد داخل المرسل المستجيب بالساتل يكون غير معروف بدقة.

ومن الضروري تحسين تنبؤات موقع الساتل وسرعته وفرق تحويل التردد لتحسين دقة تقديرات الموقع. ويمكن استعمال مرسل مرجعي يتم وضعه في موقع معروف مع معلومية تردد موجته الحاملة لصقل هذه القيم. وينبغي أن يقوم المرسل المرجعي بنقل الإشارات عبر الساتل أثناء نفس الفترة التي يتم فيها رصد الإشارات المعنية. ويتم حساب تردد الموجة الحاملة لكل إشارة من الإشارات المرجعية المرصودة عند المستقبل بنفس الطريقة المستعملة مع الإشارة المستهدفة. ويتم بعد ذلك مقارنة هذه الترددات المرجعية المرصودة بالترددات المتنبأ بها من خلال تقييم المعادلة بالموقع المعروف للمرسل المرجعي والتقديرات الأولية لمجموعة العناصر المدارية وفرق تحويل التردد لتحسين النتائج. ويوضح الشكل 1.5-6 التحسين المتحصل عليه في تنبؤات التردد من جراء تحسين العناصر المدارية وفرق تحويل التردد.

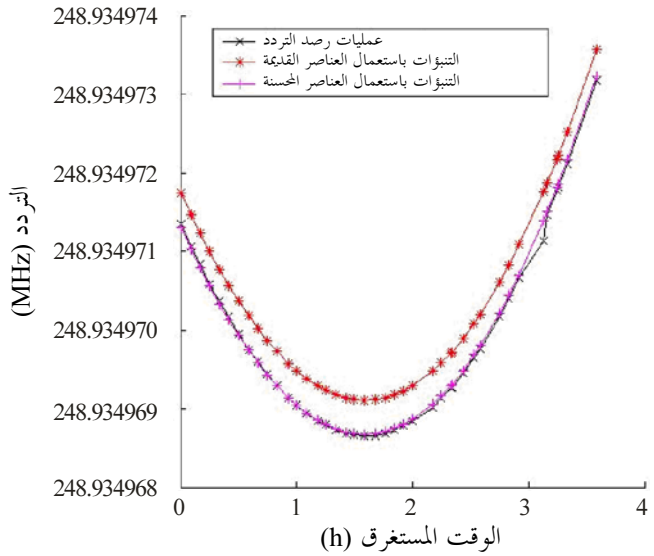
9.2.1.5 قياسات شغل التردد وقياسات شغل الموقع المداري بالمدار المستقر بالنسبة إلى الأرض

ينبغي أن تتضمن التحضيرات الخاصة بالتخطيط لأنظمة ساتلية جديدة دراسات محددة بشأن شغل ترددات الوصلة الهابطة من جانب أنظمة ساتلية أخرى. وينطبق هذا الأمر عموماً طالما لأنه لا يمكن دائماً افتراض أن استخدام الترددات يخضع للتنسيق أو التبليغ. ومن ثم تكون قياسات شغل الترددات ذات قيمة لتحاشي التداخلات غير المتوقعة.

وقد أثبتت معدات التسجيل الأوتوماتية لطيف الترددات الراديوية أنها مفيدة جداً في مراقبة إرسالات السواتل منخفضة المدارات. وباستعمال هوائيات ذات حزم غير اتجاهية أو حزم على شكل نصف كرة، فإن النتائج المتحصل عليها عبر فترة تمتد إلى عدة أيام تسمح بتحديد مدى شغل إرسالات الساتل لنطاق التردد. وبالإضافة إلى ذلك، فمن الممكن القيام بتحديد تقريبي لترددات الساتل طالما كانت الأزمنة المتوقعة للاستقبال وعملية حساب مدة الدورة تتسم بدرجة جيدة من الدقة. ويرد في الفقرة 1.7.1.5 مثال على تسجيل لطيف ترددي.

الشكل 1.5-6

تنبؤات محسنة للتردد بتحسين العناصر المدارية



Spectrum-5.1-06

والطرائق العامة لمراقبة شغل الترددات والتي تستعمل هوائيات ذات كسب منخفض تعتبر، كقاعدة، غير ملائمة لنطاقات الترددات التي تزيد عن 3 GHz. وبالنسبة للإشارات ذات الكثافة pfd المنخفضة، يحتاج الأمر إلى هوائيات اتجاهية ذات كسب كاف. وفي حالة المحطات الفضائية GSO، تعتبر قياسات شغل الترددات ممكنة، على الرغم من ذلك، حيث تعمل على:

- تحديد المواقع التي تشغلها المحطات الفضائية؛
- توفير بيانات خاصة بالتردد والزمن فيما يتعلق بشغل نطاقات الترددات في المواقع المشغولة.

ولتحديد المواقع المشغولة، يوصى بإجراء عملية تفاعلية لتوجيه الهوائي الاتجاهي المستعمل للاستقبال عبر المدار GSO ضمن عرض نطاق منتصف القدرة الخاص به، ويتم خلالها أخذ القياسات بصورة مستمرة من المحلل المستعمل في معالجة الإشارة لمراقبة تقاطع قيم العتبات. وبعد مسح المقطع المداري المرئي من محطة المراقبة الراديوية، ينتقل المحلل إلى نطاق الترددات الفرعي التالي وتُكرر العملية بالكامل.

وقياسات الشغل المتعلقة بالزمن والتردد والخاصة بموقع محدد سلفاً تسمح باختلافات ينبغي تنسيقها بدقة مع الهدف الذي تم اختياره. ويرد مثال على ذلك في الفقرة 3.7.1.5.

10.2.1.5 القياسات تحت مستوى الضوضاء الأساسية

كثيرا ما تكون هناك حاجة إلى تحليل إشارات راديوية ضعيفة أو أجزاء من إشارات تختفي تحت مستوى الضوضاء الأساسية. وتعاني الإرسالات الراديوية الفضائية على نحو خاص من هذا الوضع. وقد وُضعت التوصية ITU-R SM.1681 – قياس الإرسالات منخفضة المستوى الصادرة عن المحطات الفضائية عند محطات المراقبة الأرضية باستعمال تقنيات خفض الضوضاء - لحل هذه المشكلة. ويبين الشكل 1.5-7 المخطط الوظيفي النمطي لهذه القياسات.

وتقوم قياسات الإرسالات منخفضة المستوى تحت مستوى الضوضاء الأساسية على طريقة تكامل تقوم بطرح طيف الضوضاء من الإشارة.

ويتم اعتيان الإشارة ذات التردد المتوسط (IF) باستعمال محول تماثلي/رقمي (A/D) وتُخزن على قرص صلب. ويُكرر هذا القياس في المعهود لعدد 10 000 مرة للحصول على 10 000 عينة مسجلة. وبعد ذلك مباشرة، يتم تسديد الهوائي نحو موقع مداري مجاور على أن يكون الساتل خارج حزمة الهوائي بحيث لا يستقبل إلا الضوضاء التي تخضع لنفس الظروف البيئية.

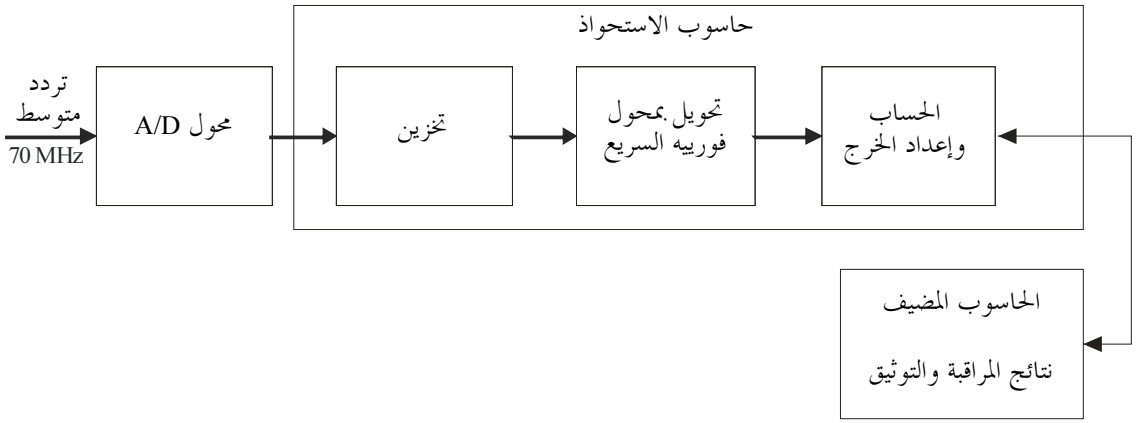
ويتم أخذ 10 000 عينة أخرى وتُخزن على القرص الصلب. ويتم توسيط كل من خطي العينات البالغ عدد كل منها 10 000 عينة توسيطاً خطياً وطرح كل منهما من الآخر. ويؤدي ذلك إلى خفض في الضوضاء يتراوح من 10 إلى 20 dB.

وتجدر الإشارة إلى أن الاستقرار الممتاز للترددات عبر مسير الاستقبال بأكمله أمر ضروري.

كما يجب إزالة أي إزاحات تردد دوبلرية ملاحظة للساتل أو خفضها.

الشكل 1.5-7

المخطط الوظيفي للمراقبة تحت مستوى الضوضاء الأساسية



Spectrum-5.1-07

3.1.5 المتطلبات الخاصة بالمعدات والمرافق

يتمثل الغرض من الفقرات التالية في إلقاء الضوء على بعض خصائص النظام.

ويرد المزيد من التفاصيل بشأن رقم الجدارة وأنظمة الهوائيات وتوجيه الهوائيات والتتبع الأوتوماتي في كتيب الاتصالات الساتلية (الخدمة الثابتة الساتلية) والمطبوعات المدرجة في البيبليوغرافيا.

1.3.1.5 اعتبارات عامة

يتم تحديد المفهوم التقني لمحطة مراقبة راديوية للخدمات الفضائية في الأساس من خلال المهام التي يتم القيام بها طبقاً للحاجات المحددة للإدارة.

وينبغي مراعاة التطورات الجديدة في مجال الخدمات الفضائية عند التخطيط لهذا المفهوم. ويرد في الجدول 2-1.5 بعض الجوانب الهامة في هذا الصدد.

ومن الأمور الجديرة بالاهتمام الخاص الدقة المطلوبة للقياسات، مثل الدقة في قياسات التردد والكثافة pfd وبوجه خاص الدقة في القياسات الزاوية لتحديد موقع المحطات الفضائية GSO أو العناصر المدارية للسواتل الموجودة في مدارات غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض.

وبوجه عام، وكما هو الحال في محطات المراقبة الأكثر نمطية، يجب أن تتسم معدات مراقبة الإشارات الصادرة عن المحطات الفضائية بالمرونة الكافية للموالفة عبر مدى واسع من الترددات، على النقيض من التغطية النقطية للترددات التي تفي باحتياجات وكالة بحث أو وكالة تشغيل فضائية.

الجدول 2-1.5

المهام ومجال تأثيرها فيما يتعلق بالمفهوم التقني لمحطة مراقبة للخدمات الفضائية

مسلسل	المهمة	مدى التأثير
1	ما هو الجزء الذي ينبغي أن يتيسر مراقبته من الطيف الترددي؟	عدد أنظمة الهوائيات وأنواعها
2	ما هي الأنظمة الساتلية التي ينبغي شمولها بالمراقبة؟ ما هي كثافات تدفق القدرة التي تنتجها هذه الأنظمة عند موقع الاستقبال؟ ما هي نسبة الإشارة إلى الضوضاء (*S/N*) التي ينبغي تحقيقها؟	رقم جدارة نظام الاستقبال (كسب الهوائي ودرجة حرارة ضوضاء النظام)
3	هل ينبغي أن يكون بالإمكان تحديد موقع السواتل GSO؟	دقة التسديد ونوع توجيه الهوائي ومفهوم المستقبل
4	هل ينبغي أن يكون بالإمكان تحديد العناصر الساتلية للسواتل الموجودة في مدارات غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض (non-GSO)؟	دقة التسديد ونوع توجيه الهوائي وتسارع توجيه الهوائي وسرعته ومفهوم المستقبل
5	هل ينبغي أن يكون بالإمكان تحديد خصائص الاستقطاب والقياسات في حالة الأنظمة ذات الاستقطاب المزدوج؟	نظام تغذية الهوائي

2.3.1.5 رقم الجدارة لنظام مراقبة فضائية

تعتمد نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء (*C/N*) المتحققة عند استقبال إرسال صادر من الفضاء على العوامل التالية:

- كثافة pfd الإشارة عند موقع الاستقبال؛
- كسب هوائي الاستقبال؛
- درجة حرارة ضوضاء النظام الخاصة بنظام الاستقبال.

ورقم جدارة (*G/T*) نظام استقبال هو النسبة بين كسب هوائي الاستقبال في اتجاه الإشارة المستقبلة ودرجة حرارة ضوضاء نظام الاستقبال على النحو المحدد في المعادلة (9-1.5).

$$\left(\frac{G}{T}\right) = G - T_{RS} \tag{9-1.5}$$

$$\left(\frac{G}{T}\right) = \left(\frac{C}{N}\right) - pfd - 10\log\left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) + 10\log\,(kB) \tag{10-1.5}$$

حيث:

G/T: رقم الجدارة (dB/K)

G: كسب الهوائي (dBi)

T_{RS}: درجة حرارة ضوضاء النظام لنظام الاستقبال ((dB/(K))

C/N: نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء المرغوبة في عرض نطاق القياس، B (dB)

pfd: الكثافة pfd في عرض نطاق القياس، B ($dB(W/m^2)$)

$\lambda^2/4\pi$: المساحة الفعالة لهوائي متناح (m^2)

k: ثابت بولتزمان ($1{,}38 \times 10^{-23}$ J/K)

B: عرض نطاق القياس (Hz).

في حالة الخدمة الثابتة الساتلية، تكون ظروف الوصلة بالنسبة للنظام المخطط معروفة جيداً. ويمكن حساب رقم الجدارة (G/T) بالنسبة لقيمة معينة للنسبة C/N باستعمال المعادلة (10-1.5). وعرض نطاق القياس يكافئ عرض نطاق الاستقبال. ويرجع لواضع النظام تقرير ما إذا كان ينبغي تحقيق رقم الجدارة المطلوب بواسطة زيادة كسب الهوائي أم عن طريق خفض درجة حرارة الضوضاء.

وهذا الوضوح في الظروف لا يمكن توقعه بالنسبة لنشاط المراقبة الفضائية. ومع ذلك، فإن الطريقة المستعملة تكاد تكون نفسها. ويحسب رقم الجدارة المرغوب فيه على أساس القيم الأقل للكثافة pfd لتلك المحطات الفضائية التي يعتبر إجراء التحليل التقني لخصائص إرسالاتها ضروريا لمحطة المراقبة.

ويفضل قياس رقم جدارة نظام المراقبة الفضائية مباشرة بأخذ النسبة بين كل من الكسب (G) ودرجة الحرارة (T) المقاسين كل على حدة، حيث تقل فرصة الخطأ. كما أن القياس المنفصل لكل من الكسب (G) ودرجة الحرارة (T) يحتاج إلى مولد إشارة، وهو ما يضيف عامل عدم يقين إضافي لا داعي له. وتستعمل الشمس عادة بدلاً من نجم راديوي لقياسات رقم الجدارة لأغراض معايرة الكثافة pfd عند محطات المراقبة بسبب إشارتها فائقة الكبر. ومع ذلك، ففي حال ما إذا كان نظام الاستقبال حساساً بما فيه الكفاية، يفضل استعمال النجوم الراديوية.

1.2.3.1.5 الشروط التي تحدد رقم الجدارة

يُحدد رقم الجدارة عادة عند زاوية ارتفاع قدرها 5° ويعبر عنه بوحدات (dB/K)، أي أن G/T بوحدات $(\text{dB/K}) = 10 \log$ (حيث G/T بالأرقام).

$$G/T\ (\text{dB/K}) = (\text{كسب الهوائي dBi}) - 10 \log (\text{درجة حرارة ضوضاء النظام}) (\text{K}) \quad (11\text{-}1.5)$$

أو

$$G/T\ (\text{numeric}) = \frac{8\,\pi\, k r_1 r_2 f^2 (y_{sun} - 1)}{s c^2 y_x} \quad (12\text{-}1.5)$$

حيث:

k: ثابت بولتزمان ($1{,}38 \times 10^{-23}$ J/K)

r_1: عامل التصحيح للتوهين الجوي؛ للزوايا التي تساوي أو تزيد عن 5°

حيث:

$$r_1 = \text{antilog}\frac{\frac{A}{\sin\theta}\,(\text{dB})}{10}$$

A: امتصاص جوي أحادي الاتجاه بوحدات الديسيبل لمسير رأسي وθ عبارة عن زاوية ارتفاع الشمس وقت القياس.

r_2: عامل التصحيح لعرض حزمة منتصف القدرة لهوائي الاستقبال بالنسبة إلى القطر الزاوي للشمس حيث:

$r_2 = 1 + \frac{401.4}{\vartheta_h^2}$ و ϑ_h^2 هو عرض حزمة منتصف القدرة للهوائي (دقائق)

f: التردد (Hz)

y_{sun}: القيم المقاسة معبر عنها بوحدات رقمية، حيث:

$$y_{sun} = \text{antilog} = \frac{Y_{sun}(\text{dB})}{10}$$

s: كثافة تدفق الشمس المتحصل عليها من مختبر وطني للمعايير؛ فإذا كانت كثافة تدفق الشمس، s، عند التردد (f) المعني، غير موجودة، تستعمل معادلة الاستكمال الداخلي التالية، بدلاً من الاستكمال الداخلي الخطي، وذلك للحصول على دقة أكبر:

$$s = \left(\frac{s_1}{s_2}\right)^{R_2}$$

حيث:

s_1: التدفق عند التردد الأدنى (f_1)، (J/m^2)

s_2: التدفق عند التردد الأعلى (f_1)، (J/m^2)

$$R_2 = \frac{\log(f/f_2)}{\log(f_1/f_2)}$$

c: سرعة الضوء (3×10^8 m/s)

y_x: القيم المقاسة، معبر عنها بوحدات عددية، حيث:

$$y_x = \text{antilog}\frac{Y_x(\text{dB})}{10}$$

2.2.3.1.5 إجراءات قياس *G/T*

يحتاج مستقبل من النمط الموجود عادة في محطات المراقبة إلى مبين لفولطية خرج التردد المتوسط (IF) مثل مقياس فولط أو كاشف ذبذبات. ويستحسن كثيراً أن تكون الاستبانة الفولطية لهذا المبين 0,1 dB (1%) أو أفضل. وينبغي أن يكون المستقبل ثابتاً دون تغيّرات ملحوظة في الكسب أثناء فترة القياس.

ومن أجل القياسات:

- ينبغي أن تكون دارة الكسب الأوتوماتي في المستقبل مطفأة؛
- ينبغي توجيه الهوائي صوب الشمس والحصول على الإشارة القصوى. وينبغي أن تكون للشمس زاوية ارتفاع أكبر من 30° تقريباً تجنباً للمؤثرات الجوية ولضمان عدم تأثر عاملي التصحيح r_1 وr_2 إلا بالحد الأدنى؛
- ينبغي تدوير الهوائي بعد ذلك بعيداً عن الشمس سمتياً فقط، ومثلاً لأكثر من بضع درجات. وينبغي تدوين مستوى فولطية IF، إذ إنه يقابل القيمة المرجعية للسماء الباردة؛
- ينبغي بعد ذلك إعادة الهوائي سمتياً صوب الشمس وتدوين الفولطية. ويساوي الفارق بين القيمتين Y_{sun} (dB)؛
- ينبغي بعد ذلك تدوير الهوائي في إحداثي الارتفاع فقط نزولاً من الشمس إلى ارتفاع 5° وتسجيل الفولطية. والفارق بين مستوى الفولطية هذا ومستوى السماء الباردة هو Y_x (dB) لزاوية ارتفاع قدرها x°، علماً بأن زاوية الارتفاع 5° (x°) هي معيار مرجعي شائع.

ويمكن بعد ذلك تقييم *G/T* باستعمال القيم المقاسة لكل من y_{sun} وy_x مع تطبيق قيمتي التصحيح r_1 وr_2. ويمكن الحصول على كثافة تدفق الشمس، s، من مختبر قياسي وطني.

وباستعمال معادلة *G/T*، فإن قيمة الجذر التربيعي لمجموع مربعات عدم اليقين في القياس تكون بحدود < 0,5 dB.

ومن الضروري تنفيذ خطوات القياس في يوم مشمس صاف.

3.3.1.5 أنظمة الهوائيات

ينبغي أن يكون كسب الهوائي أعلى ما يمكن ليوفر حداً أدنى جيداً من الحساسية لتجهيزات القياس.

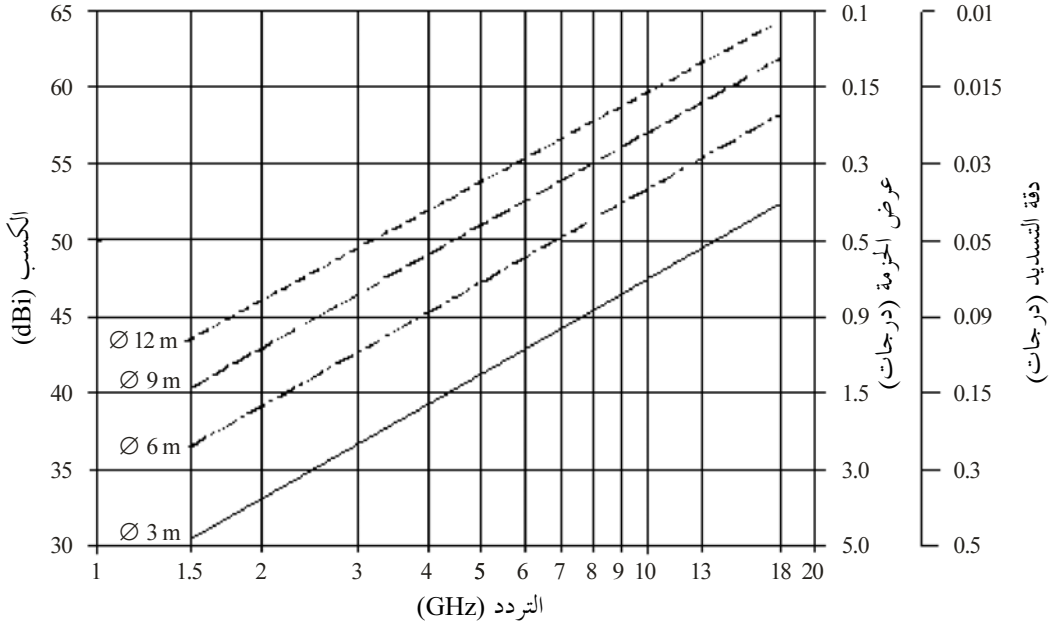
وتلائم الهوائيات اللولبية أو صفيفات الهوائيات ثنائيات الأقطاب المدى الترددي 100-000 1 MHz. وتقدم فرادى هذه الهوائيات كسباً يتراوح من 12 إلى 16 dBi تقريباً.

وبالنسبة للمدى الترددي من 1 إلى 26,5 GHz، يكفي عاكس مكافئي واحد بتغذية واحدة عريضة النطاق في البؤرة الرئيسية. وإذا لزم الاستعمال الأمثل لخصائص الاستقطاب والاتجاهية، يحبَّذ التصميم الذي يستعمل نظام تغذية قابل للتبديل. وترد أمثلة عن حلول تقنية كهذه في الفقرة 1.6.1.5.

ويبيّن الشكل 1.5-8 كسب الهوائي كدالة للتردد بالنسبة إلى مختلف أقطار العاكس المكافئي، ومع افتراض كفاءة نمطية للهوائي بنسبة 55%. وينبغي أن يكون قطر العاكس 3 أمتار كحد أدنى. وفي هذه الحالة، يمكن الحصول على قيم كسب للهوائي تتراوح من 31 dBi عند التردد 1,5 GHz إلى 53 dBi عند التردد 18 GHz. ويطبق التقدير الاستقرائي إلى ترددات أعلى. وتُستعمل، بصفة عامة، هوائيات يتراوح قطرها بين 6 و12 متراً.

الشكل 1.5-8

كسب الهوائي وعرض الحزمة عند 3 dB ودقة التسديد كدالة للتردد بالنسبة لمختلف أقطار العاكس المكافئي وبكفاءة هوائي تبلغ 55%



Spectrum-5.1-08

ولعل هناك ميزة في استعمال الهوائيات اللوغاريتمية الدورية في بعض الحالات. فالهوائيات من هذا النمط تقدم تغطية عامة جيدة في مدى ترددي بنسبة 10 إلى 1 وقد درج استعمالها في المراقبة الساتلية على الترددات ما بين 50 و000 5 MHz. ويكم العيب في هذه الحالة في كسب الهوائي المستقل عن التردد والأقرب إلى الثبات، والذي يتراوح دون 10 dBi بصورة عامة.

4.3.1.5 توجيه الهوائي

ينبغي لنظام تحريك الهوائي أن يتيح إما الضبط اليدوي أو المتحكَم فيه حاسوبياً. فإذا تطلب الأمر تحديدا دقيقا لموقع السواتل في المدارات المستقرة بالنسبة إلى الأرض (GSO)، أو إذا ما كان حساب العناصر المدارية لمحطة فضائية استناداً إلى قياسات زاوية يعتبر مهمة مطلوبة، فلا مناص حينئذ من التتبع الأوتوماتي. ويتمثل الحلان اللذان يمكن استعمالهما في التتبع التدرّجي أو التتبع أحادي النبضة.

وتقوم تقنية التتبع التدرّجي على قياسات لشدة الإشارة المستقبَلة في مواقع حول الموقع المنتظر للساتل. ويُتوصل بالحساب إلى الحالة المثلى تدريجياً. وتستند تقنية أحادي النبضة إلى تحليل نمط الموجة الواصلة في مستقبل التتبع. ولا ينتج نمط الموجة المتوقع (أسلوب الدليل الموجي) إلا عندما يكون الهوائي مسدداً مباشرة باتجاه الساتل. وتنتج أنماط الموجة الأخرى معلومات التتبع من أجل التسديد السليم. ويمكن استعمال التتبع أحادي النبضة لسواتل GSO وغير GSO وليس له تأثير على قياسات القدرة.

5.3.1.5 عرض حزمة الهوائي اللازم للقياسات الزاوية

تمثل الغاية من هذه الفقرة الفرعية في إنشاء علاقة بين فتحة نصف قدرة حزمة الهوائي (3 dB) ودقة التسديد القابلة للتحقيق. وهذا أمر مثير للاهتمام فيما يتعلق بتقنيات التتبع الأوتوماتي في الحالات التي تعد فيها مراقبة استقرار موقع محطات GSO الفضائية أو حساب العناصر المدارية للسواتل غير GSO مهمة مطلوبة من محطة مراقبة راديوية (انظر الفقرة 6.2.1.5).

ودقة التسديد هي مقياس لمدى حسن تحديد نظام الهوائي لزوايا فتحة الحزمة (السمت، الارتفاع) نحو غرض ما. وفي هذا الصدد، ثمة فرق بين المراقبة الفضائية والمحطات الأرضية للخدمة الثابتة الساتلية، حيث إنه في الحالة الثانية، حتى أدنى خطأ نسبي محتمل في التراصف (بالنسبة إلى المحطة الفضائية) يكون ذا بال.

ويمكن وضع علاقة بين عرض نصف قدرة حزمة الهوائي ودقة التسديد القصوى الممكن تحقيقها كما يلي:

$$R = n \cdot \theta_0 \qquad (13\text{-}1.5)$$

حيث:

R: خطأ قياس الزاوية (بالدرجات)

n: عامل تحسين

θ_0: عرض نصف قدرة الحزمة (بالدرجات).

وفي هوائيات النطاق الضيق المستمثلة، $n = 0{,}01$. أما في هوائي عريض النطاق من النوع المستعمل عادة في محطة مراقبة راديوية للخدمات الفضائية، فإن عاملاً بمقدار 0,1 يبدو واقعياً إذا استُعمل نظام أحادي النبضة وبمقدار 0,15 إذا استُعمل نظام التتبع التدرّجي. وأما المتغير الباقي، فهو أن عرض نصف قدرة الحزمة، يكون دالة لقطر العاكس.

وينبغي انتقاء عرض نصف قدرة الحزمة المناسبة بالأخذ في الاعتبار بأصغر تسامح في وضع طولي بمقدار ±0,1° على نحو ما هو محدد في لوائح الراديو. ويحدد تسامح يبلغ ±0,1° في خط الطول قطاع زاوي من المستوي المداري الاستوائي. وفي الحالة المقيّدة التي تُشغَّل فيها محطة مراقبة على خط الاستواء، يتعين التحقق من ثبات الوضعية بقياسات زاوية في مستوي ارتفاع الهوائي فحسب. وعند تحريك محطة المراقبة إلى الجنوب أو الشمال، يحدث دوران في المستوي السمتي لهوائي المراقبة. ففي حال خط العرض 50° مثلاً، يعني ذلك أن التسامح الطولي في استقرار موقع محطة فضائية في المدار GSO يقاس غالباً كفرق زاوي في المستوي السمتي للهوائي. إذ يصل إلى قيمة قدرها ±0,13° لفارق طولي قدره 0° بين محطة المراقبة ونقطة ساتل فرعي ويقل إلى ±0,085° لفارق طولي قدره 60°. وخطأ القياس المقابل في هذا المثال يبلغ ±0,01° أي أقل بعامل 10 مقارنةً بالتسامح المسموح.

ويحوي الشكل 1.5-8 قيم عرض نصف قدرة الحزمة ودقة التسديد لهوائي كدالة للتردد وقطر العاكس. ومن الواضح أن التنفيذ الكامل لمراقبة الموقع كمهمة مراقبة يخضع لقيود، لا سيما في حالة النطاقات الترددية الأدنى. ويُسمح بوضع متطلبات أقل صرامة تتيح استعمال أنظمة هوائيات أصغر في الحالات التي يُعتزم فيها فقط تحديد اختلافات وانحرافات أكبر في استقرار الموقع، كما في عمليات تحري التداخلات الضارة.

6.3.1.5 استقطاب النظام

ينبغي دراسة خصائص نظام الهوائي بإمعان من أجل القيام بقياسات الاستقطاب (الفقرة 5.2.1.5). ونظراً لاستعمال الاستقطابات الدائرية والخطية في النطاقات الترددية فوق 1 GHz واستعمال الاستقطابات المزدوجة في النطاقات الترددية للخدمة الثابتة الساتلية تقنية معيارية، فمن الضروري أن يكون بالإمكان مواءمة استقطاب نظام الاستقبال مع الإشارة المستقبَلة بحيث يتحقق تمييز كاف للاستقطاب.

وعلاوة على تمكين الحصول على خصائص استقطاب الإشارة المستَقبلة، فإن من شأن نظام كهذا أن يوفر أيضاً أقصى كسب للهوائي وأقصى خفض في الإشارات اللغطية بين مستويي الاستقطاب المتعامدين، وهذا شرط مطلوب في معظم القياسات المذكورة في الفقرة 2.1.5.

7.3.1.5 المستقبلات

لا يمكن لمستقبلات المراقبة القابلة للتوليف الوصول إلى أرقام الضوضاء المنخفضة جداً لمستقبلات التردد الثابت المستعمَلة لأبحاث الفضاء والأغراض التشغيلية، وذلك لأسباب اقتصادية ولأن التغطية العامة مطلوبة في محطات المراقبة. ومع ذلك،

فإن رقم ضوضاء نظام استقبال في محطة مراقبة للخدمات الفضائية يؤثر في الرقم الإجمالي لضوضاء النظام. ويعد تخفيضه إلى أدنى قيمة ممكنة هدفاً هاماً أثناء مرحلة تصميم محطة مراقبة للخدمات الفضائية. وينطبق ذلك حتى مع إمكانية تحسين نسبة الضوضاء إلى الإشارة (*S/N*) في جميع الحالات تقريباً بالترشيح ضيق النطاق لجزء من الطيف الترددي للبث.

ويمكن استعمال مستقبلات مراقبة عادية للترددات التي تقل عن 3 GHz تقريباً. وينبغي، عند الترددات التي تزيد عن 3 GHz تقريباً، استعمال نظام مستقبل موجات صغرية ذي تصميم معياري بالوحدات لتلبية مختلف المتطلبات. ولا يمكن الأخذ بالمفهوم التقليدي الذي يدخل فيه المستقبل كوحدة مستقلة ذاتياً وذلك جراء الخسارة العالية في الكبل في مدى الموجات الصغرية، ويجب وضع واجهة المستقبل على مقربة من الهوائي، فيما يمكن وضع وحدات التردد المنخفض ووحدات التحكم في غرفة التشغيل. ويرد في الجدول 3-1.5 1.5 مثال عن مواصفات نظام استقبال في النطاقين الترددين C وKu.

الجدول 3-1.5

مثال لخصائص نظام الاستقبال

مولّف ومركّب ترددات	
المدى الترددي	1-18 GHz، مع عدة مولفات متراكبة
عرض نطاق تردد الاستقبال	تردد المركز: ±50 MHz
خطأ التردد	$< \pm 2{,}5 \times 10^{-8}$
المدى الديناميي الخالي من التشكيل البيني	> 66 dB (عرض النطاق 1 MHz)
ضوضاء طور المذبذب	<–90 dBc (10 kHz من الموجة الحاملة)
مستقبل عريض النطاق	
درجة التوليف الدنيا	1 kHz
عرض نطاق مرشاح التردد المتوسط	40/20/10/5/2,5/1,25/0,3/0,05 MHz

وفي حالة الطرائق الأوتوماتية لقياسات زحزحة دوبلر، حيث يتعين وجود عداد تردد، يتعين على المستقبل تسليم إشارة خرج خالية من الضوضاء تمثل تردد الموجة الحاملة الساتلية بدقة. ولهذا الغرض، يتحتم على المستقبل توفير تزامن ثابت الطور لتردد الموجة الحاملة الساتلية.

وينبغي أن يكون بوسع عرض نطاق العروة أن يبدل بين بضعة هرتزات وبضع مئات من الهرتزات. كما يمكن استعمال تردد خرج دارة ثابتة الطور كهذه كتردد دليلي لضبط تردد مستقبل ثان أثناء قياسات عرض النطاق، كما ذُكر في الفقرة 3.2.1.5.

وللأغراض الأعم، إذا تعيّن استقبال إشارة ساتلية ليس لها موجة حاملة، وإذا كانت كثافة تدفق القدرة (pfd) لهذه الإشارة كافية، يمكن استعمال جهاز توليف أوتوماتي للتردد لتجنب تشويه قياسات عرض النطاق وpfd بفعل إزاحة دوبلر في تردد الإشارة المستقبلة.

وينبغي أن تتوفر مخارج المستقبل التالية تسهيلاً لإجراء القياسات: مخرجا التردد المتوسط عريض النطاق والضيق النطاق، ومخارج التردد الفيديوي والتردد السمعي والنطاق الترددي الأساسي (AM/FM). وينبغي أن يكون التردد المتوسط هو نفسه لجميع مستقبلات منشأة القياس بحيث يمكن استعمال نفس التجهيزات المساعدة مع جميع المستقبلات.

8.3.1.5 التجهيزات المحيطية

1.8.3.1.5 التجهيزات العامة

يضم الجدول 1.5-4 قائمة ببعض التجهيزات المحيطية اللازمة للقياسات المذكورة أعلاه، وبعض التجهيزات الأخرى المفيدة التي يمكن أن تضاف إلى نظام استقبال.

2.8.3.1.5 المحلل

ثبت أن محلل الطيف الترددي واحد من أقوى الأجهزة ليس للمراقبة العامة فحسب، بل كذلك لأغراض المراقبة الفضائية. وكيما وحتى يمكن تهيئة محلل الطيف للاستخدام في مهام المراقبة، فإنه ينبغي أن يكون قادراً على العمل تفاعلياً مع تجهيزات أخرى تحت تحكم حاسوب.

ويمكن استعمال تحويل فورييه السريع (FFT) الرقمي أو محلل المتجهات للقيام بعرض الطيف الترددي في الوقت الفعلي وإجراء قياسات القدرة. ويمكن اختيار عروض النطاق ومنحنيات الترشيح المناسبة لمختلف التشكيلات (FM، QPSK، وما إليهما) ببرمجة مراشيح رقمية. وتُظهر تحاليل FFT طيفاً ترددياً في الوقت الفعلي دونما حاجة لفترة طويلة من الوقت للكنس عبر عرض نطاق الإشارة مثل المحللات التقليدية للطيف الترددي.

الجدول 1.5-4

التجهيزات المحيطية

التجهيزات المحيطية اللازمة		التجهيزات المحيطية الإضافية	
نمط التجهيزات	الوظيفة	نمط التجهيزات	الوظيفة
معيار التردد/الوقت	مرجع مركزي	مزيل تشكيل تلفزيوني	إزالة تشكيل FM والموجات الحاملة التلفزيونية المشكّلة رقمياً
عداد التردد	قياسات تردد زحزحة دوبلر	مفكك تشفير تلفزيوني	فك تشفير إشارات النطاق الأساسي التلفزيونية (NTSC، PAL، SECAM، HDTV)
مقسّم الوقت	نبضة توقيت لعداد التردد		
محلل الإشارة	تحليل الطيف الترددي، قياسات عرض النطاق	مزيل تشكيل الموجة الحاملة الصوتية	إزالة تشكيل الموجات الحاملة الفرعية الصوتية التلفزيونية، قابل للتوليف
مقياس القدرة	قياسات pfd		
مولد إشارة	قياسات pfd المرجعية	محلل التشكيل	تعيين هوية أنماط التشكيل، قياسات التشكيل
مسجل	للأغراض العامة		
كاشف ذبذبات رقمي	للأغراض العامة		

9.3.1.5 القناة عريضة النطاق لمراقبة الترددات الراديوية (RF) أو المتوسطة (IF)

يوصى بأن يتيح التصميم التقني لنظام استقبال محطة مراقبة للخدمات الفضائية مراقبة عريضة النطاق للطيف الترددي الراديوي. وينبغي أن يُسمح بتحليل متزامن لعرض نطاق لا يقل عن 500 MHz.

10.3.1.5 تجهيزات تسجيل الطيف الترددي الراديوي

تتطابق الخصائص التقنية لتجهيزات التسجيل المستعملة في المراقبة الفضائية (انظر الفقرة 9.2.1.5 كمرجع) مع تلك المطلوبة لأغراض المراقبة الأرضية. ونظراً لوجوب استعمال هوائيات غير اتجاهية باستقطاب يفضل أن يكون خطياً، فإنه يتعين التعويض عن الخسارة في كسب الهوائي بانتقاء عرض نطاق صغير لتجهيزات التسجيل. وكقاعدة عامة، ينبغي ألا يتعدى إجمالي عرض نطاق الطيف الترددي الخاضع للتحليل 2 MHz، ولا سيما لوحدات التسجيل البياني.

11.3.1.5 الاحتياجات الحاسوبية

ينبغي اعتبار الاحتياجات الحاسوبية جزءاً لا يتجزأ من محطة مراقبة للخدمات الفضائية. فيمكن استعمالها مثلاً من أجل:

- حساب العناصر المدارية؛
- حساب زوايا تسديد الهوائي من عناصر مدارية؛
- توجيه الهوائي؛
- تخزين نتائج القياس؛
- تقييم نتائج القياس.

4.1.5 دعم المراقبة الفضائية بالوثائق وبقاعدة بيانات

1.4.1.5 اعتبارات عامة بخصوص الوثائق وقاعدة البيانات

يعتمد التشغيل الناجح لمحطة مراقبة للخدمات الفضائية على التحديث المتواصل للوثائق الورقية أو الإلكترونية. ويفضَّل أن يتخذ ذلك شكل نظام قاعدة بيانات لا تقتصر بياناتها على تلك التي ينشرها الاتحاد الدولي للاتصالات رسمياً، أي:

- النشرة الإعلامية الدولية للترددات الصادرة عن مكتب الاتصالات الراديوية (BR IFIC) الواردة في قرص CD-ROM؛
- قائمة الشبكات الفضائية (المتوفرة على الخط أو على قرص CD-ROM)؛
- محطات الاتصالات الراديوية الفضائية الصادرة على قرص DVD-ROM؛
- لوائح الراديو سواء ورقية أو على قرص CD-ROM.

بل تضم أيضاً مسحاً لجميع السواتل في المدار مع بعض من أهم عناصرها المدارية (وقت الدوران، زاوية الميل، الأوج حول الأرض، الحضيض حول الأرض). وتعد بيانات المحطات الأرضية المرخصة من الإدارة مفيدة في تحديد الموقع الجغرافي لمحطة أرضية، خاصة في تعيين هوية المستعملين غير المرخصين للطيف الترددي.

وتسهيلاً لعمليات المراقبة، من الضروري إنشاء قاعدة بيانات لتسجيل نوعين من المعلومات. أحدهما عبارة عن معلومات عامة عن جميع السواتل محل الاهتمام، والآخر عبارة عن خصائص السواتل التي سيتم الحصول عليها بالمراقبة.

2.4.1.5 قاعدة بيانات المعلومات العامة للسواتل القائمة

تصف قاعدة بيانات المعلومات العامة للسواتل القائمة خصائص ساتل يقع ضمن قدرة المراقبة للمحطة، والخدمة الفضائية المرخصة له. وتضم المعلومات الأكثر أهمية:

- معلومات الساتل المدارية بما فيها خط الطول الاسمي لساتل GSO وتسامح خط الطول ومعلومات تقويمية فلكية عن ساتل في مدار غير مستقر بالنسبة إلى الأرض، وما إلى ذلك؛
- معلومات المرسل- المستجيب بما فيها عدد المرسلات المستجيبات وعرض نطاقها والمدى الترددي وتردد المنار والكسب الأقصى للهوائي؛
- معلومات حزمة هوائي الساتل بما فيها تغطية الحزمة ومنطقة الخدمة والقدرة القصوى (dBW/m^2).

وفضلاً عن ذلك، يستفاد من معلومات الساتل التالية في تحديد الموقع الجغرافي للمحطات الأرضية:

- المعلومات الجغرافية بما فيها خط الطول وخط العرض والارتفاع، وما إلى ذلك؛
- معلومات الهوائي بما فيها حجم الهوائي وكسبه ومخططه الإشعاعي، وما إلى ذلك؛
- معلومات أخرى بما فيها تخصيص الترددات، وعرض النطاق والاستقطاب وقدرة الإرسال ونمط الخدمة ونمط التشكيل ووقت العمل، وما إلى ذلك.

ويمكن أن تتمثل مصادر المعلومات المذكورة أعلاه في مشغل (مشغلين) السواتل والإدارة (الإدارات) ووسائط الإعلام العامة.

3.4.1.5 قاعدة بيانات معلومات المراقبة

تُستعمل قاعدة بيانات معلومات المراقبة لتسجيل نتيجة قياس محطة مراقبة فضائية. وينبغي أن تضم نتيجة القياس بعض المعلمات الرئيسية من قبيل التردد والاستقطاب وعرض النطاق وpfd ونمط التشكيل، وما إلى ذلك. ويمكن لتحليل شغل الطيف الترددي على المدى الطويل أن يسهّل تخطيط الطيف الترددي.

وتسهيلاً لتبادل البيانات بين محطات المراقبة، ينبغي تسجيل معلمات محطة المراقبة نفسها في قاعدة البيانات، مثل موقع الهوائي ومعلماته، ووقت القياس والطقس، وما إلى ذلك.

4.4.1.5 استعمال الوثائق وقواعد البيانات لتسهيل المراقبة

في المراقبة، يدعم التوثيق وقواعد البيانات الأهداف التالية:

تعيين هوية المحطات الفضائية

يمكن تعيين هوية المحطات الفضائية عبر إجراء مقارنة بين قاعدة بيانات المعلومات العامة وبيانات المراقبة. وترد في الفقرة التالية مقدمة وافية لعملية تعيين هوية المحطات الفضائية.

تعيين هوية الإرسالات غير القانونية

يمكن لمهندسي المراقبة تعيين هوية الإرسالات غير القانونية عبر مقارنة المدخلات المقابلة في قاعدة بيانات المعلومات العامة التي أقرتها الإدارة. ويمكن لأنظمة المراقبة إنجاز ذلك أوتوماتياً.

ولا يمكن تطبيق ذلك إلا عندما تكون بيانات الموجات الحاملة المعتمدة متيسرةً للإدارة.

تسهيل تحديد المواقع الجغرافية للإرسالات

يمكن لأنظمة قاعدة البيانات أن تحسن كفاءة مهام تحديد المواقع الجغرافية تحسيناً لافتاً للنظر. ويمكن إجراء التحليل استناداً إلى المعلومات الواردة في قاعدة البيانات، بما في ذلك:

- تحليل الساتل المجاور؛
- انتقاء الإشارة المرجعية؛
- تحليل مصدر التداخل المحتمل.

وبالإضافة إلى ذلك، يقوم نظام المعلومات الجغرافية (GIS) بدور هام في المراقبة الفضائية، ويمكن لنظام مشترك من قاعدة بيانات المحطة وقاعدة بيانات النظام GIS أن يزود مهندس المراقبة بنظرة شاملة عن استعمال الطيف الترددي. ويمكن استعمال نظام مشترك كهذا في تحليل مصادر التداخل المحتملة على المحطات الفضائية.

5.1.5 تعيين هوية المحطات الفضائية وتحديد الموقع الجغرافي للمحطات الأرضية

يقوم تعيين هوية محطة فضائية عموماً على مقارنة البث المقاس والخصائص المدارية مع ما يرد في قاعدة البيانات والوثائق المرجعية. وتتألف الخصائص المرجعية من قائمة بالإرسالات والخصائص المدارية لجميع المحطات الفضائية، والتي تم نشرها أو وضعها في متناول خدمة المراقبة. ويتم تعيين هوية المحطة المجهولة بالحذف التكراري للمحطات التي لا تطابق الخصائص المقاسة. وترد الخصائص المرجعية في الجدول 1.5-5.

الجدول 1.5-5

الخصائص المرجعية

خصائص البث	الخصائص المدارية
التردد	بيانات تقويمية فلكية، أو، إذا لم تكن متاحة:
عرض النطاق	– فترة الدوران
نمط التشكيل	– زاوية ميل المدار
الاستقطاب	– مسافات الحضيض والأوج حول الأرض
e.i.r.p.	– وقت عبور خط الاستواء وخط طول العبور

ومع الاستعمال الواسع لسواتل GSO، لا بد أن تتمكن الإدارات من تعيين هوية المحطات الأرضية المرسِلة باتجاه سواتل GSO كي تحصل على المعلومات الكاملة عن استعمال المحطات الأرضية والقضاء على الإرسالات الضارة أو غير القانونية. فعند استعمال طريقة تحديد الموقع الجغرافي الموصوفة في الفقرة 7.2.1.5، يمكن أن يبلغ عدم الدقة الموضعية عشرات الكيلومترات عادةً. وقد تكون هذه الدقة كافية لتعيين هوية الإرسالات الصادرة عن مستعملين شرعيين، أما بالنسبة للإرسالات غير القانونية، فقد تلزم وسائل أخرى للمراقبة الأرضية كي يتم تحديد موقع التداخل بدقة وبعدها يتم القضاء عليه.

1.5.1.5 نتائج المراقبة المستعملة لتعيين الهوية

1.1.5.1.5 تقييم تسجيلات النطاق الترددي

فيما يتعلق بالفقرة 9.2.1.5 والمثال الوارد في الفقرة 1.7.1.5، يمكن الحصول من تسجيلات النطاق الترددي على القيم التقريبية للخصائص التالية للمحطة الفضائية:

– التردد؛

– وقت الاستقبال المتوقع لسواتل في مدار غير مستقر بالنسبة إلى الأرض؛

– فترة الدوران.

2.1.5.1.5 حساب فترة الدوران

لحساب فترة الدوران بمستوى دقة يصل إلى بضع ثوان، يمكن الحصول على قيمة أولية تقريبية بقياس وقتي TCA لمسيرين متعاقبين. ثم تستند النتيجة الأدق إلى قياسات TCA إضافية على مدى يوم أو يومين.

3.1.5.1.5 تحديد الاتجاه (DF)

استكمالاً لتحديد زمن TCA لساتل بدقة لمحطة مراقبة، يمكن رسم منحني لبيان التغيّر في اتجاه وصول الإشارة مع الوقت وفق ما يُحدَّد بالاتجاهات السمتية DF أو بتوجيه هوائي استقبال عالي الاتجاهية. ويبلغ معدل التغيّر الزاوي أقصاه عندما يكون الساتل على أقرب مسافة من محطة المراقبة أثناء عبور معيّن، وينبغي أن تتوافق المعلومات المحصّلة بهذه الطريقة مع المعلومات المحصّلة من منحني زحزحة دوبلر.

وقياسات DF مناسبة جداً لتحديد TCA في حالات عدم وجود تردد الموجة الحاملة ضمن الطيف الترددي. إلا أن قياسات DF تتطلب ما يكفي من كثافة تدفق القدرة (pfd) عند نقطة الاستقبال.

4.1.5.1.5 حساب بيانات التقويم الفلكي من القياسات الزاوية للهوائي

إذا كانت محطة المراقبة مجهزة بنظام هوائي للتتبع الأوتوماتي، يمكن استعمال القياسات الزاوية في مستويي السمت والارتفاع لحساب بيانات التقويم الفلكي لساتل مجهول [Montenbruck, 1989] و[Montenbruck and Pfleger, 1991]. وبرمجيات إجراء هذه الحسابات متاحة تجارياً.

وتتوقف دقة تحديد بيانات التقويم الفلكي على:

- الدقة العامة لقياس الزاوية (الفقرة 5.3.1.5)؛
- قطاع المدار المستعمل للقياسات الزاوية؛
- نمط مدار الساتل.

وهناك مشكلة تشغيلية هامة تتمثل في الحاجة إلى تسديد الهوائي بسرعة نحو ساتل في مدار غير مستقر بالنسبة إلى الأرض بعد دخوله في مدى رؤية محطة المراقبة. وفيما تتطلب الحاجة للحصول على قياس دقيق للزاوية وجود هوائيات عالية الاتجاهية، فإن استعمالها يزيد من صعوبة البحث عن ساتل منخفض المدار (LEO) والعثور عليه، قسم المدار الممكن استعماله للقياسات يكون أصغر من المدار المرئي الكلي. ويرد في الفقرة 2.7.1.5 مثال يبيّن حساب العناصر المدارية على أساس القياسات الزاوية.

5.1.5.1.5 خصائص البث

لعل قياسات خصائص البث المذكورة في الفقرات أعلاه تكفي لتعيين هوية محطة فضائية. وينطبق ذلك بوجه خاص على المحطات الفضائية التي تعمل وفقاً للوائح الراديو، والتي بُلِّغت خصائص إرسالاتها ونُشرت.

2.5.1.5 إجراء تعيين الهوية

إذا لم تؤد خصائص البث المقاسة إلى تعيين هوية محطة فضائية، فإن بيانات التقويم الفلكي المقاسة، أو أجزاء منها، يمكن أن تساعد في ذلك.

وعند مقارنة بيانات التقويم الفلكي المقاسة مع البيانات المرجعية المنشورة، تُنتقى أولاً الأغراض المدارية ذات البيانات الأكثر تشابهاً. وينبغي للمقارنة المتدرجة للبيانات اللاحقة أن تسفر عن خفض كبير في عدد الأغراض الواجب النظر فيها. وأخيراً، يمكن التوصل إلى تعيين الهوية الصحيح بحساب أوقات قابلية الرؤية وTCA لسائر الأغراض وبمقارنتها مع النتائج المرصودة.

3.5.1.5 الاحتمالات الأخرى لتعيين هوية المحطات الفضائية

استندت الإجراءات التي جرى بحثها حتى الآن لتعيين هوية المحطات الفضائية إلى مقارنة خصائص الإشارة المقاسة والمرصودة مع المعلومات المنشورة، ومقارنة البيانات التقويمية الفلكية المقاسة أو أجزاء منها (زمن الدورة، زاوية الميل، TCA) مع البيانات التقويمية الفلكية المنشورة. غير أن هذا الإجراء يستهلك وقتاً ويتطلب النفاذ إلى البيانات التقويمية الفلكية لهذه الأغراض في المدار.

وفي بعض الحالات، لا سيما عند عدم الالتزام بلوائح الراديو أو عند رصد حالات تداخل ضار، قد يكون من المفيد القيام بإجراء إضافي. وفي هذه الحالات، يمكن لمحطة مراقبة للخدمات الفضائية أن تسجل كل المعلومات الممكنة بشأن قياسات التردد وعرض النطاق وخصائص البث الأخرى إلى جانب بيانات التقويم الفلكي أو أجزاء منها، وأن تطلب تعيين الهوية استناداً إلى هذه البيانات من مراكز تعيين الهوية والتتبع أو من مشغلي الشبكات الساتلية.

4.5.1.5 اعتبارات تشغيلية تتعلق بتحديد الموقع الجغرافي لمحطات الوصلة الصاعدة الأرضية باتجاه سواتل GSO

في الوقت الراهن، تتوفر أنظمة تجارية لتحديد الموقع الجغرافي من مصانع مختلفة، حيث تستعمل هذه الأنظمة المبادئ الموصوفة في الفقرة 7.2.1.5 لتحديد الموقع الجغرافي لمحطات الوصلة الصاعدة الأرضية باتجاه سواتل GSO، وهي معتمدة لدى بعض مشغلي السواتل والإدارات. وتعرض هذه الفقرة اعتبارات تشغيلية معينة لهذه الأنظمة.

بادئ ذي بدء، ينبغي لمشغل نظام تحديد الموقع الجغرافي أن يحدد أولاً طبيعة الإشارة المجهولة. ويمكن تنفيذ ذلك بطريقتين: بواسطة مرافق مراقبة أخرى، أو بالحصول على معلومات من مشغّل الساتل. ثم يلزم بعد ذلك وجود ساتل مجاور للاختبار. وقد يكون للمشغّل خيارات متعددة عند تقييم السواتل المجاورة المرشحة. وينبغي أيضاً أن يُدخل معلومات أخرى مطلوبة في نظام تحديد الموقع الجغرافي. وعادةً يحتاج الأمر إلى عدد من الإشارات المرجعية إما لإلغاء الانسياقات في المذبذبات على متن الساتلين، أو كي تُستعمل في خوارزمية تحديد الموقع الجغرافي لتصحيح أخطاء تثبيت الموضع الناجمة عن أخطاء التقويم الفلكي.

1.4.5.1.5 حيازة المعلومات الضرورية

ينبغي للمشغّل أن يعرف بعض المعلومات المفيدة بشأن الإشارة قيد الاختبار. فمثلاً، الساتل الذي ينقل الإشارة المجهولة، وخطط التردد للمرسلات - المستجيبات فيه، والتردد المركزي، وعرض النطاق، ودورات التشغيل (للإشارات المتقطعة) وخصائص تنقلية التردد للإشارة المجهولة. واستناداً إلى هذه المعلومات، ينتقي المشغّل معلمات الرصد المناسبة وصولاً إلى تحقيق الاحتمال الأمثل لتحديد الموقع الجغرافي بنجاح.

ويمكن الحصول على المعلومات أعلاه بوسائل مراقبة أخرى، أو من الجهة المتضررة، إذا كانت الإشارة المجهولة تسبب تداخلاً ضاراً.

ومن المفيد أيضاً تسجيل المرسل - المستجيب المعرَّض للتداخل في الساتل بمسجلة طيف ترددي في أقرب وقت ممكن بعد الإبلاغ عن تداخل إلى محطة المراقبة. ومن شأن ذلك أن نسمح برؤية نشاطات المتداخل وإشغال المرسل–المستجيب.

2.4.5.1.5 انتقاء الساتل المجاور

قد يكون هناك أكثر من ساتل واحد مناسب يمكن استعماله كساتل مجاور. والاعتبار الأهم في ذلك هو ضمان أن يتمتع الساتل المجاور المنتقى بالتوصيلية الملائمة للوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة.

ويمكن للمشغّل أن يستنتج من التردد المعلوم لوصلة هابطة واستقطاب إشارة مجهولة ما يقابلهما من تردد في الوصلة الصاعدة واستقطاب الإشارة المجهولة. وفي حالة استعمال حزم نصف كروية أو نقطية ضيقة في الوصلة الصاعدة، يمكن للمخطط الإشعاعي لحزمة الوصلة الصاعدة أن يحد من المنطقة الجغرافية التي يرجح أن تصدر منها الإشارة المجهولة. ولكن ينبغي أن يضع المشغّل في اعتباره أن الهوائيات الكبيرة للوصلة الصاعدة والواقعة خارج المخطط الإشعاعي للحزمة الرئيسية لتداخل حزمة الوصلة الصاعدة للساتل يمكن أن تسبب تداخلاً أيضاً.

وعند النظر في تردد الوصلة الصاعدة للإشارة المجهولة واستقطابها، بالإضافة إلى تغطية حزمة هوائي الوصلة الصاعدة الأولية للساتل، يمكن تحديد الساتل المجاور أو السواتل المجاورة المرشحة. أما معايير انتقاء الساتل المجاور فهي كما يلي:

- أن تكون تغطية تردد الوصلة الصاعدة مثل تغطية الساتل الأولي؛
- أن يكون استقطاب الوصلة الصاعدة مثل استقطاب الساتل الأولي؛
- أن تكون تغطية حزمة الوصلة الصاعدة مثل تغطية الساتل الأولي؛
- مباعدة زاويّة من الساتل الأولي بمحاذاة القوس المستقر بالنسبة إلى الأرض؛
- عدم استعمال المرسل - المستجيب للمعالجة على متن الساتل (OBP).

ويأتي ترتيب معايير الانتقاء الأولية المدرجة أعلاه وفق أهميتها النسبية تقريباً. ويعد أول معيارين، تردد الوصلة الصاعدة واستقطابها إضافة إلى تغطية حزمة الوصلة الهابطة، شروطاً مسبقة مطلقة لنجاح القياسات.

وحالما يحدد المشغل واحداً أو أكثر من السواتل المجاورة المرشحة استناداً إلى المعايير المذكورة أعلاه، يمكن استعمال معايير ثانوية للمساعدة على إجراء الانتقاء النهائي.

وتشمل المعايير الثانوية:

- تيسر إشارات مرجعية وافية لزوج السواتل الأولى/المجاور؛

- جودة البيانات التقويمية الفلكية المتاحة للساتل المجاور؛
- وجود/غياب إشارات في مرسل–مستجيب الساتل المجاور تقابل تردد الإشارة المتداخلة.

وينبغي، عند القيام بالاختيار النهائي للساتل المجاور، أن يكون ماثلاً في ذهن المشغّل أن الحل الهندسي الأمثل يتأتى من السواتل ذات البيانات التقويمية الفلكية الراهنة جيدة النوعية، ومن الانتقاء الوافي للإشارات المرجعية لزوج السواتل المزمع استعماله.

ويمكن أن تظهر الإشارات المرجعية إما في الساتل الأولي أو المجاور. فإذا أتيحت إشارات مرجعية وافية في الساتل الأولي، فلا داع لأن يتحكم هذا المعيار في انتقاء الساتل المجاور. كما يمكن استعمال مرسلات مرجعية مكرّسة، ثابتة أو قابلة للنقل، لتحسين نتائج تحديد الموقع الجغرافي.

وهناك عامل آخر يمكن أن يؤثر في انتقاء الساتل المجاور وهو توجيه خطوط فرق تردد الوصول (FDOA) لزوج السواتل المختار وقت القياس. وخلافاً لخطوط فرق وقت الوصول (TDOA)، يمكن لتوجيه خطوط FDOA لزوج معيّن من السواتل أن يختلف كثيراً خلال دور مداري واحد (يوم واحد).

ويتمثل الخيار الأفضل في العثور على ساتل مجاور مع عدم وجود إشارات في محيط الإشارة المتداخلة والإشارات المرجعية. ولرصد أنشطة المرسل–المستجيب الفعلية، يوصى بتسجيل مرسل مستجيب الساتل المجاور باستعمال وحدة مسجلة الطيف الترددي.

وإذا أجريت القياسات عندما تكون خطوط FDOA موازية تقريباً لخطوط TDOA، ستكون المساحة الناتجة متطاولة للغاية بمحاذاة خطوط الفرق TDOA الثابت. وفي هذه الظروف، ينبغي للمشغل أن ينظر إما في اختيار ساتل مجاور مختلف أو في جدولة قياسات إضافية في وقت يكون فيه توجيه خط FDOA أفضل.

3.4.5.1.5 الإشارات المرجعية

الإشارة المرجعية المثالية إشارة عريضة النطاق كل الوقت تقيم وصلة صاعدة من موقع جغرافي معروف بدقة، وتنتج ارتباطاً متبادلا قوياً بين الساتلين قيد الاستعمال. ويمكن الحصول على هذا الموقع الدقيق من قاعدة بيانات المحطات الأرضية، ولكن يفضَّل إعادة التأكد باستعمال مستقبل محمول للنظام العالمي لتحديد الموقع (GPS). وفي الحالات التي تكثر فيها الإشارات المرجعية، ينبغي للمشغّل أن يحاول استعمال الإشارات المرجعية:

- التي تقيم وصلة صاعدة من هوائي صغير نسبياً؛
- حسنة التوزيع جغرافياً؛
- ذات التشكيل المناسب؛
- ذات التردد الوارد من الأقسام غير المستعملة في مرسل - مستجيب السواتل المجاورة.

4.4.5.1.5 بيانات التقويم الفلكي

تؤثر جودة بيانات التقويم الفلكي للساتل الأولي والمجاور على السواء بشكل مباشر في جودة النتيجة. ويمكن إزالة الخطأ في بيانات التقويم الفلكي إلى حد كبير في معظم الحالات باستعمال إشارتين مرجعيتين أو أكثر (للاطلاع على معلومات مفصّلة، انظر الفقرة 2.7.2.1.5). فإذا كانت بيانات التقويم الفلكي رديئة على وجه الخصوص، كحالها في أعقاب مناورات مدارية مباشرة أو عندما تسبق حقبة بيانات التقويم الفلكي تاريخ القياسات بعدة أيام، فيمكن أن تنتج مظاهر عدم يقين كبيرة في تحديد الموقع تصل إلى عدة مئات من الكيلومترات. وفي هذه الحالة، ينبغي أن يسعى المشغّل جاهداً إما للحصول على بيانات تقويم فلكي أفضل أو لاستعمال ساتل مجاور بديل.

ويمكن لمشغّل نظام تحديد الموقع الجغرافي أن يحصل على بيانات التقويم الفلكي على النحو التالي:

- بأن يطلب بيانات من مشغّل ساتلي أو مشغلين ساتليين؛
- بأن يتزل البيانات المنشورة من مواقع الويب.

ثم يتحقق من بيانات التقويم الفلكي بقياس الموقع الجغرافي لمحطة معروفة (مرجعية مثلاً). فإذا لم تكن جودة النتيجة كافية، يمكن تطبيق تعويض عن خطأ التقويم الفلكي. ويمثل ذلك أحد احتمالات تعويض أخطاء التقويم الفلكي للساتل.

ويمكن تنفيذ قياسات تحديد الموقع الجغرافي بثلاث محطات مرجعية أو أكثر. ويصحح التعويض عن الخطأ بيانات التقويم الفلكي بحساب معكوس لقياسات تحديد الموقع الجغرافي.

5.4.5.1.5 إنشاء مرسلات مرجعية تكميلية مكرّسة

قد يجد مشغّل نظام تحديد الموقع الجغرافي أن عدد الإشارات المرجعية وتوزيعها الجغرافي غير كافيين لتقديم نتائج صحيحة في بعض الظروف. ففي بعض السواتل يكون معظم المستعملين موجودين في مدينة كبرى أو اثنتين، مما يحد بشكل جم من عدد الإشارات المرجعية المتاحة لتحديد الموقع الجغرافي. لذلك، لا بد للإدارات من أن تنشئ عدداً من المرسلات المرجعية التكميلية المكرّسة بحيث توفر للمشغل المزيد من الخيارات بالنسبة إلى الإشارات المرجعية. وينبغي لهذه المرسلات أن:

- تلبي المتطلبات التقنية للمشغلين الساتليين؛
- تستطيع التسديد إلى أي من سواتل GSO المرئية عبر القوس المستقرة بالنسبة إلى الأرض؛
- تكون حسنة التوزيع جغرافياً؛
- تكون أحجام هوائياتها صغيرة نسبياً؛
- تستعمل نمط تشكيل مناسب أو أكثر.

ويستحسن أن تتعاون الإدارات في إنشاء مرسلات مرجعية تكميلية مكرّسة في مواقع مختلفة وأن تستعملها كمرجع عند الضرورة.

ويتطلب الأمر الحصول على موافقة مسبقة للمشغل الساتلي قبل استعمال مرسلات مرجعية تكميلية مكرّسة للإرسال باتجاه ساتل معيّن. كما قد يتعين إجراء اختبارات تقنية معيّنة قبل الإرسال.

6.4.5.1.5 المرسل المرجعي القابل للنقل

من الصعوبة بمكان، عموماً، أن نجد مرسلاً يقيم وصلة صاعدة مع ساتل GSO، لا سيما في المناطق الحضرية. وتعود هذه الصعوبات إلى عاملين رئيسيين، اعتراض الأبنية لمسار الموجات الراديوية، والآخر هو الاتجاهية العالية المعتداة للهوائيات وهو ما يسفر عن فصوص جانبية ضعيفة جداً في الاتجاه الأرضي. لذا، قد يكون من المفيد استعمال قياسات TDOA وFDOA بمساعدة من المرسلات القابلة للنقل للمساعدة في التحديد الدقيق لموقع المرسل المسؤول عن التداخل الضار.

وكما ذُكر في الفقرة السابقة، لا بد من الحصول على موافقة مسبقة من مشغل الساتل قبل الإرسال باتجاه ساتل معيّن. كما قد يتطلب الأمر القيام باختبارات تقنية معينة قبل الإرسال.

ونظرياً، بالنسبة لزوج معيّن من السواتل، تنتج محطتان أرضيتان ترسلان بترددين مختلفين نفس قيم TDOA وقيمتي FDOA بفارق ضئيل جداً بينهما. وكلما اقترب المرسل المرجعي من مصدر التداخل المجهول، كلما تحسنت دقة خوارزمية التحديد الجغرافي للموقع.

وقبل استعمال المرسل المرجعي القابل للنقل، ينبغي للمشغّل أن يستفيد تماماً من جميع المرسلات المرجعية الثابتة للإقلال إلى أدنى حد من أخطاء النتائج وحجم المنطقة الناتجة. ثم ينبغي الحصول على موافقة مسبقة من مشغل الساتل على الإرسال، مع أخذ المعلمات التقنية للإرسال في الاعتبار. وأخيراً ينبغي تطبيق الخطوتين التاليتين:

الخطوة 1: تحريك المرسل المرجعي القابل للنقل إلى مركز المنطقة الناتجة، وإرسال الإشارة المرجعية التي وافق عليها مشغل الساتل. ثم ينبغي تبليغ مشغّل نظام التحديد الجغرافي للموقع لكي يقوم بإجراء قياسات التحديد الجغرافي للموقع. وينبغي تبليغه أيضاً بالموقع الدقيق للمركبة.

الخطوة 2: تغل قياسات التحديد الجغرافي للموقع نتيجة جديدة باستعمال المرسل المرجعي القابل للنقل.

وسيتم تهذيب النتيجة بعد الخطوة 2، بل ويمكن تكرار هاتين الخطوتين للحصول على نتيجة أفضل.

وينبغي لمشغل المرسل المرجعي القابل للنقل أن يبقى على اتصال وثيق مع مشغّل نظام التحديد الجغرافي للموقع. وفي الواقع العملي، يتأثر انتقاء المسير والإرسال بعوامل أخرى عديدة مثل لوائح الحركة، وينبغي للمشغل أن يحيط علما بهذه العوامل.

6.1.5 حلول تقنية بالأمثلة

1.6.1.5 مثال لمحطة مراقبة راديوية فضائية

تصف هذه الفقرة الفرعية أهم أجزاء محطة مراقبة راديوية فضائية. وهي تتألف من حيث المبدأ من أربعة أجزاء تقنية رئيسية:

الجزء 1: نظام الهوائي (انظر الفقرة 1.1.6.1.5)

هوائي واحد أو هوائيات مختلفة لتغطية جميع الاتصالات والنطاقات الترددية الراديوية الفضائية محل الاهتمام (هوائيات اتجاهية وشاملة الاتجاهات).

الجزء 2: مرافق الاستقبال (انظر الفقرة 2.1.6.1.5)

أنظمة تغذية، وحدة استقطاب، محولات خافضة، أنظمة معايرة، مصدر تردد مرجعي.

الجزء 3: تجهيزات المراقبة (انظر الفقرة 3.1.6.1.5)

تشكل أنظمة القياس الأوتوماتية واليدوية معاً والمرافق التحليلية مثل محللات الإشارة، والمستقبلات، وأنظمة تسجيل الطيف الترددي، ومحللات التشكيل جزءاً من تجهيزات المراقبة.

الجزء 4: مرافق التحكم (انظر الفقرة 4.1.6.1.5)

تشمل وحدات التحكم عتاداً وبرمجيات للتحكم في تحديد موضع الهوائي، وتضبيطات نظام الاستقبال وتضبيطات تجهيزات المراقبة لتسهيل إجراءات القياس الأوتوماتي.

اعتبارات عامة

موقع محطة المراقبة:

ينبغي أن تكون محطة المراقبة أبعد ما يمكن عن المناطق الحضرية والصناعية ذات الضوضاء الاصطناعية والهواتف الخلوية والشبكات المحلية الراديوية (RLAN). وينبغي ألا تمر الوصلات الثابتة عبر موقع المحطة. وينبغي إعلان حَرَم حول المحطة يبقى خالياً من المرسلات الأرضية والوصلات الثابتة.

وينبغي أن يكون المنظر العام حول محطة المراقبة مستوياً دون عوائق تعترض خط البصر كالتلال والأبنية.

تشكيلة الموقع:

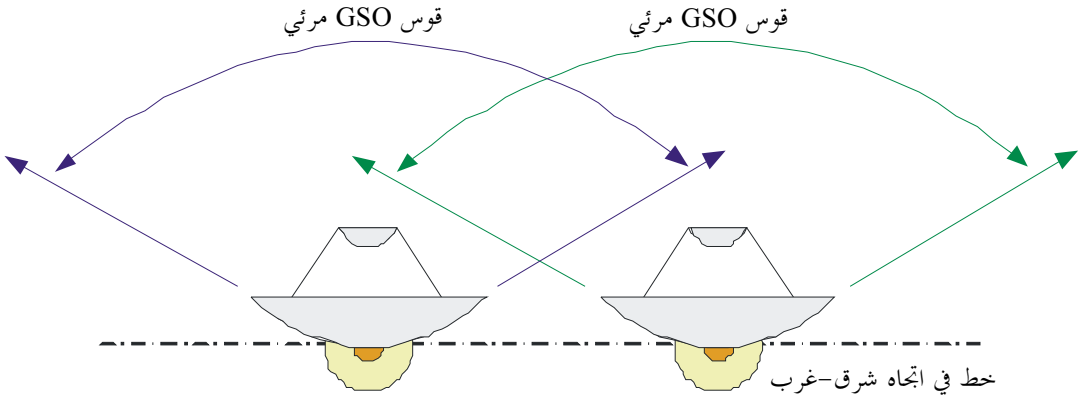
يعتمد موقع الهوائيات والأبنية بشكل رئيسي على هدف المراقبة (ساتل GSO أم ساتل في مدار غير مستقر بالنسبة إلى الأرض) وعلى الجزء الذي يسترعي الاهتمام من المدار المستقر بالنسبة للأرض. وينبغي أن يُراعى إمكانية إجراء توسعات مستقبلية.

وفي حال توفر الشروط المستوية والمفتوحة بالنسبة للمنطقة، يمكن ترتيب الهوائيات في خط، خط شرق–غرب مثلاً.

ويتعين في المسافة بين الهوائيات الموجهة صوب سواتل GSO فقط أن تكون الزاوية المرئية من القوس المستقرة بالنسبة للأرض خالية من العوائق (انظر الشكل 1.5-9).

الشكل 1.5-9

تباعد هوائيات مراقبة ساتل GSO

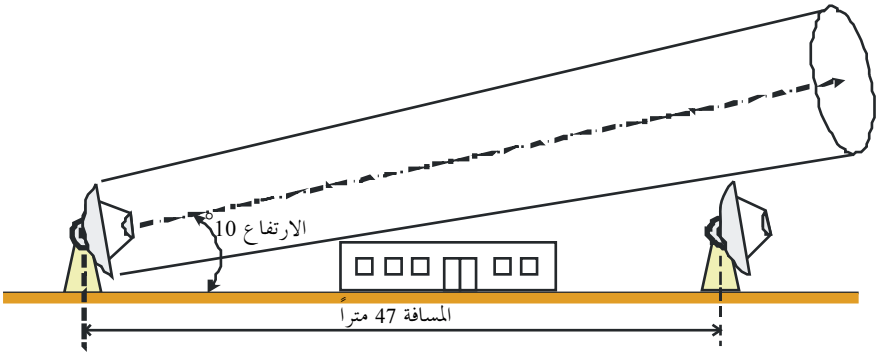


Spectrum-5.1-09

وللاستقبال من سواتل في مدارات غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض دون إعاقة، يجب أن تكون المنطقة المحيطة بالهوائي خالية من العوائق (هوائيات، أبنية) في جميع الاتجاهات، على الأقل حتى أدنى ارتفاع مطلوب (انظر الشكل 1.5-10).

الشكل 1.5-10

ارتفاع هوائيات مراقبة ساتل في مدار غير مستقر بالنسبة إلى الأرض



Spectrum-5.1-10

ويبيّن الجدول 1.5-6 المسافة المثالية الفاصلة بين هوائيين (قطر كل منهما 9 أمتار) للحصول على خط بصر بدون عوائق إلى السواتل. وزاوية الارتفاع هي أدنى زاوية يتسنى منها رؤية الساتل دون إعاقة.

ولتحديد العدد الأمثل للهوائيات اللازمة دون تدهور كبير في أدائها، يفضَّل استعمال توليفة من النطاقات الترددية المستقبِلة. ويحتاج نظام قياس الموقع الجغرافي إلى هوائيين يغطيان معاً النطاق الترددي المرغوب.

فمثلاً توفر توليفة من ثلاثة هوائيات (واحد C/Ku والثاني L/S والثالث Ka 1) إمكانية استقبال تطبيقات مثل شبكات إذاعية وإشارات تحكم واختبار للشبكات وللساتل على نحو اختياري. ومن الممكن أيضاً دمج 4 أو 5 نطاقات ترددية في هوائي واحد فقط. ويمكن تحقيق ذلك باستعمال هوائي كاسغران بنظام الدليل الموجي للحزمة ومقصورتين أو باستعمال نظام تغذية دوار.

أما عيب الهوائي متعدد النطاقات الترددية كهذا فهو عدم إمكانية استعمال أكثر من نطاق ترددي واحد في نفس الوقت.

الجدول 1.5-6

المسافة بين هوائيين (لهما نفس الأبعاد) للحصول على خط بصر إلى السواتل بدون عوائق

الارتفاع (بالدرجات)	المسافة (بالأمتار)
5	99
10	47
15	30
20	22
25	18
30	16

1.1.6.1.5 نظام الهوائي

أنماط الهوائيات

- هوائي الحركة المحدودة
- هوائي الرأس الدوار بمدى تحرك سمتي مستمر > 180°
- هوائي حركة كاملة بمحور ارتفاع فوق المحور السمتي
- هوائي حركة كاملة بمحور ارتفاع فوق المحور السمتي فوق محور الإمالة
- هوائي حركة كاملة بمحور مائل فوق السمت فوق محور الإمالة
- هوائي حركة كاملة بحامل في المستوى X-Y
- سداسي الأرجل.

تحتاج مراقبة سواتل GSO والسواتل الموجودة في مدار غير مستقر بالنسبة إلى الأرض إلى أنماط مختلفة من الهوائيات.

ويرد أدناه وصف لأنماط الهوائيات الأكثر استعمالاً.

هوائيات مراقبة ساتل GSO

عند مراقبة سواتل GSO، يمكن استعمال هوائيات بطيئة السرعة في السمت والارتفاع.

أنظمة التتبع القابلة للاستعمال:

- تتبع حاسوبي ذو عنصري خط (TLE)
- تتبع تدريجي
- تتبع أحادي النبضة.

هوائيات مراقبة ساتل في مدار غير مستقر بالنسبة إلى الأرض

يجب استعمال هوائيات كاملة الحركة بسرعة أكبر وبنظام تتبع.

والسرعة والتسارع المطلوبان يختلفان تبعاً لنمط قاعدة الهوائي (ارتفاع فوق السمت أو بحامل في المستوى X-Y).

أنظمة التتبع القابلة للاستعمال:

- تتبع حاسوبي ذو عناصرة مزدوجة الخط (TLE).
- تتبع أحادي النبضة.

هوائيات بمحور ارتفاع فوق المحور السمتي

يمكن استعمال هذا النمط من الهوائيات لكل أنماط السواتل التي تصل مداراتها حتى 85° ارتفاعاً. ولهذا النمط من الهوائيات ثقب مفتاح في سمته، وهو يوفر خيارات مختلفة لتركيب تجهيزات الاستقبال، ومثال ذلك تركيب مقصورة في الصحن المكافئي مباشرةً.

ويحتاج تتبع مدارات ساتلية تصل حتى 85° ارتفاعاً بهذا النمط من الهوائيات إلى سرعة سمتية تقارب 15°/ثانية حسب ارتفاع الساتل.

وهناك خطر فقدان الاتصال مع الساتل إذا لم تكن السرعة السمتية كافية، لا سيما بالنسبة إلى سواتل تدور في مدار منخفض بزوايا ارتفاع عالية.

ويبيّن المخطط في الشكل 13-1.5 العلاقة بين مدار الساتل والسرعة السمتية وزاوية الارتفاع.

وللتمكن من خفض السرعة السمتية، يمكن استعمال هوائيات مزودة بما يدعى بمحور الإمالة. فأنظمة محور الإمالة تزيح قاعدة الهوائي بأكملها بصورة مائلة.

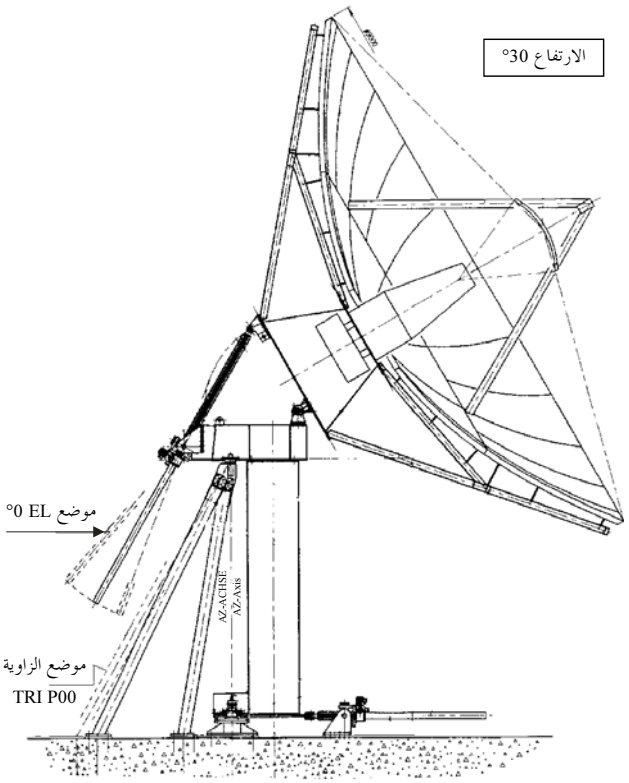
ومن شأن ذلك أن يمكّن من تتبع الساتل دون انقطاع حتى بسرعة سمتية منخفضة.

ويجب أن يكون مدار الساتل معروفاً تماماً (مثلاً، العناصر مزدوجة الخط) ليتسنى الحساب المسبق لزاوية الإمالة. ويتعذر استعمال الإمالة ببيانات مدار مجهولة.

ويمكن مثلاً تتبع هذه السواتل بواسطة التتبع أحادي النبضة.

الشكل 1.5-11

هوائي بقطر تسعة أمتار محدود الحركة بقاعدة رئيسية وروافع لولبية مزودة بمحرك في السمت والارتفاع

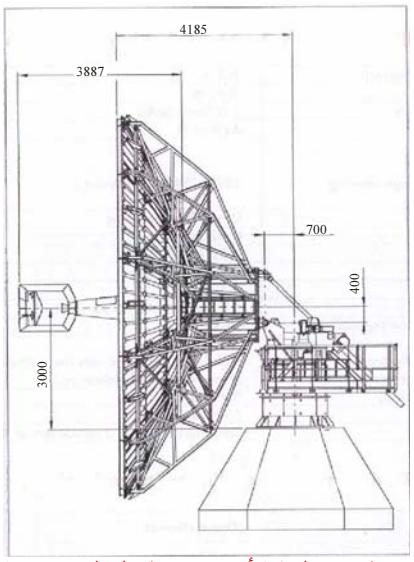


Spectrum-5.1-11

الشكل 1.5-12

مثال للهوائي ذي الرأس الدوار بقطر 9,3 أمتار



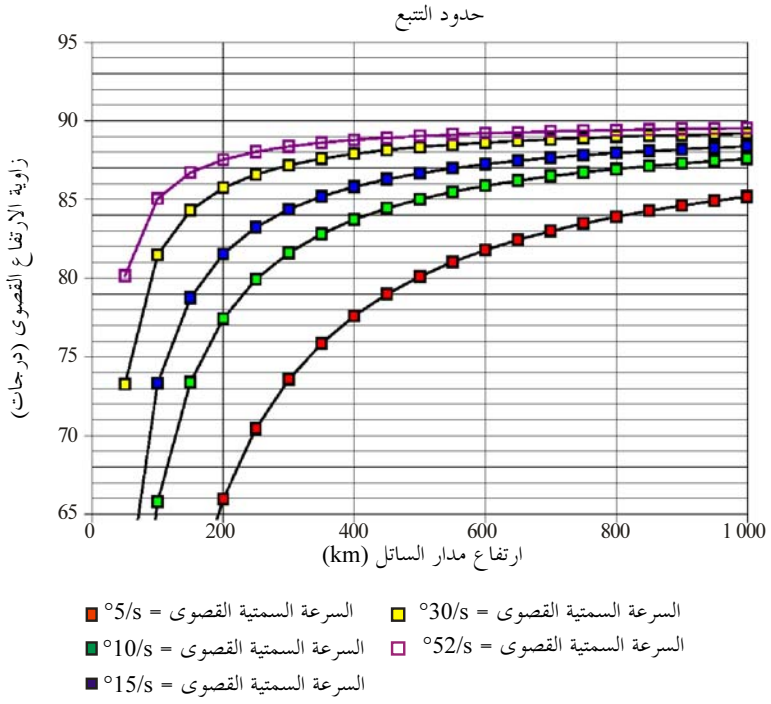


نسخة لهوائي بقطر 9,3 أمتار يوضع على السطح (ارتفاع 0°)

Spectrum-5.1-12

الشكل 1.5-13

العلاقة بين مدار الساتل وزاوية الارتفاع والسرعة السمتية لهوائي من النمط ذي محور الارتفاع فوق المحور السمتي



Spectrum-5.1-13

الشكل 1.5-14

هوائي كاسغران بنظام دليل موجي للحزمة قطره اثنا عشر متراً بقاعدة ترتفع فوق السمت وبمقصورتين لوحدات الاستقبال في الجانب الخلفي من الطبق



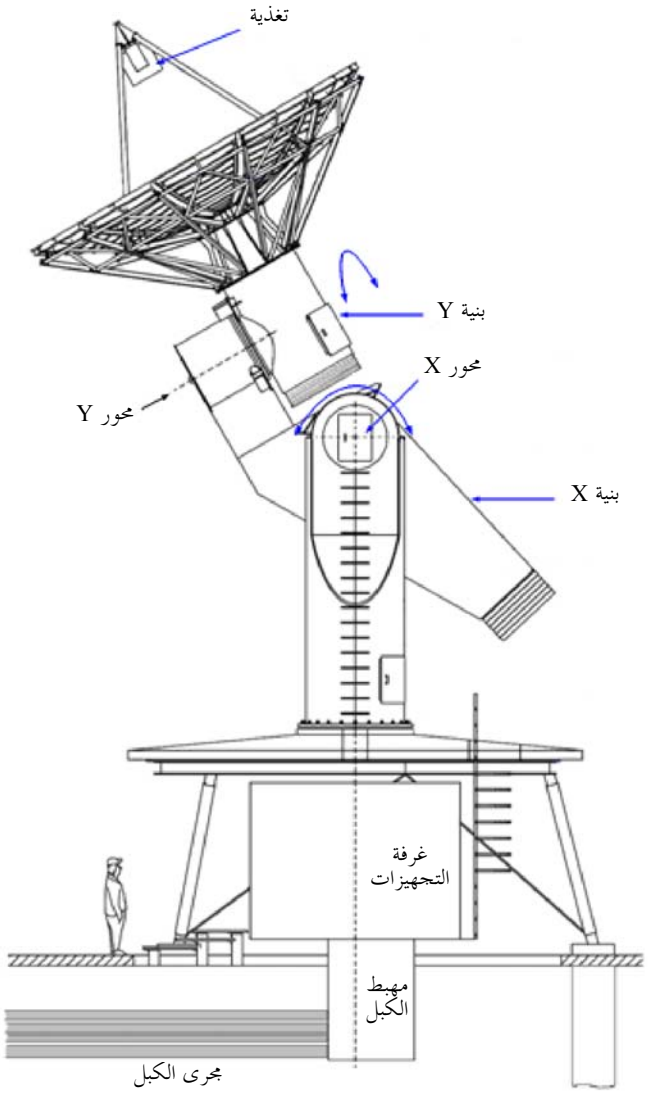
Spectrum-5.1-14

هوائي بحامل من المستوى X-Y

يمتاز هذا النمط من الهوائيات بقدرته على تتبع أي نمط من المدارات دون وجود فجوات صغيرة في السمت. ولا يحتاج بناء المحور الخاص إلا لسرعة وتسارع منخفضين (≤ 3°/ثانية). ويكمن عيبه في أن الجانب الخلفي للهوائي لا يوفر إلا مكاناً محدوداً لتجهيزات الاستقبال.

الشكل 15-1.5

هوائي بتركيز أولي في المستوى X-Y قطره سبعة أمتار



Spectrum-5.1-15

مواصفات الهوائيات

يقدم الجدول 7-1.5 مواصفات تقنية لهوائيات المراقبة الساتلية العملية. ولأن المتطلبات تتوقف على المحطة، ينبغي اعتبار الأرقام الواردة في الجدول مواصفات نمطية بالحد الأدنى. غير أن المعلمات الفعلية ينبغي أن تُحدد حسب متطلبات القياس المحددة.

الجدول 1.5-7

مواصفات تقنية لهوائيات المراقبة الساتلية العملية

المعلمة		الأداء		
		نطاق L/S/C	نطاق Ku	نطاق Ka
المدى الترددي		نطاق L: 1 452 1 492 1 و1 530-1 800 MHz نطاق S: 2 100-2 300 MHz 2 500-2 690 MHz نطاق C: 4 200-3 400 4 و4 500-4 800 MHz	12,75-10,70 GHz	21,20-17,30 GHz
المستوى الأقصى للإشارة عند دخل المكبر منخفض الضوضاء (LNA) (dBm)		≥ –30	≥ –30	≥ –30
أداء قياس pfd (*C/N*) 23 dB على الأقل)		–155 dBW/m^2 في عرض نطاق 4 kHz	–165 dBW/m^2 في عرض نطاق 4 kHz	–160 dBW/m^2 في عرض نطاق 4 kHz
دقة قياس pfd (dB)		±1	±1	±1
رقم الجدارة (*G/T*) (dB/K)		L = 20 S = 23 C = 28	37	33
دقة التردد المرجعي		التقادم: جزء واحد من 10[10] يومياً، الحرارة: جزء واحد من 10[9]، إجمالي التغيّر 0° إلى 50°.		
الاستقطاب		X، Y، دائري يساري (LHCP)، دائري يميني (RHCP)		
استبانة التردد (kHz)		1		
المدى الديناميي (dB)		≥ 60		
الهوائي	قطر الطبق (أمتار)	≥ 9 أمتار	≥ 9 أمتار	≥ 4,5 أمتار
	دقة التسديد (درجات)	0,15-0,04	0,02-0,017	0,025-0,02
	عرض الحزمة (درجات)	1,6-0,5	0,22-0,18	0,27-0,22
	سرعة التتبع التدرّجي لسواتل GSO (درجات)	2-0,02°/ثانية، قيادة يدوية وتتبع أوتوماتي (حسب خط الطول وخط العرض في موقع الهوائي)		
	التغطية لسواتل GSO (درجات)	EL: 0 إلى 90، AZ: ± 60		
	التغطية لسواتل في مدار غير مستقر بالنسبة إلى الأرض (درجات)	EL: 0 إلى 85، AZ: ± 270 (تغطية سمتية إجمالية 360)، خزن عند 90		

الملحوظة 1 – مدى الترددات في هذا الجدول وفي أقسام أخرى في الفقرة 5.1، مثل النطقات L وS وC، غير محددة في لوائح الراديو الخاصة بالاتحاد الدولي للاتصالات، وإنما تستخدم على نطاق واسع في مجتمع الاتصالات الساتلية. وقد يتم تحديد مدى هذه الترددات بشكل مختلف إلى حد طفيف تبعا للمصدر.

الملحوظة 2 – من أجل قياس البث خارج النطاق، يجب تكبير مدى الترددات التجارية المذكورة. ويتعين وقف البث القوي إلى الأرض باستخدام مرشحات.

2.1.6.1.5 مرافق الاستقبال

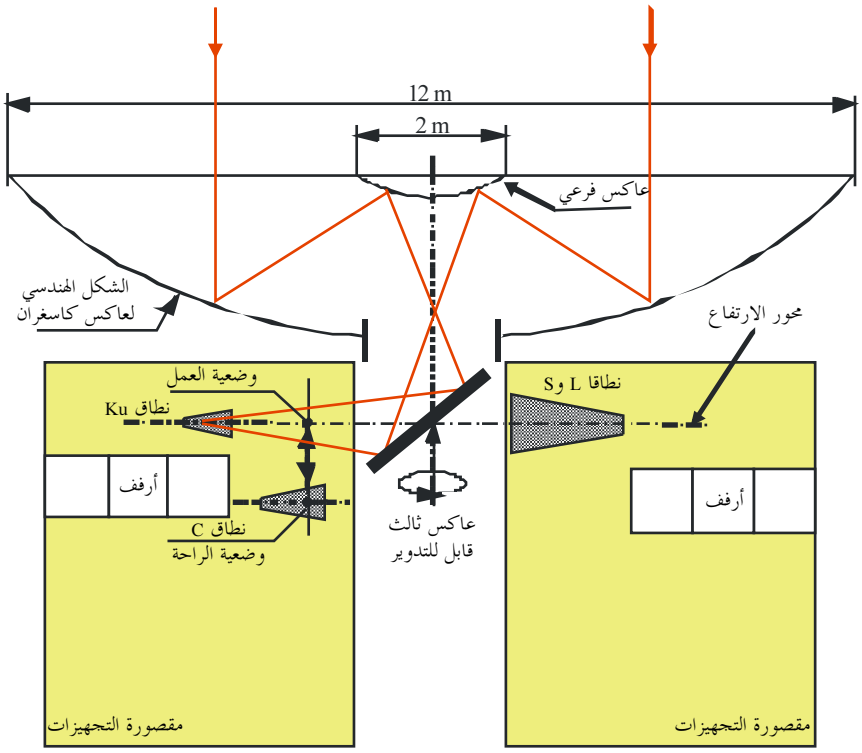
يمتاز نظام الدليل الموجي للحزمة بإمكانية توجيه الحزمة إلى مواقع مختلفة بخسارة إدخال قليلة.

ويمكن تجميع المغذيات في مقصورات التجهيزات مما يوفر حيزاً كافياً لتركيب التجهيزات وصيانتها ولتكييف الهواء.

وأنظمة التغذية لهوائيات المراقبة الساتلية فريدة من نوعها نسبياً نظراً لاستعمال هذه الهوائيات للاستقبال فقط ولكونها تغطي مدى ترددياً واسعاً بصفة عامة.

الشكل 1.5-16

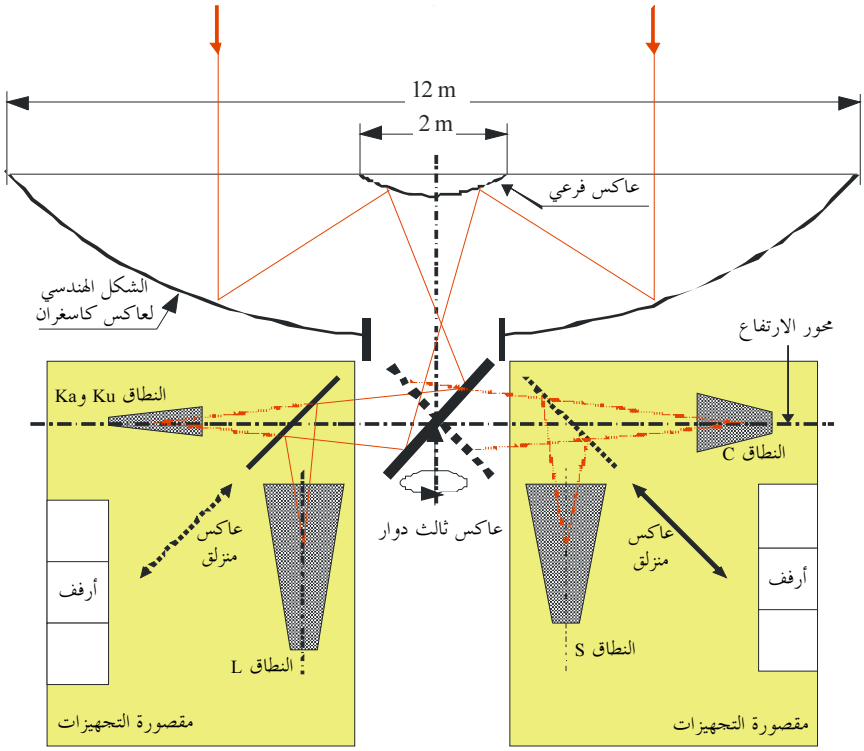
مثال: المغذيات المتباعدة مع مغذ قابل للحركة وتصميم لعاكس منتقى لثلاثة نطاقات ترددية ضمن هوائي بدليل موجي للحزمة بقطر 12 متراً



Spectrum-5.1-16

الشكل 1.5-17

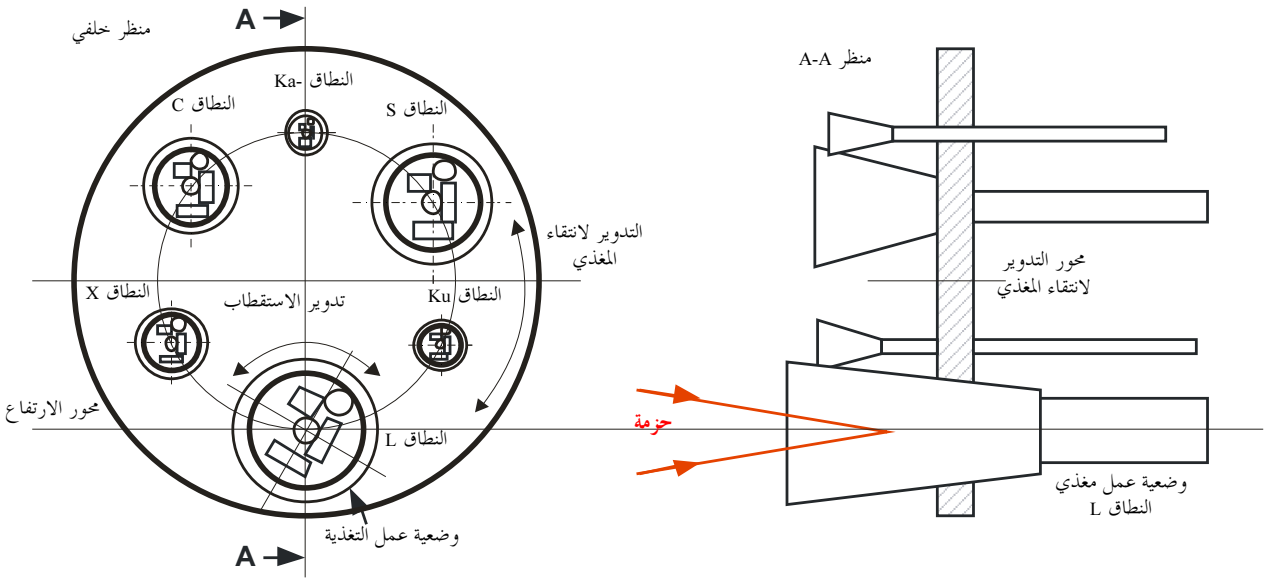
مثال: المغذيات الثابتة مع تصميم لعواكس منتقاة لخمسة نطاقات ترددية ضمن هوائي بقطر 12 متراً



Spectrum-5.1-17

الشكل 1.5-18

مثال: نظام متعدد التغذيات دوار بست مغذيات لهوائي بدليل موجي للحزمة



Spectrum-5.1-18

مثال: نظام متعدد التغذيات دوار بثمانية مغذيات لهوائي بتغذية في البؤرة الرئيسية

المدى الترددي: 1-26,5 GHz دون فجوات ترددية.

المغذيات من 1 إلى 6 (المدى الترددي 1-12,75 GHz) عبارة عن ثنائيات أقطاب متصالبة مع تصميم مجوّف.

المغذيان 7 و8 (المدى الترددي 12,5-26,5 GHz) عبارة عن هوائيان بوقيان.

أبعاد الصندوق خارج المباني: قرابة 700 mm × 700 mm × 500 mm [*عرض* × *عمق* × *ارتفاع*]

الشكل 1.5-19

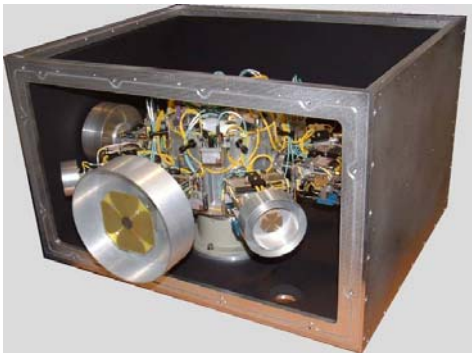
مغذيات متعددة مركّبة في البؤرة الرئيسية



Spectrum-5.1-19

الشكل 1.5-20

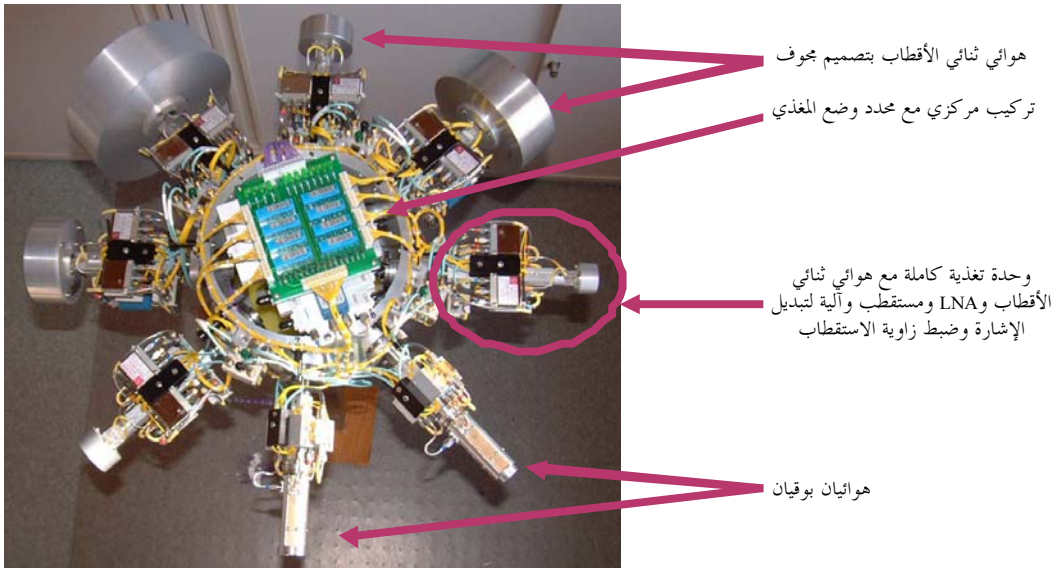
مغذيات متعددة في صندوق مفتوح للاستعمال خارج المباني



Spectrum-5.1-20

الشكل 1.5-21

مغذي دون صندوق الاستعمال خارج المباني مركّب حول محدد وضع للمغذي



Spectrum-5.1-21

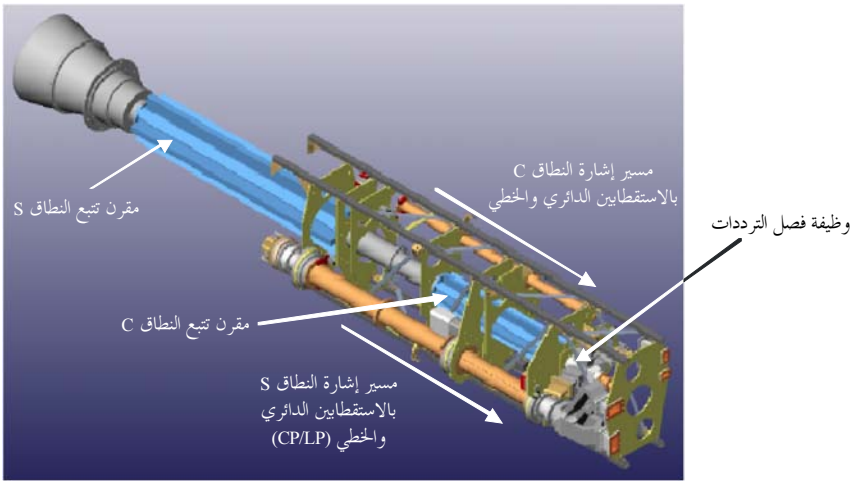
كل المغذيات مصممة بتقنية المحور المتحد للاستقطاب الخطي والدائري ولضبط زاوية الاستقطاب بمقدار ± 95°.

الشكل 22-1.5

مثال: توليفة من ثلاثة نطاقات ترددية ضمن هوائي قطره 12 متراً

نظام تغذية لتشكيلات هوائي كاسغران بقطر 11 متراً وأكبر. تبديل الاستقطاب الدائري/الاستقطاب الخطي (CP/LP)، ضبط مستقل للاستقطاب الخطي، وتتبع أحادي النبضة في كلا النطاقين.

النطاق – S : 2,7-2,1 GHz
النطاق – C: 4,8-3,4 GHz



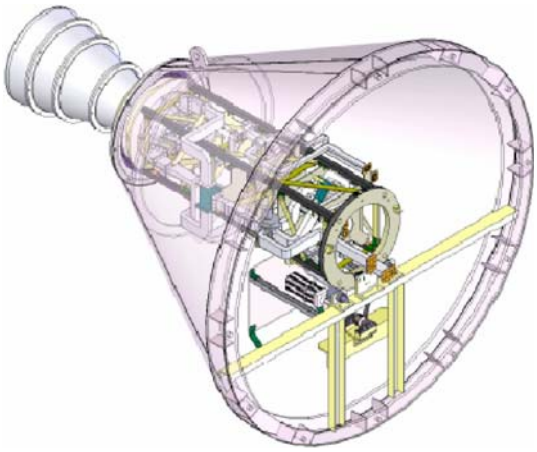
Spectrum-5.1-22

الشكل 23-1.5

مثال لمغذ لنطاقي تردد يفصل بينهما تباعد صغير

نظام تغذية لتشكيلات هوائي كاسغران بقطر 9 أمتار وأكبر.

نطاق C: 4,2-3,4 GHz، CP/LP
نطاق X: 8.4-7,25 GHz، CP
نطاق Ku: 12,75-10,9 GHz، CP/LP



Spectrum-5.1-23

تتألف تجهيزات الاستقبال من العناصر التالية المدرجة في الجدول 1.5-8:

الجدول 1.5-8

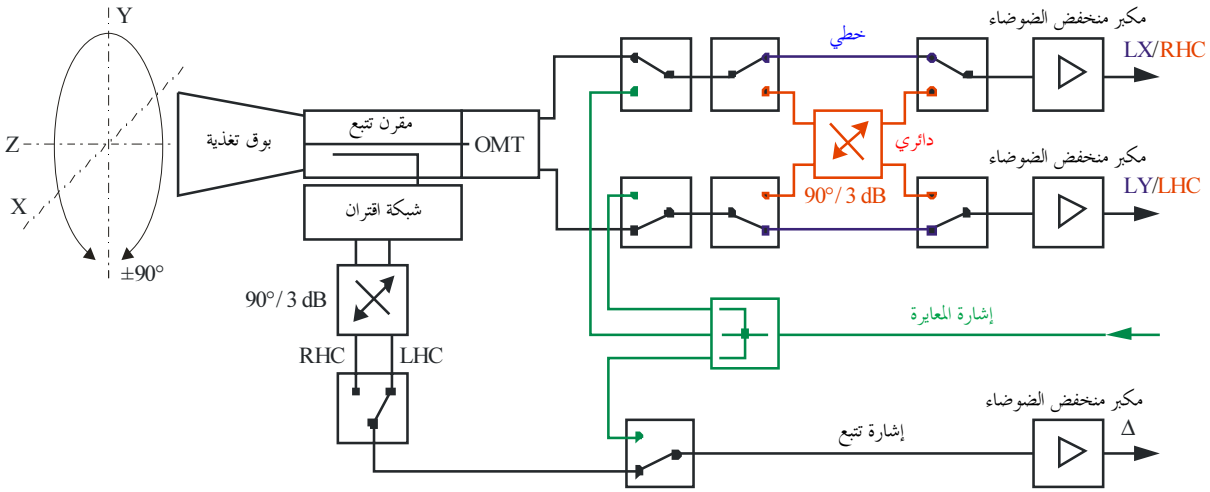
تجهيزات استقبال نظام الهوائي

المغذي	هوائي بوقي أو ثنائي أقطاب أو ثنائي أقطاب متصالب وشبكة اقتران
مقرن تتبع	الاقتران مختلف عن أسلوب TE21 للتتبع أحادي النبضة للهوائي
ضبط الاستقطاب	جهاز تدوير لضبط زاوية الاستقطاب
محول طاقة عمودي الأسلوب (OMT)	فصل مستويي الاستقطاب X وY في قناتين
مكبر منخفض الضوضاء (LNA)	مكبر أول بعامل ضوضاء أدنى ما يمكن
مستقطب	جمع قناتي X وY ضمن استقطاب بنمط RHC وLHC في حالة الاستقطاب الدائري
محول خافض	تحويل إشارة RF إلى IF عريضة النطاق و/أو IF ضيقة النطاق، مثلاً IF بنطاق عرضه 70 MHz
التبديل وما بعد التكبير	تبديل مسيرات الإشارة المختلفة وتكبير IF للإرسال إلى المبنى الرئيسي

ويمكن أن تكون هذه المكونات منفصلة مكانياً تبعاً لنمط الهوائي.

الشكل 1.5-24

مخطط الفدرة: مثال مخطط وظيفي لنظام تغذية بمقرن تتبع ومستقطب



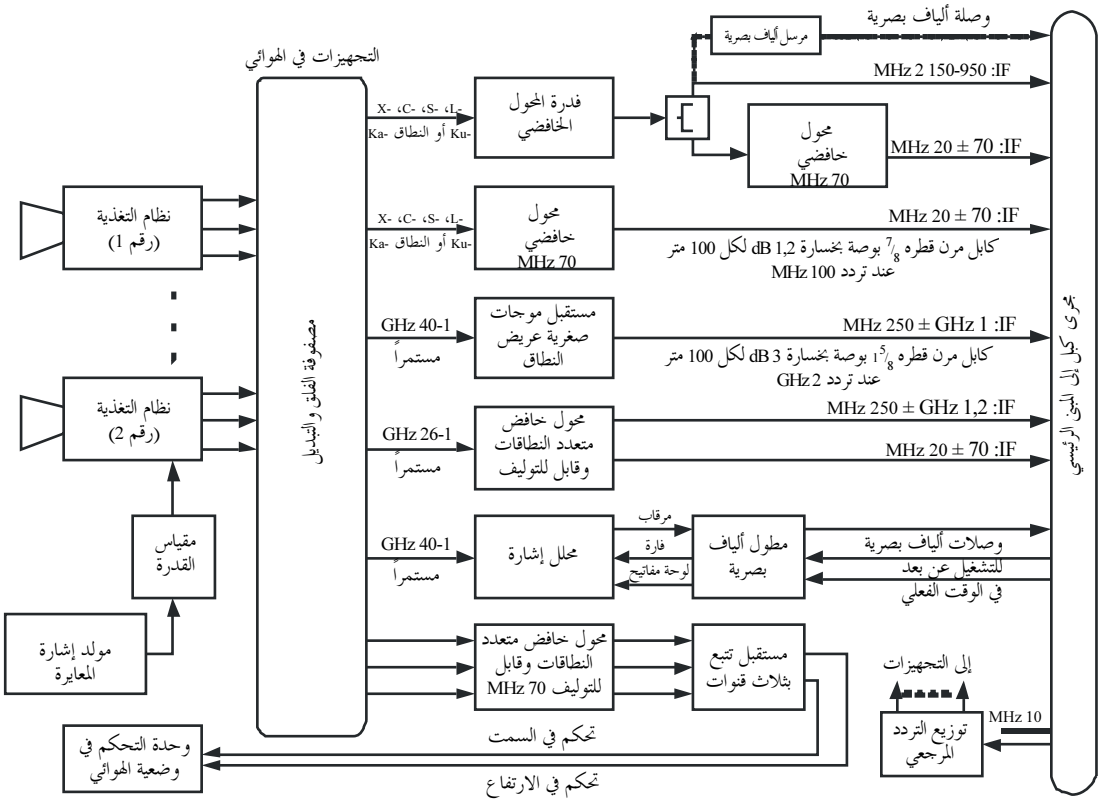
Spectrum-5.1-24

3.1.6.1.5 تجهيزات المراقبة

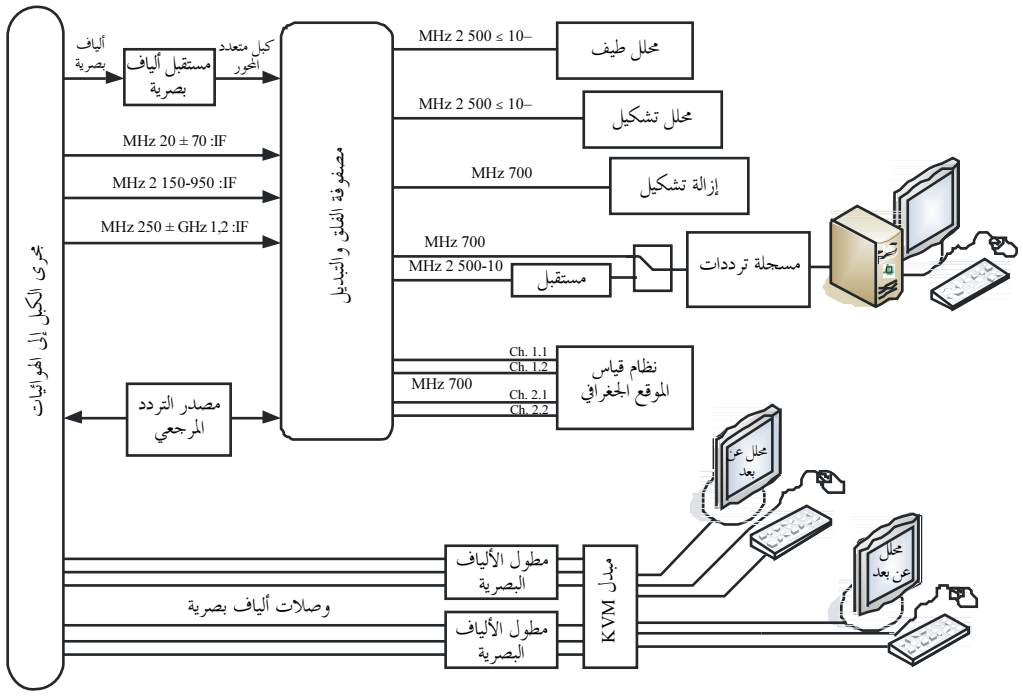
تظهر المخططات التالية في الشكل 1.5-25 أمثلة على تكامل تجهيزات المراقبة.

الشكل 25-1.5

تكامل تجهيزات المراقبة



التجهيزات في البناء الرئيسي



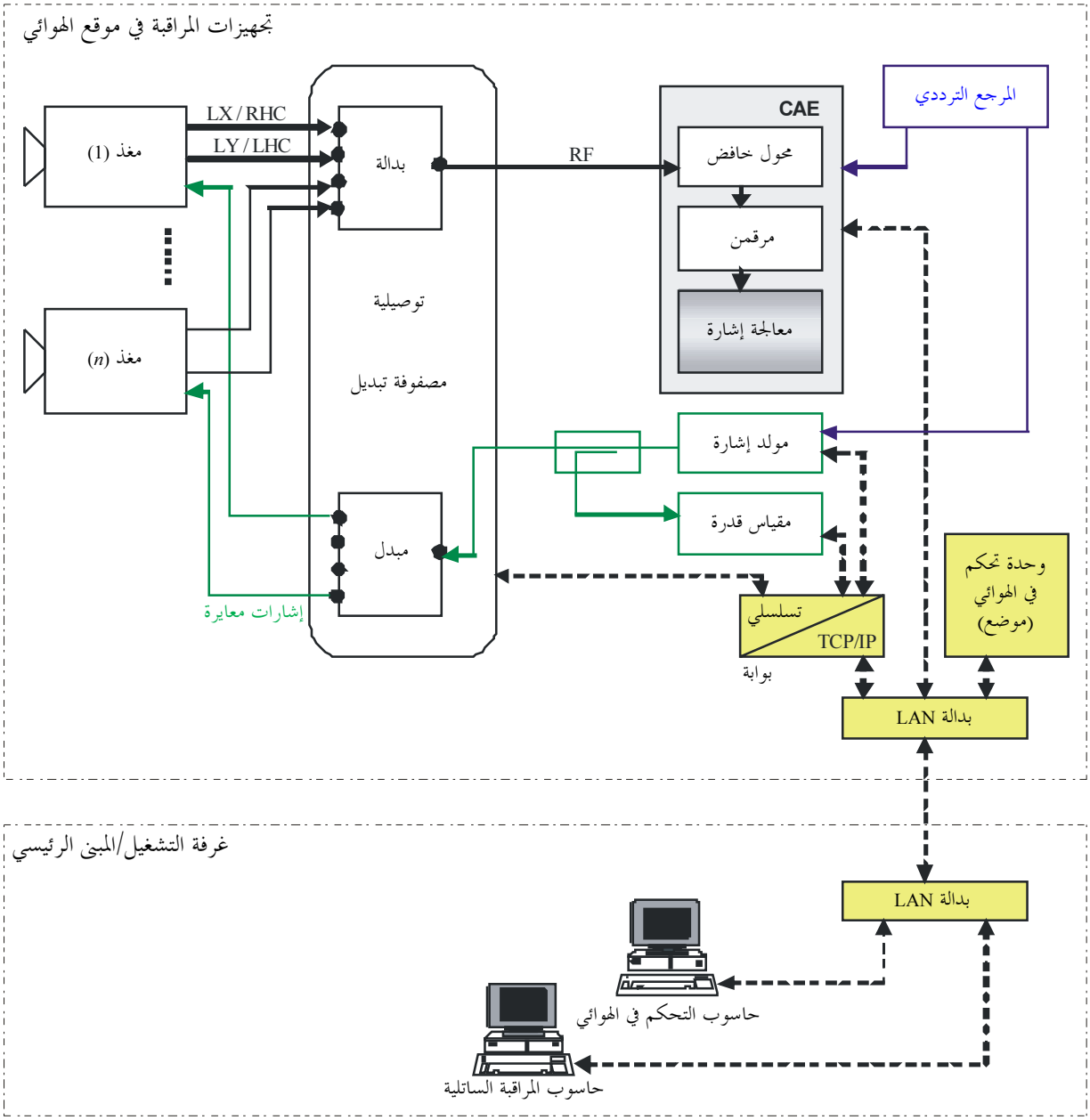
Spectrum-5.1-25

نظام المراقبة الساتلية المؤتمت

يبيّن الشكل 26-1.5 نظام مراقبة مؤتمت لحيازة الموجة الحاملة. وكما تظهر في الشكل معمارية عتاد تجهيزات حيازة الموجة الحاملة (CAE) للمراقبة الساتلية تستعمل نظام معايرة ونقاط حقن. ويتحكم مقياس القدرة في إشارة المعايرة الصادرة من مولّد الإشارة.

الشكل 26-1.5

مثال تجهيز مؤتمت للمراقبة الساتلية



Spectrum-5.1-26

تستطيع تجهيزات CAE أن:

- تحوز النطاقات الترددية الساتلية في النطاقات L وS وC وKu وKa.
- تكشف جميع الموجات الحاملة فوق ضوضاء الخلفية (6 إلى 10 dB عادةً فوق ضوضاء الخلفية).
- تحصل على معلمات RF لكل موجة حاملة.
- تعطي تصنيفاً كاملاً للموجة الحاملة، بما في ذلك جميع المعلمات الرقمية التي يستعملها المشكّل والمعيار المستعمل.

ويتعيّن أن تكون تجهيزات CAE قادرة على تحليل الموجات الحاملة وتصنيفها في عرض نطاق يصل حتى 80 MHz؛ وهذا يغطي معظم المرسلات - المستجيبات المدنية.

ومتى كانت حركة الساتل معروفة، تكشف تجهيزات CAE الموجات الحاملة غير المطلوب فيها وتحدد، على نحو اختياري، مواقع المرسلات باستعمال طرائق FDOA وTDOA.

وللمراقبة الساتلية المؤتمتة، ينبغي تنفيذ القياسات التالية:

- قياسات الترددات الراديوية (RF):
  - قدرة الموجة الحاملة على مستوى التجهيزات.
  - القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p) للموجة الحاملة على مستوى الساتل.
  - نسب الموجة الحاملة إلى ضوضاء الخلفية (C/N_0) في الموجة الحاملة.
  - تردد الموجة الحاملة بطرائق مركز الثقل، الاستعادة، شكل الموجة الحاملة، البحث عن الذروة.
  - عرض نطاق الموجة الحاملة: طريقة x dB، طريقة ß% من إجمالي القدرة، مشتق من حساب سرعة الرموز.
  - أدوات رصد الطيف الترددي وتحليله (واسمات، تكبير–تصغير، مخطط طيفي، وحدات انتقاء).
  - القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p) للمرسل–المستجيب على مستوى الساتل.
- القياسات الرقمية:
  - تحديد خصائص الموجة الحاملة.
  - نمط التشكيل.
  - معدل البتات (معدل الإرسال).
  - معدل التصحيح الأمامي للخطأ (FEC).
  - معدل ريد سولومون (Reed Solomon).
  - المعيار المستعمل.
  - مخطط إزالة تشكيل الموجة الحاملة.
- كشف الموجة الحاملة استناداً إلى كشف كثافة القدرة (6 إلى 10 dB عادةً فوق ضوضاء الخلفية):
  - تحديث لاحق لقاعدة البيانات.
  - كشف الموجة الحاملة المحددة داخلياً (يتعين أن تكون قدرة رفض الموجة الحاملة أفضل من 13 dB).
- رصدات الطيف الترددي والرصدات الافتراضية للطيف الترددي بتنشيط رقم الجدارة (G/T) للمستعمل النهائي.
- مخططات طيفية سريعة لرؤية الانسياقات السريعة للفواصل (ومثال ذلك النفاذ المتعدد بتقسيم زمني لترددات متعددة (MF TDMA)).
- معلمات مدارية (دقة الموضع المداري ±0,1° على الأقل).

– ينبغي استعمال المعايرة لتحديد كسب سلسلة الاستقبال.

وينبغي لنظام البرمجيات في حاسوب المراقبة الساتلية أن يجري القياسات التفاعلية والمؤتمتة على السواء.

وتتيح القياسات التفاعلية للمشغل الفرصة لأن يدرس الإشارات بسرعة. وتشمل القياسات التفاعلية رصد نطاقات ترددية متعددة في أنساق متعددة وإشارات التسليم لقياسات الموجة الحاملة، والتحكم في محلل الطيف، واختيارياً، التحكم في المستقبل والمسجلة والطابعة والراسمة.

وينبغي إطلاق القياسات المؤتمتة عند حدوث حدث ما (انظر الملاحظة 1) أو جدولتها زمنياً في الخلفية دون وجود مشغّل. ويتعيّن أن تتيح جدولة المهام تنسيق وجود الإشارة وقياسات الموجة الحاملة وقياسات شغل الطيف والقياسات الإحصائية.

الملاحظة 1 – يمكن، على سبيل المثال، البدء مباشرة بتسجيل إشارة هدف مؤتمت وإشارة مرجعية بعد كشف إشارة غير مرغوب فيها. ومن شأن ذلك أن يمهد السبيل لوحدة تحديد المواقع الجغرافية.

وتقدم صورة شاشة مراقبة تظهر معلومات الطيف الترددي والمخطط الطيفي المبينة في الشكل 1.5-27 مثالاً لذلك.

الشكل 1.5-27

مثال لصورة لشاشة مراقبة الطيف الترددي على حاسوب المراقبة الساتلية



Spectrum-5.1-27

4.1.6.1.5 مرافق التحكم

الأساليب التشغيلية لنظام التحكم في هوائي

يعتبر وجود نظام كفء للتحكم في الهوائيات فحسب ضروريا لتشغيل المراقبة الراديوية الفضائية. وينبغي أن يتيسر عدد وافر من مختلف الأساليب التشغيلية للسماح بالتسديد الكفء للهوائي باتجاه الكوكبات الساتلية الصعبة بالضبط.

وترد في الجدول 1.5-9 قائمة الوظائف الأكثر شيوعاً في التحكم في الهوائي.

الجدول 1.5-9

الأساليب التشغيلية لنظام التحكم في هوائي

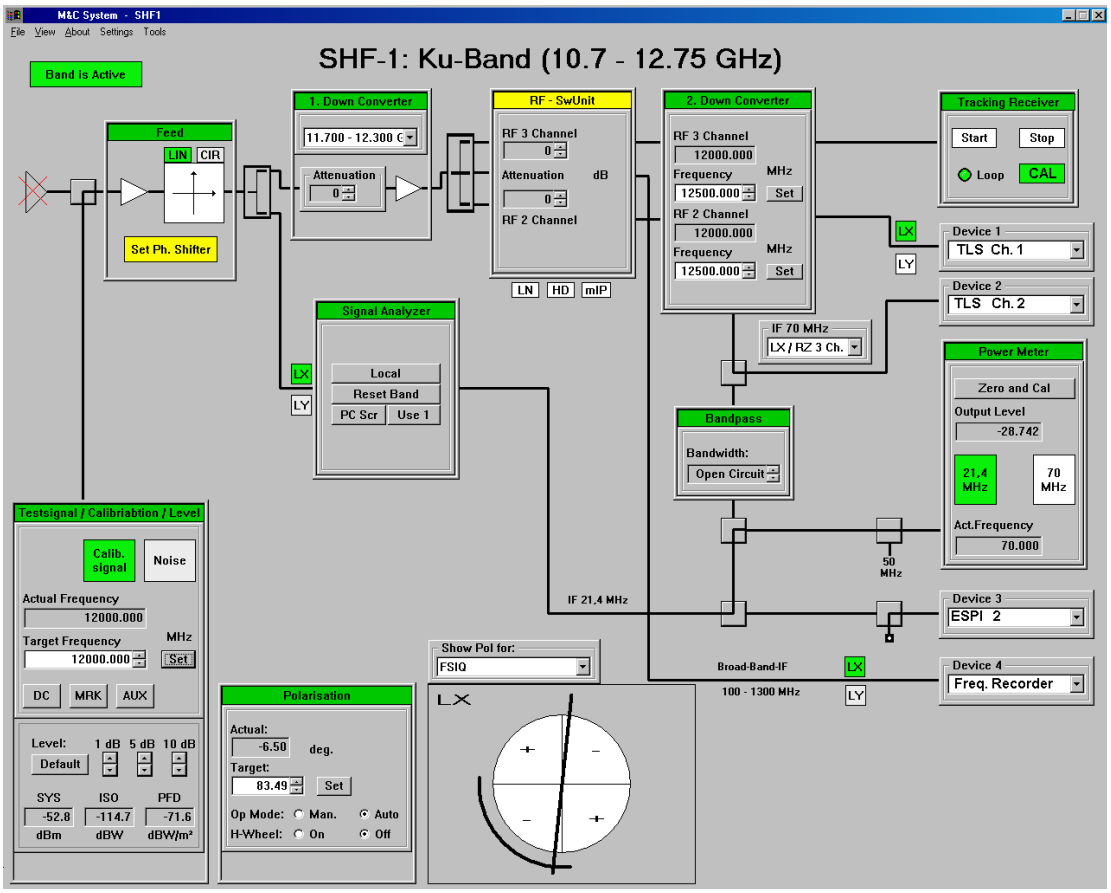
الأساليب	الوصف	ملاحظات
محدد سلفاً	تحريك إلى موضع محدد مسبقاً المدخل: قيم Az وEl	
مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض (GEO) المحدد سلفاً	تحريك إلى موضع محدد مسبقاً المدخل: موضع الساتل، مثلاً 19,2° شرقاً	اضبط الهوائي على موضع مدار GSO دون حساب المستعمل لقيم Az وEl
الموضع	التحريك بزاوية يحددها المستعمل حول موضع الهوائي الفعلي	للضبط اليدوي للهوائي، حرك الهوائي في Az وEl بأزرار الأربعة أسهم أو بمقابض
السرعة	تحريك بسرعة ثابتة يحددها المستعمل	لقياسات المعايرة والاختبار غالباً
تتبع مبرمج	تتبع غرض عبر مسير محدد مسبقاً بواسطة سجلات بيانات Az وEl وبيانات التوقيت	
تتبع TLE	تتبع غرض عبر مسير محدد مسبقاً بواسطة مجموعات بيانات TLE المدارية الواردة من NORAD	
تتبع نجمي	تتبع أهداف فلكية	خيار لقياسات المعايرة والاختبار
تتبع أوتوماتي	تتبع غرض باستعمال إشارات خطأ التتبع (تتبع أحادي النبضة)	يحتاج إلى مقرن تتبع أحادي النبضة في نظام التغذية ومستقبل تتبع أحادي النبضة
تتبع تدرّجي	تتبع غرض باستعمال مستقبل تتبع تدرّجي	يحتاج إلى مستقبل تتبع تدرّجي ولكن دون مكونات إضافية في نظام التغذية
تتبع بالتنبؤ بالمدار	تتبع تدرّجي ذكي	خيار لتحسين دقة تسديد التتبع التدرّجي
تتبع حسب الذاكرة	تتبع باستعمال آخر بيانات مخزنة عن موضع الساتل	
مسح قطاعي	يُمسح قطاع يحدده المستعمل أفقياً ورأسياً	مفيد في العثور على ساتل، مثلاً ساتل ذو ميل عال
لولب البحث	لولب نابض حول آخر موضع فعلي	مفيد في العثور على ساتل، مثلاً ساتل ذو ميل عال
التزامن مع الأرض	تسديد إلى مدار متزامن مع الأرض محدد مسبقاً وتحريك على قوس GSO	تحريك يدوي بأزرار شرق/غرب عبر القوس GSO

نظام المراقبة والتحكم

نظام المراقبة والتحكم (M&C) عبارة عن نظام مركزي يقوم على الحاسوب للتحكم في جميع أنظمة محطة المراقبة. ويمثل السطح البيني للمستعمل البياني (GUI) نظرة شاملة مجرّدة مرتبة بوضوح لحالة التجهيزات والتبديل في كل مكان للمشغّل (انظر الشكل 1.5-28). وينبغي أن يكون للنظام أسلوب تخصيص وإقفال للحيلولة دون تضارب النفاذ إلى التجهيزات. ويمكن لوحدات القياس أن تعتمد على نظام تطوير M&C وأن تكون الاحتياجات متحكما فيها بالكامل أو موصلة في مسير الإشارة للنظام بالنسبة للاستعمالات اليدوية فقط. وللتوصل إلى تدفق كفء للعمل بقدر الإمكان، ينبغي تقسيم تنفيذ تحديد موضع الهوائي والتحكم في الجهاز بين مرقابين.

الشكل 28-1.5

مثال: شاشة السطح البيني للمستعمل البياني (GUI) لنظام مراقبة وتحكم



Spectrum-5.1-28

ويجري التحكم في التجهيزات التالية والتفتيش عليها:

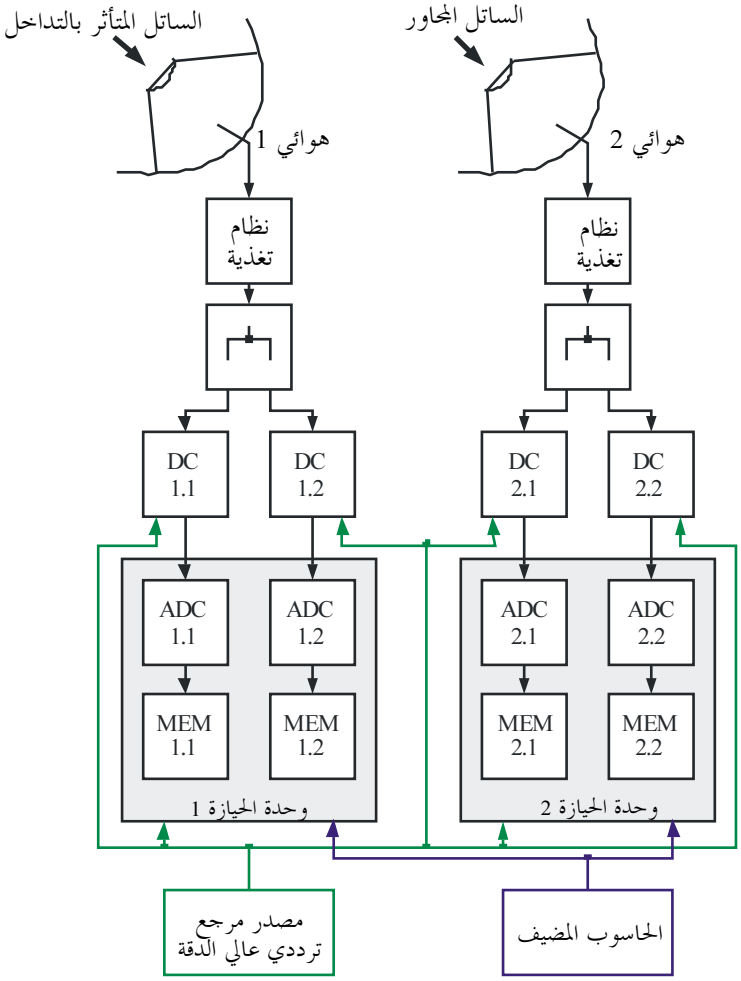
- نظام التحكم في الهوائي من أجل وظائف التسديد والبحث.
- نظام تتبع الهوائي بواسطة مستقبلات أحادية النبضة أو مستقبلات تتبع تدرّجي.
- نظام تغذية مجهز بإمكانية تبديل الاستقطاب وضبط زاوية الاستقطاب.
- محولات خافضة ومرشحات مكبرات لاحقة.
- جميع وحدات التبديل لتوصيل إشارات RF وIF وتوزيعها.
- توصيل وتضبيط وحدات القياس والوحدات التحليلية.
- إطلاق برمجيات القياس المؤتمت.

يستقبل الهوائي 1 الإشارتين 1.1 و1.2 من الساتل المتأثر بالتداخل. يستقبل الهوائي 2 الإشارتين 2.1 و2.2 من الساتل المجاور.

الإشارتان 1.1 و2.1 هما إشارتان مسببتان للتداخل و1.2 و2.2 هما إشارتان مرجعيتان.

الشكل 29-1.5

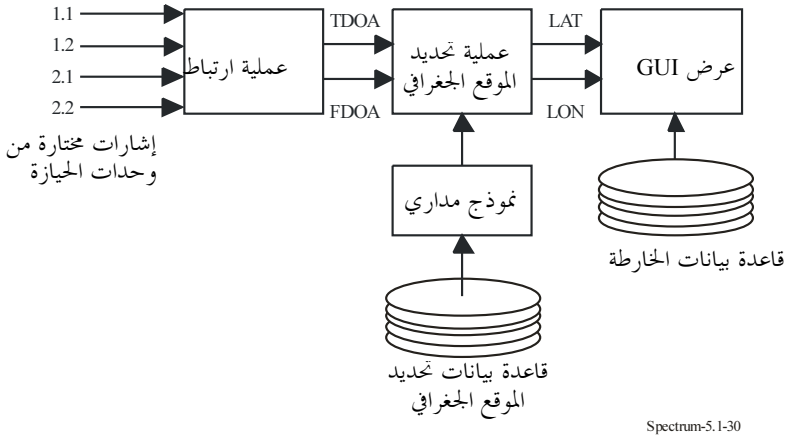
مبدأ: نظام قياس الموقع الجغرافي



Spectrum-5.1-29

الشكل 30-1.5

مبدأ إجراء حساب الموقع الجغرافي في الحاسوب المضيف



Spectrum-5.1-30

2.6.1.5 عملية المراقبة الراديوية لسواتل GSO

يرد أدناه وصف لنظام مؤتمت للمراقبة الراديوية لسواتل GSO. ويسعى هذا النظام للتقليل إلى أدنى حد من عدد المشغلين في أداء مهمة قياس المدار وجودة الموجة الراديوية باستعمال تقنيات متنوعة.

ونظام المراقبة المؤتمت مجهز ببرنامج حاسوبي له الوظائف التالية:

- التحكم، لتحديد أولوية التشغيل.
- التسجيل، لجدولة القياسات الفردية زمنياً.
- كشف خطأ برمجيات النظام مع وظيفة تبليغ المشغلين بالخطأ.
- البحث والقياس.
- معايرة النظام والتفتيش للتحقق مما إن كان مرفق المراقبة يعمل على الوجه الصحيح.
- تبليغ المشغلين بنتائج القياس.
- تخزين بيانات السواتل المسجلة ونتائج القياسات في قاعدة البيانات.

وينبغي لمشغلي محطة المراقبة الراديوية الفضائية أن يعدوا جدولاً زمنياً للمراقبة بحيث تؤدى مهام المراقبة برتابة وفق خطة المراقبة.

ويمكن تشغيل الأسلوبين النصف أوتوماتي واليدوي بآن واحد لكشف مصادر التداخل الضار ومراقبة السواتل الجديدة وقياس شغل الطيف الترددي بالتفصيل.

وتضم البنود المحددة في الجدول الزمني للمراقبة بنوداً مثل توقيت المراقبة وانتقاء الأسلوب الأوتوماتي أو النصف أوتوماتي واسم الساتل وعدد مرات المراقبة وأولويات العمل وما إلى ذلك.

ويبيّن الشكل 1.5-31 مثالاً على تتابع عملية المراقبة.

تشمل بنود قياس عملية الجدولة الزمنية الموضع المداري للساتل والاستقطاب والتردد المركزي وpfd وعرض النطاق المشغول وما إلى ذلك. ومن المهم لمرافق المراقبة الراديوية أن تشتمل على تقنيات للتتبع السريع، واختيار الاستقطاب بواسطة خوارزميات المقارنة، وتحديد الترددات المركزية لقياس عرض النطاق المشغول، وقياس قدرة الموجة الحاملة.

ويُحدَد الاستقطاب بالمقارنة المتكررة للقياسات الواردة مع معايير الاستقطاب.

وتُفضّل عادة طريقة التتبع أحادي النبضة، ولكن تُستعمل أيضاً طرائق أخرى مثل التتبع التدرّجي.

ويتم التحقق من تعيين هوية الساتل بمقارنة نتيجة القياس مع قاعدة بيانات الساتل.

ويلزم تكرار القياسات والتصحيحات لتحسين دقة نتائج القياس واعتماديتها.

وينبغي إجراء مهام القياس باعتمادية عالية مع الأخذ في الاعتبار خصائص الانتشار في الترددات العالية والإشارة الضعيفة المستقبَلة على الأرض من الساتل. وتتحقق محطات المراقبة مما إن كان يجري تشغيل الساتل وفقاً للمعايير واللوائح التقنية.

وعلاوة على ذلك، يسجل المشغلون الجدول التشغيلي الزمني أو يجددونه من أجل كل ما يستجد من طلبات مراقبة ومهام خاصة. ومن شأن تخزين الإجراءات المعيارية التي تستعمل كثيراً أن يبسط عملية التسجيل.

3.6.1.5 المراقبة الدقيقة لخط الطول المداري (قياس بالتداخل الراديوي)

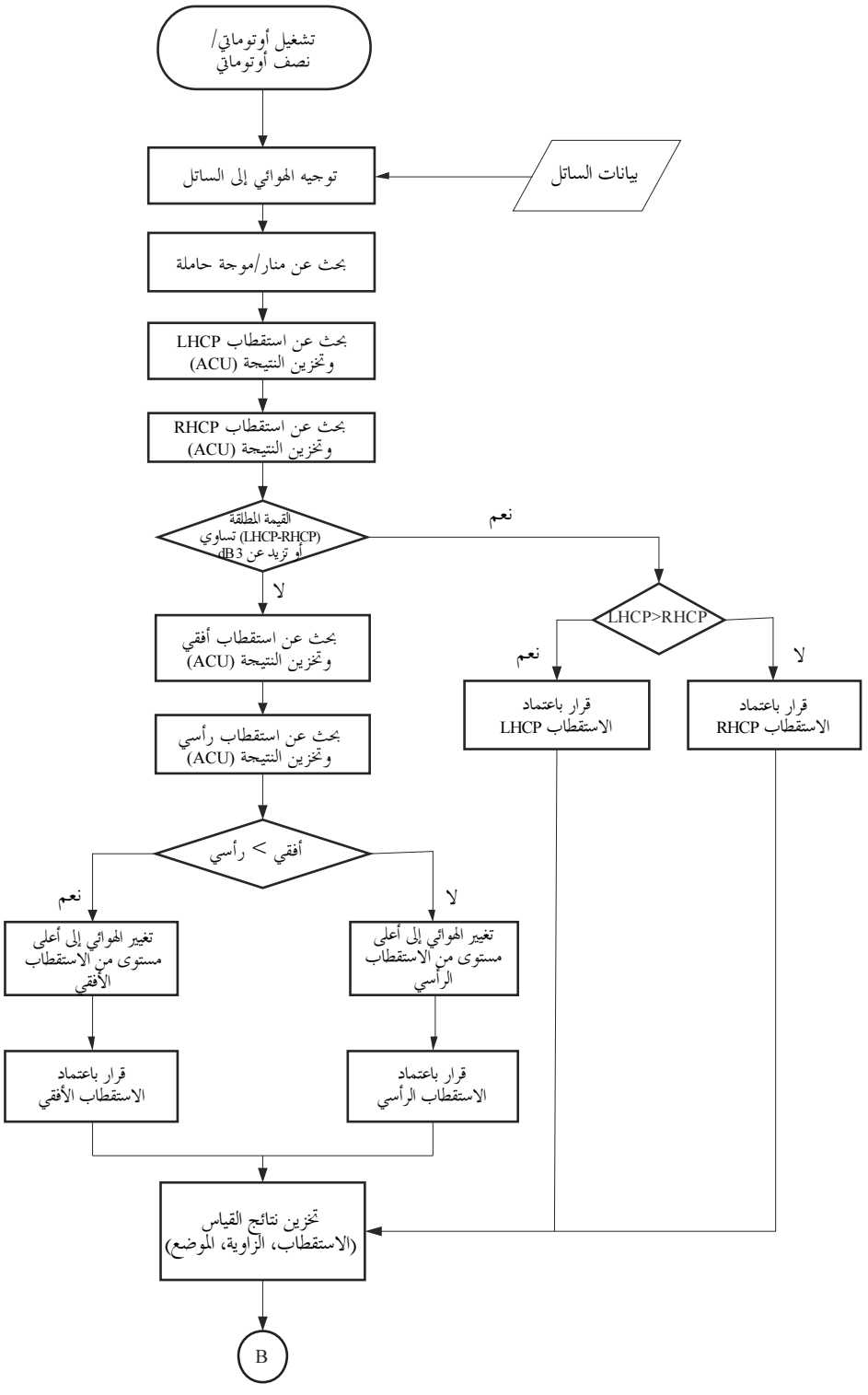
1.3.6.1.5 أغراض المراقبة المدارية الدقيقة

هناك طلب متنام على المراقبة المدارية الدقيقة بسبب العدد المتزايد باستمرار من السواتل الموجودة في مدارات متزامنة مع الأرض. والإدارة الصارمة للمحطات ضرورية بالنسبة للسواتل الموضوعة في خطوط طول مدارية قريبة جداً من بعضها البعض وبدون ذلك يمكن للسواتل أن تقترب إلى حد وثيق جداً من بعضها البعض. وبالتالي، فإن الدقة في الرقابة المدارية يجب أن تكون أكبر منها في المراقبة التقليدية $\pm 1{,}0°$.

وفي بعض الأحيان، يوضح ساتلان أو أكثر في نفس خط الطول المداري. وفي هذه الحالة، يقسم الشق المداري البالغ ±1,0° إلى شقوق فرعية، ويخصص لكل ساتل شق فرعي فريد. ويجب أن تكون الرقابة في مثل هذه الحالات أكثر دقة.

لشكل 5.1-31

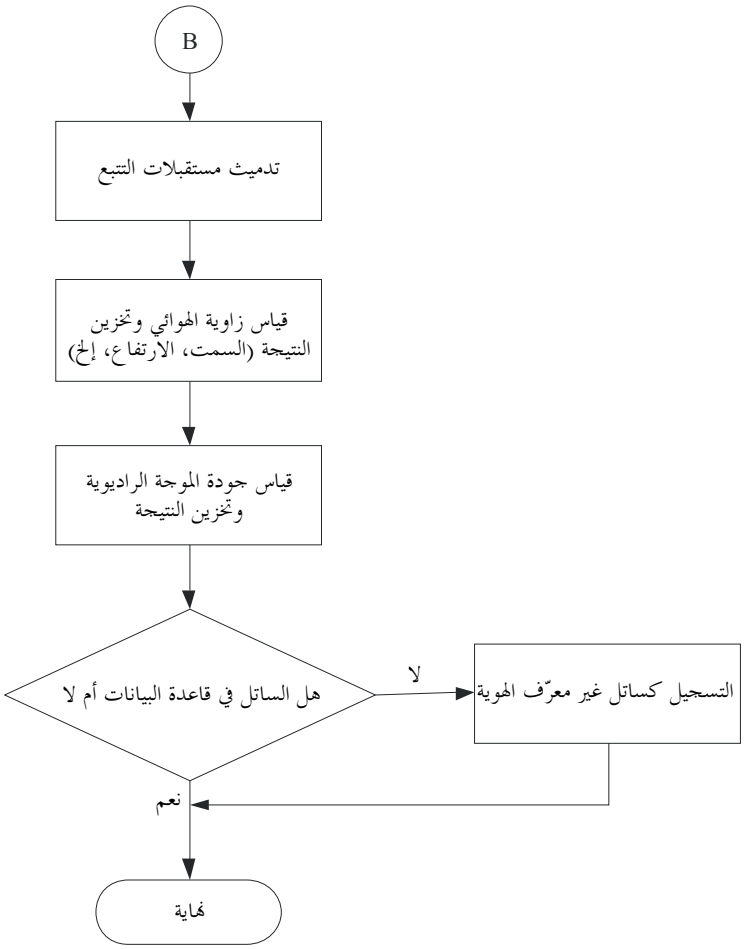
تتابع عملية المراقبة



Spectrum-5.1-31

الشكل 5.1-31 (تتمة)

تتابع عملية المراقبة



Spectrum-5.1-31-cont

كما أن الرقابة المدارية ضرورية لتحديد المواقع الأرضية للمرسلات، حيث إن تحديد الموقع الأرضي يعتمد على معلومات دقيقة بشأن العناصر المدارية الستة للسواتل. وينبغي لمحطة مراقبة تقوم بتنفيذ تحديد المواقع الأرضية للمرسلات أن تكون قادرة فيما يفضل على توليد معلومات مدارية بواسطة استقبال الوصلات الهابطة الساتلية.

ومن ثم فهناك حاجة متنامية إلى الرقابة المدارية الدقيقة للسواتل المتزامنة مع الأرض. ومن بين التقنيات الواعدة التي يمكن استخدامها لهذا الغرض القياس بالتداخل الراديوي. ويرد مثال لمقياس التداخل الراديوي بما له من مواصفات تقنية وإجراءات تشغيل في القسم التالي.

2.3.6.1.5 عتاد مقياس بالتداخل

مقياس التداخل عبارة بالأساس عن نظام يتألف من هوائيي استقبال لقياس اختلافات الطور فيما يأخذ مقياس تداخل فعلي للمراقبة المدارية النسق المبين في الشكل 5.1-32. وتنعكس الموجة الصغرى للوصلة الهابطة من الساتل المستهدف بواسطة المرآة A أولاً ثم بواسطة المرآة B، قبل أن يستقبلها الهوائي C. والمرايا مسطحة. وبالمثل، تنعكس الموجة الصغرى بواسطة المرايتين D وE قبل أن يستقبلها الهوائي F.

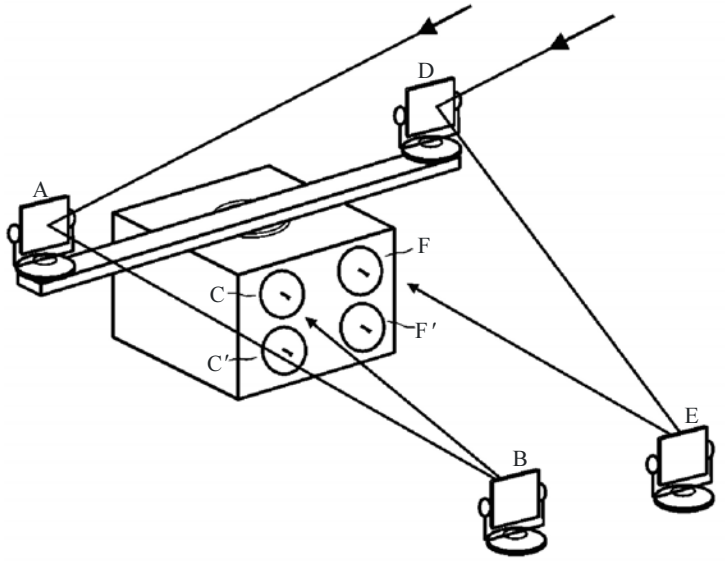
ويتم قياس فروق الطور بين الهوائيين C وF. وبعد تصحيح تأخيرات الطور على المسيرين C-B-A وF-E-D، يمكن للمرء أن يفترض أن الهوائيين المستقبلين موجودان عند A وD. وعندئذ يصبح الخط DA هو خط الأساس FD لمقياس التداخل.

ويتم وضع المرآتين A وD على ذراع دوار أفقي للأسباب المبينة لاحقاً. ومع تغيير الذراع لتوجيهه، فإنه يعاد تسديد المرايا بحيث توجه الموجات الصغرى بدقة نحو الهوائيات المستقبلة. ويستخدم زوجا الهوائيات (C وF وC' وF') من أجل نطاقي تردد مختلفين. وتمال المرآتان B وE لاختيار زوج الهوائيات المرغوب.

الشكل 32-1.5

مقياس التداخل الراديوي لمراقبة مدار متزامن مع الأرض

A وB وD وE مرايات مسطحة؛ C وF وC' وF' هوائيات ثابتة



Spectrum-5.1-32

يبين الشكل 33-1.5 قياس الفرق في الطور بين الهوائيات بشأن نطاق ترددي معين. وفي كل مسار للاستقبال، يتم تحويل الإشارات نزوليا قبل دخلها إلى طريقة تحويل فوريير السريعة (FFT). ويتم مزامنة طور المحولات التزولية بواسطة استخدام إشارات محلية من مذبذب مشترك (LO). وبعد ذلك فإن البيانات المحولة بطريقة فوريير تضرب بالتعارض ويتم تكاملها زمنيا؛ ويشار إلى هذه العملية باسم المعالجة الارتباطية. وحيث يتم كبت الضوضاء بواسطة التكامل الزمني، فإنه يتم قياس الأطوار بواسطة النسبة المحسنة للإشارة إلى الضوضاء *S/N* ، ويكافئ ذلك تحسين رقم جدارة *G/T* هوائي الاستقبال.

والمعالج الارتباطي له عرض نطاق يبلغ 20 MHz، ويمكن اختيار أي إشارة في عرض النطاق هذا– إشارات ضوئية أو إشارات اتصال تمرير النطاق – كهدف قياس. وتقرن الإشارات المرجعية من مذبذب مشترك (RO) مع مكبرات منخفضة الضوضاء، من أجل التعويض عن تفاوت الطور الذي يمكن أن يحدث في مسارات الاستقبال.

ومواصفات مقياس التداخل مذكورة في الجدول 1.5-10. وتبدو الهوائيات الثابتة والذراع الدوار مثلما هو مبين في الشكل 1.5-34. والمرايا الأخرى، والتي تبدو مثلما هو مبين في الشكل 1.5-35، تبعد بمقدار 16 متراً عن الهوائيات الثابتة. وفي الوقت الحاضر، لمقياس التداخل نطاقي تردد، ويمكن إضافة نطاق جديد بواسطة تركيب زوج آخر من هوائيات الاستقبال ومحولات خافضة.

وتستخدم معدات الاستقبال المبينة في الشكل 1.5-33 هوائيات ومكونات أرض–محطة تقليدية، في حين أن معالج الارتباط مخصوص بمقياس التداخل.

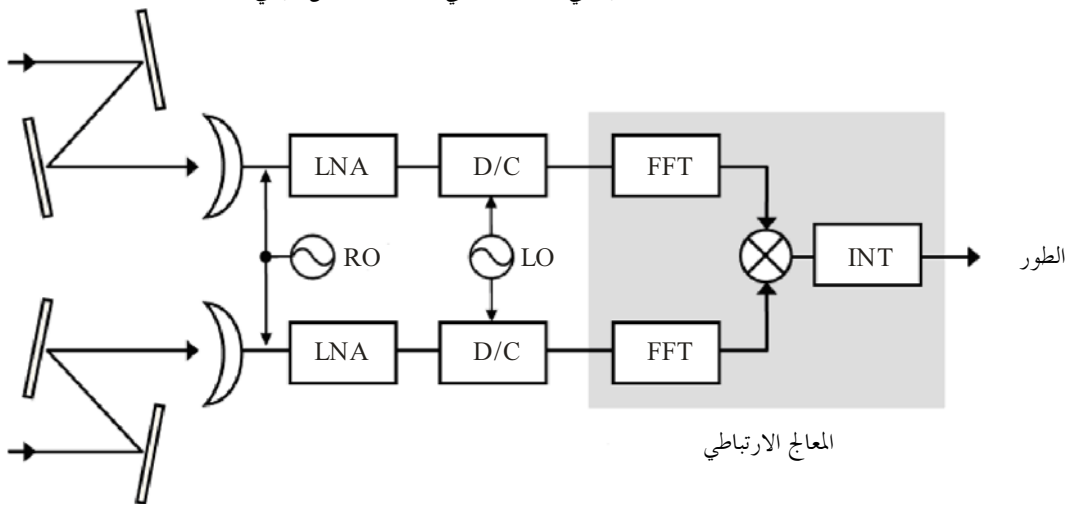
وإذا كان مقياس التداخل مصمما بحيث يتم تركيب هوائيات الاستقبال على الذراع عند A وD في الشكل 1.5-32، فإن الكوابل بين الهائيات والوحدات الداخلية قد تلتوي مع دوران الذراع، ومن ثم تسبب أخطاء طور.

ومن شأن استخدام مرايا توجيه أن يساعد على وضع الهوائيين C وF (وC' وF') إلى جوار بعضهما؛ ومن ثم يمكن تقصير أطوال الكوابل بما يكفي لكفالة استقرار الطور عندما تتغير درجات الحرارة المحيطة. وبالإضافة إلى ذلك، فإن المرايتين B وE مفيدتان لتبديل الطور. ويمكن للذراع والمرايا أن توازنا أوزانها حول محاورهما الدوارة بسبب أشكالها المتناظرة. ومن ثم يمكن أن تحركها محركات صغيرة بسلاسة.

الشكل 5.1-33

مخطط الفدرة لقياس اختلاف الطور

LNA: مكبر منخفض الضوضاء؛ D/C: محول خافض؛ FFT: طريقة تحويل فوريير السريعة
RO: مذبذب مرجعي، مذبذب محلي؛ INT: التكامل الزمني



Spectrum-5.1-33

الشكل 5.1-34

ذراع دوار، ومريا مسطحة وهوائيات ثابتة
(الهوائيات العليا: نطاق Ku، الدنيا: نطاق C)



Spectrum-5.1-34

الشكل 5.1-35

مرايا مسطحة من أجل تبديل النطاق

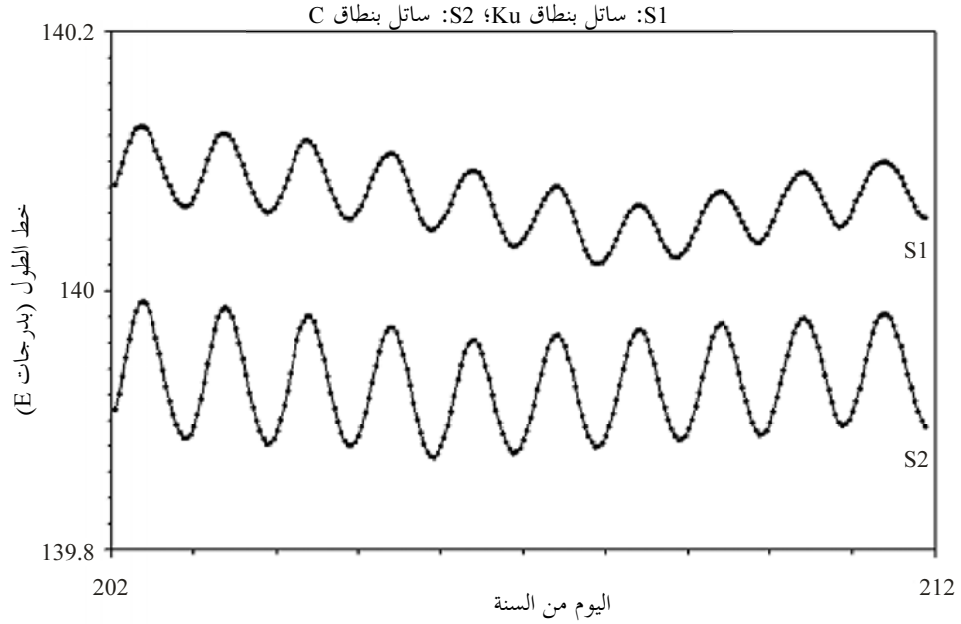


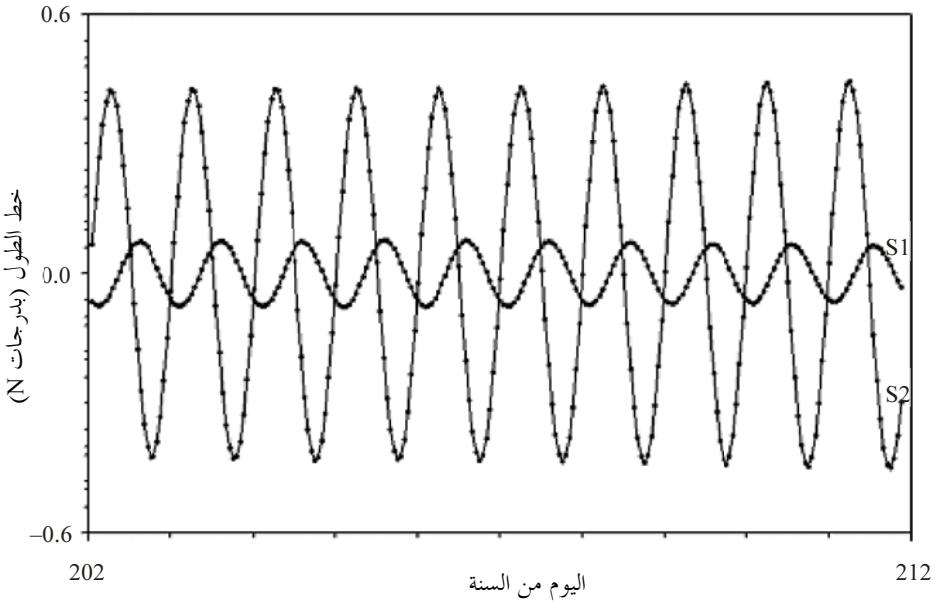
Spectrum-5.1-35

الشكل 5.1-36

مثال لمراقبة وضع الساتل

S1: ساتل بنطاق Ku؛ S2: ساتل بنطاق C





Spectrum-5.1-36

3.3.6.1.5 عمليات تشغيل مقياس التداخل

يعمل مقياس التداخل بأساليب مختلفة من أجل مختلف أغراض المراقبة، على نحو ما هو مذكور في الجدول 5.1-11.

والأسلوب الدوار بمثابة إجراء ابتداء لمراقبة ساتل مجهول الهوية. ويدخل الذراع في حالة دوران فيما يتوقف عند كل 15° من زاوية التوجيه. وفي كل مرة يتوقف فيها الذراع عن الحركة يتم جمع بيانات الطور. وتستغرق الجولة الواحدة من جمع البيانات 15 دقيقة لكل ساتل. وبعد ذلك تجري معالجة بيانات الطور لتحديد اتجاه الساتل من حيث السمت والارتفاع. والأسلوب الدوار ضروري لحل مشكلة غموض الطور. فإذا ما كانت x هي طور مقاس بالدرجات، فإنها قد تكافئ أيضاً $x \pm 360$، $x \pm 720$، إلى آخره. ومن شأن جمع بيانات الطور في زوايا مختلفة للذراع أن يتيح بالبت في غموض اتجاه الساتل.

وفي نهاية الأسلوب الدوار، يمكن مواصلة مراقبة نفس الساتل في النمط السريع. ويتم جمع بيانات الطور كل ساعة عند زاويتي توجيه مختلفتين للذراع تتفاوتان بمقدار 90°. ويتم دخل البيانات بشكل متكرر في برنامج تقدير المدار وتستخرج من ذلك أوضاع الساتل في خطي الطول والعرض.

ويرد مثال لهذا النوع من مراقبة الوضع في الشكل 1.5-36، حيث يعمل ساتلان في خطي طول متجاورين. كما أن من الممكن القيام بمراقبة متوازية لثلاثة سواتل أو أكثر، حيث إن المجموعة الواحدة من جمع بيانات ساتل واحد تنتهي في دقائق قليلة. ومن الممكن أن تمثل ستة عناصر مدارية مخرجات أيضاً إذا ما كانت المدخلات كافية. ويجب القيام بجمع البيانات لمدة نصف يوم على الأقل، في حين أنها يجب أن تتم لمدة يوم واحد للحصول على عناصر مدارية جيدة.

ويستخدم النمط الثابت لمراقبة خطوط طول السواتل. فيتم توجيه الذراع باتجاه الشرق– الغرب ويثبت عند هذا الوضع، فيما تعتمد الزاوية الدقيقة على موقع الساتل المستهدف. ويتم تحويل بيانات الطور إلى خطوط طول ساتلية بواسطة وظيفة التقابل الخطي.

وقبل استعمال الأسلوب الثابت، يجب القيام بالأسلوب الدوار من أجل استهلال العمل. والأسلوب الثابت مفيد في مراقبة شغر السواتل الطويل الأمد للخطوط الطولية.

4.3.6.1.5 معايرة الأخطاء

ومقياس التداخل به مكونات قابلة للتحريك، فإن حدوث أخطاء موضعة ميكانيكية أمر لا مفر منه. ويتم نمذجة الأخطاء الكبري بواسطة المعلمات التالية:

- الطول الفعلي للذراع.
- انحياز في زاوية توجيه الذراع.
- ميل متخالف أفقيا للذراع بشأن اتجاه الشرق– الغرب.
- ميل متخالف أفقيا للذراع بشأن اتجاه الشمال– الجنوب.

ولكي تتم معايرة معلمات الخطأ، تختار خمسة سواتل في مواقع مدارية مختلف كمراجع. ويفترض أن يكون سمت وارتفاع السواتل المرجعية معروفا. وعندئذ يتم تصحيح معلمات الخطأ، بحيث تتفق بيانات السمت/الارتفاع المأخوذة من مقياس التداخل مع البيانات المرجعية.

وتعاير الأخطاء سنوياً للحفاظ على الدقة طبقاً للمستوى المحدد في الجدول 11.1.5.

الجدول 1.5-10

مواصفات مقياس التداخل

نطاق التردد	C: 400 3-200 4 MHz Ku: 700 11-750 12 MHz
الهوائيات الثابتة	القطر: 1.8 م *G/T*: 16,8 (C) dB/K *G/T*: 23,2 (Ku) dB/K
الذراع الدوار	الطول: 1.8 م دقة التسديد: 0,001°
المرايا المسطحة	مربعة ضلعها يبلغ 2م. دقة التسديد: 0,01°
معالج الارتباط	عرض النطاق: 20 MHz الإشارة المستهدفة: إشارة ضوئية أو تمرير النطاق تحسين *S/N*: 23 dB (1 s-integration)
دقة البحث عن الاتجاه	0,005°

الجدول 1.5-11

أساليب تشغيل مقياس التدخل

الأسلوب الدوار	الذراع يدور من خلال دورة واحد يحدد اتجاه السمت– الارتفاع يبدأ من أجل أسلوب سريع/ أسلوب ثابت
الأسلوب السريع	يدور الذراع بين زاويتي اتجاه ينتج وضع خط الطول– خط العرض ينتج ستة عناصر مدارية
الأسلوب الثابت	الذراع مثبت نحو الشرق– الغرب ينتج خط طول الساتل

7.1.5 نتائج المراقبة بالأمثلة

1.7.1.5 تسجيل نطاق التردد في نطاق VHF

تناسب أنظمة تسجيل الطيف الترددي الراديوية، على نحو خاص، مراقبة النطاقات الترددية لتبيّن مدى شغلها بإرسالات البث من محطات فضائية في مدارات منخفضة وفي نطاقات ترددية تقل عن 1 000 MHz بهوائي شامل الاتجاهات.

وتعتمد بنية نمط الإشغال (منحني دوبلر) على العناصر المدارية للساتل وتتسم بجودة مميزة.

وفضلاً عن تردد الاستقبال، قد يختلف زمن الدورة (PERIOD raw) المأخوذ كمتوسط عدة دورات متعاقبة، وكذلك أوقات الاستقبال المتوقعة. ولتحديد زمن الدورة بدرجة مرضية من الدقة (PERIOD fine)، يوصى بطريقة تكرارية تستعمل التسجيلات المأخوذة خلال فترة من عدة أيام على أساس المعادلتين التاليتين:

$$PERIOD\ \text{raw} = T2 - T1 \tag{14-1.5}$$

$$PERIOD\ \text{fine} = (Tx - T1)/n \tag{15-1.5}$$

حيث T_x هي نقطة المركز في نافذة الاستقبال بعد يوم واحد أو بضعة أيام. والقاسم n هو عدد الدورات المتخيّل في حالة المعادلة (15-1.5).

ويتم ضبطه بصورة نظامية حتى يتحقق أدنى اختلاف بين النتيجة المرغوبة للزمن *PERIOD* fine والزمن *PERIOD* raw. وبهذه الطريقة، يمكن خفض خطأ قياس زمن الدورة بعدة فترة 24 ساعة فقط إلى بضعة أعشار من الدقيقة. ويمكن الاعتماد على زمن الدورة وخصائص مخطط التسجيل لتعيين هوية الساتل.

وهناك طريقة أخرى تتمثل في استعمال شبكة مخطط زمني قابلة للضبط كتغشية في المخطط الطيفي لإرسالات الساتل المسجلة خلال فترة يومين أو أكثر. فإذا طابقت الخطوط الزمنية إرسالات الساتل، يتم التوصل إلى الزمن PERIOD raw. وفي المثال الظاهر في الشكل 5.1-73، PERIOD raw = 112 دقيقة.

ومن الضروري إجراء بحث في قاعدة بيانات NASA كخطوة ثانية للتوصل إلى الزمن الدقيق للدورة.

وبنتيجة 112 دقيقة، يمكن البحث عن سواتل ذات زمن دورة يقارب 112 دقيقة. ويبيّن الشكل 1.5-38 قاعدة بيانات NASA-SSR مع سواتل موسومة تقترب أزمنة دوراتها من 112 دقيقة.

وفي عناصر الخطين المعنيين، يتعيّن حساب زمن إمكانية رؤية هذه السواتل من موقع محطة المراقبة.

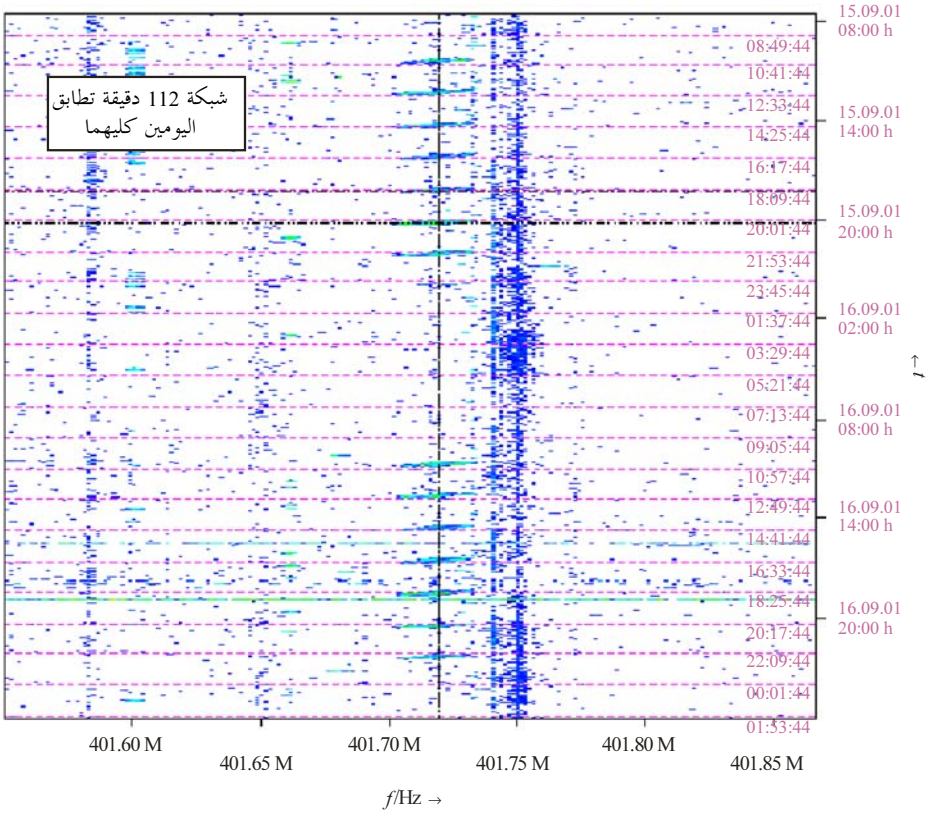
ويمكن لنظام مسجلة التردد أن يعرض نوافذ إمكانية الرؤية هذه كتغشية في المخطط الطيفي لبث الساتل المستقبَل.

وإذا طابقت نوافذ إمكانية الرؤية كل إرسالات الساتل المسجلة، يتم تعيين هوية الساتل. ويبيّن الشكل 1.5-39 نوافذ إمكانية الرؤية لساتل S80/T بزمن دورة قدره 111,9 دقيقة.

والآن بعد معرفة بيانات المدار، يمكن لهوائي اتجاهي أن يتتبع الساتل بهذه البيانات لإجراء المزيد من القياسات.

الشكل 1.5-37

تسجيل شغل التردد، التحديد التقريبي لزمن الدورة



Spectrum-5.1-37

الشكل 1.5-38

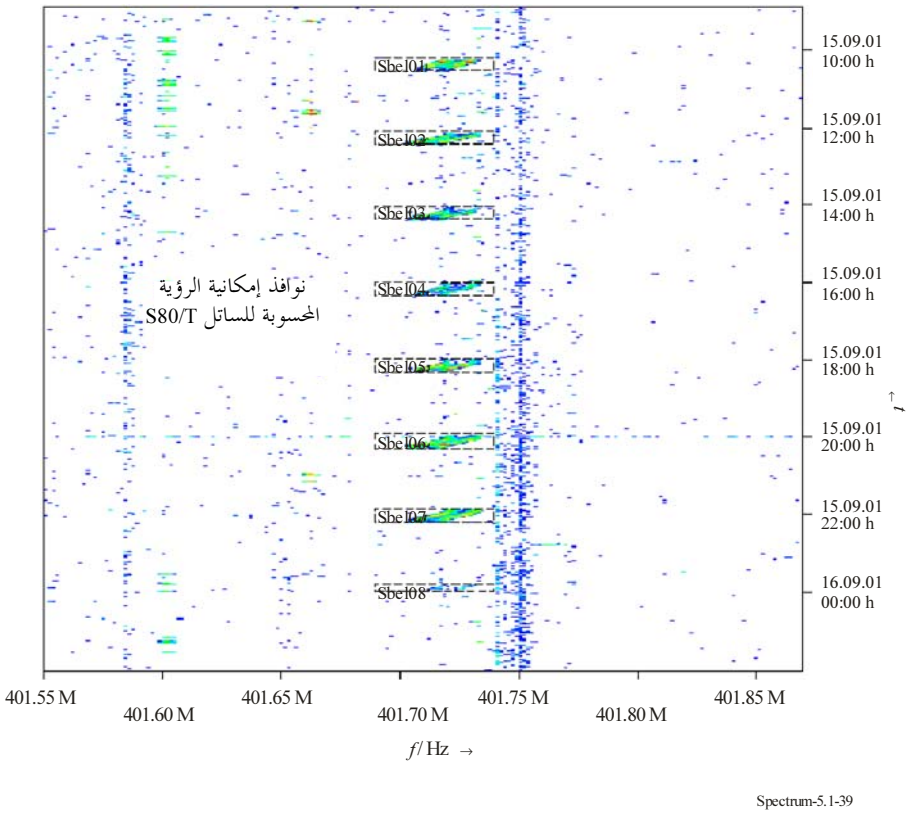
البحث في قاعدة بيانات NASA-SSR

INT-ID	CAT	SRC	PERIOD	INCL	APOG.	PERIG.	RCS	NAME	DATE
1990-114F	21033	CIS	113,7	82,6	1410	1386	2,2032	COSMOS 2119	22.12.90
1989-074B	20233	CIS	113,7	82,6	1410	1386	1,7514	COSMOS 2039	14.09.89
1988-002F	18793	CIS	113,7	82,6	1411	1384	1,9042	COSMOS 1914	15.01.88
1987-074A	18334	CIS	113,7	82,6	1409	1387	2,1058	COSMOS 1875	07.09.87
1987-026B	17583	CIS	113,7	82,6	1411	1385	2,2787	COSMOS 1828	13.03.87
1985-003C	15471	CIS	113,7	82,6	1413	1383	1,3662	COSMOS 1619	15.01.85
1992-052A	22076	US	112,4	66	1344	1332	10,6361	TOPEX/POSEIDON	10.08.92
1990-013C	20480	JPN	112,2	99,1	1744	912	0,3319	JAS 1B (FUJI 2)	07.02.90
1990-013B	20479	JPN	112,2	99,1	1743	912	0,4893	DEBUT (ORIZURU)	07.02.90
1992-052C	22078	FR	111,9	66,1	1325	1305	0,4416	S80/T	10.08.92
1992-052B	22077	KOR	111,9	66,1	1325	1307	0,2912	OSCAR 23 (KITSAT 1)	10.08.92
1994-046A	23191	US	110,6	70	2156	355	3,8606	APEX	03.08.94
2000-075C	26621	SWED	110,5	95,4	1799	701	0,1528	MUNIN	21.11.00
1989-086A	20305	CIS	110,4	82,6	1251	1238	11,6301	METEOR 3-3	24.10.89
1995-059B	23711	US	109,7	100,5	1493	934	13,2018	SURFSAT	04.11.95
1994-003B	22970	GER	109,4	82,6	1208	1185	7,6481	TUBSAT B	25.01.94
1994-003A	22969	CIS	109,4	82,6	1208	1186	41,1628	METEOR 3-6	25.01.94
1991-030A	21232	CIS	109,4	82,6	1208	1188	9,5992	METEOR 3-4	24.04.91
1991-056A	21655	CIS	109,3	82,6	1206	1187	7,8738	METEOR 3-5	15.08.91
1988-064A	19336	CIS	109,3	82,5	1208	1184	8,0195	METEOR 3-2	26.07.88

Spectrum-5.1-38

الشكل 1.5-39

نوافذ إمكانية الرؤية عند تسجيل شغل التردد



Spectrum-5.1-39

2.7.1.5 حساب العناصر المدارية من قياسات زاوية الهوائي

يسهل تعيين هوية الساتل، ويتيسر فقط في بعض الحالات، باستعمال العناصر المدارية المحسوبة من قياسات زاوية الهوائي. وتعتمد إمكانية الحصول على تحديد دقيق بما يكفي إلى حد كبير على دقة قياس زاوية الهوائي المتاحة وعلى طول قوس المدار المتتَبع ونمطه. وينبغي للمثال التالي أن يتيح استخلاص نتائج محددة فيما يتعلق بدقة الحساب القابلة للتحقيق، وهو ما قد لا يكون قابلاً للتطبيق في نفس الوقت بشكل شامل. ويقوم ذلك على مقارنة بين بيانات التقويم الفلكي للمحطة الفضائية NOAA10، المنشورة بدرجة جيدة من الدقة والمستعمَلة بالتالي كبيانات مرجعية، وبيانات التقويم الفلكي المتحصلة من قياسات زاوية الهوائي، وعلى مقارنة بين أوقات إمكانية الرؤية والسمت والارتفاع المحسوبين على أساس مجموعتي بيانات التقويم الفلكي كلتيهما لمسير بعد 24 ساعة تقريباً.

أما دقة قياس زاوية الهوائي لهوائي العاكس المكافئي المتاح بقطر 12 متراً والذي يستعمل تقنية النبضة الأحادية فهي تقارب 0,12° في النطاق الترددي 700 1 MHz المستعمل (انظر أيضاً الفقرة 5.3.1.5). وكانت زاوية الارتفاع القصوى للمدار المتتَبع فوق المستوي الأفقي 60° تقريباً.

وتُستعمل ثلاث مجموعات من بيانات قياس زاوية الهوائي (السمت/الارتفاع/الوقت) للتحديد الرياضي الأولي للمدار، ويلي ذلك حساب العناصر المدارية. ثم يجرى حساب وسيطي لتحسين النتائج بهدف الحصول على حل يقابل إلى أقصى حد ممكن قيم قياس زاوية الهوائي لسلسلة من القياسات [Montenbruck, 1989] و[Montenbruck and Pfleger, 991].

ويبيّن الجدول 1.5-12 والشكل 1.5-40 نتائج هذه المقارنات. وعند استعمال العناصر في الجدول 1.5-12 كمساعد في تعيين الهوية، فإنه يمكنها أن تسهّل كثيراً من تعيين هوية ساتل. ولكن لدى استعمال بيانات التقويم الفلكي ككل للتحديد المسبق للسمت والارتفاع كدالة للزمن، تلاحظ انحرافات تكبر مع الفاصل المؤدي إلى الحقبة. ويعود ذلك فقط إلى الحدود المقيّدة للدقة عند حساب العناصر المدارية من قياسات الزاوية لمسير ساتلي واحد. إلا أن التقاط الساتل يتحسن كثيراً أثناء المسيرات

التالية. ويُعرض في الشكل 1.5-40 اختلاف السمت والارتفاع لمسير ساتلي بعد 24 ساعة (عقب 14 دورة) ويستند إلى تحديد أولي للمدار. وتُزاح المنحنيات المحسوبة بمقدار –1 دقيقة لتعويض التأخير الزمني.

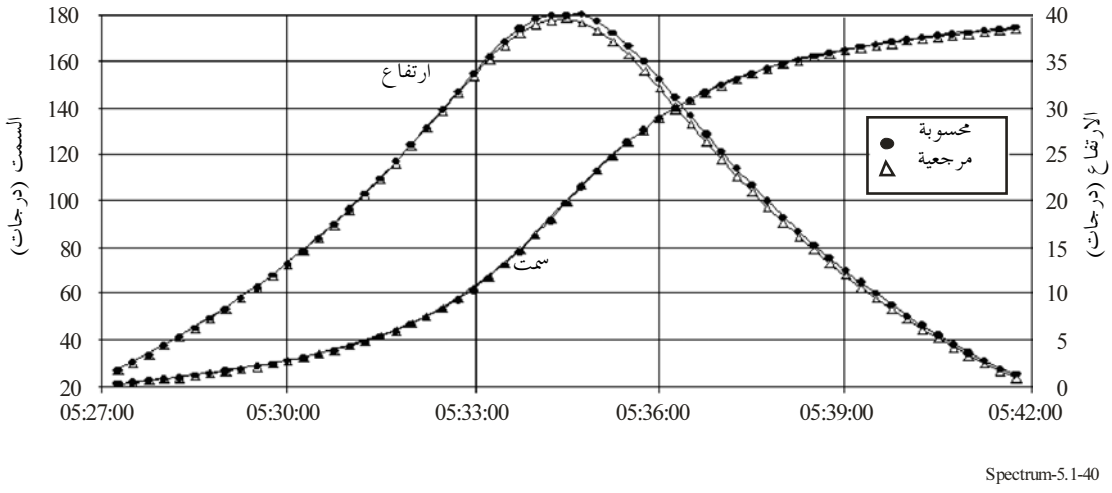
الجدول 1.5-12

مقارنة بين عناصر مدارية مرجعية وعناصر مدارية محسوبة (تحديد أولي للمدار)

العناصر المدارية للمحطة NOAA10	عناصر مرجعية	عناصر محسوبة
الحضيض (km)	807	808
الأوج (km)	825	830
المحور شبه الرئيسي (km)	7 187	7 190
الانحراف عن المركز	0,0012156	0,0015
الميل (درجات)	98,5121	98,78
زمن الدورة (دقيقة)	100,781	100,85

الشكل 1.5-40

مقارنات بين زوايا الهوائي المحسوبة من عناصر مدارية مرجعية ومن عناصر مدارية مقاسة

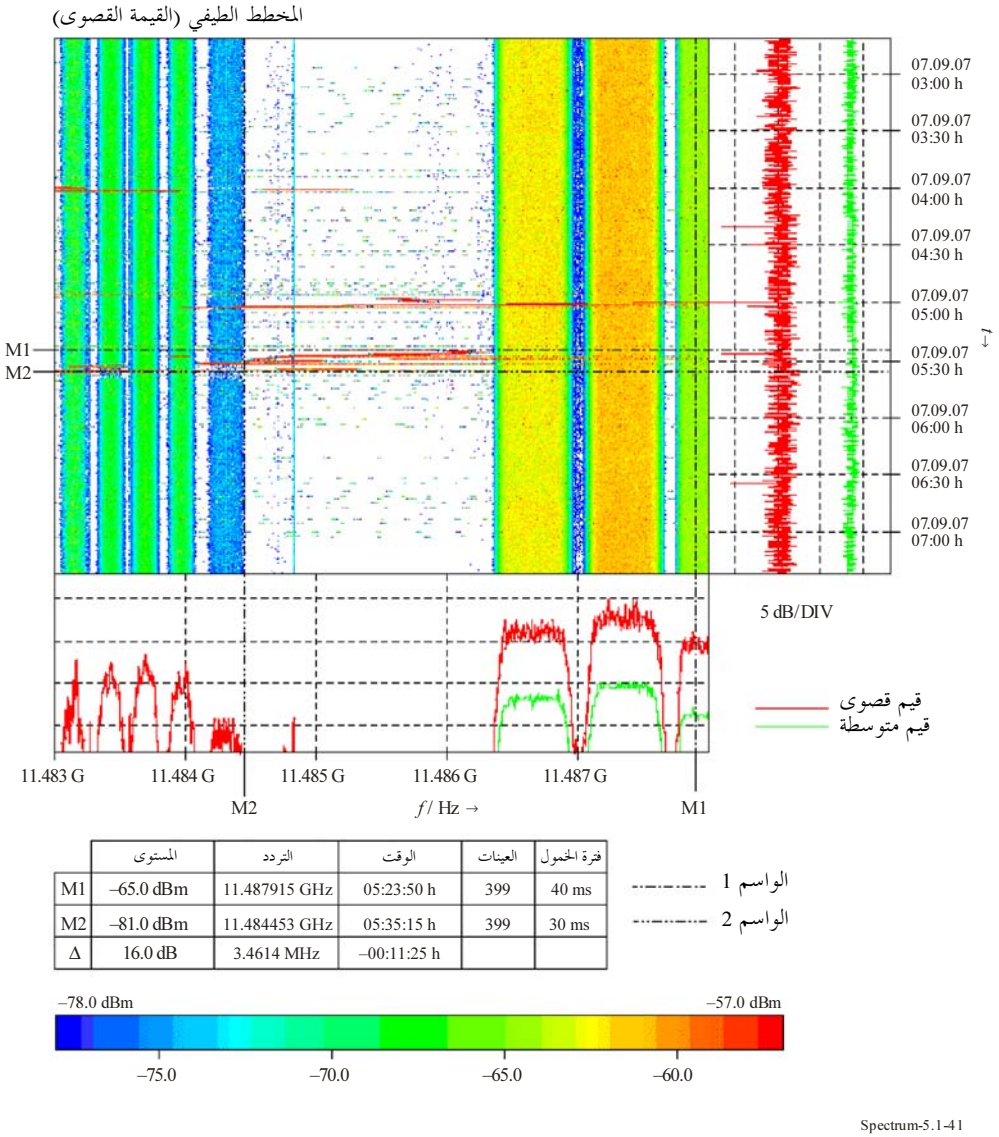


3.7.1.5 قياسات شغل المرسل–المستجيب

يبيّن الشكل 1.5-41 النتيجة المتحصلة من قياس شغل المرسل–المستجيب بنظام لتسجيل التردد. ويُظهر المخطط الطيفي شغل مرسل - مستجيب الساتل، مع وجود قسم غير مستعمَل من المرسل–المستجيب في وسط المدى الترددي المعروض، مع إشارة تداخل عالية القدرة وتظهر بصورة مؤقتة. وتعبر إشارة التداخل كامل المرسل - المستجيب بسرعة صعوداً وهبوطاً. وتوصَل الإشارة التي يستقبلها هوائي اتجاهي بمسجلة التردد في المدى IF الترددي. وترقمَن الإشارة وتُعرض على الخط في شبكة الإنترنت باستعمال تحويل فورييه السريع (FFT) في شكل مخطط طيفي في مسجلة التردد. وتُخزن الأطياف الترددية في قرص صلب على نحو متواصل بحيث تتاح للتحليل الإضافي خارج الخط. وتمثل الألوان المختلفة مستوى القدرة في المخطط الطيفي. ويمكن ضبط مدى مستوى القدرة المعروض بإعدادات المدى اللوني. ويمكن تغيير المخطط الطيفي في المدى الترددي وفي مدى الوقت المسجَّل بالتكبير البصري بحيث يمكن عرض فترة رصد قصيرة بتفصيل كبير أو بالتصغير البصري لفترة رصد طويلة مما يوفر منظوراً عاماً. ويقع خط واسم التردد وخط واسم الوقت في الجانب الأيسر تحت المخطط الطيفي المعروض للطيف الترددي الخاص بهما.

الشكل 5.1-41

قياسات شغل المرسل–المستجيب

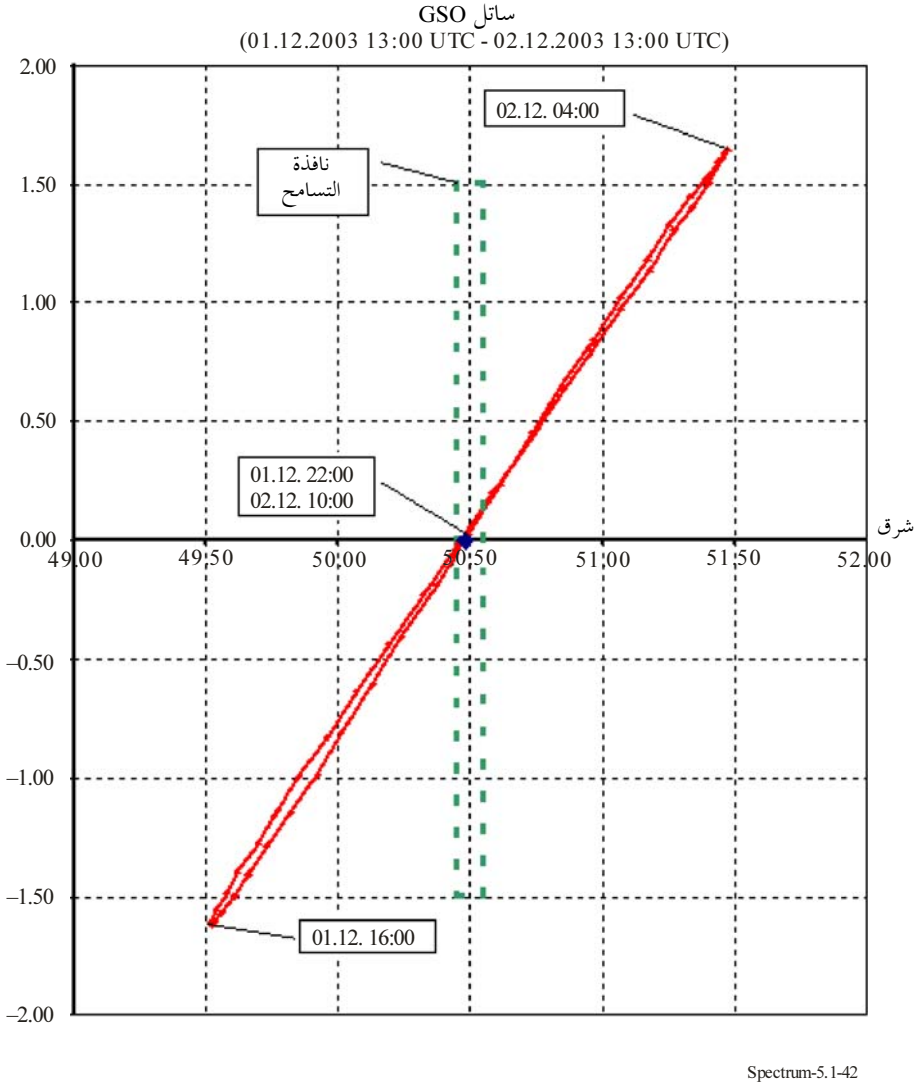


4.7.1.5 ميل سواتل GSO

تم الحصول على الرسم البياني في الشكل 5.1-42 برصد موضع ساتل GSO في فواصل زمنية قدرها 30 دقيقة باستعمال هوائي مكافئي قطره 12 متراً وبفتحة نصف قدرة حزمة هوائي تبلغ 0,15°. واستناداً إلى إجراء التتبع أحادي النبضة، يتم الحصول على بيانات تسديد الهوائي أوتوماتياً بتحديد موقع الساتل يدوياً بدايةً. وتسجَل مواضع الساتل عبر فترة قدرها 24 ساعة وتُحسب النتائج لإنتاج شكل الرقم "8". وتُظهر المعلومات المتحصل عليها رحلة الساتل من موضعه المداري الاسمي وتقدم مرجعاً للرصدات المستقبلية.

الشكل 1.5-42

ميل السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض (شكل الرقم "8")



5.7.1.5 نتيجة قياس لتحديد الموقع الجغرافي وعرضها

يمثل الشكل 1.5-43 النتائج المتحصلة من قياس فارقي وقت الوصول (TDOA) وتردد الوصول (FDOA) لتحديد الموقع الجغرافي لمحطة أرضية مجهولة تقيم وصلة صاعدة. وتُعرض النتيجة عادة في شكل مساحة إهليلجية يمكن تغشيتها فوق تطبيق خريطة رقمية تسهيلاً للفهم. ويمكن لشكل الإهليلج واتجاهه أن يختلفا كثيراً بفعل عدد القياسات المأخوذة ووقت القياس خلال اليوم ونمط تشكيل الإشارة قيد الاختبار والارتباط *S/N*، وما إلى ذلك.

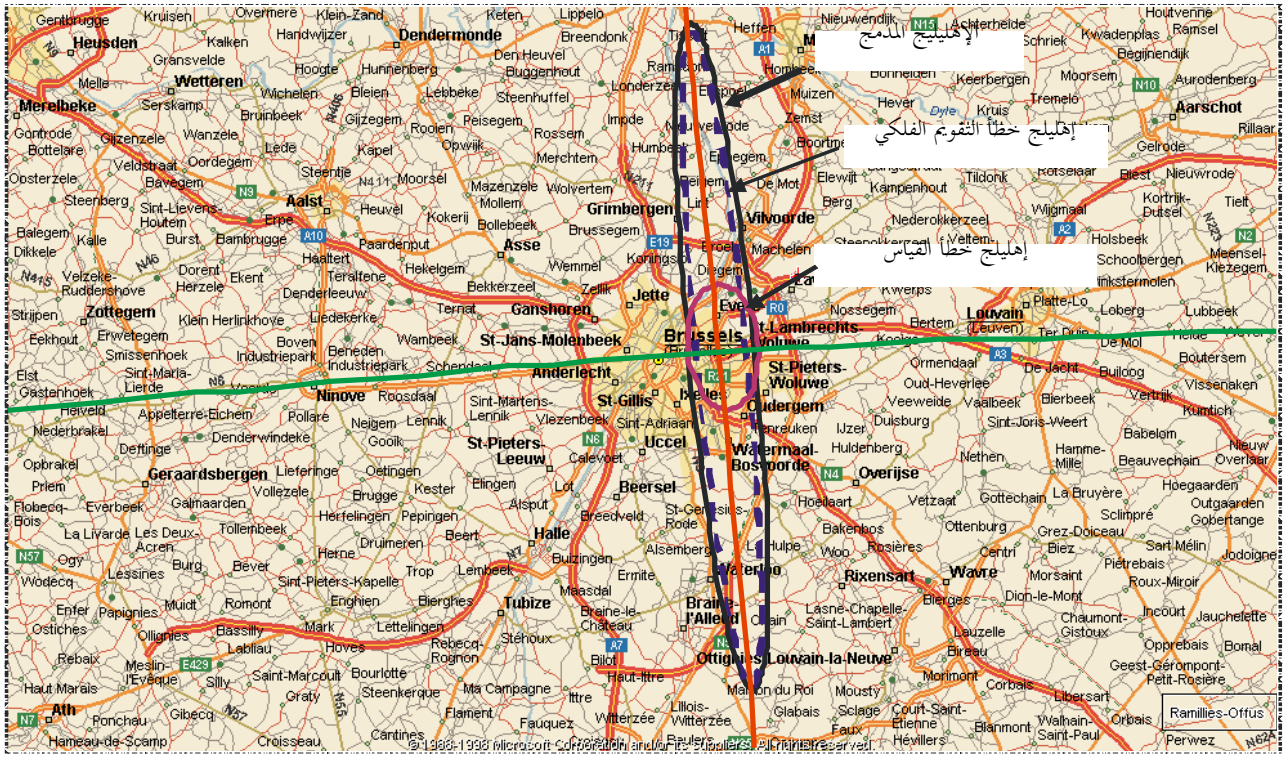
وتشمل العوامل اللازمة لتعريف الإهليلج:

- طول المحور شبه الرئيسي.
- طول المحور شبه الثانوي.
- زاوية المحور شبه الرئيسي (أو نصف المحور شبه الثانوي) بالنسبة إلى اتجاه مرجعي.
- تناسق المركز.
- مستوى الثقة.

وفيما يلي تمثيل لقياس لتحديد الموقع الجغرافي على خريطة مع الإهليلج الخاص بالأخطاء. ويبين الإهليلج الكبير للخطأ التقويمي عدم الدقة في موقع الساتل وسرعاته. وفي هذه الحالة ينبغي إجراء قياس لتعويض الخطأ التقويمي.

الشكل 1.5-43

نتائج تحديد الموقع الجغرافي لمحطة أرضية ترسل إلى ساتل GSO



Spectrum-5.1-43

المراجـــع

BARDELLI, R., HAWORTH, D. and SMITH, N. [1995] Interference Localisation for the EUTELSAT Satellite System. Proc. GLOBECOM-95, Singapore.

DÜSPOHL, K. [2006] Vertex, Monitoring Ground Station Antennas. 9th International Space Radio Monitoring Meeting, Mainz, Germany.

KAWASE S. [2005] Interferometric monitoring of satellite longitudes, International Journal of satellite communications and networking, Vol. 23, pp. 67-76 (January 2005).

KAWASE S. [2007] Radio interferometer for geosynchronous-satellite direction finding, IEEE Transactions on aerospace and electronic systems, Vol. 43, pp. 443-449 (April 2007).

KOETS, M. A. and BENTLEY, R. T. [1999] Satellite Based Geolocation Using a Single Geosynchronous Satellite and an Inverse Doppler Technique. Southwest Research Institute, San Antonio.

LEUPELT, U. and GIEFING, A. [1981] 12-m-Cassegrain-Antenne mit umschaltbarem Speisesystem (A 12 m Cassegrain antenna with switchable feeder). *NTZ*, Vol. 34, p. 570-575.

MAHNER, H. [1970] Telemetrie- und Trackingempfänger für Satelliten-Bodenstationen (Telemetry and Tracking Receiver for Satellite Earth Stations), Siemens-Zeitschrift 44, Special Issue “Beiträge zur Raumfahrt”, p. 108-112.

MONTENBRUCK, O. [1989] Practical Ephemeris Calculations. Springer Verlag, Heidelberg.

MONTENBRUCK, O. and PFLEGER, T. [1991] Astronomy on the Personal Computer. Springer Verlag Heidelberg.

NEWELL, A. C., BAIRD, R. C. and WACKER, P. F. [1973] Accurate Measurement of Antenna Gain and Polarization at Reduced Distances by an Extrapolation Technique. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-21, No. 4, p. 418-430.

NEWELL, A. C., STUBENRAUCH, C. F. and BAIRD, R. C. [1986] Calibration of Microwave Antenna Gain Standards. *Proc. IEEE*, Vol. 74, No. 1, p. 129-132.

SATOH, T. and OGAWA, A. [1982] Exact gain measurement of large aperture antennas using celestial radio sources. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-30, No. 1, p. 157-161.

SCHILLER, M. and SIGL, G. [2006] Sinan, Design and Advantages of a Compact Multiple Band Feed System. 9th International Space Radio Monitoring Meeting, Mainz, Germany.

SCHWERDTFEGER, R.[2006] Vertex RSI, Multi-function Earth Station Antennas.9th International Space Radio Monitoring Meeting, Mainz, Germany.

STEIN, S. [1981] Algorithms for Ambiguity Function Processing. *IEEE Trans. Acoustics*, Speech, and Signal Processing, Vol. ASSP-29, No. 3.

بيبليوغرافيـــا

BENTLEY, R. T., JOHNSON, R. and CASTLES, M. P. [1996] Southwest Research Institute, San Antonio, Texas.

BUCERIUS, H. and SCHNEIDER, M. [1966] Himmelsmechanik I-II (Sperical Trigonometry I-II); Bd. 143/144, Bibliographisches Institut; Mannheim.

CAPELLARI, J. O., VELEZ, C. E. and FUCHS, A. J. [1976] Mathematical Theory of the Goddard Trajectory Determination System; Goddard Space flight center; Greenbelt, Maryland.

GOULD, R. G. and LUM, Y. F. [1976] *Communications satellite systems: An overview of the technology*. IEEE Press.

GREEN, R. M. [1985] *Spherical Astronomy*; Cambridge University Press; Cambridge.

HARTL, P. *Fernwirktechnik der Raumfahrt* (Remote control in astronautics). Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo.

HERTLER, E. and RUPP, H. *Nachrichtentechnik über Satelliten* (Telecommunication via Satellite). Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo.

ITU [1988] Specifications of transmission systems for the broadcasting-satellite service.

ITU Handbook on Satellite Communications, Third Edition, 2002, WILEY, New York

KAISER, W. and LOHMAR, U. [1981] *Kommunikation über Satelliten* (Communication via Satellite). Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo.

KOCH, G. [1972] Antennenprobleme beim Weltraumfunk (Problems in designing antennas for space communications). *NTG-Fachberichte*, Vol. 43, p. 101-123.

KRIETENSTEIN, K. [1994] Das Ohr am Orbit, Eine Darstellung von Arbeitsweisen der Funkmeßstelle Leeheim des BAPT (The Ear at Orbit, A Presentation of the Measurement Methods of the Leeheim Monitoring Station for Space Radiocommunication Services of the German Federal Office for Posts and Telecommunications), telekom praxis, 8/94, Schiele & Schön GmbH, 10969 Berlin.

MAHNER, H. [1970] Telemetrie- und Trackingempfänger für Satelliten-Bodenstationen (Telemetry and tracking receiver for satellite earth stations), Siemens-Zeitschrift 44, Special Issue “Beiträge zur Raumfahrt”, p. 108-112.

MIYA, K. [1975] Satellite Communications Engineering. Lattice Co., Tokyo, Japan.

MOENS, C. and ROESEMS, K. [1974] Nachführ- und Datenempfänger für Bodenstationen von Satellitensystemen (Tracking and data receiver for earth stations of satellite systems), *Elektrisches Nachrichtenwesen*, International Telephone and Telegraph Corporation, Vol. 49, No. **3**, p. 315-323.

ÖHL, H. and GÖSSL, H. [1978] Die Eigenschaften der Antennen der zentralen Deutschen Bodenstation (ZDBS) (Characteristics of the antennas of the Federal Republic of Germany's Central Earth Station (ZDBS)). *Mikrowellenmagazin*, Vol. 4, 1, p. 10-14.

SIEMENS-ZEITSCHRIFT [1970] Beiheft, Beiträge zur Raumfahrt (Papers on Astronautics). Vol. 44.

Transmitter Location Systems, LLC [2005] TLS Model 2000 Operation and Maintenance Manual.

UNGER, J. W. H. [1976] *Literature survey of communication satellite systems and technology*. IEEE Press.

WOOD, P.J. [1980] *Reflector antenna analysis and design*. Peter Peregrinus Ltd., Stevenage, United Kingdom.

توصيات قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات:

ملاحظة – يحبذ في كل حالة استعمال آخر طبعة من التوصية.

التوصية ITU-R S.446 – تشتت طاقة الموجة الحاملة للأنظمة المستخدِمة للتشكيل الزاوي بإشارات تماثلية أو للتشكيل الرقمي في الخدمة الثابتة الساتلية.

التوصية ITU-R S.484 – الحفاظ على الموقع بالنسبة إلى خطوط الطول فيما يتعلق بسواتل المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض.

التوصية ITU-R BO.650 – معايير أنظمة التلفزيون التقليدي للإذاعة الساتلية في القنوات المعرّفة في التذييل 30 من لوائح الراديو.

التوصية ITU-R S.673 – المصطلحات والتعاريف المتعلقة بالاتصالات الراديوية الفضائية.

التوصية ITU-R SM.1681 – قياس إرسالات منخفضة المستوى الصادرة عن المحطات الفضائية في محطات المراقبة الأرضية باستعمال تقنيات خفض الضوضاء.

2.5 المراقبة الإذاعية

1.2.5 مقدمة

من الممكن للمرء للوهلة الأولى أن يعتبر أن الخدمات الإذاعية، أي الإذاعة والتلفزيون، مغطاة بشكل واف بإجراءات المراقبة المعيارية. وفي الحقيقة، تغطي تلك الإجراءات التي جرت مناقشتها في الفصل السابق معظم القياسات الأساسية التي يتعين أداؤها بشأن الخدمات الإذاعية. بيد أنه بالنظر إلى أهمية هذه الخدمات كوسيلة للاتصالات الجماهيرية، ومن ثم كونها أداة للتثقيف والنهوض بالقيم الثقافية الإقليمية والوطنية، فإن بلدانا عديدة تطبق لوائح خاصة على تلك الخدمات، عادة ما تشمل معلمات مثل التغطية، ونوع الخدمة، وقيود المضمون مثل القيود التي تفرض على الإعلانات التجارية، والحد الأدنى من كمية البرامج الثقافية والتعليمية أو البرامج الجديدة، إلى آخره.

وتتطلب تلك القيود التنظيمية إجراءات ومعدات مراقبة مخصوصة. ورغم أن لمستقبلات المراقبة المعيارية في العادة قدرات على إزالة التشكيل تسمح باستقبال وتسجيل البرامج الإذاعية، فإن استخدام أدوات قياس غالية الثمن في مثل هذه المهام القليلة الشأن يعتبر غير كفء وغير ملائم اقتصادياً حيث إن خواص التسجيل قد لا تكون مناسبة من حيث الجودة. فمثلاً، عادة ما لا تستطيع مستقبلات المراقبة أن تسجل بنفسها القنوات المجسمة أو تعرض الصور المفككة الشفرة. وفي معظم الوقت، قد لا توفر أدوات القياس تعالقا جيداً من حيث الأداء والانتقائية والنوعية مع المنتجات الاستهلاكية المصممة خصيصا لكي تستخدم في النفاذ إلى تلك الخدمات.

واستنادا إلى هذه المفاهيم، يقدم هذا الفصل مبادئ توجيهية عامة لتوسيع نطاق مرافق المراقبة بواسطة تنفيذ قنوات مراقبة إضافية ملائمة لمراقبة المضمون. وعادة ما تكون هذه الأنظمة الفرعية ضرورية لأداء أنشطة من قبيل تغطية وجودة تقييم الخدمة، وتوفير خصائص استقبال أقرب إلى خبرات المستخدم النهائي، وقد يثبت أنها نفيسة في توفير القدرة على المراقبة المتزامنة لقنوات متعددة مقابل تكلفة منخفضة نسبيا.

ومن المهم أيضاً، بمراعاة استخدام الطيف، ملاحظة أن الخدمات الإذاعية، وبخاصة الإذاعة السمعية FM والإذاعة التلفزيونية، عادة ما تطبق قدرة إرسال بالغة الارتفاع على نطاق شرائح كبيرة من الطيف على ترددات VHF وUHF منخفضة، ووثيقة جداً من تطبيقات بالغة الأهمية من قبيل الملاحة الجوية وترددات الاتصالات، مما يزيد من أهمية تطبيق مراقبة محكمة على البث التوافقي والهامشي، ومن ثم أهمية أنشطة الرقابة كوسيلة لمنع التداخل مع الخدمات الأخرى. وسيعرض هذا الفصل الذي يتناول هذا الموضوع خصائص المعايير الإذاعية الرئيسية المستخدمة بإيجاز، ويوفر مرجعا لتحليل تلك الأنظمة.

1.1.2.5 نوعية الخدمة

في مجال علم النفس، تعرف نوعية الخدمة بشكل عام على أنها الفرق بين ما هو متصور وما هو متوقع. [Llosa, *et al.*, 1998]. ورغم أنه لا يزال يوجد اختلاف بشأن تنفيذ تلك المفاهيم، وبخاصة عناصر صيغتها، فقد تم إيجاد طرائق عديدة لتعريف جودة المنتج والخدمات بشكل كمي.

وعموما، يمكن للمرء أن ينظر في ثلاث طرائق للتقييم النوعي المطبقة بشأن الإذاعة والاتصالات بشكل عام:

1 *النوعية الأصيلة*، حيث تراعي المعلمات التقنية للخدمة، فمثلاً نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) ونسبة الإشارة إلى التداخل (SIR)، ونسبة الإشارة إلى التداخل + الضوضاء (SINR)، والتشوه التوافقي الكامل (THD)، ومستويات النطاق الأساسي النسبية، ومعدل الخطأ في البتات (BER)، ومعدل خطأ التشكيل (MER)، ومعدل خطأ الرتل (FER)، إلى آخره.

وعموماً، يعتبر تقييم النوعية الأصيلة وثيق الصلة بشكل مباشر بالبيئة الإذاعية وبالتشغيل السليم للنظام، ومن ثم فإنها متصلة بشكل قوي بالمعيار الإذاعي وبهندسة الشبكة الإذاعية، ومتصلة في بعض الحالات بالتكنولوجيا المستخدمة داخل مستقبلات ومفككات تشفير التلفزيون.

ويلاحظ أن النوعية الأصيلة شرط مشدد لتشغيل النظام، ولكنه يكون في العادة بمثابة تعالق منخفض مع التصورات الفعلية للمستخدم، وبخاصة بشأن الأنظمة الحديثة والمشفِرات التي تسعى جاهدة للتغلب على محدودية التصورات البشرية من أجل تحسين النوعية بعرض نطاق مخفض باستخدام التحويلات غير الخطية وغير المستقرة.

2 *النوعية المتصورة بواسطة طرائق ذاتية*، حيثما تستخدم أدوات نفسانية وإحصائية لتقييم تصور المستخدم عن شريحة لوسيطة إعلام استنادا إلى آراء المستخدمين الفعلية مرتبة بموجب شروط وأدوات بيئة محكومة. وهذه الإجراءات مستقلة عن التكنولوجيا، ويمكن تطبيقها بسلاسة على نطاق يتراوح من الأجهزة الراديوية الرقمية الضيقة النطاق إلى الأنظمة التلفزيونية الرقمية المرتفعة الوضوح وتوفر نتائج يعول عليها إذا ما استخدمت على الوجه الصحيح، وتصبح بهذا الشكل المرجع الأولي الذي تحال إليه جميع تقييمات النوعية الأخرى، إلا أن لها عيباً رئيسياً يتمثل في أنها باهظة التكلفة ومستنفدة للوقت.

3 *النوعية المتصورة بواسطة طرائق موضوعية*، حيث تستحدث خوارزميات للجمع بين مؤشرات نوعية معلمية عديدة من أجل توفير رتبة نوعية وحيدة تتعالق بشكل أفضل مع التقييم الذاتي. ويعتبر ذلك تطوراً حديثاً بشأن مسألة تقييم النوعية ويستهدف بها أن تجمع بين فوائد التحليل الذاتي المعتمدة على التكنولوجيا وبين سهولة الاستخدام المترتبة على إجراءات التقييم المعلمية.

وتستند الإجراءات الثلاثة كلها في العادة إلى مفهوم إدخال إشارة أو مخطط تجربة إلى نظام الإرسال/الاستقبال وإخضاع المخرجات للتحليل. ويمكن القيام بالتحليل ذاته بواسطة معرفة الإشارة المدخلة أو قياسها أو بدونهما.

وعادةً ما تحتاج القياسات الموضوعية للنوعية المتصورة إلى المقارنة مع إشارة مرجعية. ويمكن للطرائق الذاتية أن تستخدم المرجع أو لا تستخدمه، مع مراعاة البدائل عندما يعتمد التقييم على المفهومية وعلى التصور الذاتي لمجموعة اختبار الاستماع. وقد يستند التقييم الأصيل على خصائص محددة للإشارة، مثل شفرة الإطناب الدوري (CRC)، أو الجذر التربيعي لمتوسط القدرة، ومن ثم لا يحتاج إلى إشارة مدخلة للتوصل إلى نتيجة، أو قد يحتاج إلى مخطط اختبار للإشارة لتوفير نتائج محددة.

كما يمكن تقسيم النوعية المتصورة، وبخاصة عند أداء التقييم الذاتي، إلى فئتين: "تقييم النوعية"، عندما يكون المستهدف تقييم النظام في إطار ظرف أمثل، "وتقييم الانحطاط"، عندما يكون المستهدف تقييم تأثير التشفير أو الإرسال أو البث على نوعية الإشارة.

وسيواصل القسم التالي وصف معلمات نوعية الصوت والصورة، مركزاً على إجراءات تقييم النوعية الذاتية والموضوعية المذكورة داخل الاتحاد الدولي للاتصالات، حيث إنها الأكثر وثاقة في هذا المجال وإن التقييم المعلمي تم وصفه عند عرض المعايير المستخدمة في القسم السابق.

وفي العادة، يمكن الحصول على تحليل شامل للأداء بواسطة الجمع بين تقييمات النوعية الأصيلة والمتصورة وبين قوة المجال التقليدية ونسب الموجة الحاملة إلى الضوضاء من أجل المعايير التناظرية، وبين معلمات انتشار راديوي إضافية مثل نسب الإشارة إلى التداخل وتمديد تأخير الانتشار، وتمديد تأخير التزامن، إلى آخره، من أجل المعايير الرقمية. ومثل هذا التقييم يعتبر بالغ الأهمية بمراعاة التحول الحالي من الأنظمة التناظرية إلى الأنظمة الرقمية الذي حدث في العديد من البلدان.

ومن الأخطاء الشائعة حول هذا الموضوع أن الجودة تعني رضاء المستخدمين. وفي الحقيقة، يمكن القول بأن من الحقائق العلمية أن رضاء المستخدم يكون متناسباً مع الجودة فقط عندما تتعالق هذه الجودة مع توقعات ورغبات المستهلكين بمعنى عام، أي قد يسعد المرء بالحصول على نوعية سيئة نسبياً من مكالمة هاتفية إذا كان السعر أقل بكثير من البدائل الأخرى، مثل تطبيقات الإنترنت الصوتية، أو على نحو آخر، قد لا يولي المرء أهمية لنوعية ممتازة من الفيديو إذا كانت المعلومات المعروضة غير ذات أهمية.

وكلما تم القيام بجهد تنظيمي بشأن النوعية، ينبغي مراعاة التكاليف المصاحبة للمراقبة وينبغي أن يكون التوازن النهائي بشأن الفوائد المتوقعة للمستخدم واضحاً.

أ النوعية السمعية المتصورة

لقد كانت مقاييس النوعية السمعية الذاتية قضية مطروحة في التطبيقات الإذاعية وتطبيقات الاتصالات لبعض الوقت، ومن ثم أسفرت عن العديد من توصيات قطاعي الاتصالات الراديوية وتقييس الاتصالات في الاتحاد الدولي للاتصالات.

وعند النظر في العنصر السمعي في الإذاعة الصوتية، فإن نقطة البداية الممتازة تتمثل في التوصية ITU-R BS.1283 التي توجز العديد من التوصيات الأخرى بشأن التقييم الذاتي لنوعية الصوت، والتي تعتبر الأساس الأكثر معولية لتقييم النوعية.

وبصفة عامة، يطبق التقييم الذاتي مقاييس مدرجة تضم 5 أو 7 درجات قد تتباين من النوعية الممتازة إلى السيئة، ومن الانحطاط غير المحسوس إلى الانحطاط المزعج جداً أو من الأفضل بكثير إلى الأسوأ بكثير، وذلك عند مقارنة زوج من التسجيلات.

وباستخدام هذه المقاييس المدرجة، تقوم جماعات اختبار منتقاة بأداء جلسات استماع في بيئات مصممة خصيصا وتسجل آرائها عن تقييم كل تسجيل أو مقارنة زوج من التسجيلات. وتعالج نتائج التقييم إحصائيا من أجل تقديم الدرجة النهائية، أو الرتبة، الخالية من الميول الشخصية وبتعالق مرتفع مع رأي المستخدم النهائي. وعادة ما تأخذ المعالجة كلا من التسجيلات المرجعية "والمشوهة" في التقييم. ويسمى الفرق في الرتب بين المدخل المرجعي ومخرج النظام الناتج: "رتبة الاختلاف الذاتي" (SDG)، التي تتدرج من 0 (انحطاط غير محسوس) إلى 4 (انحطاط مزعج جدا).

والتوصية ITU-R BS.1116 هي المرجع الأساسي داخل الاتحاد الدولي للاتصالات بشأن تصميم تجارب بشأن التقييم الذاتي، حيث تنص على شروط تجريبية صارمة تعتبر هامة بوجه خاص لتحديد الانحطاطات الصغيرة في النوعية السمعية. ولتقليل تكاليف استخدام هذه التوصية، من الممكن استخدام التوصية ITU-R BS.1285 لتنسيق إجراءات الاختيار المسبق للتسجيلات، مما يقلل من كمية الوسائط التي يتعين تقييمها.

وقد وُضعِت التوصية ITU-R BS.1284 بعد أخذ التوصية ITU-R BS.1116 مرجعا رئيسيا لها، ولكن بمراعاة معلمات أكثر مرونة، ومن ثم فقد تم التوصية بما هو أكثر بشأن التطبيقات العامة، حيث يكون الانحطاط في السمعيات أكبر حجماً، وإن كانت تعتبر مع ذلك نظاماً سمعياً مرتفع الجودة.

وبالنسبة لنظم النوعية الوسيطة، مثل التدفق الراديوي على شبكة الإنترنت، ومشغلات الحالة الصلبة ونظم الإذاعة الرقمية، فقد تم وضع التوصية ITU-R B.1534 التي قد تكون أكثر فعالية عند تقييم النوعية السمعية التي يمكن أن تندرج في النصف الأدنى من رتبة التوصية ITU-R BS.1116.

وبالنسبة للنوعية المنخفضة، كالأنظمة ضيقة النطاق المستخدمة بالدرجة الأولى في الاتصالات الصوتية، يمكن استخدام توصيات الاتحاد الدولي للاتصالات ITU-T P.800 وITU-T P.810 وITU-T P.830 أيضاً. وتصف هذه التوصيات منهجية بشأن اختبارات متوسط علامة الرأي (MOS)، وهو المعيار الذاتي المرجعي المستخدم من أجل خدمات اتصال من قبيل المهاتفة.

وأخيراً، يمكن استخدام التوصية ITU-R BS.1286 استكمالا للتوصيات المذكورة سابقا كلما قُدم الصوت مع صورة مصاحبة، بما يدمج مبادئ تقييم النوعية السمعية في بيئة تعرض فيها الصورة أيضاً، على نحو ما يشاهد في التلفزيون. وتدلل الاستوديوهات على أن التصور البشري للسمعيات يتأثر بالرؤية المصاحبة لها. ولذلك لا يمكن لتقييم برامج التلفزيون والوسائط المتعددة أن ينظر في المضمون السمعي ومضمون الفيديو المتصاحبين على حدة كلما تم القيام بتقييم كامل للنظام.

ومؤخراً جداً، تم وضع العديد من الخوارزميات والبرامج الحاسوبية، في محاولة لمحاكاة نتائج وإجراءات مأخوذة من تقييمات ذاتية، مصحوبة بالفوائد المتوقعة لتخفيض التكاليف والمرونة بشأن تطبيقات عن أنشطة المراقبة المستمرة على نحو ما يناقش في هذا الكتيب.

وبالنسبة لنظم النوعية المرتفعة، يتمثل المرجع الأساسي لتقييم النوعية الموضوعية في التوصية ITU-R BS.1387. وقد تم استحداث هذه التوصية بواسطة التثبت من صلاحية ست طرائق كانت موجودة في السابق وتجميعها معاً: مؤشر الاضطراب (DIX)، ونسبة الضوضاء إلى الحجب (NMR)، ومقياس النوعية السمعية الإدراكية (PAQM)، والتقييم الإدراكي (PERCEVAL)، ومقياس موضوعي إدراكي (POM) ونهج مجموعة الأدوات.

واستخدمت عملية التقييم تسجيلات صوت طبيعي عديدة تمتد من 10 إلى 20 ثانية، إما من أدوات موسيقية أو من أصوات بشرية. وتم تعالق رتبة الاختلاف الذاتي (SDG) مع رتبة الاختلاف الموضوعي من أجل استمثال الخوارزميات المذكورة في التوصية. ويمكن استخدام الخوارزمية ذاتها مع إشارات اختبار أو أي تتابع آخر، مثل جلجلة، يمكن وضعها بسهولة في برنامج عادي بما يسمح بأداء الاختبارات بدون تعويق لعملية المحطة المعيارية.

وتعرض توصية قطاع تقييس الاتصالات رقم P.862 طريقة موضوعة أخرى تسمى "التقييم الإدراكي لنوعية الكلام" (PESQ). وتستخدم هذه التوصية من أجل تقييم نوعية الكلام في شبكات الهاتف ضيقة النطاق (kHz 1,3) ومشفرات الكلام. وتعمل الطريقة بشكل مماثل جداً لتلك المذكورة من أجل طرائق أخرى، فتقارن إشارات المُدخل والمُخرج من نظام قيد التجربة. وتتبع عملية التثبت من صحة هذه الطريقة إجراء مماثلا استخدم في التوصية ITU-R BS.1387، ولكنها تطبق تتابعات الصوت ضيق النطاق فقط وتستخدم مقاييس متوسط علامة الرأي (MOS) كمرجع.

وبديلاً عن ذلك، تعرض توصية قطاع التقييس رقم P.563 طريقة لا تحتاج إلى إشارة مدخل من أجل المعالجة. وتنطوي الخوارزمية على تحليل محذوق للكلام يبني إشارة مرجعية تقديرية تستند إلى الإشارة المشوهة ومنها توفر رتبة MOS تقديرية مكافئة.

وينبغي لمستخدم هذه الطرائق الموضوعية أن يكون على وعي بمحدودياتها. ومعظم هذه المحدوديات مبينة في التوصيات.

فمثلاً، تتطلب التوصية ITU-R BS.1387 عينات متزامنة، ومن ثم فإنها لا تستطيع تقييم أي تأخير في الإرسال. ومن ناحية أخرى، فإن توصيتي قطاع التقييس P.563 وP.862 لا تستطيعان تقييم التأخيرات فحسب، بل ومستوى التشوهات أيضاً، حيث إن المرحلة الأولى من الخوارزمية تعالج تلك التشوهات وتزيلها. وحتى بعض التشوهات التي تتسبب فيها القيود على الاستجابات الترددية للنظام قد تمر دون أن يلحظها أحد.

وعموما، قد لا تستطيع الخوارزمية الموضوعية مع ذلك أن تحاكي كل وجه من التصورات البشرية، ويوصى بتطبيق هذه الطرائق بحذر، والعمل كل ما أمكن على التحقق من توافق النتائج مع طرائق أكثر معولية، أو على الأقل مع تقييم سريع يقوم به المشغل عندما تكون النتائج الواردة للنظام غير متوافقة مع الخبرات، بالنظر إلى خواص الانتشار والنظام قيد التقييم.

ب نوعية الفيديو المتصورة

المرجع الرئيسي لتقييم نوعية الفيديو الموضوعية المتصورة في الاتحاد الدولي للاتصالات هو التوصية ITU-R BT.500. وتصف هذه التوصية طرائق عديدة يمكن تطبيقها بشأن تقييم النوعية. وتتباين هذه الطرائق أساساً في شكل العرض التحفيزي، ونوع المقياس المدرج ونوع الصورة التي تستخدمها الوسائط. وتتألف هذه الاختبارات، بصفة عامة، من عرض صور ثابتة أو تتابع فيديوي على مجموعة لا تقل عن 15 متطوعاً، وتسمى هذه المجموعة عادة في هذه التوصية باسم المقيِّمين، الذين يرفقون تصوراتهم كحواشي على المقاييس المدرجة خلال أجزاء من الوقت تبلغ قرابة نصف ساعة. ويتم معالجة الدرجات المسجلة إحصائيا في وقت لاحق. وقد تم وصف جميع خطوات هذه الإجراءات بشكل شامل.

ويمكن تقسيم هذه الطرائق، من حيث التحفيز، إلى حوافز مفردة وحوافز مزدوجة. وبالنسبة للحوافز المفردة، يطلب من المقيِّم أن يقيم صورة، أو تتابع صور أو قطاع من فيديو، وأن يصف انطباعه بعد كل قطاع. وبالنسبة للحوافز المزدوجة، يطلب من المقيم أن يقيم زوجاً من الصور أو التتابع الفيديوي تعرض بالتبادل أو جنباً إلى جنب، واحدة بها تلف وأخرى منتجة من المصدر مباشرة. وبالنسبة لهذا النوع من الحوافز، يمكن تحديد المقياس المدرج بحسب الانحطاط، ومقارنة كلتا الصورتين بمقياس نسبي، أو باستخدام مقياس مدرج معياري بالنسبة إلى النوعية. وعادة ما توفر طريقة الحوافز المزدوجة تبايناً أقل في الاستجابة، إلا أنها تتطلب أيضاً اعتناء أكبر وربما لا يمكن تطبيقها في ظروف معينة أو بالنسبة لأنظمة معينة، ومثلاً أنظمة من قبيل تلك التي نوقشت بشأن توصيتي قطاع تقييس الاتصالات رقم J.140 وJ.245، اللتان تطبقان طرائق الحوافز المفردة استناداً إلى تفهم بأن تلك الطرق تقرب الظروف الحقيقية الملحوظة في الداخل بشكل أفضل باستخدام جهاز تلفزيون أو حاسوب معياريين.

وفيما يتعلق بالمقياس المدرج، يجري وصف أربعة أنواع من التقييم في المقام الأول في توصيات الاتحاد الدولي للاتصالات المذكورة في هذا القسم:

- أولاً، استخدام المقاييس المدرجة العددية، وبها خمس أو سبع درجات أو حتى إحدى عشرة درجة، تتباين من الممتاز إلى السيء بشأن طرائق الحوافز المفردة أو من أفضل بكثير إلى أسوأ بكثير بشأن طرائق الحوافز المزدوجة.
- وثانياً، بعض الطرائق قد تطبق الحكم الفئوي الوصفي فحسب، بدون التصاحب العددي حيث يختار المقيم الوصف الأكثر ملاءمة فحسب من المجموعة المقدمة له.
- وثالثاً، يمكن استخدام مقياس بياني نسبي، وعادة ما يعرف هذا المقياس بأنه خط أو خط مقطع، يصل ما بين وصف مثل ممتاز على الجانب الأعلى إلى وصف آخر مثل سيء على الجانب الأسفل. وعندئذ يطلب إلى المقيم أن يضع علامة عند النقطة التي تقابل تصوره في المقياس.
- ورابعاً، استخدام شريحة منزلقة، وهي نبيطة إلكترونية تسجل التصور الذاتي بطريقة شبيهة جداً بالمقياس البياني النسبي ولكنها تتميز بالقدرة على القيام بذلك على نحو مستمر فتسجل الانطباعات على مر الزمن، وهو ما له أهمية إلى حد ما لتقييم الصور المتحركة.

وفيما يتعلق بالوسائط، تصف التوصية ITU-R BT.500 إجراءات تقييم كل من الصورة الثابتة والمتحركة. لقد كانت الصور الثابتة أكثر قيمة من الناحية التقليدية عند تقييم الأنظمة التناظرية وانحطاطاتها، حيث إن ذلك يؤثر حيثما لا تكون الصور معتمدة على المنظر ومتباينة زمنياً بنفس الطريقة التي لوحظت مع خوارزميات ضغط الفيديو الرقمي الحديث التي تتطلب إيجاد ما يسمى بإجراءات التقييم المستمر.

ومراعاة لتلك التباينات، حددت التوصية ITU-R BT.500 الطرائق التالية:

- مقياس الانحطاط النسبي للحافز المزدوج، أو طريقة EBU؛
- مقياس النوعية المستمرة النسبي للحافز المزدوج؛
- الحكم الفئوي الوصفي للحافز المفرد؛ المقياس الفئوي العددي النسبي للحافز المفرد (SSNCS)؛
- القياس النسبي المستمر بتقدير غير فئوي للحافز المفرد؛
- القياس النسبي العددي بتقدير غير فئوي للحافز المفرد؛
- تقييم النوعية المستمر للحافز المفرد (SSCQE)؛
- حافز مزدوج متزامن للتقييم المستمر (SDSCE).

وفضلاً عن جميع هذه الطرائق، يمكن العثور على طرائق عديدة أخرى في الأدبيات، بل وداخل الاتحاد الدولي للاتصالات. فعلى سبيل المثال، تعرض التوصية ITU-R BT.710 معلومات إضافية، مثل ظروف الرؤية واختيار بدائل التقييم بخصوص استخدام طرائق الاختبار الواردة في التوصية ITU-R BT.500 بشأن التلفزيون عالي الوضوح (HDTV). وتوفر التوصية ITU-R BT.1128 معلومات مماثلة بخصوص نظم التلفزيون التقليدية وتوفر التوصية ITU-R BT.1129 معلومات مماثلة بشأن الأنظمة الرقمية، وذلك بمراعاة تطبيقات الاستوديو في المقام الأول.

كما يمكن الحصول داخل الاتحاد الدولي للاتصالات على مواد للاختبار يمكن استخدامها من أجل تقييم النوعية أو من أجل البيانات العملية، مثل تلك المقدمة في التوصية ITU-R BT.1210. كما تستخدم هذه المواد المعيارية في الكثير من المراجع لتوفير قاعدة مشتركة للمقارنة بين الطرق البديلة.

وقد يبدو عدد الاختبارات الكبير المتاح مثيرا للبلبلة. وفي الحقيقة، فإن ذلك يحدث نتيجة للتباين الكبير في أنواع الوسائط المحتملة والانحطاطات التي يتعين معالجتها. ولكل طريقة اختبار مواطن قوتها وضعفها، وقد تكون أنسب لنوع معين من التقييم. ومن الضروري الاستفادة من مساعدة الأشخاص ذوي الخبرة، والتخطيط المتأني، واستخدام طرائق كثيرة متعددة في كثير من الأحيان، من أجل الحصول على نتائج التقييم وتفسيرها. وترد مناقشة مثيرة للاهتمام عن طرائق الاختبار المتاحة في التقرير ITU-R BT.1082، الذي لا يزال يمثل مرجعا مفيدا، وإن كان قد عفا عليه الزمن، من أجل تفهم أفضل للطرائق التقليدية الموصوفة في التوصية ITU-R BT.500.

ومع أخذ تقنيات قياس النوعية الإدراكية الموضوعية في الاعتبار، فإن ثمة مرجع رئيسي داخل الاتحاد الدولي للاتصالات هو مجموعة خبراء نوعية الفيديو (VQEG) الذي أنشئ في عام 1997 ليجمع بين الخبراء من قطاعي التقييس والاتصالات الراديوية في الاتحاد من شتى الانتماءات المهنية. وقد أصدر هذا الفريق المخصص توصيات من قبيل:

- ITU-T Recommendation J.144 – Objective perceptual video quality measurement techniques for digital cable television in the presence of a full reference.
- ITU-T Recommendation J.149 – Method for specifying accuracy and cross-calibration of video quality metrics (VQM).
- Recommendation ITU-R BT.1683 – Objective perceptual video quality measurement techniques for standard definition digital broadcast television in the presence of a full reference.

وثمة كتيب تعليمي عن هذا الموضوع "التقييم الإدراكي الموضوعي لنوعية الفيديو: تلفزيون مرجعي كامل" نشره قطاع تقييس الاتصالات بالاتحاد الدولي للاتصالات في عام 2004 ويمكن تنزيله من موقع الاتحاد على شبكة الويب بالمجان.

2.2.5 المعايير والمقاييس الإذاعية

نعرض في هذا القسم مواصفات المعايير الرئيسية للنظم الإذاعية المستخدمة في كافة أنحاء العالم. ويركز هذا الوصف على سمات شغل الطيف ومعلمات النوعية الأصيلة الرئيسية التي يمكن استخدامها في كل معيار، ومن ثم التركيز على تطبيقات مراقبة الطيف.

1.2.2.5 الإذاعة الصوتية التناظرية المشكلة بالاتساع (AM)

الإذاعة الصوتية التناظرية المشكلة بالاتساع هي الخدمة الإذاعية التقليدية الأغلب، حيث إنها موجودة منذ بداية البث الإذاعي، أي منذ زهاء مائة سنة حتى الآن.

وتطبق الإذاعة الصوتية AM في العادة تشكيل اتساع أساسي بنطاق جانبي مزدوج وموجة حاملة، بما يسمح باستخدام مستقبلات بسيطة جداً، وهو ما يعتبر سمة رئيسية عند تنفيذ تلك الأنظمة. وخواص الإشارة ومقاييسها موصوفة بشكل عام في الفقرة 1.3.6.4 من هذا الكتيب.

وعلى نحو ما هو موصوف في التوصية ITU-R BS.706، تم أيضاً استحداث نظام بيانات مماثل لنظام البيانات الراديوية (RDS) تم تنفيذه على نطاق VHF (التوصية ITU-R BS.643) من أجل الخدمات الإذاعية الصوتية AM في النطاقات الأقل من 30 MHz. وهذا النظام المسمى AMDS ينفذ في بعض البلدان، وبخاصة في غرب أوروبا، باستخدام تشكيل الطور على الموجة الحاملة الصوتية الرئيسية ويسمح ببث بيانات تصل إلى 200 بتة في الثانية. ولا يتداخل استخدام AMDS مع خواص شغل الطيف التقليدية الخاصة بالخدمة الإذاعية الصوتية AM.

2.2.2.5 الإذاعة الصوتية التناظرية FM

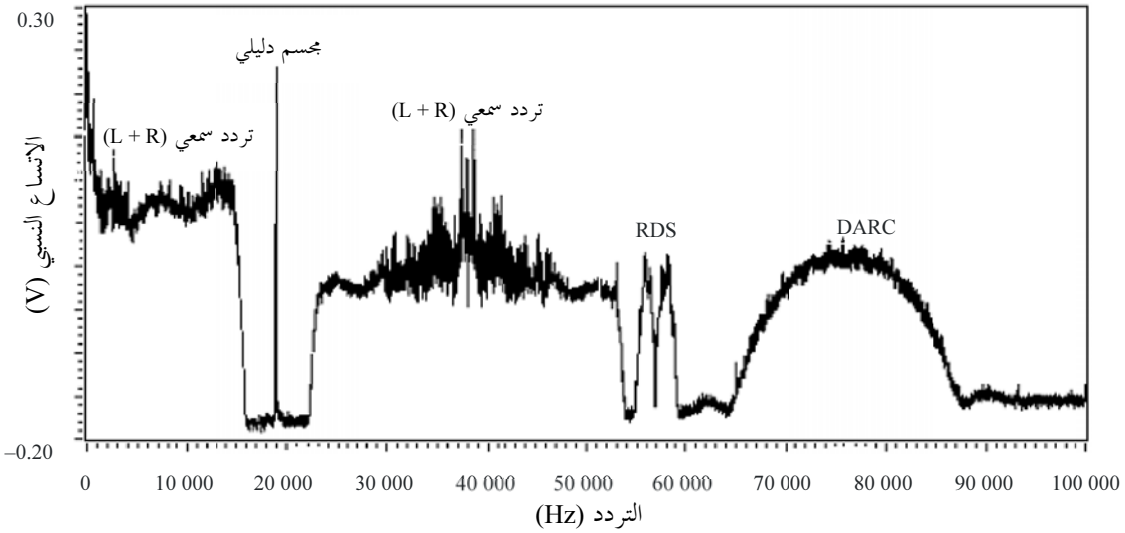
كانت الإذاعة الصوتية التناظرية المشكلة بالتردد بمثابة تطور متأخر نسبياً في تاريخ الراديو. وقد تم البت داخل الاتحاد الدولي للاتصالات في الترتيبات المعلمية بشأن استخدام النطاق VHF من أجل البث الإذاعي FM في الستينيات، ولم يتفوق عدد المستمعين إلى البث FM على المستمعين إلى البث AM إلا في السبعينيات فقط.

ومن بين المراجع الرئيسية لمعايير البث الإذاعي FM المستخدمة على نطاق العالم التوصية ITU-R BS.450. وتعرض هذه التوصية معايير الإذاعة FM في النطاق VHF، بما في ذلك الترددات الراديوية المستخدمة، والتأكيد المسبق وخصائص النظام العامة بالنسبة لشتى البلدان.

ويتكون البث FM المجسم في المقام الأول بواسطة مجموعة من الموجات الحاملة المتعددة الإرسال في إشارة النطاق الأساسي، أي ترددات سمعية أحادية (قنوات شمالية + يمينية)، ونغمة دليلية، وترددات سمعية مجسمة (يسار - يمين)، ونظام راديوي رقمي (RDS، RBDS، SCA (قناة مساعدة - سلطة اتصال مساعدة) وأنظمة بيانات عالية السرعة (مثلاً، HSDS، DARC، C2R، FmeXtra). ومن الممكن أن تتألف الإشارة المتعددة الإرسال من إشارة أحادية من 0 إلى 15 kHz، ونغمة دليلية تبلغ 19 kHz، وإشارة مجسمة من 23 kHz إلى 53 kHz، وRDS تبلغ 57 kHz، ومن DARC تبلغ على سبيل المثال من 76 kHz إلى 86 kHz.

الشكل 2.5-1

طيف النطاق الأساسي لإشارة FM متعددة الإرسال



Spectrum-5.2-01

وقد استحدث نظام البيانات الراديوية (RDS) داخل اتحاد الإذاعات الأوروبية في عام 1984، واعتمده الاتحاد الأوروبي بعد ذلك في عام 1990 مع تحسينات، باعتباره المعيار EN 50067، واعتمده الاتحاد الدولي للاتصالات في التوصية ITU-R BS.643.

ويستخدم نظام البيانات الراديوية تشكيل AM مع موجة حاملة مكبوتة بواسطة إشارة بيانات مشكلة ثنائية الطور على تردد موجة حاملة فرعية يبلغ 57 kHz، محبوسة في طور أو في تربيعية مع توافقية ثالثة من النغمة الدليلية بدرجة 19 kHz. ونتيجة هذه الإشارة المشكلة مكافئة لإرسال PSK بمعدل بتات يبلغ حوالي 1187,5 بتة في الثانية.

ونفذت أنظمة البيانات الإذاعية الراديوية (RBDS) في الولايات المتحدة الأمريكية استناداً إلى نظام البيانات الراديوية (RDS) ولكن مع تعديلات من قبل NRSC في عام 1992. والخواص التشكيلية لنظام البيانات الإذاعية الراديوية مماثلة لخواص RDS، وتعمل المستقبلات المصممة من أجل نظام البيانات الراديوية مع نظام البيانات الإذاعية الراديوية بصفة عامة. وتتمثل الفوارق في المقام الأول في الجداول شبه البرنامجية وغير ذلك من العناصر الوظيفية، والتي لا تؤثر على التشكيل وطبقات الإرسال.

كما استحدثت أنظمة بيانات أخرى مقصودة من أجل معدلات البيانات الأعلى (16 إلى 30 kbits في الثانية)، ومن الممكن للمرء أن يذكر ما يلي: HSDS وDARC وC2R وFMExtra. وحققت هذه الأنظمة نجاحاً محدوداً ولن نناقشها في هذا الفصل.

وبغية تدنية التداخلات بين قنوات الإذاعة السمعية FM المتجاورة، فإن التوصية ITU-R BS.412 تحد من الانحرافات القصوى للتردد على ±75 kHz، وتحد قدرة الإشارة المتعددة الإرسال (قدرة تعدد الإرسال MPX) على مستوى AF من نغمة جيبية بانحراف مقداره 19 kHz.

ويجب عدم تجاوز قدرة MPX المرجعية هذه البالغة 0 dB التي يؤخذ متوسطها على مدار فترة 60 ثانية.

ومن بين أكثر المشاكل حرجا المتصلة بالإذاعة الصوتية المتناظرة FM التشكيل البيني الذي ينشأ في مستقبلات الملاحة الجوية (ILS وVOR) نتيجة للإشارات العالية القدرة المتعددة بترددات قريبة من 108 MHz. وتصف التوصية ITU-R SM.1009 الآليات وإجراءات الحساب المشمولة بالتفصيل الكامل.

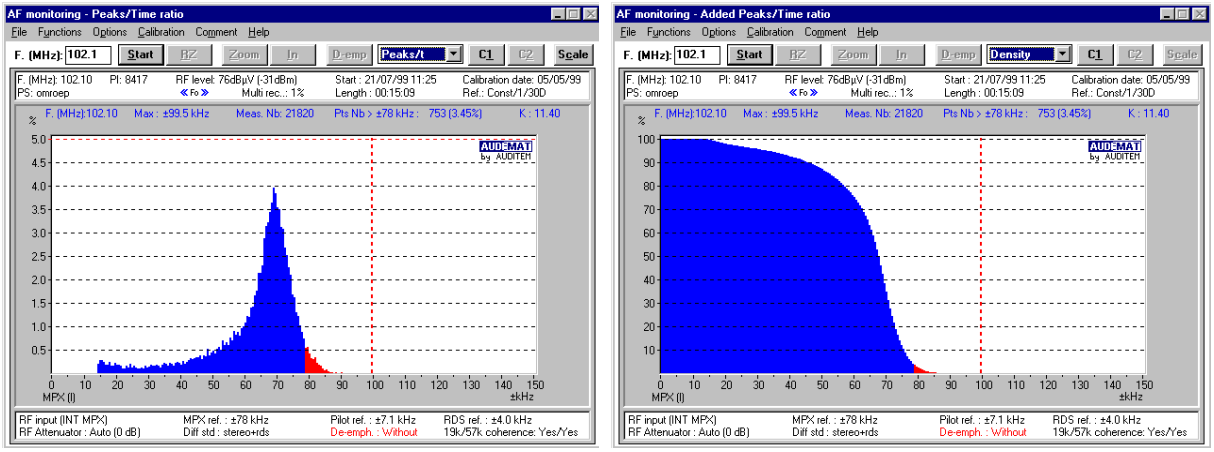
ونظراً إلى أن طيف الإشارات الإذاعية الصوتية المتناظرة أعرض بكثير عن عرض نطاق مستقبل ILS أو VOR، فإن من الممكن أن يتأثر أكثر من قناة ملاحة جوية بما يسمى التداخل "B1". وفضلاً عن القدرة المدخلة إلى المستقبل، فإن مدى شدة هذا التداخل وعدد قنوات ILS أو VOR المتأثرة يعتمد على عرض النطاق الأقصى والمتوسط لمرسلات البث الإذاعي الصوتي FM المشمولة.

ويحدد الانحراف الأقصى أعرض نطاق RF وتحدد قدرة MPX الطيف المتوسط. وبغية تجنب التداخل غير الضروري، وخاصة بالنسبة لخدمات سلامة الحياة البشرية مثل VOR وILS، يتعين على خدمة المراقبة أن تقوم بقياس كل من الانحراف وقدرة MPX. وبغية التوصل إلى نتائج دقيقة، يتعين أن تفي الأجهزة المستخدمة في القياسات باشتراطات خاصة موصوفة في التوصية ITU-R SM.1268، إلى جانب المعلومات التفصيلية عن القياسات ذاتها.

ويذكر في التوصية ITU-R SM.1268 أنه ينبغي ملاحظة بث الإذاعة FM BC على مدار فترة 15 دقيقة. وينبغي معالجة جميع القيم المقيسة، قيم ذروة الانحراف في 50 متراً، ويمكن عرض تخطيط بياني للتوزيع وتخطيط بياني لدالة توزيع تراكمي تكميلي (CCDF) مماثلين لما هو مبين في الشكل التالي. ملحوظة: يعتمد عرض منحنيات التوزيع الإحصائية على أجهزة القياس المستخدمة. ومن الضروري أن تتوافق تلك الأجهزة مع التوصية ITU-R SM.1268.

الشكل 2-2.5

(أ) تخطيط بياني للتوزيع، (ب) تخطيط بياني لدالة توزيع تراكمي تكميلي لانحراف التردد في الإذاعة FM



أ) ب)

Spectrum-5.2-02

ويعتبر الانتشار المتعدد المسير مشكلة عامة بالنسبة لإشارات FM في النطاقات VHF والترددات الأعلى. ونتيجة الانتشار المتعدد المسير في نظم FM تعتبر تشوهات غير مقبولة للإشارة المشكلة، بحيث إن القيمة المبينة على مقياس تشكيل FM يمكن أن تتغير إلى حد كبير بعامل يبلغ 2.

ونظراً إلى الانتشار المتعدد المسير، يتم تحويل FM إلى نسبة مئوية معينة من AM بواسطة إضافة توجيهية في هوائي الاستقبال. وبذلك يمكن العثور على الانتشار المتعدد المسير بقياس AM للموجة الحاملة للتردد المشكل. ويتعين لهذا الغرض أن يقيس مقياس التشكيل AM وPM/FM بشكل تزامني.

ولهذا الغرض تستخدم أدوات تتيح قياسات متوازية لعمق الانحراف والتشكيل مع حسابات فورية لمعامل التحويل معبر عنه بنسبة مئوية من عمق التشكيل على انحراف kHz FM.

وتحدد التوصية ITU-R SM.1268 القيم القصوى لكمية AM علاوة على الشروط الأساسية لقياس دقيق.

3.2.2.5 الإذاعة التلفزيونية التناظرية

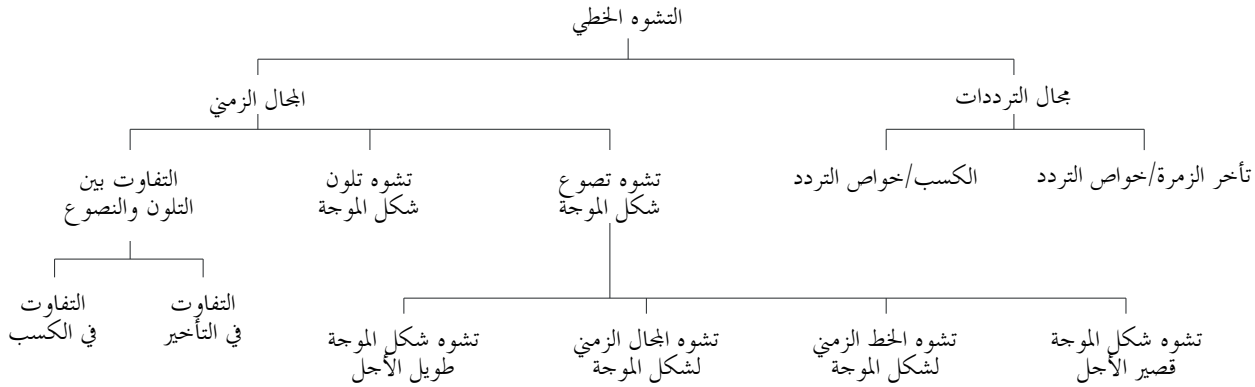
المعايير الرئيسية للإذاعة التلفزيونية التناظرية المحددة داخل الاتحاد الدولي للاتصالات هي NTSC وPAL وSECAM، والتي تعرَّف إشاراتها الأساسية النطاق بموجب التوصية ITU-R BT.1700. وتحدد خواص هذا النطاق الأساسي المعلمات التي يتعين استخدامها بواسطة أدوات متخصصة عند أداء تحليل النوعية الفيديوية الموضوعية.

وتصف التوصية ITU-R BT.1439 طرائق قياس معلمات النوعية الأصيلة المطبقة في الأنظمة التلفزيونية التناظرية، بما في ذلك أيضاً قياسات استوديو محددة. وتعرض في هذه التوصية إجراءات القياس الخاصة بكسب الإدراج، وهي الأكثر انطباقاً على الاستوديو والضوضاء (الترددات المتصلة المنخفضة، والضوضاء الدورية، والضوضاء النبضية)، والتشوه الخطي وغير الخطي.

والرسم البياني التالي، المشتق من التوصية ITU-R BT.1439 مع بعض التحرير، يوفر موجزاً مقتضباً للمعلمات التي يمكن قياسها في الإذاعة التلفزيونية التناظرية، مصنفة بحسب الآثار الملاحظة.

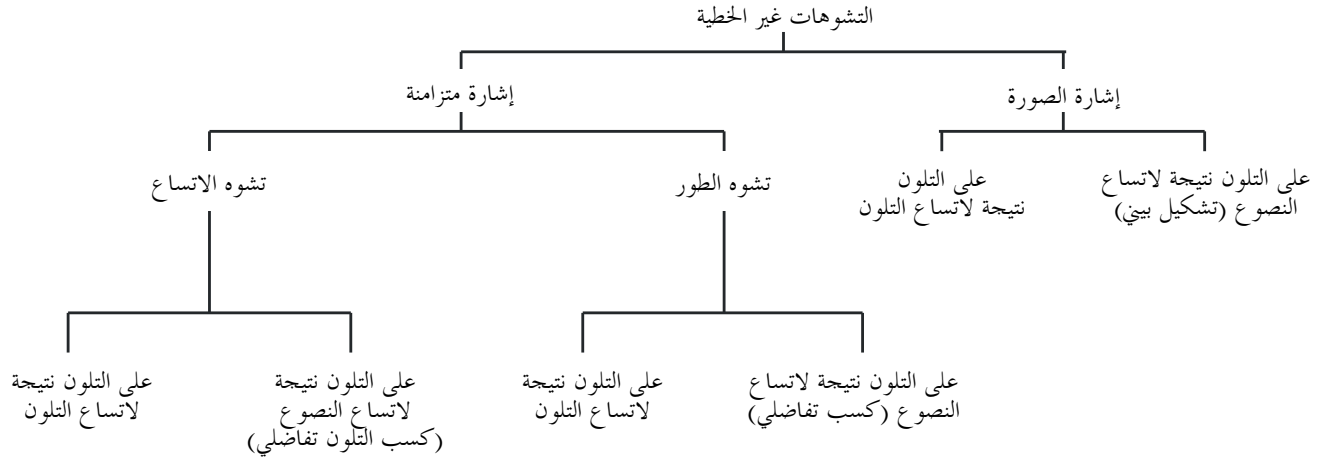
الشكل 3-2.5

تصنيف التشوهات الخطية لإشارات الفيديو التناظرية



الشكل 4-2.5

تصنيف التشوهات غير الخطية للإشارات الفيديوية التناظرية



ومن الضروري عادة، لقياس تلك الآثار بدقة على النحو الذي يصفه فيشر (2008)، أن تستخدم مخططات إشارة الاختبار. كما يمكن وصف هذه الاختبارات أيضاً من حيث المخطط المستخدم (أي، اتساع القضيب الأبيض؛ واتساع إشارة التزامن، واتساع الانفجار؛ وميل القضيب الأبيض؛ واتساع النبضة 2T؛ ومعامل K 2T؛ واتساع النصوع – التلون؛ والتأخير في نبضة 20T؛ واللاخطية السكونية على النطاق الرمادي؛ والكسب التفاضلي والطور على النطاق الرمادي مع موجة حاملة فرعية ملونة؛ ونسبة الإشارة الملونة/الضوضاء المرجحة وغير المرجحة والهمهمة).

وتستطيع مستقبلات الاختبار التناظرية أن توفر معلومات عن مستوى الموجة الحاملة للصورة ومستوى الموجة الحاملة للصوت، وانحراف الموجات الحاملة للصوت، وترددات الموجات الحاملة للصورة والصوت، وتشكيل الطور العارض (ICPM). كما يمكن تأدية معظم هذه القياسات بواسطة أجهزة مراقبة الطيف المعيارية التي يمكن أن توفر عادة معلومات عن خصائص الإشارة، فتعمل بالدرجة الأولى على تقييم المستوى والتردد والعلاقات التفاضلية لتلك المعلمات. وتحتاج المعلومات الأخرى، مثل تشكيل الطور العرضي إلى نظام مزود بقدرات تحليل المتجهات.

وتعرض خصائص الطيف، مع مراعاة التفاوتات العديدة في تلك المعايير الرئيسية المستخدمة في مختلف البلدان، في التوصية ITU-R BT.1701 بشأن عرض النطاق من 6 إلى 8 MHz.

4.2.2.5 الإذاعة الصوتية الرقمية

كانت الإذاعة الصوتية الرقمية قيد التطوير منذ الثمانينيات، إلا أن تنفيذها كان أبطأ مما حدث للإذاعة التلفزيونية الرقمية.

ورغم هذا الانتشار الأبطأ، فمن المتوقع أن يوفر استخدام التكنولوجيات الرقمية فوائد عديدة، مثل تلك المعروضة في التوصية ITU-R BS.774، بما في ذلك تحسين السمعيات ذاتها، مما يسمح باستقبال من نوعية "جودة CD"، وتحسين في كفاءة الطيف، وأداء أفضل في إطار بيئة متعددة المسير، والقدرة على إيجاد شبكات وحيدة التردد وخدمات أكثر تحذيقاً مثل اتصالات البيانات، بما فيها الصور، ومضمون البيانات الشرحية، ومعلومات حركة المرور، والاستدعاء الراديوي، إلى آخره.

وتعرض التوصية ITU-R BS.1114 ثلاثة معايير من أجل استخدامها في النطاقين VHF وUHF. ويشار إلى هذه الأنظمة في تلك التوصية على أنها الأنظمة الرقمية ألف وواو وجيم على التوالي، وتعرف تجاريا بأسماء DAB-147 وISDB-T_{SB} وIBOC DSB. وتعمل الأنظمة الثلاثة كلها بالتشكيل OFDM في تشفير القنوات مع إضافة تشفير تلافيفي لتصحيح الأخطاء في حالة DAB. وهذه الأنظمة قادرة على توفير استقبال من نوعية "جودة FM" بأقل من عرض نطاق 200 kHz لكل برنامج سمعي مشفر، مما يحسن من كفاءة الطيف.

وتعرض التوصية ITU-R BS.1615 معيارين من أجل استخدامهما في النطاقات HF وMF وLF، هما DRM وIBOC DSB مرة ثانية. ورغم أن هذه التوصية ترتكز على ترددات أقل من 30 MHz، فإن DRM تعمل مع COFDM، وتمدد، تحت اسم DRM+، النطاقات التشغيلية إلى نطاق VHF الأوطأ حتى النطاق 120 MHz باستخدام عرض نطاق قنوات يبلغ 100 kHz. ويعمل كل من النظامين على تحسين نوعية استقبال الصوت ويحتفظان بنفس حدود عرض النطاق الخاصة بالخدمات التناظرة الأصلية التي يستهدف منهما أن يحلا محلها.

ويؤدى تحليل النوعية الأصيلة لهذه الأنظمة عادة بقياس نسبة خطأ البتات (BER) ونسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) بالنسبة للأنظمة ألف وواو، وDRM؛ وBLER ونسبة الصوت إلى الضوضاء *S/N* بالنسبة للنظام جيم. وفي حين أن قياس SNR ممكن باستخدام أجهزة مراقبة معيارية، فإن التعالق النظري لهذه النسبة مع معدل الأخطاء يمكن استقراؤه من الدراسات المختبرية، مثل تلك المعروضة في التوصية ITU-R BS.1114 بالنسبة للأنظمة فوق 30 MHz والتوصية ITU-R BS.1615 بالنسبة للأنظمة دون 30 MHz. وينبغي أداء القياس الصحيح لمعدل الأخطاء باستخدام أجهزة متخصصة مدمجة في مفكك الشفرة المقصود.

وقياس نسبة الإشارة إلى الضوضاء عملية مثيرة للمتاعب في حقيقة الأمر، حيث إن وجود الإشارة يجعل من المستحيل تقييم مستوى الضوضاء الحقيقي. ويتمثل أحد البدائل في إغلاق جهاز البث بصفة مؤقتة، وهي مهمة مستحيلة في معظم حالات

المراقبة، فيما عدا ما يتعلق بالأغراض التجريبية وأغراض التجارب الأولية. ويتمثل بديل آخر في استقراء مستوى الضوضاء باعتبار أن القياسات تؤدى على قنوات فارغة مجاورة بعيدة بما يكفي لتجنب البث الهامشي من الموجة الحاملة قيد التقييم ولكنها قريبة بما يكفي للمحافظة على تعالق معقول مع قيمة ضوضاء القناة الأصلية. وربما تعين بعض أنظمة القياس المؤتمتة للأنظمة الرقمية قياسا آخر للأخطاء على أنه نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR)، والأصح أنها تعين على أنها معدل أخطاء التشكيل (MER).

ويحتسب معدل أخطاء التشكيل (MER) على أنه النسبة بين قدرة إشارة IQ وقدرة ناقل الخطأ، حيث يحتسب الخطأ على أنه الفرق بين الإشارة المستقبلة وقيمة IQ المتوقعة، مع الأخذ في الاعتبار أن الكوكبة المثالية هي ما يقدره المستقبل. وينبغي أن تكون قياسات MER متطابقة مع نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) عندما تكون الضوضاء الوحيدة التي تؤثر على الإشارة هي الضوضاء الغوسية البيضاء، وهي حالة لا توجد حقيقة في العالم الحقيقي، حيث يشيع رؤية آثار تعدد المسير والتشوه غير الخطي.

وتعرض البنود والجداول التالية الخصائص الرئيسية لوضعية أجهزة القياس لكي تقوم بتقييم الخصائص الطيفية لمعايير الإذاعة الصوتية الرقمية الرئيسية.

ويعتمد تخصيص قنوات محددة على اللوائح الإقليمية السارية.

وعند تقييم نظام هجين يعمل على تحفيز القنوات الإذاعية (البث المتزامن) التناظرية والرقمية مثل تلك المقترحة في راديو HD وDRM، يمكن إنجاز قياس موضوعي بسيط للنوعية بواسطة تسجيل اللحظات التي يحدث فيها التبديل بين التشكيلين التناظري والرقمي.

وفي هذه الأنظمة، يقوم المستقبل بالتبديل أتوماتياً من التناظري إلى الرقمي مع زيادة معدل الأخطاء إلى ما هو أكثر من العتبة المحددة مسبقاً.

وينبغي أن يكون استخدم هذا البديل، رغم أنه يوفر بعض الفوائد من حيث تبسيط النظام والإجراءات، مخططاً ومستخدماً بحرص، حيث إن النتائج المحققة قد تكون مقصورة على ظروف مخصوصة بالمستقبلات المستخدمة، وهو ما يصعب من مقارنة تلك النتائج بنتائج أخرى تقدم خواص أداء مختلفة.

وعلى أي حال، يوصى بشدة بأن تكون خصائص المستقبل، مثل الحساسية والحد الأقصى للأخطاء المقبولة، معروفة جيداً.

أ) **نظام التوصية EUREKA 147-DAB – ITU-R BS.1114**

التشكيل	تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (COFDM) بواسطة $\pi/4$ DQPSK
نطاقات التردد	VHF وUHF
عرض نطاق القناة	MHz 1,54
الموجات الحاملة لكل قناة	
الأسلوب الأول	1 536 بمباعدة kHz 1
الأسلوب الثاني	384 بمباعدة kHz 4
الأسلوب الثالث	192 بمباعدة kHz 8
الأسلوب الرابع	768 بمباعدة kHz 2
معدل أخطاء البتات الحرج بموجب AWGN	1×10^{-4}
SPAN لرؤية قناة وحيدة	MHz 2
RBW أو مرشاح لكل BIN	kHz 4
سرعة الكنس/زمن الاندماج	بطيء (2 ثانية)

وباستخدام مقياس عرض نطاق يبلغ 4 KHz، يطبق قناع الطيف التالي:

	التردد بالنسبة إلى مركز القناة (kHz)	مستوى الفرق بالنسبة إلى مستوى الذروة داخل القناة (dB)
مرسلات تعمل في حالات غير حرجة أو في النطاق GHz 1,5	±970	0–
	±970	30–
	±3 000	80–
مرسلات تعمل في حالات حرجة	±770	0–
	±970	45–
	±1 750	80–
	±3 000	80–
مرسلات تعمل في أماكن معينة تستخدم فيها فدرة تردد تبلغ D 12	±770	0–
	±970	52–
	±2 200	101–
	±3 000	101–

ب) نظام التوصية ITU-R BX.1114 واو – ISDF-TSB

التشكيل	OFDM بواسطة DQPSK وQPSK وQAM-16 وQAM-64
نطاقات التردد	VHF وUHF
عرض نطاق القناة	429 kHz أو 500 kHz أو 572 kHz تبعا للحجم التنقيطي المرجعي للشبكة (6 أو 7 أو 8 MHz)
الموجات الحاملة لكل قناة	تبعاً لعدد القطاعات المستخدمة لكل قناة، واحدة أو ثلاثة أضعاف
الأسلوب الأول	109 أو 325
الأسلوب الثاني	217 أو 649
الأسلوب الثالث	433 أو 1297
معدل أخطاء البتات الحرج بموجب AWGN	1×10^{-4}
SPAN لرؤية قناة وحيدة	6 MHz
RBW أو مرشاح لكل BIN	10 MHz
سرعة الكنس/زمن الاندماج	بطيء (2 ثانية)

وباستخدام مقيس عرض النطاق kHz 10، ينطبق قناع الطيف التالي:

	التردد بالنسبة إلى مركز القناة (KHz)	مستوى الفرق بالنسبة إلى مستوى الذروة داخل القناة (dB)
قطاع واحد من قناة kHz 429 (شبكة تنقيطية MHz 6)	±220	0
	±290	–20
	±360	–30
	±1 790	–50
قطاع ثلاثي من قناة kHz 429 (شبكة تنقيطية MHz 6)	±650	0
	±720	–20
	±790	–30
	±2 220	–50
قطاع واحد من قناة kHz 500 (شبكة تنقيطية MHz 7)	±255.5	0
	±325,5	–20
	±395,5	–30
	±1 825,5	–50
قطاع ثلاثي من قناة kHz 500 (شبكة تنقيطية MHz 7)	±756,5	0
	±826,5	–20
	±896,5	–30
	±2 326,5	–50
قطاع وحيد من قناة kHz 572 (شبكة تنقيطية MHz 8)	±291,5	0
	±361,5	–20
	±431,5	–30
	±1 861,5	–50
قطاع ثلاثي من قناة kHz 572 (شبكة تنقيطية MHz 8)	±864,5	0
	±934,5	–20
	±1 004,5	–30
	±2 434,5	–50

ج) نظام التوصية ITU-R BS.1114 جيم – IBOC DSB

التشكيل	OFDM بواسطة QPSK
نطاقات التردد	VHF
عرض نطاق القناة	400 kHz
الموجات الحاملة لكل قناة	
MP1 (هجين)	380 مقسمة إلى 20 تجزئة تردد
MP2 من خلال MP3 (هجين ممتد)	حتى 530 مقسمة إلى 28 تجزئة تردد
MP5 وMP6 وMS4 (كلها رقمية)	حتى 1093 مقسمة إلى 58 تجزئة تردد
معدل أخطاء البتات الحرج بموجب AWGN	0,16
SPAN لرؤية قناة وحيدة	1,3 MHz
RBW أو مرشاح لكل BIN	1 kHz
سرعة الكنس/زمن الاندماج	بطيء (2 ثانية)

وباستخدام مقياس عرض النطاق البالغ 1 kHz، يطبق قناع الطيف التالي:

	التردد بالنسبة إلى مركز القناة (kHz)	**مستوى الفرق بالنسبة إلى مستوى الذروة داخل القناة (dB)**
إشارة رقمية على أسلوب هجين	0 إلى ±50	83,39–
	±50 إلى ±95	{–83.39 + (|frequency (kHz)| – 50 kHz) × 0.2}
	±95 إلى ±100	{–61.39 + (|frequency (kHz)| – 100 kHz) × 2.6}
	±200 إلى ±205	{–61.39 – (|frequency (kHz)| – 200 kHz) × 2.6}
	±205 إلى ±250	{–74.39 – (|frequency (kHz)| – 205 kHz) × 0.2}
إشارة على ترددات كلها رقمية	±200 إلى ±207,5	{–51.39 – (|frequency (kHz)| – 200 kHz) × 1.733}
	±207,5 إلى ±250	{–64.39 – (|frequency (kHz)| – 207.5 kHz) × 0.2118}
	±250 إلى ±300	{–73.39 – (|frequency (kHz)| – 250 kHz) × 0.56}
	±300 إلى ±600	101,39–
	600 <	111,39–

د) التوصية ITU-R BS.1615 – DRM دون 30 MHz

التشكيل	COFDM مع 64QAM أو 16QAM أو 4QAM
نطاقات التردد	LF وMF وHF وVHF منخفضة (120 MHz)
عرض نطاق القناة	4,5 أو 5,0 أو 9,0 أو 10,0 أو 18,0 أو 20,0 kHz، تبعا لنوع الشغل المختار
الموجات الحاملة لكل قناة	القيم القصوى للقناة BW من 4,5 إلى 20 kHz على التوالي.
الأسلوب ألف	98؛ 110؛ 202؛ 226؛ 410؛ 458
الأسلوب باء	90؛ 102؛ 182؛ 206؛ 366؛ 410
الأسلوب جيم	- ؛ - ؛ - ؛ 138؛ - ؛ 280
الأسلوب دال	- ؛ - ؛ - ؛ 88؛ - ؛ 178
معدل أخطاء البتات الحرج بموجب AWGN	1×10^{-4}
SPAN لرؤية قناة وحيدة	40 kHz
RBW أو مرشاح لكل BIN	300 Hz
سرعة الكنس/زمن الاندماج	بطيء (2 ثانية)

وباستخدام هذه المعلمات، ينبغي تطبيق قناع الطيف التالي:

	التردد بالنسبة إلى مركز القناة (kHz)	**مستوى الفرق بالنسبة إلى مستوى الذروة داخل القناة (dB)**
شغل الطيف 0 (4.5 kHz على النصف الأعلى أو الأدنى من قناة AM التناظرية التقليدية)	> ±2,385	0
	±2,385	30–
	< ±2,385	12– to octave –60 Db/dB
	~ 13,49	60– dB
شغل الطيف 1 (5 kHz على النصف الأعلى أو الأدنى من قناة AM التناظرية التقليدية)	> ±2,65	0
	±2,65	30–
	< ±2,65	12– to octave –60 dB/dB
	~ 14,99	60– dB
شغل الطيف 2 (9 kHz على النصف الأعلى أو الأدنى من قناة AM التناظرية التقليدية)	> ±4,77	0
	±4,77	30–
	< ±4,77	12– to octave –60 dB/dB
	~ 26,98	60– dB
شغل الطيف 3 (10 kHz على النصف الأعلى أو الأدنى من قناة AM التناظرية التقليدية)	> ±5,3	0
	±5,3	30–
	< ±5,3	12– to octave –60 dB/dB
	~ 29,98	60– dB
شغل الطيف 4 (18 kHz على النصف الأعلى أو الأدنى من قناة AM التناظرية التقليدية)	> ±9,54	0
	±9,54	30–
	< ±9,54	12– to octave –60 dB/dB
	~ 53,97	60– dB
شغل الطيف 5 (20 kHz على النصف الأعلى أو الأدنى من قناة AM التناظرية التقليدية)	> ±10,6	0
	±10,6	30–
	< ±10,6	12– to octave –60 dB/dB
	~ 59,96	60– dB

هـ) التوصية IBOC DSB – ITU-R BS.1615

التشكيل	OFDM بواسطة QPSK
نطاقات التردد	VHF
عرض نطاق القناة	kHz 400
الموجات الحاملة لكل قناة	
MP1 (هجين)	380 مقسمة إلى 20 تجزئة تردد
MP2 من خلال MP3 (هجين ممتد)	حتى 530 مقسمة إلى 28 تجزئة تردد
MP5 وMP6 وMS1 إلى MS4 (كلها رقمية)	حتى 093 1 مقسمة إلى 58 تجزئة تردد
معدل أخطاء البتات الحرج بموجب AWGN	0,16
SPAN لرؤية قناة وحيدة	MHz 1,3
RBW أو مرشاح لكل BIN	kHz 1
سرعة الكنس/زمن الاندماج	بطيء (2 ثانية)

وباستخدام هذه المعلمات، ينبغي تطبيق قناع الطيف التالي:

	التردد بالنسبة إلى مركز القناة (kHz)	**مستوى الفرق بالنسبة إلى مستوى الذروة داخل القناة (dB)**
إشارة رقمية على أسلوب هجين	0 إلى ±50	83,39–
	±50 إلى ±95	{–83.39 + (|frequency (kHz)| – 50 kHz) × 0.2}
	±95 إلى ±100	{–61.39 + (|frequency (kHz)| – 100 kHz) × 2.6}
	±200 إلى ±205	{–61.39 – (|frequency (kHz)| – 200 kHz) × 2.6}
	±205 إلى ±250	{–74.39 – (|frequency (kHz)| – 205 kHz) × 0.2}
إشارة على ترددات كلها رقمية	±200 إلى ±207,5	{–51.39 – (|frequency (kHz)| – 200 kHz) × 1.733}
	±207,5 إلى ±250	{–64.39 – (|frequency (kHz)| – 207.5 kHz) × 0.2118}
	±250 إلى ±300	{–73.39 – (|frequency (kHz)| – 250 kHz) × 0.56}
	±300 إلى ±600	101,39–
	600 <	111,39–

5.2.2.5 الإذاعة التلفزيونية الرقمية للأرض

كما أنتجت الإذاعة التلفزيونية الرقمية للأرض معايير شتى في كافة أنحاء الكرة الأرضية. وتتقاسم هذه المعايير نفس النطاقات والقنوات المستخدمة من أجل التلفزيون التناظري. ولهذا السبب فإن شغل الطيف يتبع نفس التعريفات المتبعة بشأن الأنظمة التراثية. وقد ذُكر هذا الشاغل في التوصية ITU-R BT.798 وتم فيما بعد تحديدها بشكل واضح في صورة أقنعة حماية في التوصية ITU-R BT.1206. وبالنظر إلى هذا التعريف، فإن جميع المعايير التي جرت مناقشتها مقدمة مع بدائل لعرض نطاق القنوات تبلغ 6 MHz أو 7 MHz أو 8 MHz، لكي تضاهي عرض نطاق الإذاعة التلفزيونية الذي كان مستخدما فيما سبق.

ويجري في هذا القسم وصف المعايير التي جرت مناقشتها بشيء أكبر من التفصيل داخل الاتحاد الدولي للاتصالات، أي ATSC وDVB-T وISDB-T، مع الأخذ في الاعتبار بالتوصية ITU-R BT.1368 كمرجع، والتي تعرّف معايير التخطيط لخدمات التلفزيون الرقمي للأرض، والتوصية ITU-R BT.1306 التي تعرف تصحيح الخطأ، وترتيل البيانات، وطرائق التشكيل والبث من أجل هذه الأنظمة. والمرجع الآخر المستخدم في الوصف التالي هو كتاب فيشر [2008] Fischer.

وثمة معيار آخر لم يعرض في التوصيات الآنفة الذكر ولن تتم مناقشته بشكل مستفيض في هذا الكتيب، هو DTMB (الإذاعة الرقمية المتعددة الوسائط للأرض) الذي كان معروفا أيضاً فيما سبق باسم DMB-T/H. ويستخدم هذا المعيار TDS-FDM (تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد متزامن مع نطاق الزمن)، يوفر أسلوبين من تشغيل الموجات الحاملة المتعددة من أجل التطبيقات الثابتة والمتنقلة. ويمكن الحصول على المزيد من المعلومات عن هذا النظام من إدارة التقييس الصينية.

وبالأخذ في الاعتبار بمعلمات النوعية الأصيلة لمعايير الإذاعة التلفزيونية الرقمية الناجمة عن شتى الخيارات الطوبولوجية والهندسية لشبكات المرسلات، وبالإضافة إلى ذلك، التناظر العديد مع سيناريوهات الانتقال الرقمي وتقاسم التردد فيما بين شبكات الإذاعة، فقد تكون المعلومات التشخيصية للنوعية الأصيلة ضرورية للسماح بالتطبيق الصحيح لموارد مراقبة الطيف، وبخاصة لحل التداخل والنهوض بكفاءة استخدام الطيف.

ومن بين السمات المخصوصة لبعض معايير التشكيل الرقمي إمكانية إيجاد شبكات وحيدة التردد، وهو ظرف يجري فيه تشغيل العديد من المرسلات على نفس التردد بجوار بعضها البعض، حيث ترسل نفس المضمون. ويتمثل الغرض الأساسي لتلك الشبكات في توفير تغطية أفضل لمنطقة تستخدم مرسلات منخفضة القدرة، وحل محدوديات الانتشار مثل تلك التي تنشأ بفعل خصائص الأرض و/أو المسافة، ومن ثم توفر كفاءة طيف أفضل.

ويتم إيجاد هذه الإمكانية باغتنام تمكن نظم الإرسال الرقمية من توفير إلغاء المسير المتعدد واعتبار المرسلات المتعددة حالة متطرفة من الانتشار المتعدد المسير، أي طالما كانت الرموز المرسلة متماثلة؛ والتردد متماثل، والفارق الزمني بين المرسلات في الحدود المقبولة، فينبغي أن تكون المرسلات قادرة على فك شفرة الإشارة دون أي خطأ. وهذه التقنية مماثلة شيئا ما لخاصية تخفيف السيطرة على شبكات الاتصالات الرقمية في طريقة CDMA.

وفي الحقيقة، فإن القدرة على تشغيل أسلوب الشبكات وحيدة التردد متأصل في أي مخطط إرسال رقمي يوفر خصائص متينة إلى حد معقول مقابل الانتشار المتعدد المسير، ومن ثم، يمكن استخدامه بسهولة أيضاً من أجل معظم نظم الإرسال OFDM إما من أجل الإذاعة التلفزيونية أو الصوتية، رغم أنه أشيع تطبيقا على التلفزيون.

وكلما جرى تشغيل SFN، فإن استخدام أجهزة متخصصة قادرة على أداء تحليل تفصيلي للنظام مطلوب من أجل تقييم أداء الشبكة على الوجه الصحيح، ويرجع ذلك بالدرجة الأولى إلى أن مقاييس مستوى الإشارة البسيطة لن تستطيع أن تحدد ما إن كانت تلك الشبكة تعمل في حدود متطلباتها التشكيلية و/أو تحدد إن كان التداخل الذي أثر على مناطق ما ناتج عن تقييدات هندسية للشبكة وحيدة التردد SNF أو عن سبب آخر.

ويمكن رصد مثال لدراسات التداخل أجريت على نظم DVB-T في المشروع ANTIUM IST-2000-26222 "تقرير تجربة المجال DVB-T".

أ) ATSC – لجنة الأنظمة التلفزيونية المتقدمة

التشكيل	نطاق جانبي مشفر شبكياً ثماني المستوى (8-VSB)
مقاييس النوعية الأصيلة	– BER (3 أنواع: قبل فيتربي؛ بعد فيتربي وبعد ريد – سولومون) – MER (نسبة خطأ التشكيل) – توهين الكتف – استجابة تردد الاتساع – اتساع الموجة الحاملة الدليلية – التوافقيات – تأخر الزمرة – استجابة الطور
نطاقات التردد	UHF وVHF
الموجات الحاملة لكل قناة	1
BLER الحرجة بموجب AWGN	1×10^{-6} بعد فك الشفرة بواسطة ريد سولومون
نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء في قناة AWGN	تبعا للتشكيل وشفرة القناة. 20,1-1,3 dB متحصلة من محاكاة مع تقدير متقن للقناة عند نسبة خطأ فدرة BLER حرجة
SPAN لرؤية قناة وحيدة	10 MHz
RBW أو مرشاح لكل BIN	10 kHz
سرعة الكسح/ وقت الاندماج	المتوسط (300 ms)

وباستخدام مقياس عرض نطاق يبلغ 500 kHz، ينبغي تطبيق قناع الطيف التالي. انظر IEEE P 1631/D3 للاطلاع على معلومات قياس إضافية عن هذا النظام:

	اختلاف التردد بالنسبة إلى حافة قناة Δf (MHz)	**اختلاف المستوى بالنسبة إلى متوسط القدرة الإجمالي داخل القناة (dB)**
مرسلات خدمة كاملة (FCC 47CFR § 73.622(h))	حتى 0,5	47–
	بين 0,5 و3	$(\Delta f + 3{,}6) \times 11{,}5$–
	3 <	110–
بث تسلسلي، تبعاً إلى: FCC 47CFR § 74.794(a)	حتى 0,5	47–
	بين 0,5 و3	$\{47 + (0{,}5 - \Delta f) \times 11{,}5\}$–
	3 <	76–
عمليات بث بسيطة، تبعاً إلى: FCC 47CFR § 74.794(a)	حتى ±3	$[(\Delta f^2 \div 1.44) + 46]$–
	±6 <	71–

ب) DVB-T/H– إذاعة فيديوية رقمية – للأرض وتحمل باليد

التشكيل	OFDM مع QPSK، QAM-16، QAM-64، MR-16-QAM، MR-64-QAM
مقاييس النوعية الأصيلة	– BER (3 أنواع: قبل فيتربي؛ بعد فيتربي وبعد ريد – سولومون) – MER (نسبة خطأ التشكيل) – نسبة الإشارة إلى الضوضاء – AWGN (ضوضاء غوسية بيضاء مضافة) – ارتعاش الطور – I/Q عدم اتزان الاتساع – I/Q خطأ الطور – عامل الذروة – تأخر الاتساع والطور والزمرة – استجابة النبضة – توهين الكتف
نطاقات التردد	VHF وUHF
الموجات الحاملة لكل قناة	(2k mode – T/H) 1 705 (4k mode – H) 3 409 (8k mode – T/H) 6 817
BLER الحرجة بموجب AWGN	1×10^{-4} قبل فك الشفرة بواسطة ريد سولومون
نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء في قناة AWGN	تبعاً للتشكيل وشفرة القناة. 23-5,0 dB متحصلة من محاكاة مع تقدير متقن للقناة عند نسبة خطأ فدرة BLER حرجة
SPAN لرؤية قناة وحيدة	10 MHz
RBW أو مرشاح لكل BIN	10 kHz
سرعة الكسح/وقت الإنداج	المتوسط (300 ms)

وباستخدام مقياس عرض نطاق يبلغ 4 kHz، ينبغي أن يكون قناع الطيف التالي قابلا للتطبيق، بحسب GE06 Final Acts، المرفق 2. أنظر أيضاً التوصية ITU-R SM.1792 للاطلاع على معلومات إضافية.

	اختلاف التردد بالنسبة إلى مركز القناة (MHz)	**اختلاف التردد بالنسبة إلى مستوى الذروة داخل القناة (dB)**
مرسلات تعمل بمباعدة قنوات تبلغ 7 MHz في حالات غير حرجة	±3,35	0
	±3,7	40–
	±5,25	52–
	±10,5	77–
مرسلات تعمل بمباعدة قنوات تبلغ 7 MHz في حالات حرجة	±3,35	0
	±3,7	50–
	±5,25	62–
	±10,5	87–

	اختلاف التردد بالنسبة إلى مركز القناة (MHz)	اختلاف التردد بالنسبة إلى مستوى الذروة داخل القناة (dB)
مرسلات تعمل بمباعدة قنوات تبلغ 8 MHz في حالات غير حرجة	±3,9	0
	±4,2	40–
	±6,0	52–
	±12,0	77–
مرسلات تعمل بمباعدة قنوات تبلغ 8 MHz في حالات حرجة	±3,9	0
	±4,2	50–
	±6,0	62–
	±12,0	87–

ج) ISDB-T – خدمة إذاعية رقمية متكاملة– للأرض

التشكيل	OFDM مع QPSK، QAM-16، QAM-64، MR-16-QAM، MR-64-QAM
مقاييس النوعية الأصيلة	– BER (3 أنواع: قبل فيتربي؛ بعد فيتربي وبعد ريد – سولومون) يمكن عرضه لكل أسلوب إرسال – MER (نسبة خطأ التشكيل) – نسبة الإشارة إلى الضوضاء – AWGN (ضوضاء غوسية بيضاء مضافة) – ارتعاش الطور – I/Q عدم اتزان الاتساع – I/Q خطأ الطور – معامل الذروة – تأخر الاتساع والطور والزمرة – استجابة النبضة – توهين الكتف
نطاقات التردد	VHF وUHF
الموجات الحاملة لكل قناة	(mode 1) 1 405 (mode 2) 2 809 (mode 3) 5 617
BLER الحرجة بموجب AWGN	2×10^{-4} قبل فك الشفرة بواسطة ريد سولومون
نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء في قناة AWGN	تبعاً للتشكيل وشفرة القناة 23-5,0 dB متحصلة من محاكاة مع تقدير متقن للقناة عند نسبة خطأ فدرة BLER حرجة
SPAN لرؤية قناة وحيدة	10 MHz
RBW أو مرشاح لكل BIN	10 kHz
سرعة الكسح/ وقت الإندماج	المتوسط (300 ms)

ويعرض في الجدول التالي أقنعة طيف من أجل تشغيل ISDB-T بواسطة عرض نطاق يبلغ 6 MHz (5,7 MHz). وبالنسبة لعرض النطاقات الأخرى، تقدم أقنعة مبسطة في التوصية ITU-R BT.1206.

	اختلاف التردد بالنسبة إلى مركز القناة (MHz)	اختلاف التردد بالنسبة إلى مستوى الذروة داخل القناة (dB)
المرسل دون 0.25 W (ARIB STD-B31 Version 1.6)	±2,79	0
	±2,86	20–
	±3,00	27–
	±4,36	44–
قدرة المرسل بين 0.25 و2.5 W (ARIB STD-B31 Version 1.6)	±2,79	0
	±2,86	20–
	±3,00	27–
	±4,36	50–
قناع شبه حرج (ABNT NBR 15601:2007)	±2,79	0
	±2,86	20–
	±3,00	27–
	±3,15	36–
	±4,5	53–
	±9	83–
قناع غير حرج (ABNT NBR 15601:2007)	±2,79	0
	±2,86	20–
	±3,00	27–
	±3,15	36–
	±4,5	53–
	±9	83–
قناع حرج (ABNT NBR 15601:2007)	±2,79	0
	±2,86	20–
	±3,00	34–
	±3,15	50–
	±4,5	67–
	±9	97–

3.2.5 أجهزة مخصوصة مستخدمة في مراقبة الإذاعة

وحسبما نوقش في الملحوظات الاستهلالية للفقرة 2.5، فسيجري في هذا القسم وصف مبادئ توجيهية عامة لتوسيع مرافق المراقبة بواسطة تنفيذ قنوات مراقبة كافية لمراقبة إشارة الراديو وكافية لمراقبة المضمون.

ويمكن استخدام المعلومات المسجلة بواسطة القنوات الإضافية للمساعدة في تعريف هوية المرسلات والتيقن من الامتثال لقواعد تنظيمية محددة بشأن المضمون، مثل الاستخدام التجاري للقنوات غير المرخصة تجاريا، بل وتقييم خصائص الإرسال، مثل وقت التشغيل وشغل الطيف، وتقليل قدرة الوقت الليلي للإذاعة HF أو معلمات الصورة الموضوعية ونوعية الصوت.

ويمكن لشبكة من مثل هذه المحطات أن توفر، طبقا للاحتياجات الوطنية، قدرات تدقيق لمنظمات مختلفة عديدة تقيّم مختلف التزامات مقدمي الخدمة الإذاعية، بما في ذلك فرض الضرائب على إنتاج الوسائط، وحماية حقوق المؤلف، بل وحتى الحقوق المدنية.

وبمثل ما هو الحال إلى حد كبير مع مرافق مراقبة الطيف، فإن المنظم يستطيع أن ينفذ محطات مختلفة الأنواع لمراقبة المضمون. وقد يكون من دواعي المصلحة في معظم الوقت، بالنظر إلى صغر حجم تلك المحطات، أن يتم تنفيذ هذه القناة لمراقبة المضمون كمورد إضافي لمحطات مراقبة الطيف المعيارية. فمثلاً، ما أن يتم اكتشاف إرسال ما، يتم تفعيل مسجل ثانوي مما يحرر مستقبل المراقبة لكي يواصل المسح على امتداد تردد أعرض.

1.3.2.5 الطبولوجيا العامة

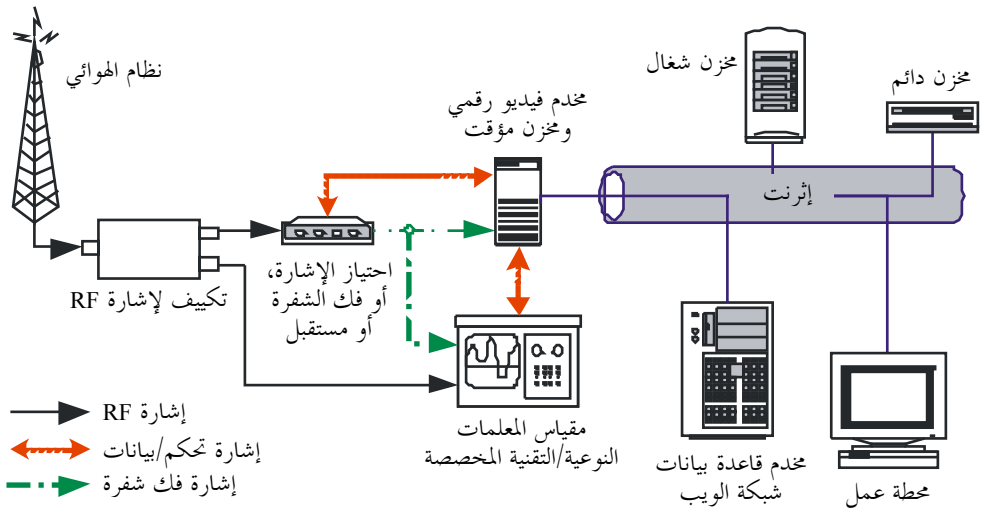
يمكن لنظم المراقبة الحديثة أن تستفيد من أحدث أساليب تصميم البرامجيات، بما في ذلك استخدام مكونات البرامجيات القابلة لإعادة التدريج ولإعادة الاستخدام، مثل مكونات API وBrowser ومعايير الاتصالات التجارية مثل TC/IP وHTML وخدمات شبكة الويب، من أجل توفير مرونة أكبر وسهولة دمج المنصات.

واستخدام نظم التسجيل والتوزيع الرقمي كدعم لأنشطة المراقبة، وإن تيسر، ليس معقولا في الوقت الحاضر بسبب محدودياتها من حيث التشغيل والصيانة، ومن ثم لن نواصل بحثها في هذا الفصل.

ويعرض الرسم البياني التالي معمارية مبسطة لمنصة لمراقبة المضمون. وتتحدد الأقسام التالية اعتمادا على هذا الرسم البياني، بحيث يتم توفير المزيد من المعلومات التفصيلية عن كل عنصر.

الشكل 5-2.5

معمارية مبسطة لمنصة لمراقبة المضمون



Spectrum-5.2-05

ويمكن تنفيذ مثل هذه المنصة إما كمحطة ثابتة أو مدمجة على محطات متنقلة أو قابلة للنقل. ويمكن إدماج العديد من الوظائف الآنفة في نبيطة وحيدة.

2.3.2.5 نظام الهوائي

ينبغي اختيار عدد وأحجام وأنواع الهوائيات بطريقة تلائم خصائص إشارة محددة وظروف التركيب.

وتقترح التوصية ITU-R BS.599 استخدام هوائيات اتجاهية على تركيبات مراقبة إذاعة صوتية FM، ومن شأن هذا النوع من الهوائيات أن يقلل بشكل له شأنه من احتمال التداخل وأن يزيد الحساسية. ويعرض في الشكل 2.5-7 القناع الاتجاهي للإذاعة الصوتية المعروض في تلك التوصية، إما في استقطاب رأسي أو أفقي.

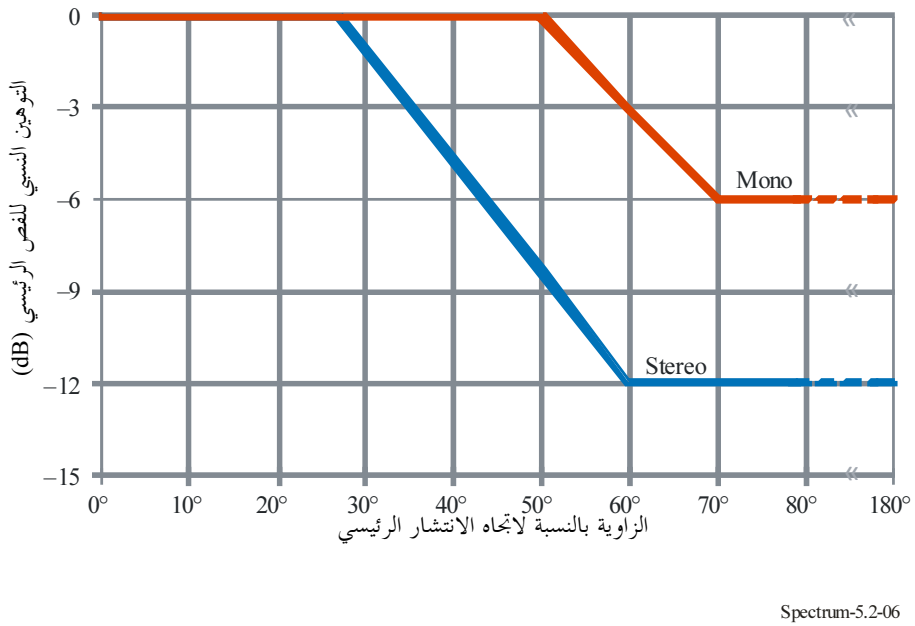
ورغم أنه لا توجد توصية واضحة بشأن نوع الهوائي وبشأن مقدار الاتجاهية الموصى بها لخدمات أخرى، وبخاصة لمقاييس إشارة سطح بيني راديوي محدد، فإن المفهوم ينطبق مع ذلك ويوصى باستخدام الهوائيات الاتجاهية من أجل تقليل تأثير آثار الانتشار غير المطلوب فيه.

وينبغي لنبائط مراقبة المضمون النقالة أن تعطي الأفضلية للهوائيات غير الاتجاهية أو لصفيفات الهوائيات، على الأقل على المستوى الأفقي. ويتم أداء ذلك عادة بواسطة هوائيات وحيدة القطب أو بصفيفات من الهوائيات. وقد تكون الهوائيات الوحيدة القطب والثنائية القطب والقرصية المخروطية بدائل جيدة كهوائيات منفعلة للنطاقات VHF.

وبالنسبة للنظم المتنقلة الأكثر تخصصاً، التي يستهدف أن تعطي مثلاً على أداء تحليل التداخل على شبكات SFN، أو أن تستخدم على شبكة مهام مستمثلة، يعتبر استخدام صفيفات هوائيات والمعالجة المكانية التكييفية بقدرات تخفيف لشدة التداخل أمراً مستصوباً حيث يمكن أن يوفر مرونة وأداء أفضل من حيث رفض الإشارة المسببة للتداخل، بما في ذلك ما يحدث في حالات الإشارات المترابطة على نفس التردد، مثل تلك التي تلاحظ على SFN.

الشكل 2.5-6

اتجاهية الهوائي المستقبل لموقع مراقبة ثابت



Spectrum-5.2-06

وبمراعاة مواصفات الكسب بالنسبة لتركيبات ثابتة، فإن التوصية ITU-R BT.804 تقترح القيم التالية للاستخدام على النطاقات التلفزيونية:

النطاق	التردد (MHz)	كسب الهوائي (dB)
الأول	68-41	3,5
الثالث	230-162	7,5
الرابع	582-470	10
الخامس	960-582	12

وحسبما ذكر في التوصيات المشار إليها، تستخدم هذه القيم بصفة عامة للتخطيط، ومن ثم يتعين استخدامها لإدماج محطة مرجعية تكون متوافقة مع المستخدم العام.

وبالنسبة للنظم التلفزيونية الرقمية، تقترح التوصية ITU-R BT.1368 قيما مماثلة، أحياناً ما تكون بكسب أعلى بشكل طفيف على نطاقات التردد الأكثر انخفاضاً. وينبغي أن يرجع القارئ إلى الجداول المقدمة فيما بعد في هذا القسم لكي يختار نظام الهوائي على الوجه الصحيح مع الأخذ في الاعتبار باشتراطات حساسية المستقبل ونبائط تكييف RF المتاحة.

تكييف RF:

تشمل نبائط تكييف RF التحويل والتوزيع والتكبيل والمضخمات المنخفضة الضوضاء والمراشح لتعزيز نوعية الاستقبال المستمثلة فيما يتم الاحتفاظ بشروط مستخدم واقعية.

وكمرجع، ينبغي مراعاة مستويات الحساسية التي تناقش أدناه عند تصميم تلك الأنظمة الفرعية.

3.3.2.5 الاستقبال وفك الشفرة

عادة ما يؤدى استقبال الإشارة وفك شفرتها في أبسط الحالات بواسطة جهاز فيديو تجاري معياري ومستقبلات/موالفات ومفككات شفرة سمعية.

وعندما يكون القيام بتحليل أكثر تعمقاً مطلوباً على نحو ما هو مذكور آنفاً، يجوز أن تشمل عملية استقبال الإشارة وفك شفرتها مراشح مكانية تكييفية من أجل الارتقاء بالتشكيل وبأداء فك الشفرة.

ومن الناحية المثالية، ينبغي أن يكون النظام مرنا بما يكفي لكي يتم إدماجه بسهولة في أجهزة الاستقبال/فك الشفرة التجارية المعيارية بما يمكّن من مراقبة الإذاعة الرقمية بسهولة على مختلف المستويات وخدمات مشاهدة التلفزيوني المشفرة المدفوعة مسبقاً التي تعمل على الكبل أو السواتل أو الخدمات الأرضية.

ووفقاً للتوصيات ITU-R BS.703 (إذاعة AM التناظرية) وITU-R BS.1615 (الإذاعة الصوتية الرقمية دون 30 MHz) وITU-R BS.704 (إذاعة FM)، ينبغي أن يوفر احتياز الإشارة، مع مراعاة المستقبلات وتكييف RF ونظم الهوائيات، الحساسية وفقاً للجدول 2.5-1:

الجدول 2.5-1

حساسية مستقبل الإذاعة الصوتية

النظام	نطاق التردد	مرشاح BW	الحد الأدنى لشدة المجال (dB(μV/m))
صوت AM DSB	kHz 300-kHz 30	kHz 10	66,0
صوت رقمي	kHz 300-kHz 30	kHz 9	[1]39,1
صوت AM DSB	MHz 3-kHz 300	kHz 10	[2]60,0
صوت رقمي	MHz 3-kHz 300	kHz 10	[3]33,1
صوت AM DSB	MHz 30-MHz 3	kHz 10	[4]40,0
صوت رقمي	MHz 30-MHz 3	kHz 10	[5]19,1
صوت FM– أحادي	MHz 108-MHz 66	kHz 150 أو [6]kHz 100	30,0
صوت FM– مجسم	MHz 108-MHz 66	kHz 150 أو kHz 100	50,0

[1] قيمة تقديرية أدنى بالنسبة إلى DRM (أسلوب التشغيل الأمتن)، يمكن استخدام قيم حتى 49,2 dB(μV/m) لزيادة نوعية البث. وبالنسبة إلى أسلوب شغل الطيف الأضيق، يكون الحد الأدنى لشدة المجال الذي يمكن استخدامه أعلى بشكل طفيف. أنظر التوصية ITU-R BS.1615 للاطلاع على وصف تفصيلي.

[2] القيم 54 dB(μV/m) و40 dB(μV/m) مدعومة أيضاً.

[3] قيمة تقديرية أدنى بالنسبة إلى DRM (أسلوب التشغيل الأمتن) مع مراعاة الموجات الأرضية فقط. يمكن استخدام قيم حتى 46,5 dB(μV/m) لزيادة نوعية البث باستخدام موجات سماوية أيضاً. وبالنسبة إلى أسلوب شغل الطيف الأضيق، يكون الحد الأدنى لشدة المجال الذي يمكن استخدامه أعلى بشكل طفيف. أنظر التوصية ITU-R BS.1615 للاطلاع على وصف تفصيلي.

[4] اعتمد المؤتمر الإداري العالمي للراديو WARC (HFBC-87) [جنيف، 1987] هذه القيم من أجل مستقبلي DSB وSSB.

[5] قيمة تقديرية أدنى بالنسبة إلى DRM (أسلوب التشغيل الأمتن) مع مراعاة الموجات الأرضية فقط. يمكن استخدام قيم حتى 29,9 dB(μV/m) لزيادة نوعية البث. وبالنسبة إلى أسلوب شغل الطيف الأضيق، يكون الحد الأدنى لشدة المجال الذي يمكن استخدامه أعلى بشكل طفيف. أنظر التوصية ITU-R BS.1615 للاطلاع على وصف تفصيلي.

[6] 150 kHz لنظام النغمة الدليلة أو 100 kHz من أجل نظام التشكيل القطبي، تبعا للنظام المحلي المستخدم.

ووفقاً للتوصية ITU-R BT.804 (الإذاعة التلفزيونية التناظرية) والتوصية ITU-R BT.1368 (الإذاعة التلفزيونية الرقمية)، ينبغي أن يوفر احتياز الإشارة، مع مراعاة المستقبلات وتكييف RF ونظم الهوائيات، الحساسية وفقاً للجدول 2.5-2:

الجدول 2.2.5

حساسية مستقبل الإذاعة التلفزيونية

النظام	نطاق التردد (MHz)	مرشاح BW (MHz)	الحد الأدنى لشدة المجال (dB(μV/m))
تلفزيون تناظري	68-41	6 أو 7 أو 8	47
تلفزيون تناظري	230-162	6 أو 7 أو 8[1]	53
تلفزيون تناظري	582-470	6 أو 7 أو 8	62[2]
تلفزيون تناظري	960-582	6 أو 7 أو 8	67
تلفزيون رقمي – ATSC	88-54	6	35[3]
تلفزيون رقمي – ATSC	216-174	6	33[3]
تلفزيون رقمي – ATSC	806-470	6	39[3]
تلفزيون رقمي – DVB-T QPSK	200	8	27[4]
تلفزيون رقمي – DVB-T QPSK	550	8	33
تلفزيون رقمي – DVB-T QPSK	700	8	35
تلفزيون رقمي – DVB-T 16-QAM	200	8	33
تلفزيون رقمي – DVB-T 16-QAM	550	8	39[5]
تلفزيون رقمي – DVB-T 16-QAM	700	8	41
تلفزيون رقمي – DVB-T 64-QAM	200	8	39
تلفزيون رقمي – DVB-T 64-QAM	550	8	45
تلفزيون رقمي – DVB-T 64-QAM	700	8	47
تلفزيون رقمي – ISDB-T DQPSK	100	6	20,7[6]
تلفزيون رقمي – ISDB-T QPSK	100	6	23,4
تلفزيون رقمي – ISDB-T 16-QAM	100	6	29,1
تلفزيون رقمي – DVB-T 64-QAM	100	6	36,1
تلفزيون رقمي – ISDB-T DQPSK	200	6	24,7
تلفزيون رقمي – ISDB-T QPSK	200	6	23,4
تلفزيون رقمي – ISDB-T 16-QAM	200	6	33,1
تلفزيون رقمي – ISDB-T 64-QAM	200	6	40,5
تلفزيون رقمي – ISDB-T DQPSK	600	6	30,2
تلفزيون رقمي – ISDB-T QPSK	600	6	28,9
تلفزيون رقمي – ISDB-T 16-QAM	600	6	38,6
تلفزيون رقمي – ISDB-T 64-QAM	600	6	46,0

(1) ينبغي اعتبار أن عرض النطاق بين 6 و7 و8 MHz طبقاً للنظام المحلي المستخدم.

(2) ينبغي زيادة القيم الحدية في النطاقين IV وV بمقدار 2 dB بالنسبة للنظام k.

(3) تحتسب القيم الحدية وفقاً للتعبير المطروح في التوصية ITU-R BT.1368، وتحتسب القيم المعروضة من أجل عرض نطاق يبلغ 6 MHz وترددات تبلغ 69 و194 و615 MHz، على التوالي.

(4) تحتسب القيم الحدية وفقاً للتعبير المطروح في التوصية ITU-R BT.1368، وتحتسب القيم المعروضة من أجل عرض نطاق يبلغ 8 MHz.

(5) تحتسب القيم الحدية وفقاً للتعبير المطروح في التوصية ITU-R BT.1368، وتحتسب القيم المعروضة من أجل عرض نطاق يبلغ 8 MHz عند ترددات تمثيلية مختارة.

(6) تحتسب القيم الحدية وفقاً للتعبير المطروح في التوصية ITU-R BT.1368، وتحتسب القيم المعروضة من أجل عرض نطاق يبلغ 6 MHz عند ترددات تمثيلية مختارة.

كما يمكن تنفيذ قناة رصد المضمون الإضافية بواسطة إدماج ماسحات راديوية، مثل تلك المستخدمة في راديو الهواة. وبمقارنة تلك الماسحات بمستقبلات الإذاعة التجارية فإنها قد تفتقد قدرات فك الشفرة الصحيحة ولكن قد توفر منافع من قبيل مدى ترددات تشغيلية أكبر وموارد أتمتة، وتمكن من توفير سطح بيني شفاف للمستخدم من أجل نظام مراقبة مختلطة، يتكون بواسطة قنوات القياس المعيارية، مثل تلك الموصوفة في الفصل 3، وقنوات مراقبة مضمون إضافية.

4.3.2.5 مقياس النوعية المخصصة/المعلمات التقنية

وفي معظم الحالات، يمكن أداء تقييم الخدمة الأساسية مثل التغطية وقناع الطيف بواسطة أجهزة قياس معيارية مؤتلفة مع أجهزة فيديو تجارية ومولفات/مستقبلات صوتية وأجهزة فك الشفرة. وبالنسبة للإذاعة الرقمية، يمكن العثور على بعض المستقبلات التجارية الأكثر تحذيقاً التي تؤدي بعض قياسات النوعية الأصيلة الأساسية، مثل BER، ولكن قد يحتاج الأمر، من أجل التقييم الكامل لخصائص الشبكات الإذاعية إلى أجهزة أكثر تخصصاً، وبخاصة لتسوية حالات التداخل المعقدة، مثل ما قد يلاحظ بشأن SFN.

وتبين الدراسات التجريبية، مثل مشروع IST-2000-26222 ANTUIUM "تقرير معالجة القنوات المتعددة DVB-T" أن تلك الأنظمة، التي تشمل مستقبلات وأجهزة فك الشفرة وهوائيات، ينبغي أن توفر إمكانيات لرفض التداخل تزيد بما يتراوح بين 10 إلى 20 dB عن المطاريف العادية، بحيث يمكن إنجاز تشخيصات تداخل وقياسات للإشارات يعول عليها، بما في ذلك تفكيك صحيح لشفرة قناة التشوير، بما يسمح بتحديد هوية المعلمات الأساسية مثل تشكيل وقت الحراسة ومخططات التشفير.

5.3.2.5 الرقمنة والانضغاط

ينبغي للمرء كلما اختار نظام مرقمن أن يكون على وعي بخصائص ضوضائه الأصيلة، فيختار أنظمة من رتبة أعلى من أجل تطبيقات من قبيل تقييم نوعية الوسائط، أي بنسب بتات/عينات أعلى وبخصائص مرشاح دخل أفضل، أو أنظمة من رتبة أدنى من أجل مراقبة المضمون المعيارية وتصنيف الوسائط. ومع مراعاة الأنظمة الحديثة، ينبغي تجنب البدائل التي تملك أقل من 8 بتات في العينة الواحدة، ويمكن اعتبار التي تملك أكثر من 10 بتات في العينة الواحدة بمثابة جهد لا داعي له بالنسبة لمعظم التطبيقيات.

وفيما يتعلق بالاستبانة والمقياس المدرج استناداً إلى الأنظمة التناظرية، هناك النسق المتوسط المشترك (CIF) الذي يحدد رتل صورة يبلغ 352 × 288 بكسل. ويتم تحديد التلفزيون العادي الوضوح بزهاء 4CIF، 704 × 576 بكسل، والتلفزيون المرتفع الوضوح بزهاء 16CIF، 1408 × 1152 بكسل. كما يتم تحديد الاستبانات الأخرى الأقل باعتبارها QCIF، ربع CIF مع 176 × 144 بكسل وSQCIF، دون ربع CIF مع 128 × 96 بكسل.

وبالأخذ في الاعتبار بحساب أساسي يأخذ 8 بتات لكل مكون لوني، وينتج 24 بتة لكل بكسل، ويضاعف هذه البتات البالغة 24 بتة، فإن 101,376 بكسل على رتل CIF تعطينا 2,433,024 بتة لكل رتل، أو 72,990,720 بتة في الثانية على تسلسل من الصور المتحركة من 30 fp. وبوضع هذه الأرقام في عين الاعتبار، فإن المرء يتوصل بسهولة إلى استنتاج بشأن أهمية خوارزميات الانضغاط الفيديوي.

وتستفيد خوارزمية الانضغاط من الوفرة الطبيعية في المعلومات لتخفيض حجمها. وقد تكون هذه الوفرة قائمة فقط من حيث التمثيل الرقمي المختار والذي يمكن أن تستنبط منه خوارزمية انضغاط بلا خسارة أو قد تشتمل على وفرة عن المعلومات ذاتها، مثل أجزاء من الرتل لا تتغير بمرور الزمن، والفارق بين الاستبانة النصوعية والاستبانة اللونية المطلوب لتمثيل مشهد معين، والخصائص الطيفية للمعلومات بالنسبة لمحدوديات الإدراك البشري. ويسفر انضغاط أو تقليل هذه الوفرة عن خوارزميات فقد الانضغاط. وعادة ما تجمع كل من خوارزميات انضغاط الفيديو والصوت طرائق لإنجاز انضغاط أكبر.

وداخل الاتحاد الدولي للاتصالات، كان انضغاط الفيديو موضوعاً لبعض التوصيات. فالتوصية ITU-T H.120 (الطبعة الأولى - 1988) التي تركز على المؤتمرات المرئية كانت أول توصية من نوعها في سلسلة توصيات عن معايير كوديكات الفيديو (CODEC) داخل الاتحاد الدولي للاتصالات. وقد تلتها التوصية ITU-T H.261 (الطبعة الأولى - 1990). وتركز هذه التوصية على عمليات البث على قنوات SDH (بمعدل n × 64 kbit/ثانية) وتطبيق من قبيل المؤتمرات المرئية.

وفي وقت لاحق، أصدرت التوصية ITU-T H.262، التي حسنت من مواصفات ISO/IEC، والمعروفة بشكل أشيع بأنها MPEG-2، في عام 1995 وحاولت معالجة الحاجة إلى CODEC تنوعية ذات نوعية أعلى، وأكثر تناسباً مع تطبيقات من قبيل الإذاعة وتخزين الوسائط الرقمية.

وعملت التوصية ITU-T H.263 (الطبعة 1 – 1996) على تحسين مواصفات CODEC عما كانت عليه في ITU-T H.261، بما في ذلك تحويلات أفضل والتنبؤ بين الصور لتقليل انضغاط الفوائض المكانية والزمانية.

وكانت آخر وأشهر التوصيات في هذه السلسلة داخل الاتحاد الدولي للاتصالات التوصية ITU-T H.264 التي أقرت في عام 2003 مصحوبة بتصويب لاحق أصدر في عام 2009. وكانت هذه التوصية عبارة عن تطوير مشترك من قبل فريق خبراء تشفير الفيديو في قطاع الاتصالات الراديوية بالاتحاد (VCEG) وفريق خبراء الصور المتحركة (MPEG) في المنظمة الدولية لتوحيد المقاييس/اللجنة الكهربائية التقنية الدولية (ISO/IEC) في شكل فرقة فيديو مشتركة (JVT). ومعيار ISO/IEC، المماثل للتوصية ITU-T H.264 هو المعيار ISO/IEC 14496 المعروف أيضاً باسم MPEG-4.

ويوفر المعيار الأخير أداء أعلى من ذي قبل، وقد يكون التخفيض في حجم الملف أعلى من 64% عند مقارنته بالتوصية ITU-T H.262 وبنسبة 49% عند مقارنته بالتوصية ITU-T H.263. وهذا التشوه، عند قياسه من حيث نسبة ذروة الإشارة إلى الضوضاء بشأن تسلسل فيديوي مشفر عند زهاء 768 kbit/ثانية، يزيد بحوالي 4 dB عن التوصية ITU-T H.262 وبحوالي 3 dB عن التوصية ITU-T H.263.

وتركز المناقشة في هذا القسم على الفيديو بسبب احتياجاته الأعلى من حيث تجهيز وبث وتخزين المعلومات. وتعاني الإشارات الصوتية من نفس المشاكل من حيث الاعتيان والتكمية، إلا أن بث وتخزين البيانات الرقمية غير المعالجة ممكن، وقد يؤخذ في الاعتبار من أجل التطبيقات النهائية العليا. ففي الأنظمة الحاسوبية، مثلاً، يقابل معيار ملف WAV هذه النسق الرقمية الأولية.

وفي العادة، تشمل المعايير الفيديوية الموصوفة آنفاً طبقة انضغاط أيضاً من أجل الصوت، وتستخدم نفس الخوارزميات من أجل الانضغاط الصوتي، حتى عندما لا يكون مصاحباً للفيديو. وهذا هو الحال بالنسبة للأنساق المعروفة بشكل شائع مثل MP3 وهو الاسم المختصر من أجل MPEG Layer 3، والذي يقابل طبقة الصوت من أجل معيار الانضغاط MPEG.

وختاماً، من المحتمل أن تكون أهمية الانضغاط واضحة الآن بالنسبة لتنفيذ مراقبة وتسجيل المضمون. ومن ناحية أخرى، فبالنظر إلى أن معظم خوارزميات الانضغاط ستُدخل أيضاً ضوضاء وتشوهات، فيتعين ألا يغيب عن ذهن المرء الأهداف المحددة للنظام المستهدف.

والنهج المستصوب عن غيره إلى حد كبير هو النظر في حل يدمج بين خيارات عديدة وربما يكون متمثلاً حتى في العديد من المشفرات بما يسمح باختيار المشفرة الصحيحة ومعدل البتات وفقا لاستخدام وسائط الإعلام المستهدف للبتات.

وقد دللت الخبرة بتلك الأنظمة أنه بالنسبة لتطبيقات مثل تصفح الوسائط، والتدفق، وتعريف هوية المضمون وتصنيفه، وبمعدلات انضغاط عالية بمقدار 16 kbit/ثانية بالنسبة للصوت و180 kbit/ثانية بالنسبة للفيديو باستخدام ITU-T H.264 فإن المشفرات يمكن أن توفر نتائج مقبولة. وقد يوفر ذلك نوعية فيديو وصوت مشابهة لما تم تجربته في تطبيقات المؤتمرات المرئية.

وبالنسبة لتقييم النوعية على الفيديو، يمكن للمرء أن ينظر في معدل بتات أعلى، فوق 4 Mbit/ثانية، باستخدام مشفرات من قبيل ITU-T H.264 وH.262 التي توفر نوعية مماثلة للتلفزيون الرقمي أو DVD. وبالنسبة لتقييم النوعية في الإذاعة الصوتية، يمكن للمرء أن ينظر في استخدام النسق الرقمي الأولي.

كما يوصى بإيجاد بدائل إضافية للنوعية الوسيطة، بين احتياجات النهاية المرتفعة لتقييم النوعية والحاجات الأساسية للتصفح والتصنيف، مما يزود مستخدم النظام بالقدرة على ملاءمة حاجاته بشكل أفضل.

ومن البدائل المثيرة للاهتمام أن يتم تشكيل تلك المعلمات أثناء عملية التخطيط.

6.3.2.5 تحليل الوسائط الأولي والبيانات الشرحية

ينطوي تحليل الوسائط الأولي للصوت و/أو الفيديو على إيجاد مجالات للبيانات الشرحية التي تعتبر ضرورية لتحسين أداء خوارزميات البحث في الوسائط ومواصلة تصنيف وشرح المعلومات المجموعة بواسطة مشغل بشري، حيثما تكون هذه المهمة ضرورية.

وفي الوقت الحالي، يمكن للبيانات الشرحية ألا تشمل فقط معلومات أساسية مقدمة من المستقبلات والأنظمة الإضافية مثل: دلالة الوقت الأصلية، والتردد، ومستوى الإشارة، ومعلومات RDS، وشرح الصور المغلق، ومعدل الخطأ، وإنما تشمل أيضاً مزيدا من المعلومات المعقدة المستمدة من خوارزميات تحليلية متخصصة مثل: كشف الرتل الرئيسي، وكشف الصورة المرجعية، وكشف تتابع الصوت المرجعي (جلجلة)، وتقييم النوعية، وتحديد هوية المتكلم، والتصنيف الإيقاعي، إلى آخره.

وقد يكون التوليد الفعلي الوقت للبيانات الشرحية مفيداً أو حتى واجباً عندما يكون المرء، مثلاً، يقوم بتحليل معلمات نوعية الفيديو أو يحاول تحديد أو تصنيف سمات مخصوصة (تحديد هوية الرتل)، حيث إن مواصلة الانضغاط والتخزين قد يؤثر على خصائص المعلومات الأصلية وذلك، على سبيل المثال، بتخفيض عدد الأرتال لكل ثانية على تتابع فيديوي وزيادة معدل أخطاء التأشير الأتوماتي على كشف الرتل.

وينبغي لتصميم النظام أن يتوصل إلى تسوية بين تكلفة معالجات الوقت الفعلي المطلوبة لأداء تحليل الوسائط الأولي وفوائد البيانات الشرحية المجمعة كوسيلة مساعدة لمواصلة المعالجة. و لم تتبادر للعلم أي دراسة مخصوصة حتى اللحظة لمعالجة هذه القضية، غير أن الحقيقة تتمثل في أن التطور المستمر للخوارزميات وقدرة الحواسيب ستعمل باستمرار على توجيه هذا التوازن لزيادة قدرة الأنظمة على أداء تصنيفات الوقت الفعلي للوسائط.

وهناك طرق عديدة لتخزين البيانات الشرحية المجموعة أو المنتجة، فيمكن ببساطة تخزينها على ما جرت عليه العادة في نظام قاعدة بيانات يسمح بسهولة الاسترجاع من خلال استخدام خوارزميات استفهام مبيتة في تلك الأنظمة. ولا يزال هذا المفهوم مفيداً ويمكن تطبيقه لتنفيذ بوابة وسائط متكاملة لتمكين العديد من المستخدمين من النفاذ إلى الوسائط.

ويتمثل العيب الرئيسي لقاعدة البيانات البسيطة في أنه ما إن يتم استرجاع الوسائط فمن الممكن أن تخسر صلتها بالبيانات الشرحية، كما أن توزيع هذه الوسائط وتخزينها الدائم خارج نظام قاعدة البيانات قد يسبب مشكلة. وللتغلب على ذلك، يستحث على استخدام معيار وصف الوسائط المتعددة، مثل MPEG-7.

وقد وُصف المعيار MPEG-7 في المعيار ISO/IEC 15398، ويوفر مجموعة كبيرة من الأدوات من أجل تقديم وصف جوهري للبيانات الشرحية كما يوفر أدوات نظم لتناول المعلومات المرتبطة بالوسائط. ويمكن تخزين البيانات الشرحية بفضل MPEG-7 في هيكل XML داخل تيار البيانات ذاته، مما يتيح، ويكفل، إرسال وتخزين المعلومات.

7.3.2.5 توزيع ومعالجة البيانات

وحسبما نوقش في بداية هذا القسم، فإنه ينبغي من أجل الاستفادة من بيانات الوسائط المسجلة رقمياً أن تراعي الأنظمة موارد الشبكات بالنسبة لتوزيع ومعالجة البيانات المجموعة.

ورغم أن مقدرة الإرسال الشبكية تتزايد باستمرار، فإنه ينبغي عند النظر في تنفيذ نظام لمراقبة المضمون أن تراعي مسألة استعمال الشبكات بحرص، وبخاصة من حيث التكاليف في الأجلين القصير والطويل. وينبغي، كلما أمكن، استخدام معدلات انضغاط أعلى بما يسمح باستخدام أكفأ لتلك الموارد.

وفيما يتعلق بالمعالجة، يعرض في الشكل التالي نموذج لتدفق العمل بالنسبة لهذا النظام، مع الأخذ في الاعتبار بالأتمتة الكاملة للمهام الأساسية. ويعرض هذا المخطط ما يحدث من تفاعل بين المهام المؤتمتة والمهام اليدوية من أجل معالجة الوسائط.

ويمكن إيجاز المهام المعروضة في الشكل 2.5-7 على النحو التالي:

الخطوة 1: يقوم مشرف بتنظيم الجدول الزمني للمهمة. ويمكن تحديد هذا الجدول بمستويات مختلفة من الأولويات وخصائص التسجيل المختلفة من أجل التوفيق بين مختلف أهداف المهمة وإنجاز صلاحية استعمال أكبر للنظام. وتسجل الإشارة بواسطة نظام استحواذ أتماتي وتخزن في قاعدة بيانات مؤقتة من أجل المزيد من التحليل.

الخطوة 2: يقوم المشرفون بتحليل سطحي للوسائط المسجلة لإثبات أهميتها من أجل القيام بمزيد من الدراسات و/أو التخزين.

الخطوة 3: معالجة الوسائط من أجل المحللين المتخصصين والتطبيقات المتخصصة.

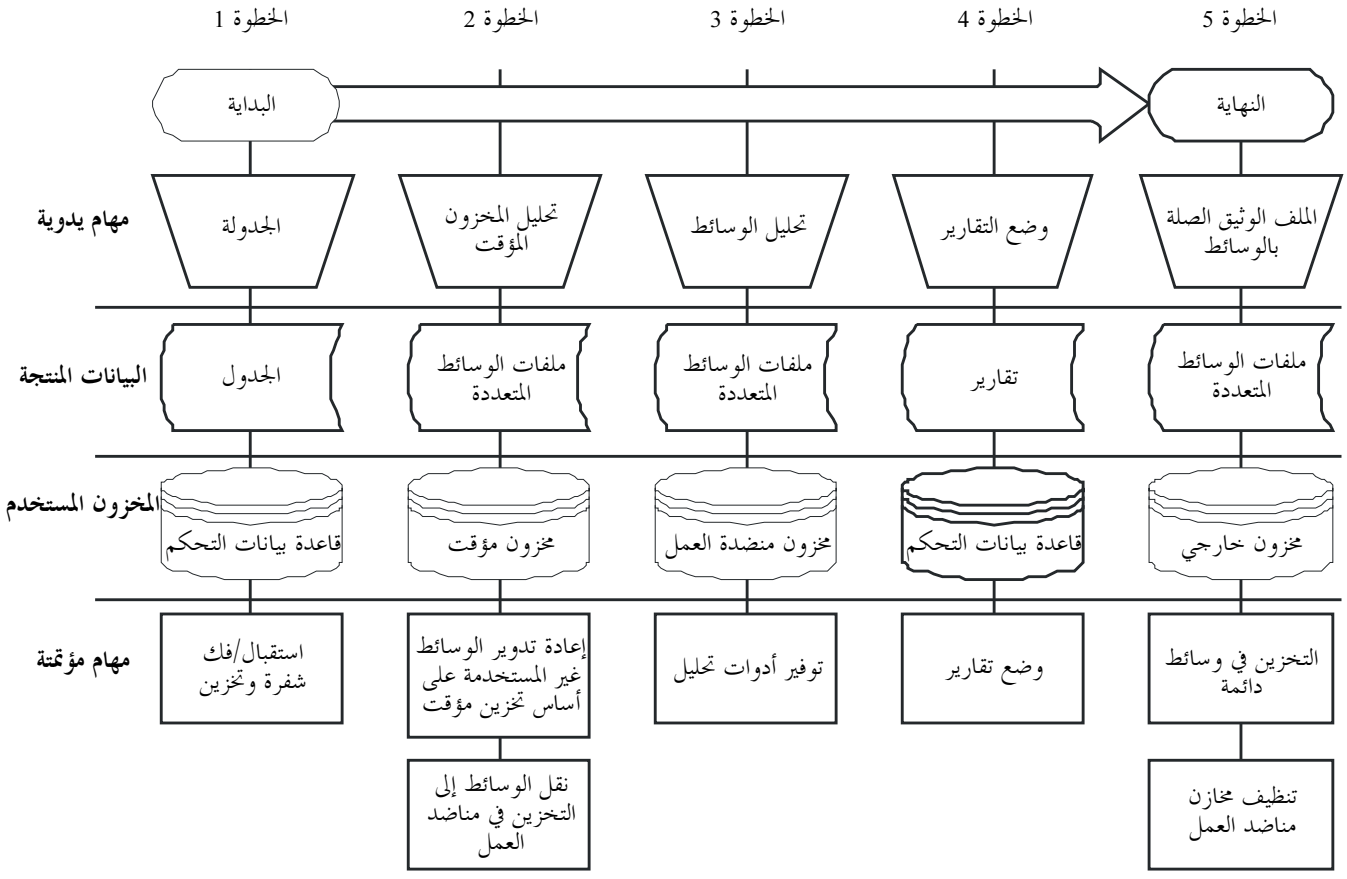
الخطوة 4: توليد مُبلغ عنه أتوماتياً.

الخطوة 5: تخزين دائم في وسائط ذات مقدرة أعلى من أجل فتح مساحة في قاعدة البيانات المستخدمة من أجل مهام المستقبل.

وينبغي للمرء أن يأخذ في اعتباره أنه مع ظهور الخوارزميات والتقنيات الجديدة للتقييم والتصنيف الأتوماتي للوسائط، فإنه ينبغي تقليل حجم الوسائط التي يتعين تحليلها، غير أنه لا يوجد منظور، حتى في الأجل المتوسط، لوضع حد للمهام اليدوية.

الشكل 2.5-7

نموذج لتدفق العمل بشأن معالجة البيانات



Spectrum-5.2-07

8.3.2.5 تخزين البيانات

وحسبما جرى وصفه على الرسم البياني المعروض في القسم السابق، يمكن للمرء أن يتوخى ثلاث وحدات تخزين رئيسية على الأقل في نظام لمراقبة المضمون: مؤقت حيث يتم تخزين البيانات أثناء التقاطها وبعدها مباشرة؛ ومنضدة عمل حيث تخزن البيانات من أجل مواصلة معالجتها؛ ودائم، حيث تخزن البيانات بعد أداء جميع المعالجات.

ويجوز أن يتفاوت حجم ونوع التخزين المستخدم بدرجة كبيرة تبعا للحل المصمم. وعموما، ينبغي للمرء أن يحسب حجم التخزين مع الأخذ في الاعتبار باستهلاك معدل البتات وفقاً لخوارزميات الانضغاط المستخدمة والكمية المطلوب توافرها من وقت الوسائط في كل خطوة من معالجة الوسائط.

ومهما كان الوقت الذي يتعين مراعاته بالنسبة لتوافر الوسائط، فمن المحتم أن تنفذ مقدرة التخزين في فترة قصيرة نسبيا. ومن ثم، ينبغي أن يراعي تنفيذ المشروع بجدية البدائل الممكنة لتخزين الوسائط الدائم، مثل شرائط التسجيل، وDVD وروبوتات الوسائط من أجل التخزين الكبير جداً والبطيء السرعة.

وكلما كان يجري تنفيذ هذا النوع من التخزين، ينبغي للمرء أيضاً أن يراعي عند التنفيذ الوسائل المستخدمة من أجل فهرسة هذه المعلومات والنفاذ إليها والتي تكمل نظام تخزين البيانات بقاعدة بيانات جيدة من أجل فهرسة تخزين الوسائط.

المراجع

ABNT NBR 15601:2007 [2008] Digital terrestrial television – Transmission system. Version April 07.

ARIB STD – B31 [November 30, 2005] Transmission System for Digital Terrestrial Television Broadcasting. Version 1.6-E2.

BOUTOU, P.; MASSE, D. [2003] DVB-T field trial report, Project IST-2000-26222 ANTIUM : deliverable D5021 D3031b. Version 1.0.

ETSI ES 201 980 [2008] ETSI Standard – Digital Radio Mondiale (DRM) System Specification, V2.3.1.

FCC Rules – 47 CFR 73.622 (h) – That codifies FCC Memorandum Opinion and Order on Reconsideration of the 6th Report and Order, Released 23 February 1998; MM Docket No. 87-268.

FISCHER, W. [2008] Digital Video and Audio Broadcasting Technology: A Practical Engineering Guide; Springer-Verlag Berlin Heideberg.

GE06 – RRC-06 Regional Agreement [June 17, 2006] – Final Acts of the Regional Radiocommunication Conference for planning of the digital terrestrial broadcasting service in parts of Regions 1 and 3, in the frequency bands 174-230 MHz and 470-862 MHz, Geneva.

IEEE P1631/D3 [February, 2008] Draft Recommended Practice for Measurement of 8-VSB Digital Television Mask Transmission Compliance for the USA.

LOUBATON, P.; MASSE, D.; MHIRI, R.; SCHAFHUBER, D. [2003] DVB-T multi-channel processing report; Project IST-2000-26222 ANTIUM : deliverable D3031b; Version 1.0.

Technical Instruction [1982] No. 5R4, [07.1982], issued by ARD and ZDF, available from Institut für Rundfunktechnik GmbH, Floriansmühlstraße 60, D-80939 München (in German).

توصيات قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات وتقاريره

ملحوظة: يحبذ في كل حالة استعمال آخر طبعة من التوصية.

التوصية ITU-R BS.412 – معايير التخطيط للإذاعة الصوتية للأرض بتشكيل التردد بالموجات المترية.

التوصية ITU-R BS.599 – اتجاهية هوائيات استقبال الإذاعة الصوتية في النطاق 8 (VHF)

التوصية ITU-R BS.643 – نظام البيانات الراديوية (RDS) المجهز للتوليف الأوتوماتي ولتطبيقات أخرى في مستقبلات الإذاعة بتشكيل التردد (FM)، ويستعمل مع نظام النغمة الدليلة.

التوصية ITU-R BS.703 – خصائص المستقبلات المرجعية الخاصة بالإذاعة الصوتية بتشكيل الاتساع لأغراض التخطيط.

التوصية ITU-R BS.704 – خصائص المستقبلات المرجعية للإذاعة الصوتية بتشكيل التردد لأغراض التخطيط.

التوصية ITU-R BS.706 – نظام المعطيات في الإذاعة الصوتية AM غير المجسمة بتشكيل الاتساع (AMDS).

التوصية ITU-R BS.774 – متطلبات الخدمة للإذاعة الصوتية الرقمية الموجهة إلى مستقبلات ثابتة ومحمولة ومركبة على متن مركبات باستعمال مستقبلات للأرض في النطاقات VHF/UHF.

التوصية ITU-R BS.1114 – أنظمة الإذاعة الصوتية الرقمية للأرض الموجهة إلى مستقبلات ثابتة ومحمولة ومركبة على متن مركبات، في مدى التردد 30-000 3 MHz.

التوصية ITU-R BS.1116 – Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems.

التوصية ITU-R BS.1283 – A guide to ITU-R Recommendations for subjective assessment of sound quality.

التوصية ITU-R BS.1284 – General methods for the subjective assessment of sound quality.

التوصية ITU-R BS.1285 – Pre-selection methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems.

التوصية ITU-R BS.1286 – Methods for the subjective assessment of audio systems with accompanying picture.

التوصية ITU-R BS.1387 – Method for objective measurements of perceived audio quality.

التوصية ITU-R BS.1534 – طريقة التقدير الشخصي لسويات النوعية المتوسطة لأنظمة التشفير.

التوصية ITU-R BS.1615 – "معلمات التخطيط" للإذاعة الصوتية الرقمية العاملة على ترددات تحت 30 MHz.

التوصية ITU-R BT.500 – منهجية التقدير الشخصاني لنوعية الصور التلفزيونية.

التوصية ITU-R BT.710 – Subjective assessment methods for image quality in high-definition television.

التوصية ITU-R BT.798 – Digital television terrestrial broadcasting in the VHF/UHF bands.

التوصية ITU-R BT.804 – Characteristics of TV receivers essential for frequency planning with PAL/SECAM/NTSC television systems.

التوصية ITU-R BT.1128 – Subjective assessment of conventional television systems.

التوصية ITU-R BT.1129 – التقدير الشخصي لأنظمة التلفزيون الرقمي عادي الوضوح (SDTV).

التوصية ITU-R BT.1206 – Spectrum shaping limits for digital terrestrial television broadcasting.

التوصية ITU-R BT.1210 – مواد الاختبار الواجب استعمالها في تقييم جودة الصورة.

التوصية ITU-R BT.1306 – طرائق تصحيح الأخطاء وترتيل المعطيات والتشكيل والإرسال في الإذاعة التلفزيونية الرقمية للأرض.

التوصية ITU-R BT.1368 – معايير تخطيط خدمات التلفزيون الرقمي للأرض في نطاقات الموجات المترية (VHF) والديسمترية (UHF)، بما في ذلك نسب الحماية.

التوصية ITU-R BT.1439 – طرائق القياس المطبقة في استديو التلفزيون التماثلي ونظام التلفزيون التماثلي عموماً.

التوصية ITU-R BT.1700 – خصائص الإشارات الفيديوية المركبة لأنظمة التلفزيون التماثلي التقليدية.

التوصية ITU-R BT.1701 – خصائص الإشارات المشعة للأنظمة التقليدية للتلفزيون التماثلي.

التوصية ITU-R SM.1009 – Compatibility between the sound-broadcasting service in the band of about 87-108 MHz and the aeronautical services in the band 108-137 MHz.

التوصية ITU-R SM.1268 – الطريقة التي تستعملها محطات مراقبة البث لقياس الانحراف الأقصى لتردد البث الإذاعي.

التوصية ITU-R SM.1792 – قياس إرسالات النطاق (الجانبي في مرسلات الإذاعة السمعية الرقمية للأرض T-DAB) والإذاعة الفيديوية الرقمية للأرض (DVB-T) لأغراض المراقبة.

التوصية ITU-R BT.1082 – Studies toward the unification of picture assessment methodology.

توصيات قطاع التقييس في الاتحاد الدولي للاتصالات ومواده التعليمية

التوصية ITU-T H.120 – Codecs for videoconferencing using primary digital group transmission.

التوصية ITU-T H.261 – مشفر/مفكك شفرة (كودك) فيديوي للخدمات السمعية البصرية بمعدل p x 64 kbit/s.

التوصية ITU-T H.262 – تقانة المعلومات – التشفير العام لمعلومات الصور المتحركة والأصوات المصاحبة: المعطيات الفيديوية.

التوصية ITU-T H.263 – التشفير الفيديوي للاتصال بمعدل بتات منخفض.

التوصية ITU-R T.H.264 – التشفير الفيديوي المتقدم للخدمات السمعية المرئية العامة.

التوصية ITU-T P.563 – Single-ended method for objective speech quality assessment in narrow-band telephony applications.

التوصية ITU-T P.800 – طرق التقدير الشخصي لنوعية الإرسال.

التوصية ITU-T P.810 – Modulated noise reference unit (MNRU).

التوصية ITU-T P.830 – Subjective performance assessment of telephone-band and wideband digital codecs.

التوصية ITU-T P.862 – Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs.

Tutorial ITU-T [2004] Objective perceptual assessment of video quality: Full reference television.

3.5 مراقبة الأنظمة الخلوية

1.3.5 مقدمة

في سياق هذا القسم، يستخدم المصطلح "أنظمة خلوية" ليشمل جميع الأنظمة الراديوية المتنقلة التي توفر نفاذاً مباشراً أو غير مباشر إلى شبكات الاتصالات العمومية مثل الشبكات الهاتفية العمومية أو الإنترنت. وأخذاً في الاعتبار بالاختلافات في بنيان الشبكات ودرجة التنقلية وهو ما له عواقبه بالنسبة لمهام وإجراءات المراقبة، فإن الأنظمة الخلوية مقسمة إلى الفئات التالية:

- الأنظمة الراديوية الخلوية.
- أنظمة الاتصالات الشخصية (PCS).
- الأنظمة الساتلية المتنقلة (MSS).
- النفاذ اللاسلكي عريض النطاق (BWA).

2.3.5 الأنظمة والمعايير الراديوية الخلوية

توفر الأنظمة الراديوية الخلوية نفاذاً متنقلاً إلى المستخدمين المتنقلين الآخرين علاوة على شبكات الاتصالات العمومية المبدلة (PSTN). وهناك معايير مختلفة كثيرة للأنظمة الراديوية الخلوية المشغلة في الوقت الحالي في مختلف أنحاء العالم. وسيستمر تركيب أنظمة جديدة محسنة مع زيادة الطلب على خدمة الصوت والبيانات المتنقلة المرتفعة الجودة. بيد أن هذه الأنظمة الجديدة تلقي بتحديات إضافية على عاتق إدارات الاتصالات المكلفة بمراقبة الطيف وإنفاذ الامتثال التنظيمي. وقد تواجه محطات المراقبة الراديوية المجهزة بتكنولوجيا شاملة تقليدية صعوبات في كشف الأنظمة الراديوية الخلوية ومراقبتها. ويجب تركيب أجهزة جديدة في محطات المراقبة الراديوية واستخدام تقنيات جديدة من أجل ملاحقة الإنجازات في تصميم الأنظمة الراديوية الخلوية.

والأنظمة الراديوية الخلوية مختلفة عن الأنظمة الراديوية المتنقلة البرية الأخرى بطرق عديدة. إذ أنها تتيح:

- سعة نداء متزايدة لكي تستوعب عدداً أكبر من المستخدمين؛
- نوعية محسنة من تغطية الخدمة على مدى منطقة جغرافية أكبر؛
- استفادة أفضل من طيف الترددات الراديوية.

والأنظمة الراديوية الخلوية التي تستخدم معايير تناظرية كانت موضع تشغيل في الماضي في أنحاء كثيرة من العالم. بيد أن تلك الأنظمة استبدلت تقريبا على صعيد العالم بالأنظمة الراديوية الخلوية أو رقيت إليها. وكانت المعايير التناظرية معروفة على أنها الجيل الأول من الأنظمة الراديوية الخلوية. ولا تغطى مراقبة هذه الأنظمة في هذا القسم بالتفصيل.

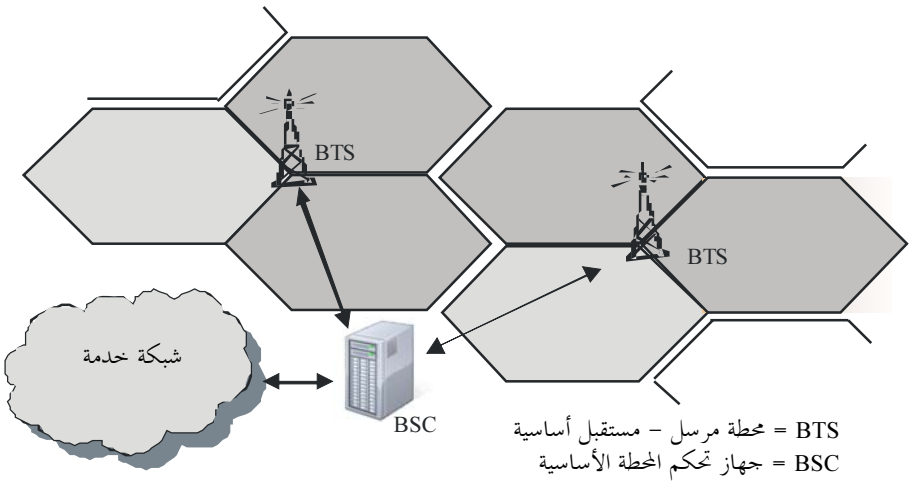
ومن المحدوديات الرئيسية لأي نظام راديوي خلوي توافر طيف الترددات الراديوية. وتستخدم جميع الأنظمة الراديوية الخلوية تردداً (قناة) معاداً استخدامه ومعظمها يمكن من التحول المحكوم بين مساحات جغرافية محددة تعرف بالخلايا. ويتحدد حجم الخلية بمساحة التغطية الجغرافية لقدرة إشارة معينة من مرسل محطة أساسية تعمل داخل هذه الخلية.

ويبين الشكل 3.5-1 بنياناً مبسطاً لنظام راديوي خلوي يستخدم النموذج GSM.

وبغية تدنية عدد المحطات الأساسية، فإنها عادة ما توضع عند تقاطع ثلاث خلايا سداسية الشكل يُخدم عليها بشكل فردي هوائيات قطاعية اتجاهية بزاوية فتحة مقدارها 120°.

الشكل 3.5-1

بنيان شبكة GSM



Spectrum-5.3-01

وتقوم ما يسمى بعملية التحول بتبديل التحكم أتوماتياً في المطراف المتنقل (جهاز يدوي، أو أجهزة مستخدم متنقلة أخرى) والوصلة مع الخلية المجاورة عندما تنتقل إلى منطقة جغرافية جديدة يغطيها مرسل – مستقبل محطة قاعدة مختلفة (BTS) يعمل عادة بتقنية أو أكثر من التقنيات التالية:

- على قناة RF مختلفة من أجل النفاذ المتعدد بتقسيم التردد (FDMA)؛
- على فجوة زمنية مختلفة للنفاذ المتعدد بتقسيم الزمن (TDMA)؛
- بشفرات تمديد تعامدي على نفس قناة RF للنفاذ المتعدد بتقسيم الشفرة (CDMA).

وفي شبكات CDMA، من الممكن خدمة وحدة متنقلة من أكثر من محطة قاعدة في نفس الوقت. ويعمل ما يسمى "التحول اليسير" على نشر تيار بيانات المستخدم بسلاسة على محطتي قاعدة أو ثلاثة تبعاً لحالة استقبالها في موقع الجهاز المتنقل.

وللاطلاع على وصف أكثر تفصيلاً لطرائق تعدد الإرسال المذكورة آنفاً، أنظر الفقرة 6.6 .

وهناك ستة معايير رئيسية للنظم الراديوية الخلوية الرقمية التي جرى وزعها قبل عام 2000.

وتعرف هذه المعايير بأنها الجيل الثاني (2G) من الأنظمة:

- المعيار الذي حدده المعهد الأوروبي لمعايير الاتصالات (ETSI) – ويعرف باسم GSM (النظام العالمي للاتصالات المتنقلة)؛
- معيار رابطة صناعة الاتصالات الأمريكية الشمالية/رابطة الصناعات الإلكترونية بشأن TDMA – المعروف بشكل شائع باسم IS-54 (والذي حل محله المعيار الجديد TIA/EIA-136)؛
- معيار RCR STD-27 الخاص بمركز البحث والتطوير الياباني للنظم الراديوية (RCR) من أجل TDMA والمعروف باسم نظام الاتصالات PDC (الخلوي الرقمي الشخصي)؛
- معيار رابطة صناعة الاتصالات الأمريكية الشمالية/رابطة الصناعات الإلكترونية من أجل CDMA – المعروف بشكل شائع بأنه IS-95 (والذي حل محله TIA/EIA-95)؛

- معيار رابطة الصناعات وبيوت الأعمال الراديوية في اليابان (ARIB) من أجل CDMA المعروف باسم ARIB T-53؛

- معيار رابطة تكنولوجيا الاتصالات الكورية (TTA) من أجل CDMA المعروف باسم TTA.KO-06.0003.

ويحل المعيار الأوروبي GSM محل الكثير من الأنظمة الخلوية التناظرية غير المتوافقة التي كانت تستخدم فيما سبق في كافة أنحاء أوروبا، مع شبكة رقمية وحيدة، وهو ما يسمح بالتجوال عبر الحدود الدولية.

كما تم وزع GSM في أوروبا في النطاق 1 800 MHz وفي الأمريكتين في النطاقين 1 900 MHz و850 MHz.

ومعيارا أمريكا الشمالية المؤقتين IS-54 وIS-95 (اللذان حل محلهما المعياران TIA/EIA-136-A وTIA/EIA-95-C) يتطلبان بداءة شبكات خلوية رقمية لكي يعملا في نفس النطاقات الترددية مثل الشبكات التناظرية.

وقد قام مزودو الخدمات بإحلال المعدات التناظرية القائمة بالتدريج بخدمات رقمية على النحو المطلوب لتلبية الطلب في مواقع الخلايا الإفرادية.

ومعيار PDC مماثل لمعيار IS-54 رغم أنه نفذ في نطاق 1 500 MHz مكرس بالإضافة إلى نطاق رقمي 800 MHz.

ومنذ عام 2000، قام العديد من تمديدات 2G و3G ببناء معايير جديدة من أجل IMT من قبيل:

- الخدمة العالمية لإرسال الراديو بالرزم (GPRS) ومعدلات البيانات المعززة من أجل تطور GSM (EDGE): وتعتبر نظم 2.5G هذه بمثابة تمديدات معدلات متوسطة إلى مرتفعة من معيار GSM.

- UMTS (نظام الإرسال المتنقل العالمي) معيار 3G أوروبي يستند إلى أشكال موجات CDMA عديدة (أسلوب FDD) وأشكال موجات TDMA/CDMA ممتزجة (أسلوب TDD) قامت ETSI ومنظمات 3GPP بمعايرتها. وتعمل UMTS للأرض بالدرجة الأولى عند 000 2-100 2 MHz مع تمديدات عديدة في نطاق التردد 900 MHz ونطاق التردد 450 MHz.

- تدعم UMTS العديد من خدمات الراديو المتنقلة (الصوت على IP، الفيديو المتنقل، إلى آخره). وتعمل تمديدات حديثة العهد لأساليب البيانات مرتفعة السعة، مثل نفاذ رزمة الوصلة الهابطة المرتفعة السرعة (HSDPA) ونفاذ الوصلة الصاعدة المرتفعة السرعة (HSUPA) والتطورات الراهنة صوب 4G للأرض (تطور طويل الأجل (LTE)) على زيادة معدلات البيانات المتاحة ومرونة النظام.

- CDMA-2000 معيار 3G للولايات المتحدة الأمريكية يستند إلى العديد من أشكال موجات CDMA (وبالدرجة الأولى الأسلوب FDD)، بما في ذلك الجيل الثاني من معياري IS 95 وB CDMA، اللذان عايرتهما TIA/EIA ومنظمات 3GPP2. وتشمل CDMA 2000 تشكيلات راديوية متعددة تغطي معظم خدمات الراديو المتنقلة، بما في ذلك أساليب الرزمة المرتفعة السرعة. ويجري في الوقت الحالي مناقشة مسألة تقارب معايير 3GPP2 مع معايير 3GPP.

يوفر الجدول 3.5-1 بعض المعلومات التي تؤثر على السطح البيني الهوائي وأطياف نظم الراديو الخلوي الرقمي.

الجدول 1-3.5

السطح البيني الهوائي لنظام راديو خلوي رقمي

المعيار	GSM 850	GSM 900	GSM 1 800 (DCS-1 800) GSM 1 900 (PCS-1 900)	TIA/EIA-136 (was IS-54)	PDC	TIA/EIA-95 (IS-95)	UMTS CDMA2000	LTE
طريقة النفاذ	TDMA/FDMA (FHSS)			TDMA/FDMA	TDMA/FDMA	CDMA/FDMA (DSSS)	CDMA/FDMA (DSSS)	OFDMA/SC-FDMA
نطاق التردد (MHz) قاعدة إلى المتنقل المتنقل إلى القاعدة	869.2-893.8 824.2-848.8	935-960 std 925-960 extd 890-915 std 880-985 extd	DCS: 1 805-1 880 PCS: 1 930-1 990 DCS: 1 710-1 785 PCS: 1 850-1 910	869-894 1 930-1 990 824-849 1 850-1 910	810-888 1 477-1 501 893-958 1 429-1 453	869-894 1 930-1 990 824-849 1 850-1 910	(انظر الجدول 4-3.5)	(Dep. on region)
نمط مزدوج مباعدة مزدوجة (MHz)	FDD 45		FDD DCS: 95 PCS: 80	FDD 45 or 80	FDD 83 or 48	FDD 45 or 80	FDD / TDD (انظر الجدول 4-3.5)	FDD / TDD
التشكيل	0.3 GMSK			π/4 DQPSK	π/4 DQPSK	QPSK (وصلة أمامية) OQPSK/HPSK (وصلة عكسية)	QPSK/16-QAM	QPSK-64-QAM
عدد الموجات الحاملة	124	124 174 (ext)	DCS: 374 PCS: 299	832 for lowest band 1 841 for the highest band	1600	20	(انظر الجدول 4-3.5)	(Dep. on region)
المباعدة بين الموجات الحاملة (KHz)	200			30	25	1 250	5 000	Up to 20 000
عدد القنوات لكل موجة حاملة	(full rate) 8 (half rate) 16			(full rate) 3 (half rate) 6	(full rate) 3 (half rate) 6	64	64	Variable
القدرة (W) القصوى للخرج المتنقل تبعا لفئة القدرة التي تعلنها الجهة المصنعة	(القيمة التي يشيع استخدامها أكثر من غيرها موضوع تحتها خط) 0.8; 2; 5; 8 In EDGE mode: 0.2; 0.5; 2		(القيمة التي يشيع استخدامها أكثر من غيرها موضوع تحتها خط) DCS: 0.25; 1; 4 PCS: 0.25; 1; 2 In EDGE mode for both DCS & PCS: 0,16; 0,4; 1	0.6, 1.6, 4	0.3, 0.8, 2, 3	1.0, 2.5, 6.3	0.125 ; 0.2 ; 0.25 ; 0.5 ; 2	
قدرة (W) إرسال القاعدة	2.5 – < 640			Up to 100	Not specified	Not specified	Not specified	Not specified
أقصى سرعة للبيانات (Kbits/s)	14.4 GPRS: 171.2 EDGE: 384			48.6	9.6 in CSD 28.8 in packet mode	14.4 (IS-95A) 115.2 (IS-95B)	UMTS: 2 000 HSDPA: 14 000 in downlink HSUPA: 5 800 in uplink	> 10 000
مدة الرزمة (بالدقائق)	4.615			40	40	20	10	10
هيكل الرزمة	0.577 ms slot 8 slots/frame			6.66 ms slot 6 slots/frame	6.66 ms slot 6 slots/frame	1.25 ms PCG 16 PCG/frame		

3.3.5 وصف نظم الاتصالات الشخصية

فيما عدا نظم الراديو الخلوية السابق وصفها، تعتبر نظم الاتصالات الشخصية (PCS) نظما منخفضة التنقلية. والمعايير الرئيسية هي:

- معيار الاتصالات اللاسلكية الأوروبي الرقمي (DECT) المعرف ETSI؛
- معيار مركز البحث والتطوير الياباني للنظم الراديوية (RCR) المستحدث RCR STD-28 - المعروف باسم PHS (نظام الهاتف اليدوي الشخصي).

ويستخدم هذان النظامان عادة لإنشاء توصيلة راديوية بين معدات المستخدم المحمولة (سماعات الرأس المنفصلة والهواتف اليدوية، إلى آخره) وبين محطة قاعدة متصلة مع PSTN من خلال كبل. ولذلك، فإنها عادة ما توفر نفاذاً راديوياً على مستوى محلي نسبي رغم امتلاكها لمقدرة متنقلة. ويمكن أن تكون PCS وصلة من نقطة إلى نقطة أو من نقطة إلى نقاط متعددة في كل من التشكيلات الأرضية والساتلية.

وكما هو الحال مع الأنظمة الراديوية الخلوية الأخرى، فإن غالبة PCS تستخدم في الوقت الحاضر تقنيات التشكيل الرقمية. ويوفر الجدول 3.5-2 معلومات عن بعض المعلمات التي تؤثر على السطح البيني الهوائي.

الجدول 3.5-2

خصائص السطح البيني الهوائي لنظم الاتصالات الشخصية

المعيار	DECT	PHS
طريقة النفاذ	TDMA/FDMA	TDMA/FDMA
نطاق التردد (MHz) - قاعدة إلى متنقل - متنقل إلى القاعدة	1 990-1 880 1 990-1 880	1 907-1 895 1 907-1 895
نمط مزدوج مباعدة مزدوجة (MHz)	TDD 0	TDD 0
التشكيل	GFSK	DQPSK π/4
عدد الموجات الحاملة	10	77
المباعدة بين الموجات الحاملة (kHz)	1728	300
عدد القنوات لكل موجة حاملة	12	4
قدرة الإرسال المتنقلة (mW)	250	10
قدرة (mW) إرسال القاعدة	250	private 10 public 500
سرعة البيانات (Kbits/s)	1 152	384
مدة الرزمة (بالدقائق)	10	5
هيكل الرزمة	υs slot 417 slots/frame 24	ms 0,625 slots/frame 8

وأشيع خدمة متصلة بالمصطلح PCS هي خدمة الصوت والبيانات "الخلوية – الصغرية" من نقطة إلى نقاط متعددة، التي يقصد بها أن تزود المستخدم الراجل في المترل أو المكتب أو في الشارع بصفيفة كاملة من خدمات الصوت والبيانات. والخلايا الصغيرة ضرورية لتوفير تغطية ومقدرة محسنتين. ويشار إلى التكنولوجيات الجديدة التي يجري استحداثها على أنها خدمة توزيع محلية متعددة النقاط (LMDS) وخدمة توزيع متعددة الوسائط (MMDS). ويعمل هذان النظامان بتشكيل خلوي ويوفران خدمات فيديو وبيانات تفاعلية على حد سواء.

وأضافت DECT تعزيزات لها شأنها إلى تكنولوجيا CT2 السابقة وتطورت بحيث تؤدي الخدمات للراجلين في الشارع، كما تفعل CT2، بمعمارية تستطيع أن تتناول أيضاً الشبكات اللاسلكية الموجودة داخل المباني مثل شبكات PABX وLAN. وتنهض DECT أيضاً بخدمة المكالمات في اتجاهين والتجوال الأوتوماتي ومقدرات تمرير المكالمات بين الهواتف الخلوية.

ويعتبر PHS نظاما للمهاتفة اللاسلكية الرقمية يقوم على مفهوم مشابه لمفهوم DECT. ويجوز استخدام محطة شخصية مصحوبة إما بمحطة قاعدة للمهاتفة اللاسلكية الخاصة أو بمحطة خلوية عمومية.

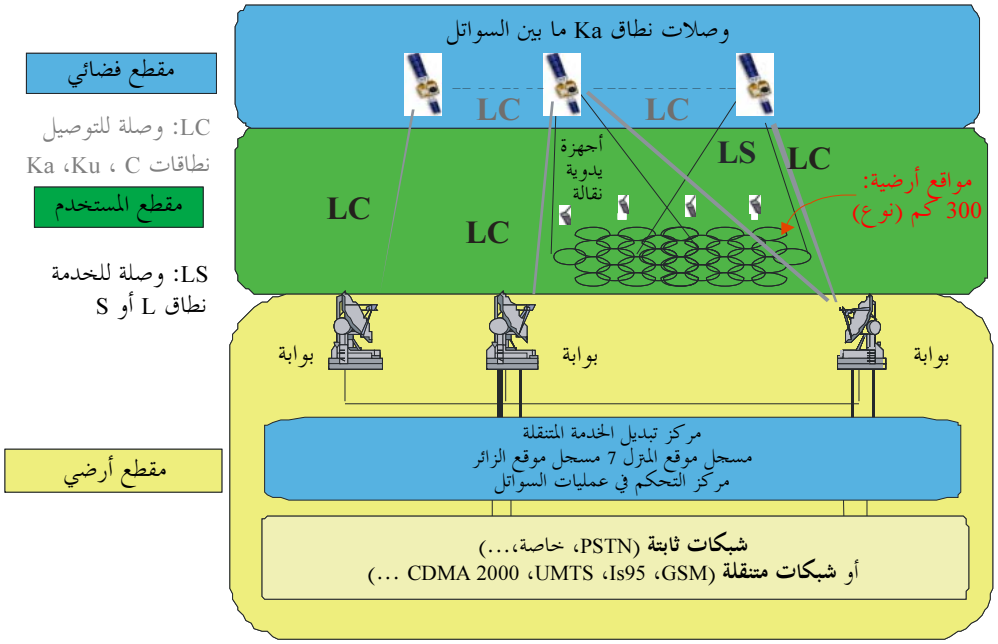
وتقوم جميع محطات DECT وPHS بمراقبة القنوات باستمرار لاكتشاف الأخطاء. وإذا ما تجاوز عدد الفجوات الزمنية المصحوبة بأخطاء في فترة محددة عتبة ما، فيتم القيام بتفادي التداخل. ويشمل ذلك التبديل إلى فجوة أخرى على نفس الموجة الحاملة، والتبديل إلى موجة حاملة أخرى، والتبديل إلى محطة خلوية أخرى، والوقف المؤقت للإرسال، وتحرير الخط الراديوي.

4.3.5 أنظمة الخدمة الساتلية المتنقلة

تستخدم أنظمة الخدمة الساتلية المتنقلة (MSS) سواتل على مدارات مستقرة بالنسبة للأرض (GSO) أو غير مستقرة (non-GSO) لها عدد من الخواص المدارية المختلفة. وتتصل الوحدات المتنقلة مباشرة مع الساتل الذي يمر في الوقت الراهن فوق المنطقة، ويرحل الساتل الاتصال إلى ساتل آخر أو محطة أرضية أخرى من أجل مواصلة التسيير. وتقوم محطات التحكم بتتبع السواتل في جميع مداراتها وتعمل كخطوط مغذية للحركة إلى PSTN. ويبين الشكل 2-3.5 المكونات الرئيسية لأنظمة MSS.

الشكل 2-3.5

المكونات الرئيسية لأنظمة MSS



Spectrum-5.3-02

5.3.5 النفاذ اللاسلكي العريض النطاق

أنظمة النفاذ اللاسلكي العريض النطاق (BWA) مصممة لتوفير نفاذ مرتفع السرعة إلى خدمات البيانات مثل الإنترنت، واستخدام التكنولوجيا الراديوية، وفي المواقع التي لا تتاح فيها خطوط الاتصالات العريضة النطاق أو لا تكون مجدية من الناحية الاقتصادية. وفيما عدا أنظمة الهواتف الخلوية الموصوفة في الفقرة 2.3.5، فإن BWA ينتحل صفة جهاز المستخدم شبه المستقر ومن ثم قد لا يطبق إجراءات التحول على الدوام.

بيد أنه حيث إن تشكيل BWA، ومبادئ النفاذ المتعدد وهيكلة الخلية مشابهة للأنظمة الراديوية الخلوية الأخرى، وتتطلب، إلى حدٍ ما، نفس معدات وإجراءات المراقبة، فقد أدرجت في هذا القسم.

وأشيع تكنولوجيات BWA استخداما في الأنظمة الخلوية هي:

- مشتقات UMTS/CDMA2000.
- WiMAX (IEEE 802.16).
- LTE.

وحيث إن الهدف الرئيسي لأنظمة BWA إرسال معدل بيانات مرتفع إلى العميل ومنه، فإنه يتم استمثال الأنظمة الحديثة إلى حد كبير للسماح بأداء مستمثل حتى في ظل ظروف انتشار متغيرة. وعلاوة على ذلك، من الضروري، وبخاصة في الوصلة الهابطة، تقاسم عرض النطاق المتاح فيما بين الكثير من المستخدمين بطريقة كفوءة جداً.

ويشمل ذلك مواءمة مستمرة للتشكيل وعرض النطاق وزمن الإرسال لكل مستخدم. ومن شأن طرائق النفاذ المحذوقة، من قبيل OFDMA المستخدمة في WiMAX وLTE، أن تسمح لمحطة القاعدة بأن تنظم الحركة فيما يسمى فدرات الموارد المكونة من عدد صغير من موجات OFDM الحاملة الفرعية وزمن إرسال قصير.

ومن ثم يمكن بناء كل انفجار في الوصلة الهابطة على شاكلة أحجية بما يتناسب على أفضل وجه مع فدرات الموارد بعرض نطاق متفاوت وبأزمنة إرسال متفاوتة لكل مستخدم على حدة.

وينتج عن ذلك إشارات RF متفجرة مرتفعة الدينامية تتغير على الدوام في مستواها وعرض نطاقها وشكلها الطيفي، وهو ما يجعل القياسات الخاصة بأغراض المراقبة عملية مستعصية تماماً.

ويقدم الجدول 3-2.5 معلومات عن بعض المعلمات التي تؤثر في السطح البيني الهوائي.

ومع تفاوت عدد نطاقات التردد المستخدمة من أجل هذه الأنظمة على نطاق العالم، فلم يدرج في الجدول أي إطلالة كاملة عن الترددات.

الجدول 3-3.5

خصائص التداخل الهوائي لنظامي WIMAX وLTE

التكنولوجيا	WiMAX	LTE
طريقة النفاذ	OFDMA	OFDMA/SC-FDMA
نطاقات التردد (MHz)	شتى، مثلاً 2 400-2 300 2 690-2 500 2 575-2 545 2 625-2 595 3 594-3 410 5 800-5 200	شتى، مثلاً 862-791 2 690-2 500
نوع تعدد الإرسال	FDD (TDD)	FDD (TDD)
التشكيل	OFDM	OFDM
عدد الموجات الحاملة	متغيرة	متغيرة
مباعدة القنوات (MHz)	1,25 ... 20	5، 10، 20
قدرة الإرسال المتنقل	250	250
مدة الرتل (دقائق)	10	10

الجدول 4-3.5

خصائص السطح البيني الهوائي لأنظمة UMTS

المعيار	UMTS									
	Band I	**Band II**	**Band III**	**Band IV**	**Band V**	**Band VI**	**Band VII**	**Band VIII**	**Band IX**	**Band X**
طريقة النفاذ	CDMA/FDMA									
نطاق التردد (MHz) –من القاعدة إلى المتنقل – من المتنقل إلى القاعدة	2 170-2 110 1 980-1 920	1 990-1 930 1 910-1 850	1 880-1 805 1 785-1 710	2 175-2 110 1 775-1 710	894-869 849-824	885-875 840-830	2 690-2 620 2 570-2 500	960-925 915-880	1 879,9-1 844,9 1 784,9-1 749,9	2 170-2 110 1 770-1 710
نوع الإرسال المزدوج مباعدة الإرسال المزدوج (MHz)	FDD 190	FDD 80	FDD 95	FDD 400	FDD 45	FDD 45	FDD 120	FDD 45	FDD 95	FDD 400
التشكيل	QPSK (HSPA: QPSK/16-QAM)									
عدد القنوات	12	12	15	12	5	2	14	7	7	12
عرض نطاق القنوات (MHz)	5									

6.3.5 اعتبارات القياس

إن التخطيط للأنظمة الراديوية الخلوية وتركيبها وتشغيلها مهمة معقدة تنطوي على أدوات تخطيط محذوقة بمساعدة من الحاسوب وأنظمة قياس للكثير من المعلمات المختلفة. ومعظم المهام المصاحبة، ومن بينها القياس، من مسؤولية مشغلي الشبكة. وعموماً، لا يتعين على خدمات المراقبة إلا أن تقيّم التغطية وتتحرى التداخلات الخارجية. وقد تكون الأنظمة المتقدمة القادرة على قياس وتحليل جميع المعلمات الممكنة التي لها أهميتها من أجل استخدام الشبكة مطلوبة فقط لخدمات المراقبة في حالات نادرة جداً ومن ثم فإنها ليست معروضة بالتفصيل في هذا القسم. وينطبق الأمر نفسه على طرائق المراقبة التي لا يمكن تطبيقها إلا بالتعاون مع مشغل الشبكة.

1.6.3.5 قياس معلمات RF

بصفة عامة، قياس معلمات RF الخاصة بمحطات النظام الخلوي مماثلة للقياسات الخاصة بالخدمات الأخرى وتمت تغطيتها في الفصل 4.

بيد أنه يجري في هذا القسم الفرعي وصف بعض الاعتبارات والصعوبات الخاصة التي تنشأ عند قياس محطات النظام الخلوي.

مستوى وقوة مجال RF

حيث إن معظم الأنظمة الخلوية الرقمية ترسل في شكل انفجارات، فإن مستوى RF الوثيق الصلة وقوة مجالها موضع الاهتمام هو متوسط مستوى الانفجار (AV-burst) وهو عبارة عن مستوى RMS أثناء الانفجار. ولا يمكن لمحللي الاستعمال العام الكنسي أن يقيسوا هذا المستوى إلا في زمن الميدان (أنظر الفقرة 7.3.4). بيد أن نطاق عرض القياسات الضروري يتطلب عدم التداخل من ترددات مجاورة. ويكون من الصعب في العادة تحقيق ذلك في النطاقات الخلوية حيث تكون جميع القنوات مشغولة في الكثير من الحالات. ولذلك فإن الاختيار الحريص لموقع القياس واستخدام هوائيات اتجاهية يعتبر ضرورياً. وقد يكون من المتيسر في الأنظمة الخلوية التي تستخدم كلاً من FDMA وTDMA مثل GSM، الاستفادة من كون الانفجارات في الترددات المجاورة لا تحدث (دائماً) في نفس الفجوة الزمنية مثلما تحدث في القناة المطلوبة. ومن شأن ذلك أن ييسر أداء قياسات قدرة الميدان في الوقت الصحيح حتى في حالة القنوات المتراكبة والترددات المجاورة المشغولة جزئياً.

وفي أنظمة CDMA، يعاد اكتساب الطاقة المفيدة المستقبلة بواسطة المستقبل المطلوب بعد مضاعفة التمديد. ومن شأن ذلك أن يعزز *S/N* بشكل جم بواسطة ما يسمى كسب التمديد. بيد أنه لا يمكن لمعدات مراقبة المعايير أن تستفيد من هذا الكسب، ومن ثم فإنها لا ترى سوى نطاق RF موسع بمستوى منخفض جداً بحيث يتم كشفه بشق الأنفس في كثير من الأحيان. وينطبق ذلك بخاصة في وصلات CDMA الصاعدة. وجنباً إلى جنب مع التحكم الضروري في القدرة، فإن الإشارة المطلوبة من المتنقلات، حتى في موقع محطة القاعدة، عادةً ما تكون قريبة من أرضية الضوضاء بحيث تكون قياسات السوية مستحيلة. وعندما تكون أقصى سوية ممكنة من محطة CDMA مطلوباً، فيتعين قياسها في ميدان الشفرة باستخدام مستقبل قياس قادر على مضاعفة تمديد الإشارة. وتفصل الإشارة الناتجة بواسطة شفرة قناتها ويمكن قياس كل منها على حدة. وقناة واحدة على الأقل من القنوات المنطقية التي ترسل دائماً بأعلى مستوى قدر ثابت تعتبر قناة تنظيمية (مثلاً، CPICH) تعتمد على حمل حركة المحطة. وفي أنظمة UMTS، يكون أقصى مستوى إجمالي ممكن للمحطة قيمة ثابتة أعلى من مستوى CPICH. وعلى الرغم من أن المقبول بصفة عامة أن هذه القيمة تبلغ 10 dB، فإن بعض مشغلي الشبكات يستخدمون قيماً مختلفة لمحطات قاعدة مختلفة. ويمكن أن تكون هذه القيم أكثر من 10 dB، ولذلك فإذا ما طبقت 10 dB، فقد تفضي إلى بخس تقدير للقدرة القصوى الممكنة للمحطة.

وفي الأنظمة التي تستخدم OFDMA، فإن مستوى الانفجار AV لمحطة القاعدة يكون من الشاق قياسه لأنه قد يتغير أثناء الانفجار. وعادة ما تكون خدمة المراقبة مهتمة بتحديد المستوى الأقصى الممكن من البث، ومثلاً، عند مقارنة النتائج مع القدرة القصوى المسموح بها. وفي هذه الحالات، يتعين قياس النصف الأول من كل انفجار حيث ترسَل معلومات المستهل وإشارة التزامن بأعلى مستوى قدرة دائماً بغض النظر عن حمل الحركة في محطة القاعدة.

التشكيل

قياس معلمات التشكيل مثل نسبة خطأ التشكيل (MER) في الأنظمة الخلوية مشابه في الأساس لذلك المتعلق بالأنظمة الخلوية الأخرى، وجرى وصفه في الفقرة 6.4. بيد أن الأنظمة الخلوية التي تستخدم تقنيات CDMA أو LTE تكون مصممة في كثير من الأحيان بمجالات خدمة متراكبة لمحطات القاعدة. وحيث إنها تقوم كلها بإرسال تردد واحد، فإن من الصعب في كثير من الأحيان العثور على موقع قياس وبنية قادرة على فصل البث من المحطة قيد الاختبار عن البث من المحطات الأخرى. ومن المستحيل العثور على موقع قياس رغماً عن استخدام هوائيات استقبال اتجاهية، وقد يكون إجراء القياس على ناتج (اختبار) المرسل هو الطريقة العملية الوحيدة.

2.6.3.5 قياسات نوعية الخدمة

من الممكن أن يسفر التداخل داخل الشبكات أو خارجها، وبخاصة في الأنظمة الراديوية الخلوية بشبكات محطات قواعدها الكثيفة، عن تردي لمعلمات معينة ملحقة بما يسمى نوعية الخدمة (QoS). ولا يمكن قياس هذه المعلمات إلا بأجهزة مراقبة متخصصة مصممة خصيصاً لتناسب نظام خلوي وثيق الصلة.

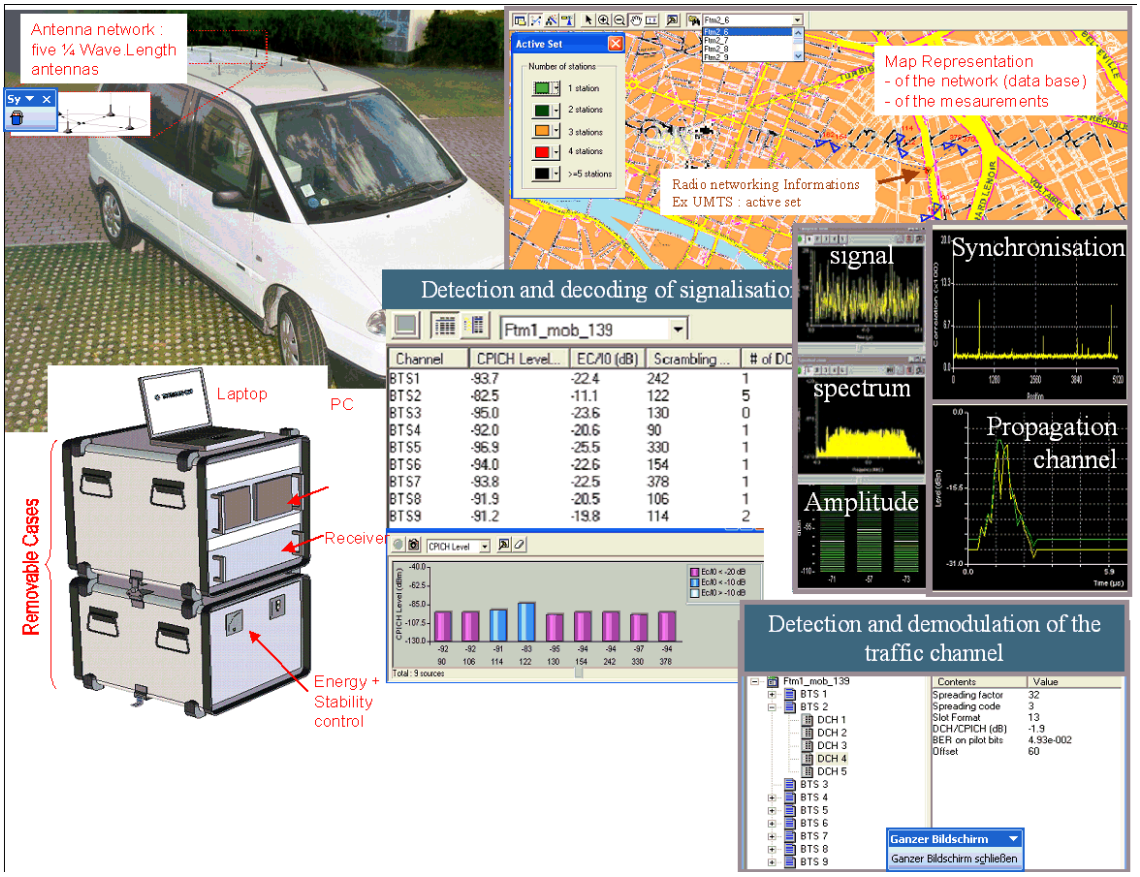
وقائمة المعلمات التالية التي تؤثر على صلاحية شبكة خلوية في موقع معين للاستعمال فعلياً ليست حصرية:

- نسبة الإشارة إلى الضوضاء (*S/N*) ونسبة الإشارة إلى الضوضاء + التداخل (SINR).
- معدل أخطاء البتات/معدل أخطاء الرزم/معدل أخطاء الرمز.
- التأخير الزمني لإشارة منعكسة بسبب ظروف المسيرات المتعددة/الاستجابة النبضية للقناة.
- ظروف التحول.

وحيث إن قيم معلمات QoS تعتمد على الموقع المعين، فإن أنظمة المراقبة هذه تكون مناسبة للتركيب بشكل أفضل في مركبات القياس. ويبين الشكل 3.5-3 نموذجاً لهذا النظام جنباً إلى جنب مع بعض عروض تقييم عينات من القياسات المتيسرة.

الشكل 3-3.5

نموذج لنظام قياس لشبكات راديوية خلوية



Spectrum-5.3-03

Antenna network: five $^{1}/_{4}$ Wave Length antennas	شبكة الهوائيات: خمسة هوائيات بطول ربع موجة
Map Representation:	تفصيل بيانات الخريطة:
– of the network (data base)	– عن الشبكة (قاعدة بيانات)
– of the mesaurement	– عن القياسات
Signal	الإشارة
Synchronisation	التزامن
Spectrum	الطيف
Amplitude	الاتساع
Propagation channel	قناة الانتشار
Detection and demodulation of the traffic channel	كشف التأشير وفك شفرته
PC	حاسوب حجري
Laptop	حاسوب نضدي
Receiver	مستقبل
Energy + Sability control	التحكم في ثبات الطاقة
Removable Cases	علب قابلة للنزع

ونظم القياس المتخصصة هذه يمكن استخدامها في كشف المشاكل في حالة التداخل، وبخاصة الناجم منها عن سوء ظروف الانتشار من مرسلات أخرى داخل نفس الشبكة (تداخل داخل الشبكة) بواسطة مقارنة معلمات QoS المقيسة مع الحد الأدنى لاشتراطات النظام. وتستخدم تلك المعدات طرائق لتجهيز الإشارة يمكن تأديتها بواسطة استخدام مستقبلات وأجهزة اعتيان متزامنة متعددة قنوات RF، ملحقة بصفيفات من الهوائيات ومرشاحات فضائية تكييفية تعاونية. وتعمل تلك التقنيات على تحسين دقة القياسات الراديوية ومعوليتها، وأداء عمليات إزالة التشكيل وفك الشفرة باستخدام تقنيات تعاونية تستند إلى استرداد الشفرات المعروفة.

وترد في التوصيتين ITU-R SM.1598 وITU-R SM.1600 معلومات إضافية عن نهج الترشيح التكييفي والمعالجة التعاونية.

3.6.3.5 آليات التداخل

نصف هنا تحليل تداخل العديد من حالات التداخل في الشبكات الراديوية الخلوية الرقمية.

التداخل في نفس القناة: يعرف التداخل المولد بواسطة مرسلات متعددة تعمل على نفس التردد في الخلايا القريبة بأنه تداخل في نفس القناة. ويمكن أن يحدث ذلك إذا كان مكرر GSM قد عمل بدون تصريح من مشغل الشبكة.

تداخل القناة المجاورة: تداخل القناة المجاورة يتسبب فيه تناثر طاقة RF من القنوات التالية أو القريبة أو من قنوات متعددة.

وبصرف النظر عن تقنيات القياس المعيارية لحل التداخل الموصوفة في الفصل 4، فإن الأقسام الفرعية التالية تقدم بعض نماذج حالات التداخلات الشائعة وتقنيات القياس الممكنة المخصوصة بالشبكات الخلوية.

PCS: محطات كثيرة جداً في المنطقة

تؤدي المحدوديات في انتقائية المستقبل وتزامن الوقت المفقود بين محطات شبكات مختلفة تعمل على نفس التردد إلى صعوبة استخدام جميع القنوات المتاحة من الناحية النظرية في موقع معين بدون تداخل. ومثال ذلك: في أوروبا، تخصص 10 قنوات تردد لخدمة DECT، ويُستهدف أن تُستخدم 12 فجوة زمن مزاوجة لكل تردد.

ومن ثم، فمن الناحية النظرية، ينبغي أن يكون باستطاعة 120 محطة DECT أن تتعايش في موقع معين. بيد أنه من الناحية العملية تحدث تداخلات جسيمة بالفعل إذا ما تم تشغيل أكثر من زهاء 10 محطات في نفس الوقت. وكثيراً ما يثير هذا الأمر دهشة المستخدم، بل والتقنيين، رغم أن الحالة تحدث مراراً في المناطق المكتبية الكثيفة حيث تستخدم شركات كبيرة هواتف DECT.

وتتمثل طريقة جيدة لتحديد هذه الحالة في استخدام محلل طيف معياري في عرض تردد RF وحيد في أسلوب امتداد صفري يتزند إلى أقوى إشارة. ومن شأن الانفجارات من المحطات الأخرى على نفس التردد أن تزحزح الوضع ببطء في الوقت المناسب إلى أن تتوافق مع المحطة المزندة. ويبين الشكل 3.5-4 نموذجاً يعرض الحالة: ويعرض الجزء الأعلى من النافذة إطلالة لنطاق DECT في ميدان التردد.

وجميع القنوات مشغولة. والجزء الأدنى عبارة عن تمثيل لميدان الزمن في تردد الواسم فوق (MHz 1 895,6) يبين أحد أرتال DECT (10 دقائق). ويوجد على هذه القناة محادثة فعالة واحدة (1) والعديد من إشارات الراحة من محطات قاعدة غير متزامنة أخرى. والمحطتان الموسومتان بالرقم (2)، مثلاً، بعيدتان عن بعضهما بأقل من فجوة زمن واحدة وسرعان ما ستتداخلان مع بعضهما البعض.

وإذا ما كان انشغال النطاق العملي مرتفعاً بالفعل، فإن التوصيلة المتصادمة لن تجد تردداً بديلاً و/أو فجوة زمن بديلة وسيتم إسقاطها. والحل الممكن الوحيد هو تقليل عدد محطات PCS.

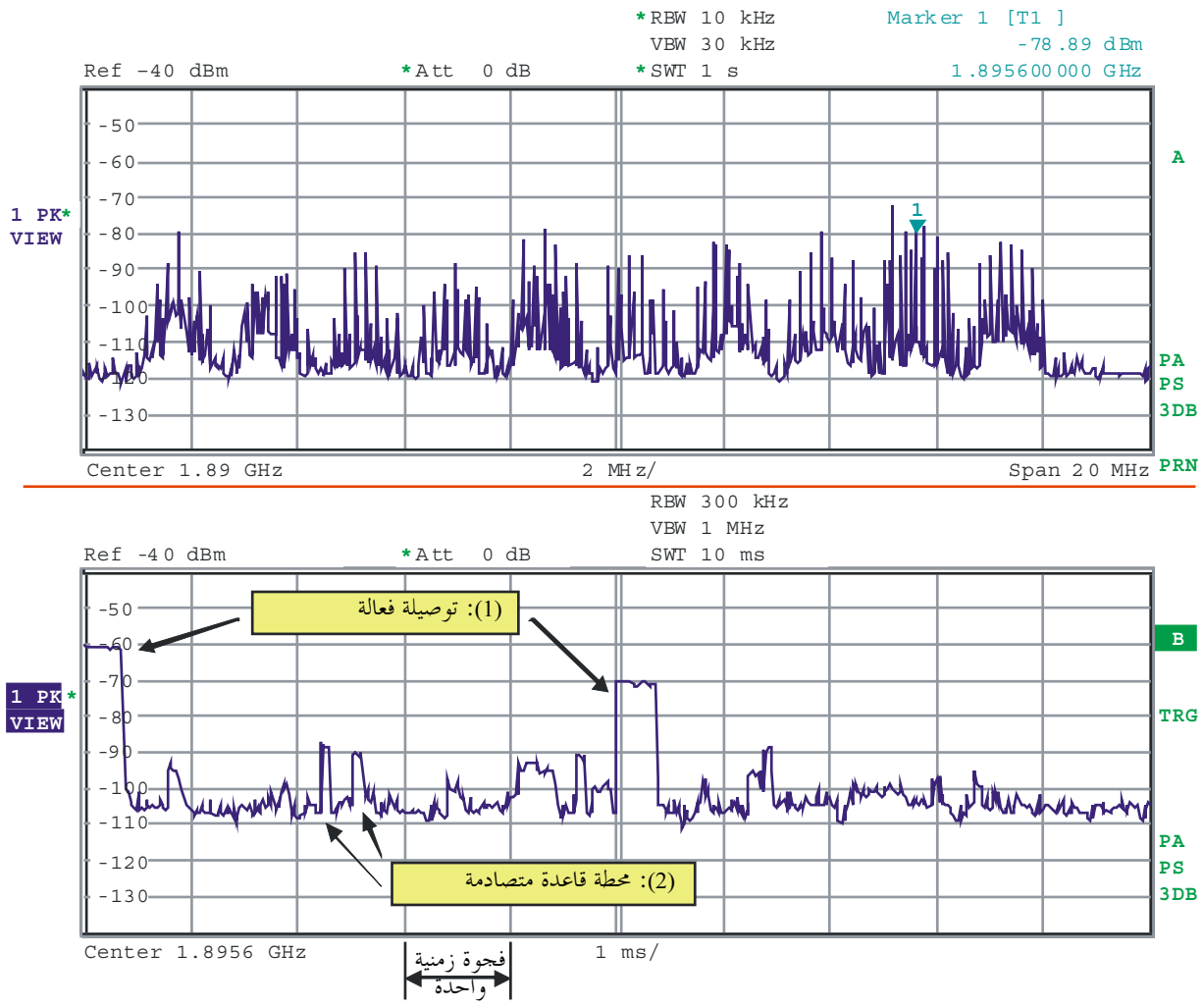
CDMA: التداخل من مصادر خارجية

يتطلب مبدأ CDMA أن يتم استقبال جميع المحطات التي ترسل على نفس التردد بسوية متساوية في محطة القاعدة. ويتم إنجاز ذلك بواسطة تحكم سريع في قدرة إرسال المحطات المتنقلة. وإذا ما استقبلت محطة قاعدة إشارة متداخلة من نبيطة خارجية، فإن ذلك سيرفع قدرة المتنقلات الفعالة إلى أن تتجاوز سوياتها سوية التداخل في ميدان الشفرة.

وعادة ما تكون الإشارة المتداخلة حينئذ أعلى من الإشارة المطلوبة في نطاق التردد.

الشكل 4-3.5

توصيلات DECT متعددة غير متزامنة على نفس التردد



Spectrum-5.3-04

ويتمثل النهج الأول في محاولة التقاط الإشارة المتداخلة خارج الهواء في مركبة مراقبة تستخدم معدات قياس معيارية مثل محلل الطيف. فإذا لم يكن ذلك بالمستطاع، لأنه لم يتيسر، مثلاً، وضع هوائي المراقبة بشكل قريب بما يكفي مع مصدر إشارة التداخل الضعيفة، فإنه يمكن استخدام معدات قياس متخصصة تسمح بكشف وتحديد التداخلات الأقل من سوية الضوضاء وقد تيسر عزل الإشارة المتداخلة. وإذا ما فشل هذا النهج أو لم تكن تلك المعدات المتخصصة متاحة، يمكن توصيل محلل الطيف أو مستقبل المراقبة بهوائي القطاع المتداخل معه. وعادة ما يكون ذلك ممكناً باستخدام مخرجات القياس بالتوازي مع مستقبل الشبكة الخلوية. وبهذه الطريقة يمكن القيام بالقياسات بدون اعتراض الخدمة المنتظمة.

وعند توصيل معدات مراقبة معيارية مثل محللات الطيف بهوائي محطة CDMA المتداخل معها، فإن وجود تداخل خارجي سيظهر كسوية إشارة مرغوبة من المتنقلات تكون أعلى بكثير من أرضية الضوضاء. وإذا ما كان التداخل عريض النطاق، فقد يكون هذا هو التبيان الوحيد لوجوده. وفي هذه الحالة، يكون تحديد مصدر التداخل ممكناً فقط بواسطة محاولة العثور على موقع تكون فيه سوية الإشارة المتداخلة في هوائي قياس (اتجاهي) أعلى من إشارة المتنقلات الفعالة. بيد أن إشارة التداخل تكون في معظم الحالات من عرض نطاق أضيق بكثير من إشارة CDMA. وفي هذه الحالة، عندما تسبب الإشارة فعليا تداخلا في الخدمة، فإنها تبدو بوضوح أعلى من الإشارات الصادرة من المتنقلات الفعالة بسبب كسب النظام (أنظر الوصف الوارد في الفقرتين 1.6.3.5 و3.4.6.6). ولذلك يكون تحديد موقع مصدر التداخل باستخدام طرائق معيارية سهلا نسبياً.

لا توجد خدمات داخل منطقة التغطية تماماً

وكما هو الحال في جميع الشبكات الراديوية، يمكن أن يتسبب التظليل، وبخاصة الانعكاسات من العوائق المحيطة مثل المباني أو الجبال، في انقطاعات في الخدمة رغم كون المستخدم داخل منطقة التغطية المتوقعة تماماً. وكثيراً ما يتم الإبلاغ عن هذه الحالات على أنها تداخل إلا أنه عندما تقوم خدمة المراقبة بفحص الحالة في الموقع، قد تكون قدرة المجال المفيدة كافية ولا يمكن كشف أي تداخل خارجي. والسبب الأكثر احتمالاً للمشكلة هو استقبال مسيرات متعددة بشكل بالغ (في شبكات OFDM، انعكاس خارج فترة الحراسة الفاصلة أو التزامن المفقود بين مرسلين داخل SFN). ويمكن التحقق من مثل هذا الحال بواسطة قياس الاستجابة النبضية للقناة. بيد أن ذلك يتطلب معدات قياس متخصصة.

التداخل في نفس القناة بواسطة محطة مجهولة من نفس الخدمة

قد تحدث حالات يتم فيها التداخل مع الخدمة، حتى ولو كان المشغل يستخدم تردد ما بشكل حصري، وذلك بواسطة استخدام محطة غير مصرح لها من نفس التكنولوجيا. وقد تكون سوية الإشارة المتداخلة أدنى من سوية الإشارة المفيدة، وفي هذه الحالة لا تستطيع معدات القياس المعيارية، مثل محللات الطيف والمستقبلات، أن تفصل المتداخل أو تحدد هويته. وفي هذه الحالات، فإن المعدات المتخصصة تكون متاحة وتستطيع أن تحدد هوية الإشارة المتداخلة باستخدام تقينات التعالق وطرائق التحليل الإحصائي.

استخدام معدات متخصصة من أجل تحليل التداخل

رغم أن معظم حالات التداخل يمكن حلها بواسطة معدات مراقبة عادية، فإن أنظمة القياس المتخصصة مثل تلك المبينة في الشكل 3.5-3 يمكن استخدامها في بعض الأحيان لكشف المشاكل وتحديد هوية المصدر بأسرع أو أسهل من غيرها.

ولمثل هذه المعدات مقدرة على قياس الإشارات في إطار ظروف SNR أو SINR متردية بشكل بالغ بالمقارنة مع أداء مطاريف الاستقبال العادية. ويسمح هذا الأداء المحسن برفض التداخل وقياس المعلمات الراديوية وفك شفرة قنوات التشوير المشتركة حتى في إطار ظروف تداخل شديدة.

4.6.3.5 قياسات التغطية

نظراً إلى أنه لا يوجد تعريف فريد لمصطلح التغطية، فإنه يتوقف على تفسير مزود الخدمة و/أو الهيئة التنظيمية الذي يعلن وفقاً لها أن موقع ما تمت تغطيته بواسطة خدمة راديوية معينة أم لا. وكثيراً ما تحسب أدوات التخطيط المحوسبة مناطق التغطية بالنسبة لحد أدنى من قدرة مجال معين حيث يتوقع أن تشتغل المعدات التجارية على الوجه الصحيح. وبالتالي، فعند تقييم منطقة التغطية، يتعين قياس قدرة المجال فقط (مثلاً، قدرة قناة تنظيمية). ويوصف ذلك بالتفصيل في التقرير ECC Report 103 باستخدام نموذج شبكات UMTS.

بيد أنه أحياناً ما يتم تغطية الموقع فقط بحكم التعريف عندما يستوفى الحد الأدنى من اشتراطات معينة بشأن استخدام الخدمة. وفي الشبكات الخلوية، تشيع حالات صلاحية الشبكات التالية للاستخدام، مدرجة بتسلسل صعودي لقدرة الإشارة ونوعيتها المطلوبين:

1 يوقف نفاذ الوحدة المتنقلة إلى الشبكة.

2 تفقد التوصيلة الفعالة إلى المتنقل رغم أن المتنقل يظل نافذاً إلى الشبكة.

3 الوحدة المتنقلة تستطيع الدخول إلى الشبكة.

4 الوحدة المتنقلة تستطيع إنشاء توصيلة جديدة.

5 يتم الوصول إلى معدل بيانات معين.

وتتطلب كل حالة من هذه الحالات قيماً معينة لكل من قدرة المجال من قاعدة معينة ولمعلمات QoS.

ومن الضروري، من أجل قياس تغطية نظام خلوي بالضبط وبشكل مستقل عن النوع المحدد لمعدات المستخدم، أن تكون أنظمة القياس المخصوصة قادرة على قياس نظام المعلمات الوثيق الصلة باستمرار طوال طريق التسيير. والأنظمة المشروحة في الفقرة 2.6.3.5 مناسبة لهذا الغرض غالباً.

ويستند نظام أبسط بكثير لقياس تغطية شبكة خلوية إلى طريقة إحصائية: فباستخدام وحدات متنقلة معيارية متاحة تجارياً للخدمة المقصودة، تتم زيارة عدد كبير من المواقع المختارة عشوائياً. ويتم القيام بتجربة في كل موقع سواء كانت الوحدة تستطيع الدخول إلى الشبكة أم لا، وإنشاء توصيلة والقيام إن أمكن عملياً بقياس معدل البيانات. وقد أثبتت الحسابات الإحصائية أنه عندما يتم قياس 400 موقع فإن منطقة التغطية الناتجة يمكن تحديدها بمستوى من الثقة يبلغ 95%. ومن فوائد هذا النهج أنه لا يحتاج إلى معدات مراقبة متخصصة ويمكن أن يؤديه أي شخص قادر على تشغيل وحدة متنقلة. بيد أن الطريقة تعتمد على الوحدة المتنقلة المعينة التي استخدمت في الاختبارات ومن ثم لا تكون موضوعية دائماً. فمثلاً، فإن حجم منطقة التغطية المحسوب وفقاً لهذه الطريقة في القياس يعتمد على حساسية الوحدات المتنقلة المستخدمة. ولذلك فإنه يمكن اعتبار هذه الطريقة كافية فقط إذا ما كانت النتائج لا تسوغ اتخاذ إجراء قانوني ضد مشغل الشبكة لعدم توفيره لتغطية مرضية.

7.3.5 تحديد الهوية

تم استحداث طرائق للتحديد الإيجابي لهوية الإشارات المرسلة لا تعتمد على الحاجة إلى تشفير انسياب البيانات المرسلة. وتحدد إحدى هذه الطرائق بشكل فريد هوية إرسال معين بواسطة قياس فرادى البصمات الإلكترونية للمرسل. فكل مرسل راديوي يبث خصائص إرسال فريدة للإشارات (نسخة إلكترونية من البصمة البشرية)، لا يمكن تكرارها. وتضاهي هذه الخصائص مع رقم تعريف هوية الوحدة المتنقلة والرقم الإلكتروني المتسلسل للهاتف الإلكتروني من أجل استحداث نمط مفيد لكل عميل قانوني. وتوفر هذه الاستطاعة الخاصة بالبصمة طريقة لتعريف هوية فرادى الهواتف النقالة بشكل إيجابي. بيد أن هذه الطريقة ليست متاحة بشكل شائع في خدمات مراقبة الطيف.

وتوفر التوصية ITU-R SM.1600 بعض المعلومات عن قياسات تحديد الهوية التقنية للإشارات الرقمية.

1.7.3.5 اكتشاف الاتجاه وتحديد موقع الباث

يجري وصف الطرائق العامة بشأن اكتشاف الاتجاه (DF) وتحديد موقع الباث في الفقرات 4.3 و6.3 و7.4.

ويخلق مفهوم إعادة استخدام التردد على النحو المطبق في الأنظمة الراديوية الخلوية وPCS تحديات صعبة لمعدات DF. ويجب أن تكون تلك المعدات قادرة على العمل في وجود تداخل داخل الشبكة ويجب أن توفر خطوط حمل غير مبهمة للمرسلات المتعددة التي تعمل كلها على نفس التردد.

ويتطلب اكتشاف الاتجاه في أنظمة TDMA مثل DECT وGSM أن تكون وحدة DF متزامنة وقتياً مع محطة القاعدة التي يتعين تحديد موقعها. وبالإضافة إلى ذلك، يجب ألا يتجاوز الحد الأدنى لزمن DF زمن الانفجار.

وكثيراً ما يكون اكتشاف الاتجاه في شبكات CDMA ممكناً مع أنظمة DF العريضة النطاق فقط المتوالفة مع معالجة متخصصة وبرامجيات عرض مصممة من أجل عمليات بث تمديد الطيف. ويتطلب اكتشاف الاتجاه على إرسالات DSSS استخدام عرض نطاق (≤ 10 MHz) متعالق لمقياس تداخل عريض في معدات DF نظراً إلى أن أطياف قدرة إشارة DSSS ستبدو كضوضاء بيضاء ولن تكون في معظم الحالات قريبة من أرضية ضوضاء النظام، أو حتى دونها. ويتمثل أحد الاستثناءات في موضع محطات القاعدة حين يكون واحد منها فقط مهيمناً في موقع هوائي DF. وفي هذه الحالة، يمكن استخدام معدات وإجراءات DF معيارية.

وتوفر التوصية ITU-R SM.1598 مزيداً من المعلومات التفصيلية عن اكتشاف الاتجاه بشأن إشارات TDMA وCDMA.

2.7.3.5 فك التشفير

في الأنظمة الخلوية الرقمية الحديثة، يتم تجفير معلومات المستخدم، علاوة على مضامين الكلام المرسل أو البيانات المرسلة، بواسطة مفتاح متفرد يتم التفاوض بشأنه فيما بين محطة القاعدة والوحدة المتنقلة في بداية التوصيلة. ولذا فمن المستحيل اعتراض وتشفير بيانات أو كلام المستخدم خارج الهواء. والطريقة الممكنة الوحيدة لاعتراض بيانات المستخدم وفك تشفيرها وضع محطة اعتراض فعالة بين المستخدم والشبكة الخلوية الفعلية. ومن وجهة نظر وحدة المستخدم المتنقلة، قد تبدو محطة الاعتراض هذه كمكرر أو حتى محطة قاعدة حقيقية. وتتمثل الصعوبة العملية في الوزع الناجح لهذه الطريقة في أنه يتعين على الدوام الإبقاء على محطة الاعتراض على مقربة وثيق جداً من معدات المستخدم كيما تتم مراقبتها لأن إشاراتها يجب أن توفر أقوى مستوى RF متاح للجهاز المتنقل اليدوي من أجل منع عمليات التحول. ويجدر بالملاحظة أن القانون الوطني قد لا يسمح بأن تستخدم خدمة المراقبة هذا النوع من المعدات.

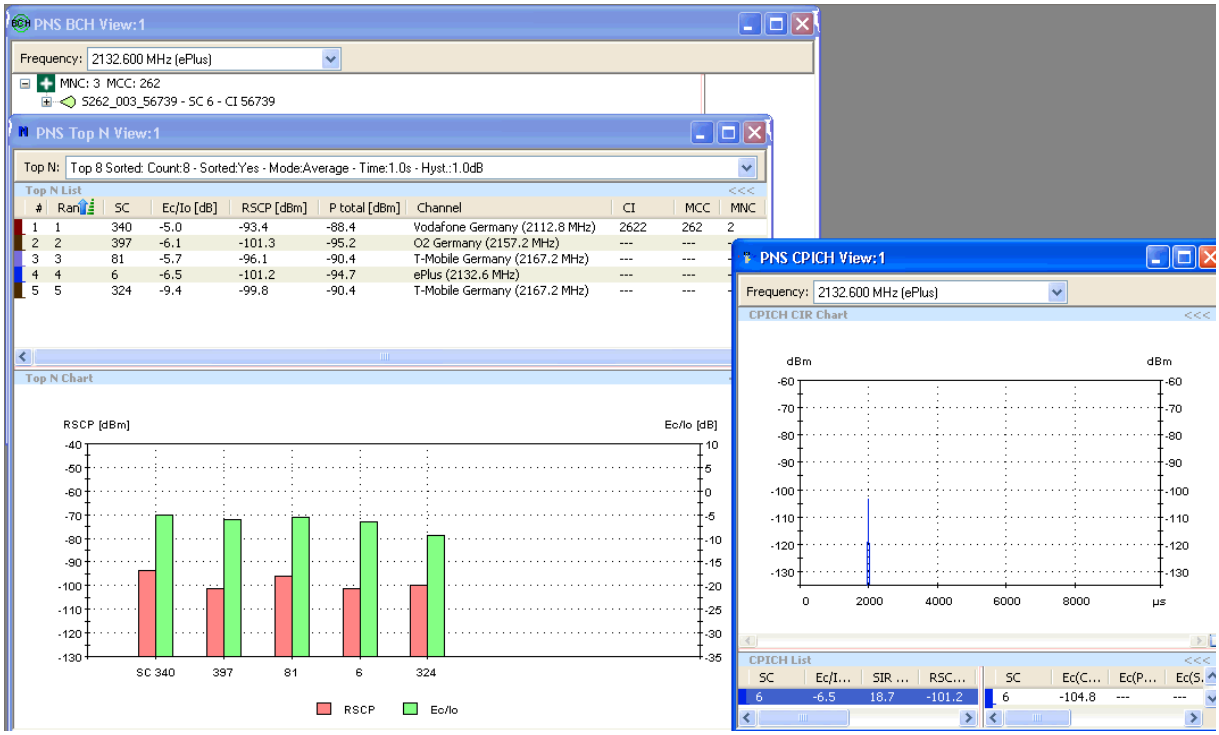
بيد أنه بالنسبة لأكثر مهام المراقبة شيوعاً، يكفي تحديد هوية الشبكة أو محطة (محطات) القاعدة المرسلة للإشارة التي يجري قياسها حينئذ. وفي الشبكات الراديوية الخلوية، يكون لكل محطة قاعدة رقم تحديد هوية مفرد لها يجري بثه باستمرار تقريباً عن طريق قنوات إذاعية أو تنظيمية بدون تجفير. وكيما يتيسر قراءة تلك المعلومات، يجب أن يكون نظام المراقبة قادراً على مزامنة وفك شفرة انسياب البيانات، غير أنه لا يلزم المشاركة بنشاط في الخدمة أو الدخول إلى الشبكة.

وفي شبكات TDMA/FDMA مثل GSM عادةً ما تقوم أنظمة المراقبة المناسبة بمسح الترددات المتعددة المتاحة، ليس من أجل عرض البيانات المأخوذة من محطة القاعدة العاملة فقط وإنما من الخلايا المجاورة أيضاً.

وفي أنظمة CDMA، تكون شفرة التمديد معروفة أو يمكن تحديدها بواسطة ما يسمى ماسحات PN. وإذا ما كان هناك أكثر من محطة قاعدة قابلة للاستقبال ولها نسب موجات حاملة كافية إلى التداخل (*C/I*)، فعادة ما يمكن لنظام المراقبة أن يجد جميع شفرات التخليط المستخدمة ويعرضها. ويبين الشكل 3.5-5 نموذج لشاشة تحديد هوية محطات القاعدة باستخدام نتائج ماسحات PN في شبكة UMTS. وهناك خمس محطات قاعدة UMTS مختلفة قابلة للاستلام في هذا النموذج. واختصرت شفرات التخليط المختلفة بواسطة "SC". وبالنسبة لكل محطة قاعدة، تعرض قدرة شفرة الإشارة المستقبلة (RSCP) الخاصة بقناة المراقبة و*C/I* المكافئة (E_c/I_0) في نافذة في الناحية اليسرى. وبالنسبة للقناة الموالفة (132,6 2 MHz)، تعرض الاستجابة النبضية للقناة في نافذة في الناحية اليمنى.

الشكل 5-3.5

تحديد هوية محطة القاعدة في شبكة UMTS



Spectrum-5.3-05

والقدرات الآنف ذكرها متاحة بشكل شائع في أنظمة المراقبة المكرسة لخدمة راديوية خلوية مخصوصة مثل ما هو موصوف في الفقرة 2.6.3.5.

والأنظمة الخلوية الرقمية الحديثة ونظام PCS لديها سمات أمن معززة تدني أو تلغي الحاجة إلى إرسال معلومات تحديد هوية المشترك حساسة على الهواء. وفي هذه الأنواع من الأنظمة الرقمية، تتاح معلومات المشترك فقط من مركز الخلية في بيئة تعاونية. وفي نظام GSM، توفر التنقلية الشخصية من خلال استخدام زجلة هوية مشترك (SIM) تحمل رقماً شخصياً ومخصصة للمستخدم المتنقل.

ومن الممكن أن يكون تحديد الهوية متيسراً بواسطة مراقبة وفك شفرة قنوات التحكم في الوصلة الهابطة للحصول على رقم SIM للوحدات المتنقلة الفعالة الراهنة.

بيبليوغرافيا

BOUCHER, N. Cellular Radio Handbook, Quantum Publishers.

BUES, D. and RIEDEL, P. [1993] Planning digital radio networks using Impulse Response Analyzer PCS and test transmitter system. *News from Rohde & Schwarz*, No. 141, p. 26-27.

CEPT/ECC Report 103 [Nice, 2007].

COX, D. [December, 1992] Wireless Network Access for Personal Communications. *IEEE Communication Magazine*, p. 96-115.

FEHER, K. [1995] *Wireless Digital Communications: Modulation and Spread Spectrum Applications*. Prentice Hall PTR.

FEHER, K. and HEWLETT PACKARD ENGINEERS [1997] Telecommunications Measurements, Analysis, and Instrumentation. Noble Publishing Co.

GARG, V. K. [1999] IS-95 CDMA and cdma2000: Cellular/PCs Systems Implementation, Pearson Higher Education.

GIBSON, J. D. [1996] The mobile communications handbook, CRC Press.

GOODMAN, D. [June, 1991] Trends in Cellular and Cordless Communications. *IEEE Communication Magazine*, p. 31-40.

LEE, W. C. Y. [1986] *Mobile Communications Design Fundamentals*. Howard W. Sams & Co., Indianapolis 1986, ISBN 0-672-22305.

LEE, W. C. Y. [1989] *Mobile Cellular Telecommunications Systems.* McGraw-Hill Book Co.

MOULEY, M. and PAUTET, M. [1992] The GSM System for Mobile Communications, Cell & Sys, Palaiseau, France.

MUROTA, K. and HIRADE, K. [July, 1981] GMSK Modulation for Digital Mobile Radio Telephony. *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-29, No. **7**, p. 1044-1050.

POTTER, A. R. [December, 1992] Implementation of PCNs Using DCS1800. *IEEE Communication Magazine*, Vol. 30, No. **12**, p. 32-36.

RAHNEMA, M. [April, 1993] Overview of the GSM System and Protocol Architecture. *IEEE Communication Magazine*, p. 92-100.

RAPPAPORT, T. S. [1996] Wireless Communications Principles & Practice. IEEE Press, Prentice Hall, New York, United States of America.

STÖCKL, P. [December, 1992] GSM/DCS 1800 Coverage Measurement Systems. Proc. of the Fifth Nordic Seminar on Digital Mobile Radio Communications, Helsinki.

STOKKE, K. N. [April, 1986] *EBU Rev. Techn.*, No. 216, p. 81-87.

WEBB, W. T. [December, 1992] Modulation Methods for PCNs. *Communication Magazine*, Vol. 30, No. **12**, p. 90-95.

WOLF, J. [1993] Test receivers ESN and ESVN: Top-rounders for signal and EMI measurements. *News from Rohde & Schwarz*, No. 141, p. 11-13.

ZOBB, B. [June, 1993] Personal Wireless. *IEEE Spectrum*, p. 20-25.

Project IST-2000-26222 ANTIUM (Advanced NeTwork radio Identification equipment for Universal Mobile communications): deliverable D3011b “UMTS multi-channel processing report”, deliverable D6012 “Advantage of the Antium tool in comparison to standard measurement systems”. http://www.ist-world.org/ProjectDetails.aspx?ProjectId=6c910dd880a24b468f976e98fa24c3df.

توصيات وكتيبات قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

ملحوظة: يحبذ في كل حالة استعمال آخر طبعة من التوصية.

التوصية ITU-R SM.1598 – طرائق تحديد الاتجاه والموقع راديوياً في إشارات النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن والنفاذ المتعدد بتقسيم الشفرة.

التوصية ITU-R SM.1600 – التعريف التقني للإشارات الرقمية.

4.5 وصلات الموجات الصغرية والوصلات الساتلية الصاعدة

1.4.5 مقدمة عامة

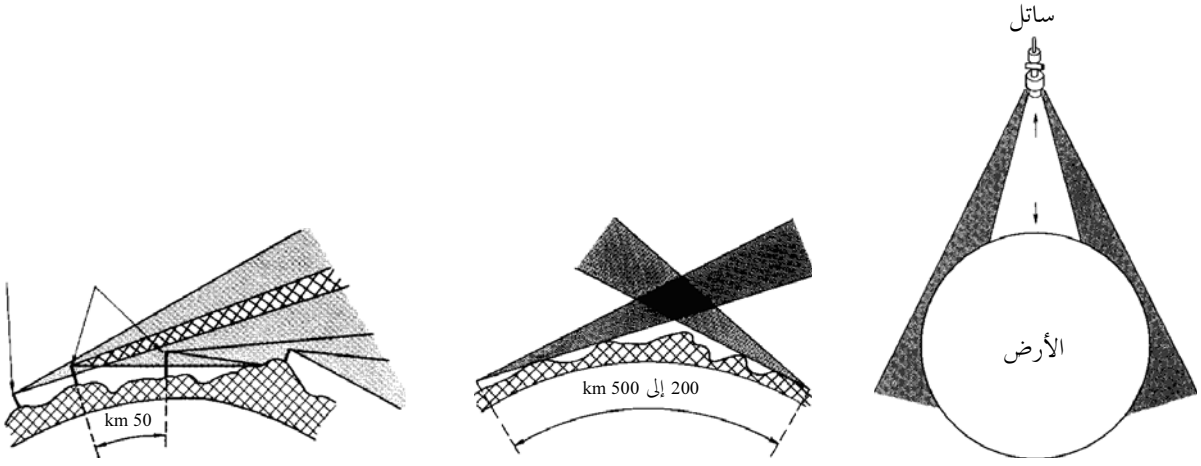
يفترض بصفة عامة، إلا بالنسبة لعدد محدود من أنظمة الترحيل الراديوية للأرض أو أنظمة الموجات الصغرية أقل من 1 GHz، أن تعمل صلات الموجات الصغرية فوق هذا التردد. ويعالج القسم الحالي هذه الأنظمة التي يعتبر كشفها والتحكم فيها صعبا جداً بالمقارنة مع الوصلات الراديوية التقليدية.

وقد تأسست تكنولوجيا أنظمة الراديو بالموجات الصغرية على الإمكانات التي توفرها ترددات مرتفعة جداً من 1 إلى 100 GHz، التي يقابلها أطوال موجات قصيرة جداً تسمى الموجات الصغرية (30 cm > λ > 3 mm). ويعمل هذان الجانبان على تيسير الحصول على كل من نطاقات – قاعدة عريضة وإشعاع توجيهي جداً، ومناسب على وجه الخصوص لإرسال كميات كبيرة من الإشارات أو البيانات من نقطة إلى نقطة. وتستخدم ثلاثة أنواع من الانتشار:

- LoS: لتجنب مشكلة استدارة الأرض، يتم تركيب مكررات ومستقبلات ومرسلات عند كل 50كم تقريباً. سلسلة من القفزات الراديوية تسمى الوصلة الراديوية (أنظر الشكل 4.5-1a). ويكون الانتشار ثابتاً إلى حدٍ ما.
- منتشر مداري: من أجل الوصول إلى أبعد قفزة راديوية والتي قد تكون وراء الأفق المداري (أنظر الشكل 4.5-1b). الاستقبال ضعيف ومتقلب.
- LoS مع ساتل اصطناعي: يوضع في مدار GSO على ارتفاع 000 36 كم (أنظر الشكل 4.5-1c) ويحتوي على مكرر فعال وهوائيات موجه نحو الأرض.

الشكل 4.5-1

أنواع الانتشار



أ) خط البصر ب) منتشر أمامي ج) اتصالات ساتلية

Spectrum-5.4-01

2.4.5 استخدام وصلات الموجات الصغرية

وصلات الموجات الصغرية في المعهود وصلات من نقطة إلى نقطة (تكون في كثير من الأحيان وصلات متعددة أو سلسلة من المكررات) بأنظمة من نقطة إلى نقط متعددة يجري اتباعها باستخدام أحدث تكنولوجيا. وتتغير المسافة بين المكررات تبعاً لآلية وترددات الانتشار المستخدمة من كيلومترات عديدة (LoS) إلى عشرات الألوف العديدة من الكيلومترات (ساتل). ويسمح استخدام التقنيات الرقمية لتوليد الإشارة، وعادة ما يكون لها نسب إشارة إلى ضوضاء منخفضة في النهاية البعيدة من الوصلة، بزيادة هذه المسافة.

كما تسمح اتجاهية الإشارة المرسلة بالتمديد. وتعمل بعض الأنظمة حالياً بترددات مرتفعة مثل نطاق الموجات المليمترية (EHF)، مثلاً 70 GHz حيث تستخدم في الوقت الراهن وصلات بترتيب 200 متر من أجل آلات التصوير الفيديوية.

وفيما يتعلق بالاتصالات التروبوسفيرية، فإنها تستخدم مقدرة التروبوسفير، وتعمل كوسيط انعكاسي من أجل توفير الاتصالات بين نقطتين على مسافة طويلة تبلغ مئات عديدة من الكيلومترات. ويوفر الجدول 4.5-1 معلومات عن المقارنة بين نوعين من الانتشار، LoS والانتشار التروبوسفيري.

الجدول 4.5-1

المقارنة بين موجات LoS الصغرية والانتشار التروبوسفيري

البند	LoS	الانتشار التروبوسفيري
قناة VF	حتى 700 2/800 1 لكل موجة حاملة	حتى 240 لكل موجة حاملة
معدل البتات	Mbits/s 90 أو أكثر لكل موجة حاملة	400 2 bit/s إلى 4 Mbit/s لكل موجة حاملة
طول المسير (كم)	80-1,6	800-80
قدرة الإرسال (W)	10-0,1	50 000-100
رقم ضوضاء المستقبل (dB)	12-4	أقل من 4
التنوع	لا توجد أو مزدوجة	مزدوجة أو رباعية
حجم فتحة الهوائي (م)	4-0,3	40-1,5

والنوع الرابع من الانتشار المستخدم في الاتصالات بالموجات الصغرية هو إرسال واستقبال وصلات استقبال من خلال ساتل.

والهيئة العامة لمحطة أرضية ليست مختلفة بشكل كبير عن هيئة مطراف ترحيل راديوي ولكن التوهين الكبير في الفضاء الحر (حوالي 200 dB) الذي تتعرض له الموجات الحاملة للموجة الراديوية في مسيرها بين المحطة والساتل (زهاء 000 36 كم) عادة ما يتطلب أن يكون للأنظمة الفرعية الرئيسية لمحطة أرضية مستوى أداء أعلى بكثير من تلك الخاصة بمطراف الترحيل الراديوي.

ومن الميزات الرئيسية لاستخدام وصلات الموجات الصغرية أنها يمكن أن تستخدم على عرض نطاق كبير من أجل معدلات البيانات المرتفعة (في المعهود أكثر من 2 Mbit/s إلى 200 Mbit/s بل وربما أكبر). وكثيراً ما يستخدم ذلك من أجل إرسال معلومات رقمية أو إشارات سمعية وبصرية، أو تلفزيون متعدد الإرسال سمعي أو مشفر، أو أي نوع آخر من الإرسال يحتاج إلى معدل بيانات مرتفع أو عرض نطاق كبير.

ويدخل تشكيل وصلة الموجة الصغرية RF في نوعين محددين بوضوح، التناظري والرقمي. والكثير من الوصلات الجديدة رقمية، غير أن الوصلات التناظرية ستبقى حتى المستقبل المنظور.

1.2.4.5 الوصلات التناظرية

الوصلات التناظرية تعتبر في المعهود ترددات مشكلة بإشارة نطاق قاعدة من قنوات حركة كثيرة متعددة الإرسال. وبالنسبة للاتصالات الراديوية المتعددة القنوات، تتبع هياكل نطاق القاعدة اصطلاح الزمرة المنشأة والزمرة الرئيسية والزمرة الثانوية على النحو الذي يعرفه قطاع التقييس في الاتحاد الدولي للاتصالات. ويجوز خلط أي إشارة راديوية منفصلة لتنتج إشارة موجة حاملة مكبوتة وحيدة ذات نطاق جانبي (J3E) على موجات حاملة بفواصل 4 kHz.

ومن الممكن أن تَشغَل زمرة من 24 قناة صوتية طيف نطاق القاعدة من 12 kHz إلى 60 kHz (أول 12 قناة) و60 kHz حتى 108 kHz (آخر 12 قناة). ويمكن للزمرات الكبيرة من القنوات الراديوية المتعددة الإرسال أن تشغل نطاقات قاعدة حتى عدد من عرض MHz. ويمكن لإشارات أخرى مثل التلفزيون أن يعدد إرسالها بالمثل.

2.2.4.5 القنوات الرقمية

تعرض القنوات الرقمية نطاقاً من الانشغال الطيفي فقط مشابه من الناحية المرئية للضوضاء البيضاء المرشحة. ولا يتجلي من أطياف RF مباشرة ما إن كان أي من قنوات نطاق القاعدة المنفصلة مشغول أم لا. ومن الضروري مناقشة بنية هذه الإشارات قبل النظر في أي تحليل.

وسيتمثل المصدر في المعهود في إشارة رقمية واحدة متعددة الإرسال على النحو الموصوف في توصية قطاع التقييس في الاتحاد الدولي للاتصالات G.703. وتصف هذه التوصية بروتوكول بيانات وترتيل الوصلات الرقمية للخط الأرضي. والمرسل ليس لديه تحكم في طبيعة الإشارة الرقمية، فإنها تتلقى أوامر بشكل حصري من تتابع رقمي شبه عشوائي متولد داخل النظام. والسبب في ذلك هو تجنب حالات إشارة الموجة الصغرية غير ذات البيانات (تشتت طيفي)، وفي بعض الحالات، توفير انتقال رقمي كاف للاستعادة الميقاتية. ولا توجد مواصفات عالمية لهذا التتابع العشوائي تختلف باختلاف نوع المعدات والجهة المصنعة.

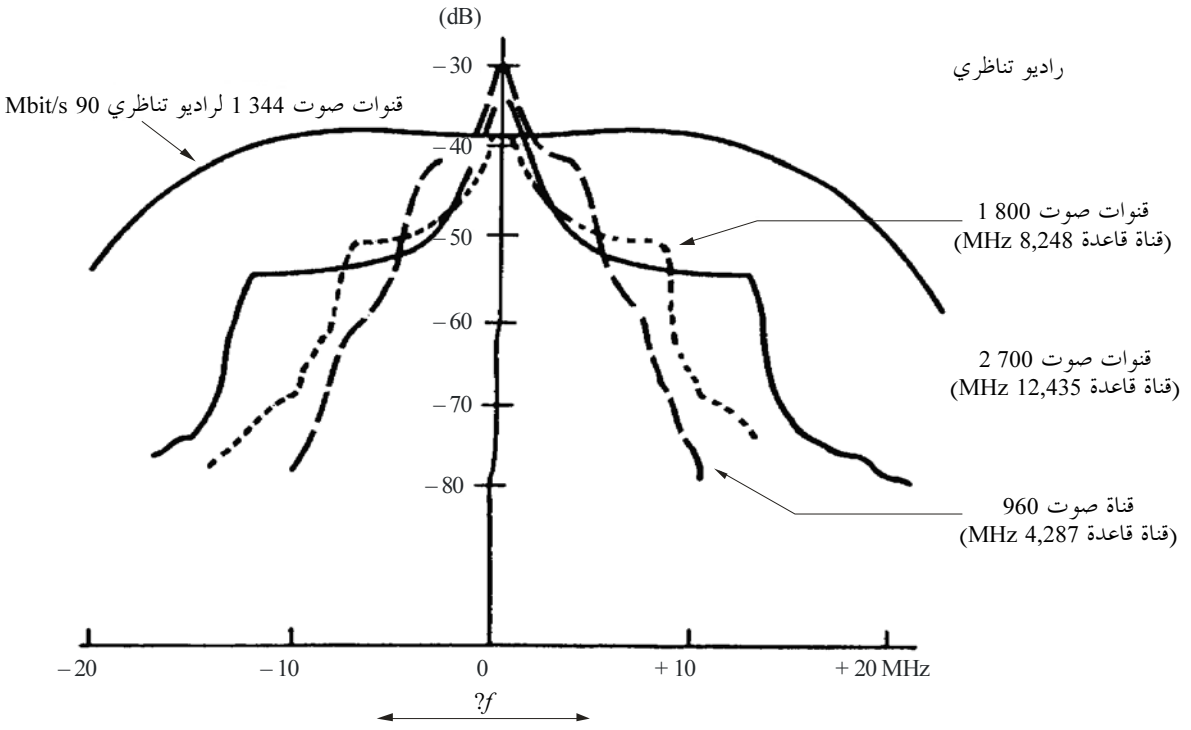
وبالمثل، فإن طرائق التشكيل الرقمي متباينة بالمثل، ولكنها قد تكون متسقة في أي نطاق واحد تبعا لسياسة إدارة الطيف الوطنية. وطريقة QPSK أو QPSK التفاضلية (DQPSK) شائعة غير أن شتى مخططات تشكيل الاتساع التربيعي (QAM) تستخدم لتمثيل شتى طرق تعزيز كفاءة الطيف وتصميم الأنظمة.

3.2.4.5 الطيف الناتج

يختلف طيف راديو الموجات الصغرية التناظري (AMR) عن طيف الموجات الصغرية الراديوية الرقمية (DMR) على نحو ما هو مبين في الشكل 5.4-2.

الشكل 5.4-2

مقارنة طيف AMR مع طيف DMR RF



Spectrum-5.4-02

لاحظ أن طيف DMR يكاد يملأ النطاق بأكمله، في حين أن طيف AMR تصل ذروته في تردد الموجة الحاملة وأن اتساعات النطاقات الجانبية تقل بالتدريج في الترددات البعيدة عن الموجة الحاملة. وهذه الخصائص هي التي تجعل AMR عرضة للتضرر من التداخل بواسطة DMR. وإذا ما كان نطاق تردد DMR يعمل على مقربة وثيقة جداً من نطاق AMR، فإن الاتساع الكبير عند حواف نطاق DMR يمكن أن يغمر نطاقات AMR الجانبية المنخفضة الاتساع، مما يتسبب في تداخل من الشدة بحيث تتعطل AMR. وهذه النقطة تؤكد الحاجة إلى ترشيح IF وRF كاف لإشارات الموجات الصغرية الراديوية التي تعمل نطاقاتها على مقربة وثيقة جداً من بعضها البعض على نفس المسير.

4.2.4.5 تعدد الإرسال في أنظمة الموجات الصغرية الراديوية

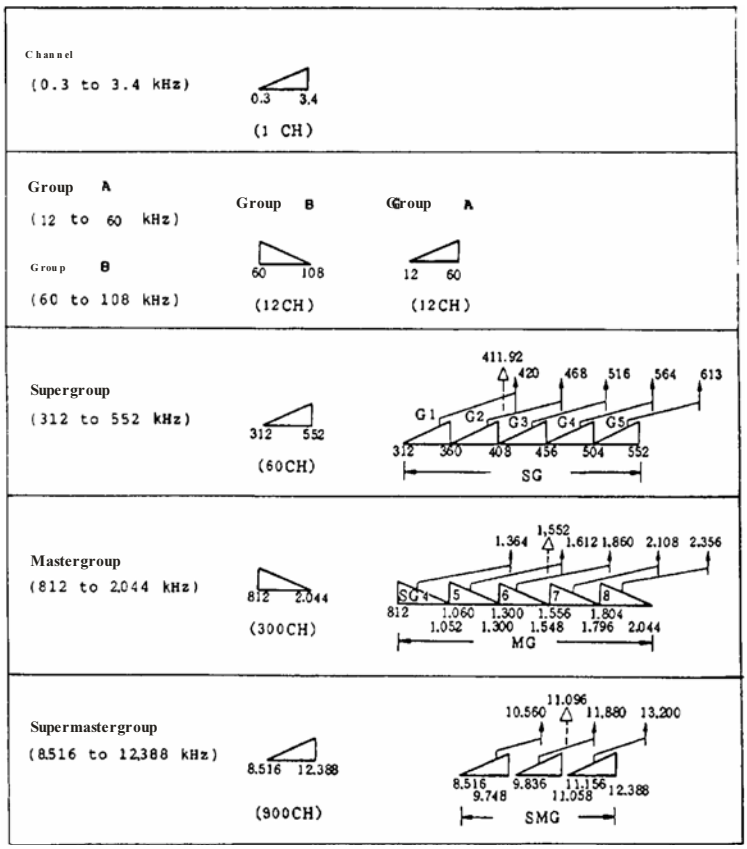
تعدد الإرسال هو إرسال عدد من الإشارات المنفصلة مع بعضها على نفس الموجة الحاملة وبالتزامن وبدون تداخلات.

1.4.2.4.5 الإرسال المتعدد بتقسيم الترددات

الإرسال المتعدد بتقسيم الزمن (FDM) (أنظر الشكل 3-4.5) يشغل نفسه بالجمع ما بين إشارات مستمرة (أو تناظرية). وربما يُظن بأنه ثمرة إرسال نطاق جانبي مستقل على مقياس مكبر. وكما سنشاهد، فإنه يتم الجمع بين 12 أو 16 قناة في زمرة واحدة، وبين 5 زمر في زمرة ثانوية، وهلم جرا، باستخدام الترددات والترتيبات المعيارية على صعيد العالم بأكمله. وعندئذ يتم إرسال كل زمرة أو زمرة ثانوية أو مجمع أكبر من ذلك كوحدة كلية على وصلة موجة صغرية واحدة أو كبل أو غير ذلك من الأنظمة العريضة النطاق.

الشكل 3-4.5

زمرات ترددات FDM



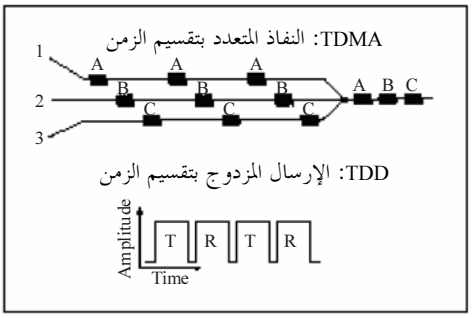
Spectrum-5.4-03

2.4.2.4.5 الإرسال المتعدد بتقسيم الزمن

الإرسال المتعدد بتقسيم الزمن (TDM) (أنظر الشكل 4.5-4) طريقة لتشذير، في ميدان الزمن، نبضات تنتمي إلى إرسالات مختلفة. وهذا يعني الاستفادة من حقيقة أن النبضات ضيقة بصفة عامة، وأن الفصل بين النبضات المتتالية يكون واسعاً إلى حدٍ ما. ومفاد ذلك، أن من الممكن، شريطة أن تكون نهايتا الوصلة متزامنتين، استخدام المساحات الواسعة من أجل نبضات تنتمي إلى مرسلات أخرى.

الشكل 4.5-4

تعدد الإرسال – الزمن



Spectrum-5.4-04

5.2.4.5 عملية المراقبة

وفي أعقاب الإنجازات التكنولوجية، سيزاد استخدام مرسلات الموجات الصغرية العريضة النطاق على مدار السنوات القليلة المقبلة (خدمات النفاذ اللاسلكي الثابت، مثلاً). ويتعين على الإدارات أن تأخذ التداخل بين هذه الأنظمة في الاعتبار من أجل إدارة جانب الموجات الصغرية من الطيف والتحكم فيه، ويشمل ذلك:

- التحري عن التدخلات الضارة التي تسببها أنظمة الموجات الصغرية الأخرى وإزالتها؛
- التحري عن التدخلات الضارة التي تسببها أنظمة أخرى بخلاف أنظمة الموجات الصغرية وإزالتها؛
- الامتثال للمعلمات التقنية؛
- كشف الإرسالات غير القانونية.

وتتمثل العقبة الرئيسية التي يتعين التغلب عليها من أجل إنفاذ اللوائح الخاصة بتلك الأنظمة في صعوبة كشف الإرسالات غير القانونية بسبب اتجاهيتها المرتفعة.

ويتعين أن تكون مراقبة هذه الإرسالات من وحدات متنقلة، بسبب المنطقة الجغرافية المصغرة والمضيقة المغطاة بواسطة الإشارة المرسلة بمستويات يمكن استقبالها. وعادة، يتعين، لكي يتم قياس مثل هذا النظام، أن يكون الهوائي القائم بالمراقبة في الحزمة الصادرة من الهوائي المرسل للموجة الصغرية، أو يكون بخلاف ذلك مقروناً بشكل وثيق بالمرسل أو بخط التغذية. ومن الطرق التي يعول عليها في إنجاز ذلك أن يحدد موقع الإشارة بواسطة تعديل تقريبي في وجهة الهوائي من حيث السمت والارتفاع. ويمكن، باستخدام محلل الطيف لتحديد موقع إشارة الذروة، تقليل اتساع المحلل إلى الصفر وتمديد وقت الكنس إلى حوالي 60 ثانية. (وقت الكنس هذا ليس بالغ الأهمية ولكنه يوفر أثراً مرئياً يمكن الإحالة إليه). وبمواءمة الهوائي عند أحد المحاور في وقت الذروة فإنه يمكن اكتشاف قيمة الذروة. ومن المهم النظر إلى ما وراء الذروة الأولى من أجل التحقق من التراصف على الفص الرئيسي. وستشاهد الفصوص الجانبية في أي من جانبي الفص الرئيسي. وما أن يتم اكتشاف قيمة الذروة فإنه يجري تكرار الإجراء بالنسبة للمحور الآخر. وإذا ما كان يجري استخدام مستقبل فسيستلزم الأمر تتبع مقياس قدرة إشارته بشكل ذهني لتحديد قيم الذروة. وما أن يتم استمثال اتجاه الهوائي فإنه يمكن إعادة إنشاء الاتساع أو عرض النطاق المطلوبين، إلى آخره في محلل الطيف بتحديد أنماط الكاشف الملائمة.

3.4.5 تقنيات القياس العامة

إن الحاجة إلى قيام الإدارات بمراقبة وصلات الموجات الصغرية أمر يعتمد على استراتيجية إدارة الترددات المتبعة. وعموماً، فإن المعلمات الأساسية التي يتعين قياسها هي:

- ترددات الموجة الحاملة؛
- شدة المجال أو pfd؛
- عرض النطاق المشغول؛
- الانحراف عن التردد المخصص؛
- الاستقطاب الملاحظ؛
- رتبة البث؛
- تحديد هوية مصدر الإشارة.

والمقدرة على أداء قياسات وعمليات رصد إضافية خلاف تلك المذكورة آنفاً أمر مستصوب من أجل نمذجة التداخلات. ومن شأن إضافة هذه المقدرة أن تزيد من فعالية مرفق المراقبة كأداة لإدارة الطيف. والمعلمات الإضافية التي يجوز قياسها أو رصدها تعتمد على نوع البث على النحو المذكور في الجدول 4.5-2.

الجدول 4.5-2

معلمات البث من أجل القياسات الإضافية

البث	المعلمات
FDM-FM	تردد واتساع إشارات النطاق الأساسي
	عدد القنوات الصوتية وغيرها
	انحراف ذروة الموجة الحاملة
	تردد واتساع إشارة تشتت الطاقة
TV-FM	تردد واتساع إشارات النطاق الأساسي
	انحراف ذروة الموجة الحاملة
	تردد واتساع إشارة تشتت الطاقة
	خصائص التشديد المسبق المستغلة
SCPC-FM SCPC : قناة وحيدة لكل موجة حاملة	انحراف ذروة الموجة الحاملة
	أعلى تردد مشكل
	مباعدة الموجات الحاملة
	عدد الموجات الحاملة لكل مرسل – مستقبل
	عرض نطاق القناة المنشغل
	القدرة النسبية لكل قناة
Digital (PSK، FSK، SCPC، إلى آخره)	معدل البتات
	عدد الأطوار
	عدد مستويات الاتساع
	عدد الموجات الحاملة لكل مرسل – مستقبل
	مباعدة الموجات الحاملة
	عرض نطاق القناة المنشغل
	القدرة النسبية لكل قناة

ويمكن تحقيق ذلك باستخدام:

- نظام الاعتراض المباشر؛
- أو نظام اعتراض يستخدم مخلاطات RF.

1.3.4.5 نظام الاعتراض المباشر

في هذا النظام، تطبق الإشارة المقيسة أو نطاق الاستقصاء مباشرة على محلل أو مستقبل الطيف عن طريق الهوائي والمرشاح والمغذي، ولا يحدث تحويل للإشارة. ومن ميزات هذا النظام أنه بسيط بما يسهل التشكيل والمعايرة، وأنه يعطي وقتاً منخفضاً للوضعية ويسمح بعمليات رصد سهلة للقياس (أنظر الشكل 5-4.5)

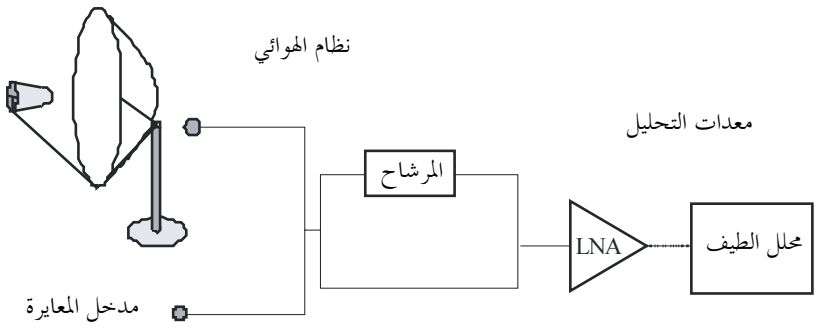
ويمكن إدراج مرشاح لتقليل منتجات التشكيل البيني المتداخلة كما يمكن في المعهود إدراج LNA لتحسين خصائص كسب وضوضاء نظام القياس. وبفعل هذين العنصرين المضافين، فإن النظام يعطي تشكيلاً ممتازاً لقياس مستويات الإشارات المنخفضة في وجود عمليات بث مجاورة.

وفي هذه الطريقة، ترجع المحدودية في نطاق تردد القياس أساسا إلى محدودية معدات التحليل (تتراوح حتى زهاء 40 GHz مع التكنولوجيا المتاحة في الوقت الراهن).

وتتمثل العيوب في أن خسائر المغذي عند الترددات التي تزيد عن 10 GHz يمكن أن تكون جمة وتضر بحساسية نظام القياس. ومن الضروري أن تكون المغذيات المستخدمة في هذا النظام من أعلى جودة وأن يتم التحقق بانتظام من خصائص RF ومن الحالة المادية للكبل. ويتعين في معظم الظروف التي يتطلب فيها أخذ قياسات أعلى من 10 GHz ألا يقل طول الكبل عن متر واحد.

الشكل 5-4.5

نظام الاعتراض المباشر



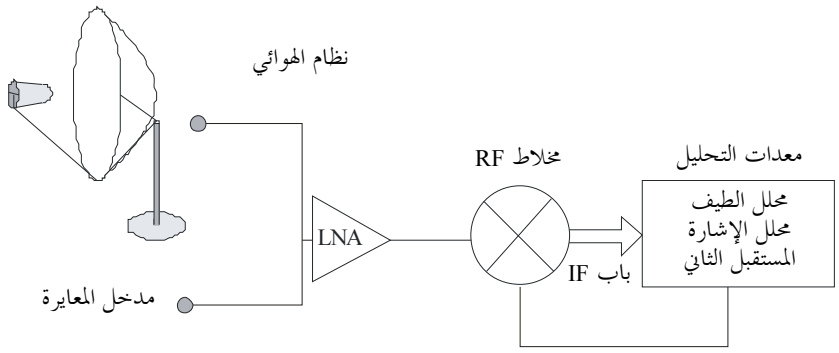
Spectrum-5.4-05

2.3.4.5 نظام اعتراض يستخدم مخاليط RF

في هذه الطريقة، تطبق الإشارة المقيسة أو نطاق الاستقصاء مباشرة على مخلاط أو محول نزولي عن طريق الهوائي والمرشاح والمغذي. ويحدث تحويل للإشارة وتطبق بعدئذ على محلل أو مستقبل الطيف عند التردد الأدني (أنظر الشكل 5-4.6).

الشكل 5.4-6

نظام اعتراض يستخدم مخاليط RF



Spectrum-5.4-06

وتدرج LNA في المعهود لتحسين خصائص كسب وضوضاء نظام القياس.

ويمدد مخلاط RF نطاق تردد معدات التحليل. وثمة مفهومان متاحان، عن طريق مخلاط ثنائي المسار وحيد ومخلاط ثنائي المسار مزدوج. وبالنظر إلى تصميم المخاليط الثنائية المسار المزدوجة، فإنها تظهر سمات استجابة منتظمة للتردد ولا تتطلب أي انحيازات إضافية وهو ما يجعلها مناسبة بالأساس للقياسات المأتمتة.

وفي هذه الطريقة، يكون نطاق التردد الذي يمكن تغطيته أعلى (مثلاً، من 18 GHz إلى 325 GHz) من طريقة مراقبة الاعتراض المباشرة، تبعاً لخصائص مخلاط RF، وLNA ونظام هوائي المراقبة.

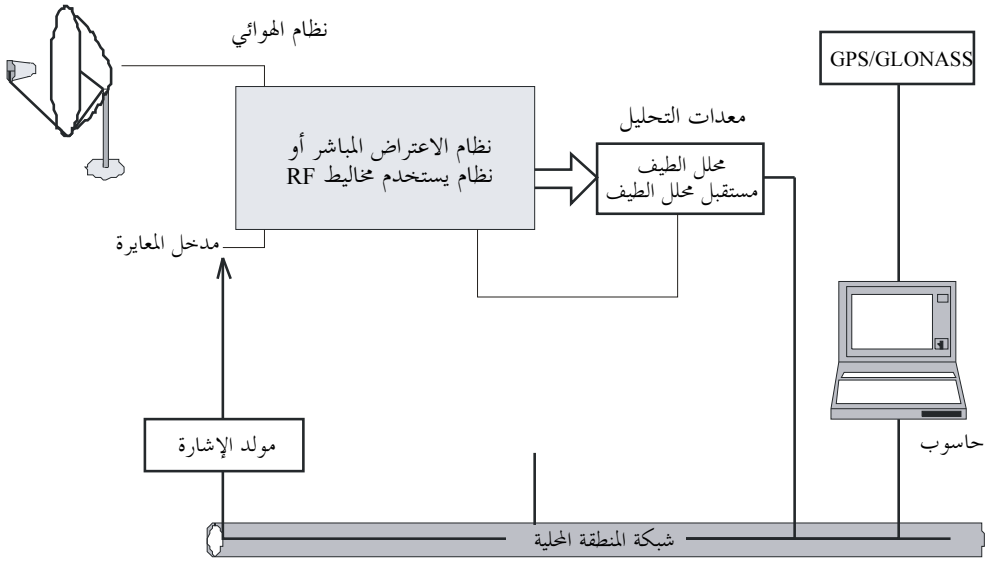
وتتمثل عيوب هذه الطريقة في حساسية نظام القياس الأكثر انخفاضا بسبب خسائر التحويل وأرقام ضوضاء المخلاط المرتفعة، وأوجه عدم التيقن من المعايرة بسبب انسياق المخلاط وخصائص تسطح النطاق، ومشاكل التشكيل البيني، والتداخل المحتمل من أنظمة قدرة مرتفعة تعمل على نفس تردد التحويل الهبوطي أو بالقرب منه.

4.4.5 معدات مركبات المراقبة

يبين الشكل 5.4-7 مخطط فدرة لوحدة مراقبة الموجة الصغرية.

الشكل 5.4-7

وحدة مراقبة الموجة الصغرية



Spectrum-5.4-07

1.4.4.5 نظام الهوائي

يعتمد نوع الهوائي المختار على القياس الذي يتعين القيام به. فثمة أنواع معينة من الهوائيات لها خصائص أنسب لمهمة قياس معينة. فمثلاً، قد يكون الهوائي البوقي مناسباً على نحو أفضل للاستقصاء القطبي لتحديد وجود إشارات في نطاق المسح 360° حول موضع القياس في حين أن الهوائي الطبقي قد يكون أنسب ما يكون للاستكشاف الاتجاهي لإشارة مصدر وحيد.

وتميل الهوائيات البوقية لأن تكون أكثر متانة وأخف وزناً من الهوائيات الطبقية وتعتبر في العادة أسهل في الوزع في سيناريو قياس المرسل – المستقبل. كما أنها أكثر ثباتاً في الأجواء العاصفة المصاحبة في العادة لمواقع قياس مرتفعة. وتتمثل المعاوضة بين الهوائيات البوقية والهوائيات الطبقية في أن الهوائيات البوقية لها في العادة أرقام كسب أقل بالمقارنة مع الهوائيات الطبقية. ويعتبر ثبات الهوائي عنصراً هاماً في الترددات الأعلى حيثما تكون فتحات حزمة الهوائي صغيرة.

وفي أعقاب هذه الاعتبارات العامة، يمكن طرح التوصية الواردة أدناه بحسب نطاق التردد.

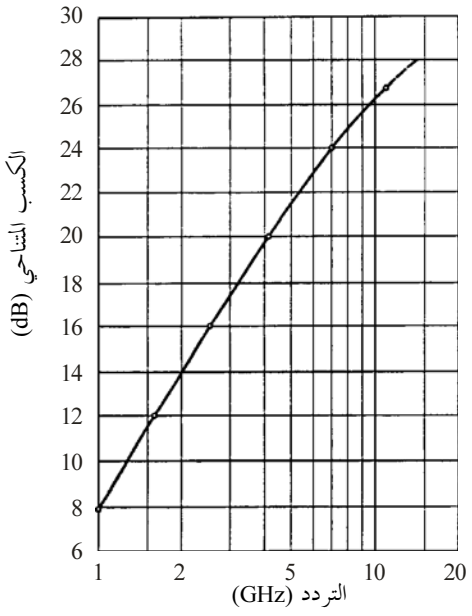
1.1.4.4.5 نطاق التردد من 1 إلى GHz 26/18

تمس الحاجة إلى هوائي مكافئ عريض النطاق يبلغ قطر عاكسه حوالي 90 سم، أو إلى هوائي لوغاريتمي دوري، إلى جانب مضخم مسبق متكامل وشبكة تبديل الاستقطاب من أجل نقطة التغذية. وينبغي أن يكون الاستقطاب مقبولاً من X خطي أو Y خطي أو دائري مياسر أو ميامن.

ويمكن إدراج العناصر التالية في المركبة: مرشاح YIG بعرض نطاق 3 dB يبلغ 35 MHz أو أعرض وتوليف للتردد من 1 إلى 18 GHz وLNA يبلغ كسبها في المعهود 40 dB. ويبين الشكل 4.5-8 الكسب المعهود لهوائي من 1 إلى 20 GHz من النوع الموصوف آنفاً.

الشكل 4.5-8

الكسب المعهود لهوائي لوغاريتمي دوري اتجاهي معاير له عاكس قطره 60 سم، كدالة للتردد



Spectrum-5.4-08

2.1.4.4.5 نطاقا التردد GHz 18-26 وGHz 26-40

يمكن استخدام بوق ذي كسب معياري (بهوائي عاكس قطره حوالي 3/1 متر). ويمكن أن تشكل وحدات الهوائيات لنطاقي التردد GHz 18-26 وGHz 26-40 وحدة واحدة معاً ببوق واحد. ويمكن إدراج العناصر التالية في المركبة: LNA بكسب يبلغ في المعهود dB 30، ومحول هبوطي.

2.4.4.5 معدات التحليل

يتعين الأخذ في الاعتبار بحالتين رئيسيتين، تبعاً لنوع الاعتراض:

- نظام الاعتراض المباشر:

يمكن استخدام مستقبلات تقليدية تولف حتى GHz 3 مع شتى المرشحات والكاشفات، مثلاً SSB وISB إلى آخره، تغطي نطاقاً ينخفض حتى kHz 12 لتشكيل فرادى القنوات السمعية. ومحللات الطيف متاحة في الوقت الراهن حتى GHz 40 على الأقل.

- نظام اعتراض يستخدم مخاليط RF:

يمكن استخدام جميع معدات المراقبة المتاحة (محللات أو مستقبلات الطيف/الإشارة التقليدية) التي تغطي نطاق IF. وينبغي أن تكون بوابات مخرجات IF متضاهية في الاتساع ومحكومة الطور مع نظام RF الفرعي، ومن ثم تمكن من القيام بتحليل دقيق لإشارة RF في الترددات المتوسطة المتحولة هبوطياً.

ويمكن توصيل النبائط التالية مع بوابة مخرجات IF:

- محلل نبضات: من أجل قياس دقيق للنبضات الراديوية (باستبانة حتى 1 نبضة في الثانية).
- كاشف تذبذب رقمي: كاشف تذبذب MHz 500 من أجل تحليل الإشارات التكرارية.
- محلل فواصل زمنية وترددية: محلل وقت فعلي قادر على Msamples/s 250 وله عرض نطاق يبلغ MHz 110.

وبالنسبة لتحليل الإشارات المشكلة، يمكن استخدام محلل إشارات المتجهات أو محلل طيف FFT لتوفير تشكيل دقيق (AM وFM وPM، ورقمي)، وقياسات الطيف الضيق النطاق (MHz 3-Hz 300) وقياسات لاستبانة تردد مرتفع (<±Hz 0,001) ودقة (<±ppm 0,1).

3.4.4.5 معدات المعايرة

هناك طرق عديدة يمكن بها معايرة نظام القياس أو التحقق من الثقة قبل القيام بالقياسات.

أ) طريقة المنارة

يتمثل الإجراء الخاص بهذه الطريقة في المعايرة في تحديد مصدر مؤقت يعمل على تردد قريب بشكل وثيق من إشارة RF أو في نطاق يجري التحقق منه (مع الأخذ في الاعتبار بالمستخدمين الآخرين وإمكانية التداخل الخاصة بالمستخدمين المرخصين).

ويتعين أن تكون هوائيات المصدر والقياس مستهدفة على وجه الدقة باستخدام محددات مواقع لإنجاز معايرة دقيقة. ويتعين القيام بقياس مسافات دقيق بين الفنار وهوائيات القياس بحيث يمكن حساب خسارة مسير الفضاء الحر (FSPL) بين الهوائيات على تردد المعايرة. وسيتطلب الأمر مقسم إشارة معاير ومولد إشارة ومقياس قدرة من أجل تحريك هوائي المنارة.

وفي هذه الطريقة، يمكن مقارنة القدرة المتسلمة مع الحسابات المستقاة من بيانات النظام في شكل جداول بيانية للهوائي والمضخم والمرشاح والكبل.

وطريقة المنارة مناسبة بشكل مثالي للاستقصاءات المطولة وتسمح بالتحقق من نظام القياس باستمرار خلال فترة الاستقصاء. وتتمثل عيوب الطريقة في أن أداء المعايرة يتطلب كمية جمة من معدات الاختبار. ومن الممكن أن يتسبب ذلك في صعوبات في مواقع مثل الأسقف التي سيتعين نقل المعدات إليها وحيث قد تكون المساحة محدودة.

وتعمل هذه الطريقة على تقييم جميع المكونات في نظام القياس بما في ذلك الهوائي.

ب) *طريقة إحلال الإشارة*

في هذه الطريقة يكون مطلوباً وجود نقطة حقن إشارة بدلاً من هوائي القياس لحقن مستوى إشارة معروف من مولد الإشارة المعاير. وتقوم هذه الطريقة بمعايرة نظام القياس، بما في ذلك المرشحات والمضخمات والمغذيات. ويحتاج هوائي القياس إلى شهادة معايرة سنوية على الأقل من مرفق اختبار. وبالنسبة لأنظمة القياس المجهزة بأبواق وبمضخمات لإرشاد الموجة، يمكن استخدام مقرن إرشاد شامل مركب بين مخرج البوق ومدخل المضخم لحقن إشارة معايرة. كما يحتاج الهوائي البوقي إلى شهادة معايرة من مرفق اختبار.

ومن المستصوب أن تكون خصائص استجابة الهوائي المزود بكابل توصيل، وكسب أي مضخم مسبق، معروفة بحيث يمكن قياس مستويات إشارة RF بدقة من 3 dB إلى 6 dB (في أسوأ الحالات).

والغرض من مولد الإشارة أن ينتج إشارات مرجعية؛ وتتمثل خصائصه المستصوبة فيما يلي:

- مولف ترددات طيفية صرف؛
- نطاق ترددات 40-0,01 GHz؛
- نبضة خارجية، وتشكيل AM وFM؛
- استبانة تردد تبلغ 1 Hz؛
- نطاق مستوى ناتج دينامي –90 إلى حوالي +10 dBm؛
- توافقيات < –20 dBc.

ج) *قياس مصدر معروف*

لا يتيسر دائماً عند القيام بقياسات باستخدام معدات قابلة للنقل في مواقع مثل أسطح المباني المرتفعة أن تكون هناك معدات معايرة متاحة. وقد يكون من الممكن أحياناً، من أجل التحقق الواثق في تلك البيئات النائية، قياس مصدر إشارة ثابت معروف يعمل في نطاق تردد القياس أو بالقرب منه. وفي هذه القياسات، يمكن أن تكون الإشارات الساتلية مصدر معايرة أساسي يعول عليه.

4.4.4.5 أنظمة الملاحة والموضعة

ينبغي تزويد مركبة المراقبة بأنظمة ملاحة وموضعة للتمكين من تحديد الموقع بدقة (منسقات جغرافية) وتكون موجهة من فوق المركبة (توجيه سمتي). ويمكن الاطلاع على وصف لهذا النظام في الفقرة 1.6.

ويمكن لمستقبل نظام الموضعة المقام على المركبة أن يفي بمهام أخرى:

- مستوى التردد (دقة تردد تبلغ 1×10^{-11})؛
- معلومات عن التاريخ والوقت الراهنين (سنة – شهر – يوم وساعة – دقيقة – ثانية).

5.4.4.5 توجيه الدوران والدعم التلسكوبي

يجوز تركيب هوائيات القياس مباشرة على منضدة دوارة مزدوجة المحور (بخصائص معهودة للسمت: 370°؛ وارتفاع: –20° إلى +90°؛ ودقة موضعة: 0,1°)، ملتصقة بسارية. وينبغي أن تكون قاعدة السارية دوارة. وينبغي تشكيل المعدة من أجل التركيب والتفكيك السريع بغية النقل.

ويجوز تجهيز المركبة بتلسكوب أو بدعامات قابلة للتهيئة لكفالة أن يكون السطح الدوار أفقياً. وينبغي ضبط الدعامات من داخل المركبة. ويتم إنجاز التنسيق بين المنضدة الدوارة والشمال الحقيقي بمساعدة من بوصلة جيروسكوبية.

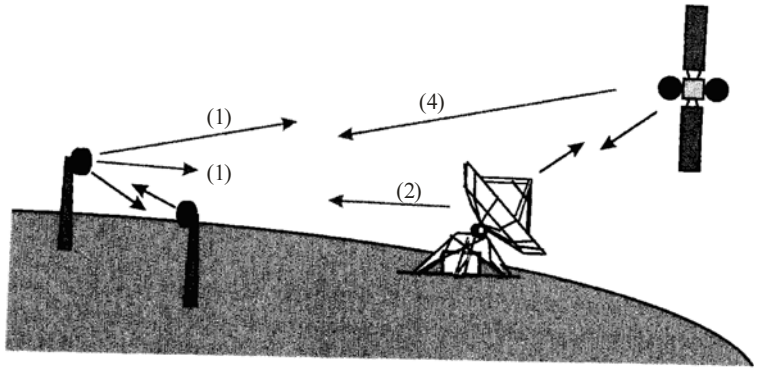
5.4.5 خدمة ساتلية ثابتة تتقاسم مع خدمة ثابتة

1.5.4.5 تداخل FSS وFS

هناك عدد من مسيرات التداخل المعيارية تسمى آليات التداخل وتواجه في اتصالات الموجات الصغرية الساتلية والأرضية (أنظر الشكل 5.4-9). ويتم التحكم في هذه المسيرات من خلال شتى الآليات التنظيمية، بما فيها تنسيق الترددات. ويبين التشغيل الطبيعي للوصلات المعنية بواسطة أسهم متواصلة قصيرة توفر بثاً مزدوجاً كاملاً.

الشكل 5.4-9

إمكانية التداخل بين وصلات ساتلية ووصلات موجات صغرية للأرض تستخدم نفس نطاق التردد



Spectrum-5.4-09

ويمكن وصف مسيرات التدخل، المبينة بأرقام المسير 1 إلى 4، على النحو التالي:

المسير 1: تدخل راديوي للأرض في مستقبل وصلة الساتل الصاعدة. والساتل محمي بحد أقصى من القدرة المشعة لهوائي الموجات الصغرية إلى الأرض وبواسطة اشتراط ألا توجه هذه الهوائيات إلى مدار GSO. ونتيجة للقدرة المشعة المنخفضة من محطة الأرض، لا يحدث تداخل من هذا النوع عادة من الناحية العملية. والاستثناء الوحيد الممكن هو وصلات انتشار تروبوسفيرية مرتفعة القدرة تستخدم هوائيات من حجم اللوح المدرع.

المسير 2: تداخل محطة الأرض في مستقبل راديوي أرضي. وهذه هي أهم حالة تداخل من أجل تحديد ما إن كان يمكن تشغيل محطة أرضية مرسلة في موقع معين. ويكون الإشعاع على طوال المسير 2 في الفصوص الجانبية من هوائي محطة الأرض وينتشر على طول ضرب من المسيرات حتى المستقبل الأرضي. ولدى الاتحاد الدولي للاتصالات لوائح تنظيمية وإجراءات من أجل تنسيق محطات الأرض في بلد واحد يمكن أن تتداخل مع وصلات الموجات الصغرية إلى الأرض في بلدان مجاورة.

المسير 3: تداخل راديوي للأرض في مستقبل الوصلة الهابطة لمحطة أرض. ويمكن حجب هوائي محطة الأرض عن المرسل للأرض، وهي تقنية تم تطبيقها على المسير 2 أيضاً.

المسير 4: تداخل ساتلي في مستقبل راديوي أرضي. مستوى الإشعاع من الساتل يكون في المعهود أضعف من أن يثير اهتمام المستقبلات الأرضية. وتفرض لوائح الراديو في المعهود حدا أقصى مسموح به من PFD من الساتل إلى سطح الأرض.

ويثير المسير 2 الانشغال لمحطات الأرض المرسلة فيما يجب معالجة المسير 3 من أجل أي نظام مستقبل ساتلي على الأرض.

2.5.4.5 طرائق التحليل

يمكن تحليل التداخل مع محطات اتصالات ساتلية على الأرض علاوة على المحطات الأرضية التي تتقاسم نفس نطاقات التردد، وذلك باستخدام تقنية حساب نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل *C/I*. وبالنسبة لهندسة محطة الأرض المستقبلة المبينة في الشكل 4.5-9، يمكن لمعاداة *C/I* أن يُعبر عنها بواسطة dB على النحو التالي:

$$C/I = \left(G(0) - G(\theta)\right) + \left(P_t - P_t'\right) + \left(G_s - G'\right) - 20\log\left(\frac{R}{R'}\right)$$

حيث:

$G(0)$: كسب هوائي محطة الأرض في اتجاه الساتل

$G(\theta)$: كسب هوائي محطة الأرض في اتجاه المحطة الأرضية

P_t: قدرة إرسال الساتل في هوائيه

P_t': قدرة إرسال محطة الأرض في هوائيها

G_s: كسب هوائي الساتل باتجاه محطة الأرض

G': كسب الهوائي إلى الأرض باتجاه محطة الأرض

R وR': المسافات بين محطة الأرض والساتل والمحطة الأرضية.

وهذه المعادلة تبين الأحكام المختلفة، في dB، بين المساهمات المستصوبة والمتداخلة. ومن بين الطرق الأبسط لدراسة المشكلة هي ما يتعلق بميزانية التدخل والتي لا تزيد عما هو أكثر من ميزانيتي وصلتين: واحدة للمسير المستصوب والأخرى للمسير غير المستصوب (المتداخل). و*C/I* هي الفرق في dB بين قدرات الموجات الحاملة المستقبلة المستصوبة والمتداخلة.

ونعرض في الجدول 4.5-3 نموذجاً لميزانية التداخل بشأن هندسيات التداخل المبينة في الشكل 4.5-10.

وهناك قضايا عديدة ذات شأن تنشأ عند تقييم *C/I* بهذه الطريقة. ويتعلق بعضها بالخصائص المادية الفعلية التي تمت نمذجتها (مثلاً، كسب الفص الجانبي لمحطة الأرض وهوائيات الموجات الصغرية إلى الأرض وكمية الحجب الأرضي المتوقعة أو الاعتراضات التي يتعين تحقيقها)، في حين أن ثمة طرائق أخرى ذات طابع إحصائي (مثلاً، الامتصاص الجوي، وانتشار الانتثار التروبوسفيري لإشارة الموجة الصغرية الأرضية).

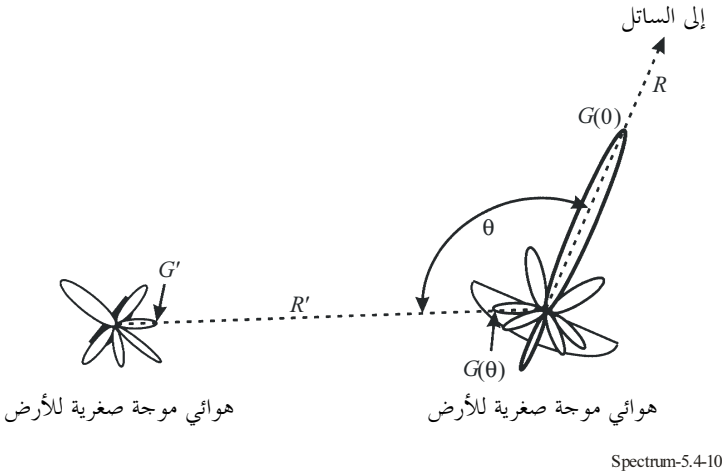
ويطرح التحليل الوارد في الجدول 4.5-3 افتراضات معينة بشأن قدرة التداخل. فالمحطة الأرضية على بعد 8,5 كم من محطة الأرض والمسير معرقل جزئياً (مثلاً، بحجب من التلال بمقدار 20 dB). ويمكن كشف تداخل عند *C/I* يبلغ 28,6 dB وقد يحتاج إلى المزيد من إيلاء النظر.

ويمكن لخسائر الانتشار، بخلاف فقد الحيز، أن تمثل تحدياً له شأنه لأي شخص يقوم بتقدير ميزانية تداخل واقعية قبل أن يمكن القيام بقياسات للميدان.

كما أن من الصعب تقييم عوامل أخرى تتصل بأداء محطة الأرض والهوائيات إلى الأرض، ولا سيما في منطقتي الفص الخلفي والفص الجانبي.

الشكل 10-4.5

هندسيات التداخل بشأن التداخل الأرضي في استقبال في محطة أرض لها هوائي كبير القطر



الجدول 3-4.5

ميزانية تداخل المرسل من أجل وصلة فيديو متداخل فيها بواسطة موجة صغرية للأرض (المرسل يعمل على نفس التردد)

العامل	القيمة
الإشارة المستصوبة (مرسلة بواسطة ساتل)	
قدرة إرسال المرسل لكل موجة حاملة عند بوابة الهوائي (W)	20
كسب هوائي الساتل باتجاه محطة الأرض (dBi)	30
e.i.r.p الساتل باتجاه محطة الأرض (dBW)	43
فقدان الفضاء الحر (dB)	196,2
الخسارة الجوية (عدم سقوط أمطار) (dB)	0,1
كسب هوائي محطة الأرض (طبق قطره 3 م) (dBi)	39,8
قدرة الموجة الحاملة المستصوبة المستقبلة (dBW)	113,5–
إشارة غير مستصوبة (مرسلة من محطة موجة صغرية إلى الأرض)	
قدرة الإرسال لكل موجة حاملة عند بوابة الهوائي (w)	10
كسب هوائي الساتل باتجاه محطة الأرض (dBi)	0
e.i.r.p موجة صغرية أرضية باتجاه محطة الأرض (dBW)	10
فقدان الفضاء الحر (مسير 8.5 كم) (dB)	132,1
حجب الأرض (dB)	20
كسب هوائي محطة الأرض باتجاه محطة موجة صغرية للأرض (dBi)	0
قدرة التداخل المستقبل (dBW)	142,1–
نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل (*C/I*) (dB)	28,6

3.5.4.5 طور البحث الأرضي في تحري عن تداخل ساتل GSO

1.3.5.4.5 اعتبارات عامة

من الممكن أن يخلق التداخل تهديدا كبيرا للاتصالات الساتلية GSO ونشاط الأعمال الإذاعي. ومن الممكن أن يتم، بواسطة قياس الموقع الجغرافي التي شرحت بالتفصيل في الفقرة 1.5 من هذا الكتيب، تحديد موقع التداخل في منطقة إهليلجية تغطي عشرات إلى مئات الكيلومترات المربعة. وينبغي اعتبار ذلك بمثابة تحسين كبير بالمقارنة مع تغطية الوصلة الصاعدة للساتل الذي يمكن أن يحدث داخله التداخل. وفي الكثير من الحالات، من شأن تحديد الموقع الجغرافي أن يساعد مشغل الساتل في تحديد المتداخل بواسطة وسائل تقنية أو إجرائية، وبخاصة بالنسبة للمستخدمين المتداخلين بمعدات معطوبة. بيد أنه في بعض الحالات التي يكون التداخل فيها عمدياً أو يكون مشغل الساتل عاجزاً عن العثور عليه، يصبح من الضروري القيام بتحر معروف باسم "البحث الأرضي". ويخلق ذلك مشكلة أخرى لموظفي المراقبة بسبب صعوبات استقبال إشارات ضعيفة من فص جانبي من المرسل. وعادة ما تراقب هذه الإشارات الضعيفة المرسلة من الفصوص الجانبية بواسطة معدات قابلة للنقل أو معدات مثبتة على مركبات متحركة. ومن الممكن القيام بطور البحث الأرضي في تحر عن تداخل بواسطة نهج تقليدية، أو باتباع خوارزميات DSP متقدمة لتحسين حساسية نظام القياس. ونناقش هذه النهج في النص الوارد أدناه.

2.3.5.4.5 النهج التقليدية المستخدمة في الهوائيات الاتجاهية أو الهوائيات الشاملة الاتجاه

يمكن إنجاز كشف التداخل بواسطة هوائي اتجاهي للاستقبال كالهوائي البوقي، وLNA، ومعدات استقبال مثل محلل الطيف. وينبغي أن تحمل المعدات القابلة للنقل عادةً إلى أعلى موقع من أجل تجنب الانعكاس إلى أكبر حد ممكن. ويستطيع المشغل أن يعثر على موقع للمرسل بواسطة الجمع بين مختلف نتائج DF. وقد ثبت أن هذه مهمة شاقة لأنها تتطلب عادة أن يجرى القياس فوق مبان مرتفعة، وبخاصة في المناطق الحضرية. ومن العيوب الأخرى أن القوة الكهربية AC لا تكون متاحة دائما فوق الأسطح؛ ولذلك يحتاج الأمر إلى بطاريات طويلة العمر من أجل محلل الطيف. كما يمكن استعمال الهوائيات الشاملة الاتجاه في البحث الأرضي. وفي معظم الحالات، من الممكن استخدام مركبة المراقبة المجهزة بهوائي شامل الاتجاه للاستقبال، وLNA، ومحلل طيف لكشف الإشارة من المرسل. وينبغي للمشغل أن يراعي عيبين في حل الهوائي الشامل الاتجاه، أحدهما الكسب الأكثر انخفاضاً للهوائي والآخر أن إجراء المراقبة ممكن فقط على طول الطريق لأن المعدات تكون مثبتة في المعهود على المركبة.

الشكل 4.5-11

نموذج لمركبة مراقبة قادرة على استقبال إشارات من اتجاهات فضائية وأرضية على حد سواء





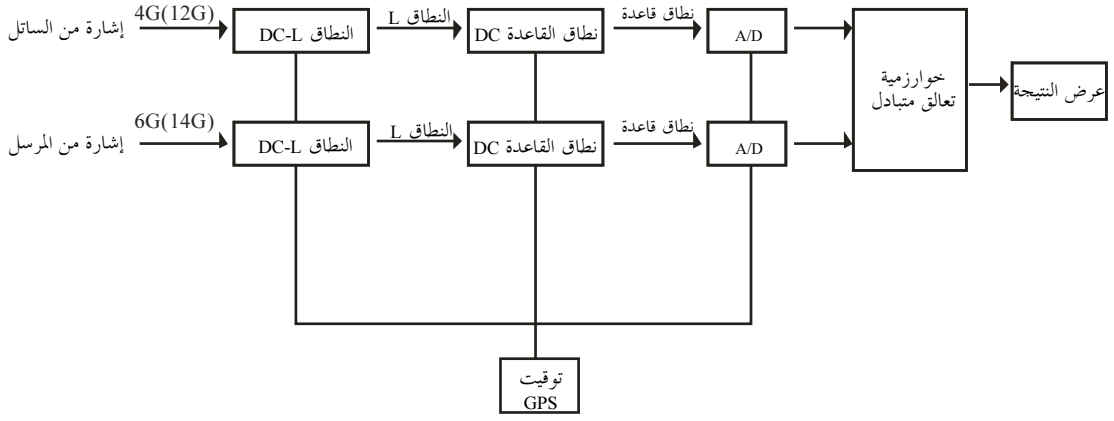
3.3.5.4.5 استخدام خوارزميات التعالق المتبادل لتحسين حساسية النظام

كما يمكن استخدام مركبة مراقبة قادرة على استقبال الإشارات من اتجاهات فضائية وأرضية على حد سواء في البحث الأرضي (أنظر الشكل 4.5-11 كنموذج لتلك المركبة). وتستخدم، بدلاً من محلل للطيف، وحدة DSP لالتقاط الإشارة الأقل من أرضية الضوضاء، بحيث يمكن أن تتحسن حساسية نظام المراقبة. ويمكن الاطلاع على رسم تخطيطي لمراحل هذا النظام في الشكل 4.5-12. وتستخدم خوارزميات التعالق المتبادل في هذا النهج في وحدة DSP لتجهيز الإشارة بشكل منفصل عن الساتل بواسطة هوائي مكافئ ومرسل له هوائي بوقي أو هوائي شامل الاتجاه مباشرة.

ويمكن وصف رسم تخطيطي لهذا الحل فيما يلي:

الشكل 4.5-12

رسم تخطيطي لمراحل حل التعالق المتبادل



Spectrum-5.4-12

ومن الناحية العملية، يدور الهوائي الاتجاهي بزاوية معينة تتبعها عملية تعالق. وبعد الدوران بزاوية 360°، يستطيع المشغل أن يجد اتجاه المرسل عندما يصل تعالق SNR الخاص بكل من القناتين (الفضائية والأرضية) إلى حده الأقصى، حتى عندما يكون مستوى الإشارة الأرضية أضعف جداً من أن يرصد على محلل الطيف (أنظر الشكل 4.5-13).

6.4.5 السلامة

ثمة الكثير من قضايا السلامة المصاحبة لتلك الأنواع من القياسات. وتنشأ هذه القضايا عن كل من قضايا التعرض إلى RF ونوع البيئة التي تنشر فيها معدات القياس. وتنطوي غالبية القياسات على معدات يجري وزعها على أسطح مباني مرتفعة لمنصات سواري اتصالات المستوية.

وهناك الكثير من المخاطر التي ينطوي عليها هذا النوع من القياس. كما قد يكون هناك مخاطر التعرض إلى RF من جراء أنظمة موجات صغرية أخرى تعمل على مقربة من موقع القياس. ومن المستصوب أن يتم عمل تقييم كامل للمخاطر قبل الاضطلاع بالقياسات.

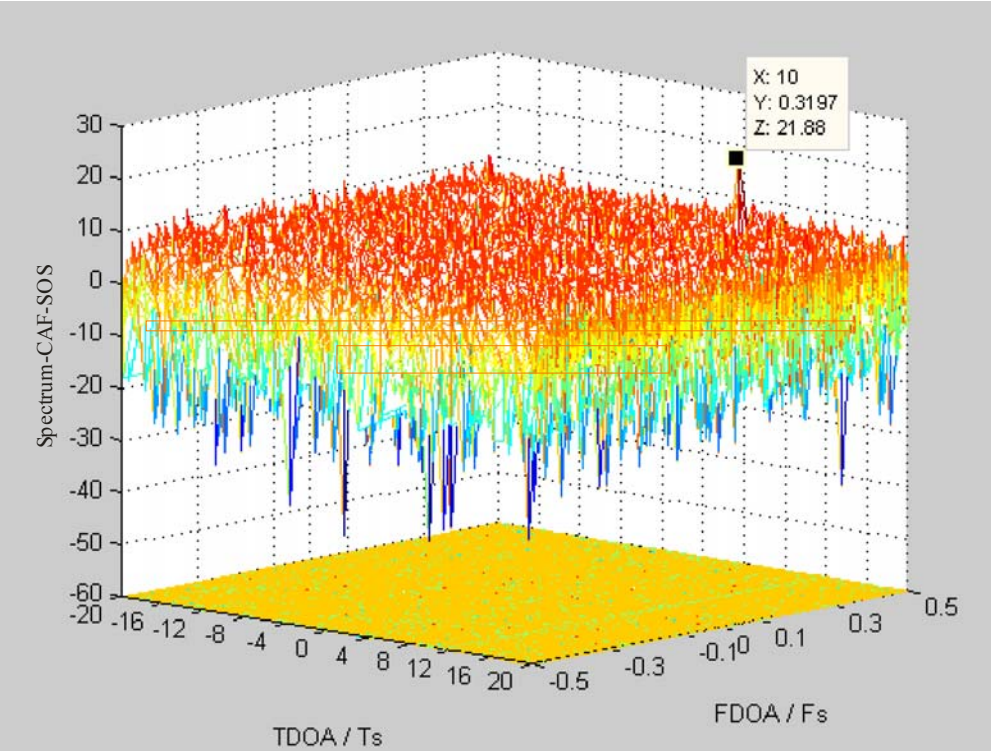
ويتوجب على كل شخص أن يفي بشروط ممارسات عمله الآمنة. وهذا الأمر هام بمكان عند العمل في محيطات غير مألوفة وعندما قد تكون تحت ضغط جم من أجل حل التداخل أو في أحوال سياسية هادئة. ويجب على موظفي القياس أن يكفلوا أنهم متفهمين للمخاطر المصاحبة للبيئة وللقياسات التي يقومون بها. كما يجب عليهم أن يكفلوا أن الناس الآخرين الموجودين على وعي بأي مخاطر وأنهم اتخذو الإجراءات المناسبة لحماية أنفسهم والآخرين من تلك المخاطر.

والسلامة لها أهمية عظمى، ليس فقط لموظفي القياس، وإنما أيضاً لجميع الناس الآخرين العاملين أو الموجودين في موقع القياس أو بالقرب منه. ويجب أن تكون جميع الكوابل ومعدات الاختبار معلمة بوضوح لتجنب الحوادث. وفي حالة البثات المرتفعة القدرة، ينبغي إجراء اختبار تعرض أساسي إلى RF بواسطة قياس شدة المجال في المواضع التي سيعمل فيها الموظفون.

ويمكن استخدام مقياس سبر أو مقياس جرعة معاير لتقييم المخاطر. وإذا ما كانت المستويات تثير الانشغال، فينبغي القيام بقياسات تعرض معايرة باستخدام الحد الأدنى من الأفراد إلى أن يتم قياس شدة الحال.

الشكل 5.4-13

سطح تعالق متبادل



Spectrum-5.4-13

بيبليوغرافيا

DU CASTEL [1961] Propagation troposphérique et faisceaux hertziens transhorizons. Ed. Chiron, Paris.

FERNANDEZ, E. and MATHIEU, M. [1991] Les faisceaux hertziens analogiques et numériques, Ed. Dunod. Paris.

VERRE, J. [1986] Digital microwave links in the French telecommunication network. Ed. ECCR, Munich.

5.5 مراقبة عمليات البث الراداري

1.5.5 مقدمة

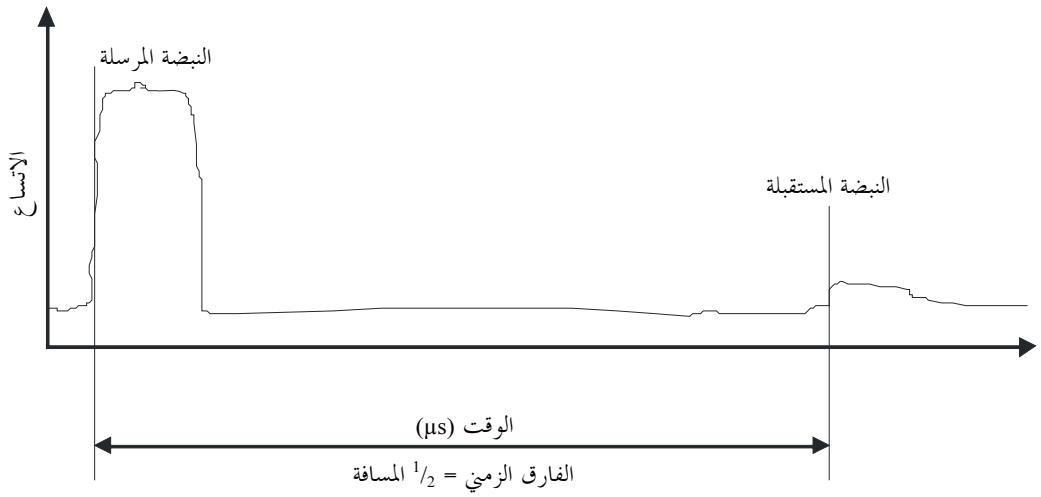
تم تطبيق الرادار، وهو اسم مختصر لعبارة الكشف الراديوي وقياس المدى الراديوي، لأول مرة في ثلاثينيات القرن الماضي لكشف وجود الطائرات. وتطبيقات الرادار في الوقت الحالي قائمة في كل مكان وزمان. وتتطلب خصائص معهودة مثل الترددات المرتفعة، والنبضات القصيرة والهوائيات الدوارة، تقنيات مراقبة راديوية مخصوصة.

2.5.5 مبادئ الرادار الأساسية

يستند الرادار إلى مبدأ إرسال نبضة كهرمغنطيسية وبعد ذلك التحقق بواسطة نبيطة استقبال مما إن كان يمكن استقبال إشارة منعكسة. فإذا ما قابلت الموجة الكهرمغنطيسية غرضاً ما، مثلاً طائرة أو سيارة أو طائرة أو سحب أو جبال أو مياه، فإن هذه النبضة ستنعكس إما بقوة أو بأقل من ذلك، تبعاً للمقطع المستعرض الراداري الفعلي للهدف. ويشع جزء النبضة المنعكس في جميع الاتجاهات، أي في اتجاه المرسل أيضاً. ويستقبل مستقبل الرادار النبضة المنعكسة ويضخمها ويقيمها.

الشكل 5-5-1

نبضة رادار نمطية



Spectrum-5.5-01

ويمكن تحويل الزمن الذي تحتاج إليه النبضة لكي يشعها الهوائي إلى أن تستقبل النبضة المنعكسة إلى مسافة حيث إن سرعة الموجة الكهرمغنطيسية معروفة. وعلاوة على ذلك، فإن المستقبل يعي أيضاً باتجاه الهوائي في كل لحظة ومن ثم فإن اتجاه العائق المنعكس يمكن تحديده أيضاً. وفي حالة الأغراض المتحركة، مثلاً، أغراض طائرة، فإن السرعة النسبية للغرض تسفر عن زحزحة في تردد النبضة المنعكسة بالنسبة للنبضة المرسلة تسمى تأثير دوبلر. ويمكن حساب السرعة النسبية للغرض من زحزحة التردد. فإذا ما كانت النبضات المستقبلة معروضة كنقطة على خريطة، فإن القياسات العديدة المأخوذة في تتابع تسمح أيضاً بتحديد اتجاه الغرض. بل إن بمقدور الرادارات الحديثة المجهزة بدارات تقييم مناسبة أن تصور موضع الغرض وحجمه وملامحه، وربما تتعرف على نوع الغرض أو رتبته.

وتتألف النبضة المرسلة من نبضات عديدة ولها شكل يشبه المربع (تتابع نبضي). ونتخذ كنموذج رادار متوسط المدى كالذي يستخدم في مراقبة الحركة الجوية في المطارات. ويرسل هذا النوع من الرادارات بصفة عامة في نطاق التردد MHz 2,9-2,7 وله قدرة نبضة تبلغ، مثلاً، MW 1 (dBm 90). وهذا يعني أنه يمكنه تغطية مساحة NM 60-50 (111-93 كم). وقد يكون الحد الأدنى للقدرة التي يمكن استقبالها 10^{-13} W (–100 dBm). وبذلك فإن قدرة المرسل تتجاوز قدرة المستقبل بمقدار dB 190.

3.5.5 معادلة مدى الرادار

تعطي معادلة مدى الرادار في شكلها العام الحد الأقصى للمسافة التي يمكن كشف الهدف في نطاقها. ويفترض ذلك أنه لا توجد قدرة تشويش مشعة، وأن ظروف الانتشار في الفضاء الحر سائدة وأن هوائي واحد يستخدم للإرسال والاستقبال.

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{P_T \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{P_{R\,min} \cdot (4 \cdot \pi)^3}}$$

حيث يكون:

P_T: القدرة المرسلة

G: كسب الهوائي (هوائي مرسل = هوائي مستقبل)

λ: طول الموجة

σ: مقطع الرادار المستعرض

$P_{R\,min}$: الحد الأدنى للقدرة المستقبلة

وتبين هذه المعادلة أن من الضروري لمضاعفة المدى أن يزاد كسب الهوائي بأربعة أضعاف أو قدرة المرسل ستة عشر مرة. كما يعتمد مدى الرادار على المقطع المستعرض الفعلي للهدف. ويمكن زيادة المدى أو تقليله اصطناعيا تبعا للتطبيق الراداري.

4.5.5 العناصر الرئيسية للأنظمة الرادارية

يتألف المرسل من مولد أشكال موجة ومضخم قدرة. وتتألف هذه المرحلة الأخيرة إما من مرحلة ناتج كلايستروم (مولد ذبذات سنتيمترية) أو مغنيطرون أو شبه موصل.

ويكفل معدد الإرسال تبديلاً من المرسل إلى المستقبل وبالعكس.

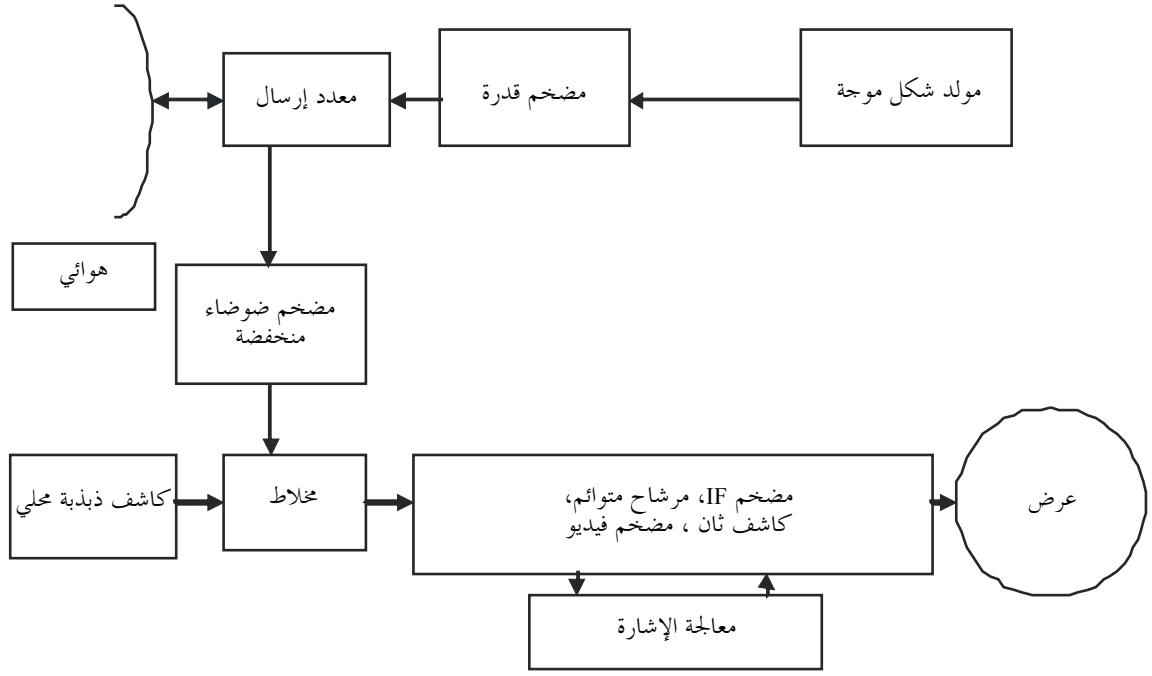
والهوائي يرسل النبضة ويستقبلها. وفي رادارات الإشراف، يركب الهوائي على مشغل دوار مجهز بنبيطة صغيرة تزود المستقبل باستمرار بمعلومات عن الاتجاه الراهن. وفي الرادارات الأخرى، يواجه الهوائي وجهة واحدة فقط.

ويجب أن يضخم المستقبل الإشارات الواردة الضعيفة وأن يكبت عناصر الضوضاء بقدر الإمكان (مضخم ضوضاء منخفضة).

ويجب أن يستخدم حالياً معالجة الإشارات لفصل الصدى غير المطلوب فيه (مثلاً، من الجبال) عن الصدى المستصوب (مثلاً، من الطائرات). ومن أجل ذلك، يجري أيضاً تقييم تأثير دوبلر الذي يكشف السرعة النسبية للغرض المتحرك. ومن شأن ذلك أن يتيح تمييز الغرض المتحرك عن الأغراض الثابتة. كما يجري تقييم اتجاه الهوائي. وبعدئذ يتم عرض جميع الإشارات التي تتجاوز عتبة حالية.

الشكل 5.5-2

رسم بياني تخطيطي لرادار مزود بمضخم قدرة



Spectrum-5.5-02

وتعرض البيانات المقيسة بشكل بياني على شاشة الرادار بواسطة وحدة عرض بصري. وفي حالة الأغراض المتحركة، فلا يتم عرض موقعها فقط، وإنما يمكن عرض اتجاهها أيضاً.

5.5.5 تطبيق الرادار

تنتشر هندسة الرادار في الوقت الحالي في كثير من المجالات. غير أن استخداماته الرئيسية لا تزال في مجال الطيران والملاحة والقوات المسلحة. وتعتبر هندسة الرادار حالياً الدعامة الأساسية للأرصاد الجوية (رادار التنبؤات أو السحب، ورسم التوقعات الريحية). والشرطة تستخدم الرادار لمراقبة سرعة المركبات. وفي الصناعة وفي تكنولوجيا المركبات المتحركة توجد رادارات قياس المسافة، ورادارات سبر المستوى، إلى آخره. وآخر ما يقال إن هندسة الرادار تستخدم أيضاً في البحوث وفي تكنولوجيا الفضاء.

رادارات على ظهر السفن، وفي الموانئ والهويسات والمنارات

يخدم الرادار في هذه الحالات في تحديد المسافة من السفن الأخرى وموقعها، والجبال الجليدية والبر، إلى آخره. ويتفاوت مدى الترددات ومستويات القدرة تبعا للتطبيق وحجم السفينة.

الرادار في الطائرة والمطارات، إلى آخره (مراقبة الحركة الجوية)

تستخدم الرادارات على ظهر الطائرة في تحديد المسافة (رادارات منع الاصطدام) من الطائرات الأخرى، أو من سطح الأرض، أو من العوائق الأخرى (مقياس الارتفاع الراديوي). كما أن الكثير من الطائرات مجهز برادار جوي (رادارات جوية محمولة جواً). ويوجد في المطارات رادارات للهبوط ورادارات قصيرة المدى، كما تستخدم في بعض المواقع وعلى ارتفاعات عالية رادارات البحث الجوي الطويل المدى.

رادارات من أجل رصد الجو

تستخدم رادارات رسم التوقعات الريحية لتحديد تقلب الرياح واتجاهها على ارتفاعات مختلفة. وتقوم رادارات التهطال أو السحب بقياس حركة العواصف وتراكم السحب والتهطال. كما توجد تلك الرادارات في الموانئ، والرادارات الجوية الدوبلرية في المحطات الطرفية وفي الطائرات الأكبر لإصدار تحذيرات من الاضطرابات الخطيرة.

قياسات سرعة المركبات

يستخدم تأثير دوبلر هنا لقياس سرعة غرض ما.

استخدام الرادارات في الصناعة وفي تكنولوجيا الفضاء، إلى آخره

تستخدم هندسة الرادار في الصناعة، مثلاً، للاختبار غير التدميري لمواد البناء في شكل رادارات مستوى الحشو أو رادارات كشف الحركة. كما تستخدم للتحقق من التشكيلات الجيولوجية (رادارات سبر الأرض). وفي تكنولوجيا المركبات المتحركة، تحدد رادارات قياس المسافة ما يتم قطعه من مسافات. وفي تكنولوجيا الفضاء والفلك، تستخدم الرادارات من أجل الاستشعار عن بعد (تقصي الكواكب ورسم خرائطها) ولمراقبة الأنقاض الفضائية.

6.5.5 تكنولوجيات الرادار الأساسية

توجد تكنولوجيتا رادار أساسيتان:

- رادارات من النوع الأنبوبي. ويستخدم هذا النوع من الرادارات أنابيب الماغنترون والكلايسترون، والموجات المرتحلة (TWT)، إلى آخره. ولقد كان هذا النوع موجوداً على مدار نصف قرن ولا يزال شائعاً جداً.
- مرسلات الحالة الصلبة الرادارية. وقد أصبحت شائعة في العشرين سنة الماضية. ويمكن لرادارات الحالة الصلبة أن تتيح فوائد في التكلفة وإمكانيات الصيانة. ولكنها يمكن أن تكون أثقل من الرادارات الأنبوبية، ولا يمكن لها أن تظهر قدرة ذروة بمثل ما تفعله الرادارات الأنبوبية.

ويبين الجدول 5.5-1 ميزات وعيوب التكنولوجيتين المختلفتين.

7.5.5 أنواع وتصنيفات الرادارات

يمكن تصنيف الرادارات تبعا لمعايير مختلفة جداً، فمثلاً:

- الموقع (على الأرض، في الهواء، في الفضاء، على ظهر سفينة، إلى آخره).
- نطاق التردد.
- وظيفة الرادار (رادار قياس مسافات، رادار جوي، قياس سرعة، إلى آخره).
- شكل الإشارة (نبضة، CW، FMCW).

الجدول 5.5-1

ميزات ومساوئ تكنولوجيات الرادار المختلفة

تكنولوجيا الرادار	الميزات	المساوئ
مغنترون	قدرة مرسل مرتفعة غير باهظ الثمن نطاق ترددات كبير قابل للضبط	مستوى ضوضاء مرتفع غير مناسبة لرادارات بنبضة منضغطة أو لاستخدام تأثير دوبلر (قياس السرعة)
كاليسترون وTWT	قدرة مرسل مرتفعة ثبات مرض ضوضاء منخفضة مناسب جداً للاستخدام مع تأثير دوبلر	أبهظ ثمناً من المغنترون إشعاع إكس بسبب الفولطية المرتفعة
مرسلات الحالة الصلبة	ثبات ممتاز مناسب جداً لتشكيل النبضة ولاستخدام تأثير دوبلر (قياس السرعة) لا توجد إشعاعات إكس تحملية طويلة وسهولة الصيانة (انقطاعات قصيرة)	قدرات أقل محتملة عن تلك الخاصة بكلايسترون أقل كفاءة في الطاقة كثيراً ما يكون أثقل وأبهظ ثمناً من الكلايسترون

الرادار الأولي

يرسل الرادار الأولي إشارات كهرمغنطيسية، ويستقبل انعكاس الإشارة، ويقيم النتيجة ويعرضها. وهذا النوع من الرادار هو أشيعها استخداماً.

الرادار الثانوي

يستجيب الرادار الثانوي بفعالية للطلب. فإذا ما استقبل رادار ثانوي نبضة رادار، فإنه يستجيب ويرسل شفرته وبيانات أخرى. ومن شأن ذلك أيضاً أن يزيد بشكل جم من مدى الرادار. وهذه هي الطريقة التي يعمل بها الرادار الثانوي عالمياً بالنسبة للطائرات.

ويرسل الطلب على تردد 1 030 MHz والرد على تردد 1 090 MHz. كما تعمل معدات قياس المسافة (DME) كرادارات ثانوية. فترسل الطائرة نبضة وتستجيب محطة الأرض ويستخدم التأخير الزمني لحساب المسافة بالضبط. وفي الملاحة، كثيراً ما يتم تركيب المنارات الراديوية على العلامات الدليلية الملاحية.

وتستجيب هذه الرادارات لإشارات راديوية بشفرة مفردة لعكس العلامة الدليلية الملاحية الأصغر أيضاً، والتي لن يكشفها الرادار أو تكون مرئية على شاشة الرادار.

رادار الموجة المستمرة

يرسل رادار الموجة المستمرة إشارة رادارية مستمرة فيما يستقبل في الوقت نفسه بشكل متواصل.

ويتم تقييم زحزحة التردد التي يتسبب فيها غرض متحرك (زحزحة التردد الدوبلرية). ويستخدم هذا في حالة قياس السرعة بالرادار.

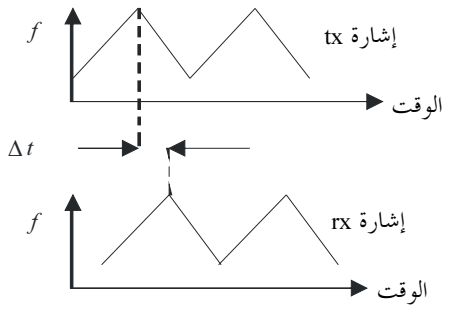
رادار FM-CW

كما يرسل رادار FM-CW (رادار الموجة المستمرة ذو التردد المشكل) إشارة مستمرة ولكنها إشارة مشكلة التردد. ويعمل تأخير الإشارة على التسبب في معاوضة تردد يمكن تحويلها بسهولة إلى مسافة.

ويستخدم هذا المبدأ في بدائل FM-CW الراديوية.

الشكل 5.5-3

مبدأ رادار FM-CW



Spectrum-5.5-03

رادار قصير النبضة

هذا التطبيق الراداري هو أشيع الرادارات استخداماً. فإذا كان تطبيق راداري لا يحمل أي تعريف هوية آخر فيتم الإحالة إلى هذا الشكل. ويتم إرسال نبضة قصيرة.

ويتم تبديل الهوائي فيما بعد ذلك إلى أسلوب الاستقبال وانتظار إشارة منعكسة. ويجري تقييم اتجاه الإشارة المستقبلة وشدة ميدانها، كما يجري في العادة تقييم تبديل الإشارة (تأثير دوبلر نتيجة للأغراض المتحركة).

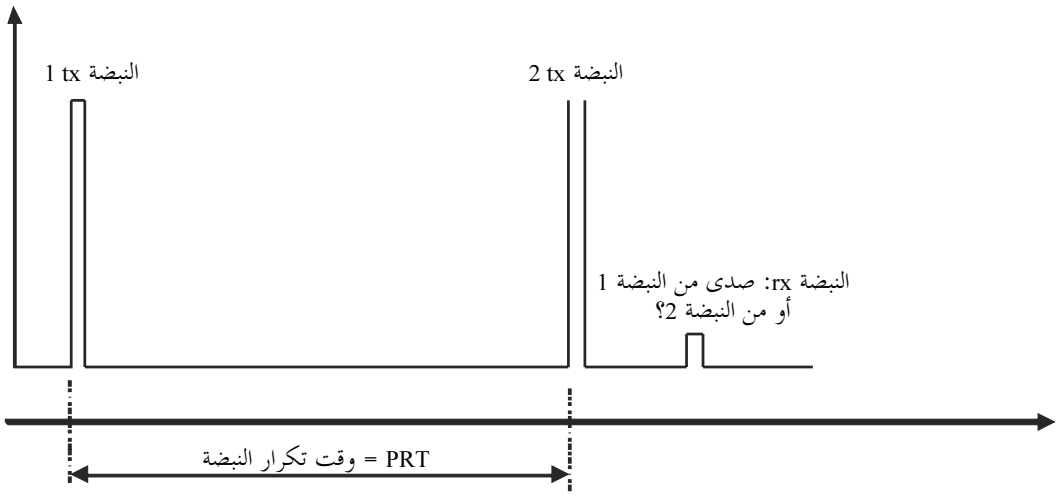
وكثيراً ما تعتمد الرادارات المستخدمة لتحديد هوية أغراض متحركة (MTI = تحديد هوية هدف متحرك) على وقت تكرار نبضات مختلفة لكي تستطيع التعرف على حز الضجيج والقياسات الخاطئة الناجمة عن التأخيرات المطولة.

ويحدث حز الضجيج عند استخدام تأثير دوبلر لكبت أهداف ثابتة. فإذا ما كانت السرعة النسبية لهدف متحرك تسبب زحزحة في الطور بنسبة 360° أو بضعف ذلك بالمقارنة مع الموجة المرسلة فعندئذ يتم التعرف على الغرض على أنه هدف ثابت ولا يتم عرضه.

وعند استقبال صدى، فلا يكون من الواضح ما إن كان ذلك تجاوز للهدف نتيجة لاستقبال النبضة 1 أو استقبال عادي للنبضة 2. وإذا ما تغيرت أوقات استقبال النبضة، فإن صدى النبضة يعود إلى الظهور في مكان آخر في حالة تجاوز الهدف. بيد أنه في حالة الاستقبال العادي، تظل مسافة النبضة المرسلة – صدى النبضة على ما هي عليه.

الشكل 5.5-4

غموض النبضات المكتشفة



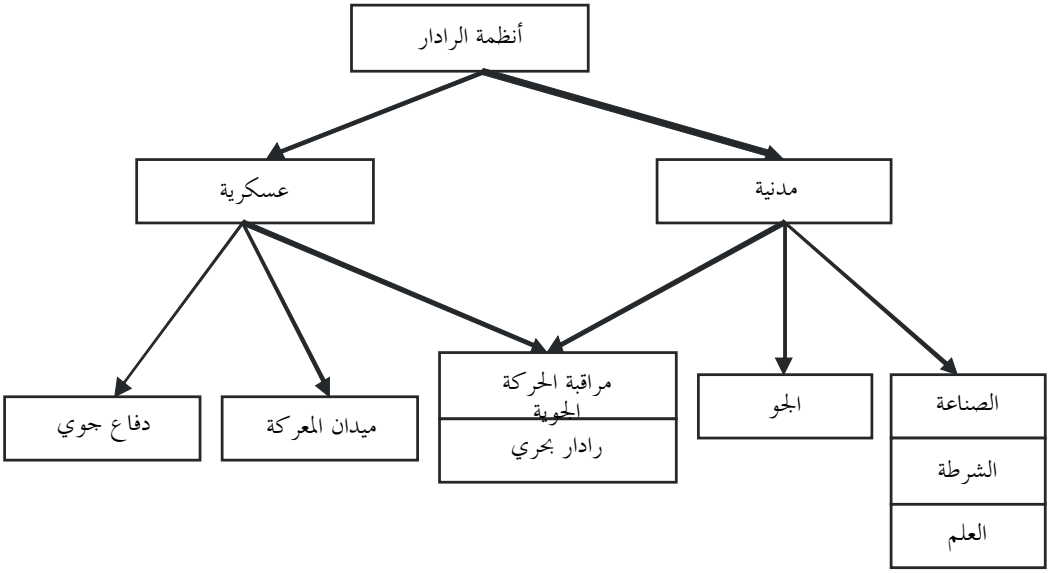
Spectrum-5.5-04

رادار انضغاط النبضة

في هذا النوع من هندسة الرادار، يتم تشكيل تردد أو طور نبضة طويلة لإنجاز مدى نبضة طويلة إلى جانب استبانة مسافة النبضة القصيرة.

الشكل 5.5-5

التصنيف تبعاً لاستخدام الرادار



Spectrum-5.5-05

ويبين الشكلان التاليان بعض الرادارات النمطية.

الشكل 5.5-6

رادار بحث طويل المدى وهوائي راداري ثانوي فوق قمته



Spectrum-5.5-06

الشكل 5.5-7

رادار ملاحي وبحث بحري



Spectrum-5.5-07

8.5.5 نطاقات الترددات الرئيسية لأنظمة الرادار

يعدد الجدول 5.5-2 نطاقات الترددات الرئيسية لأنظمة الرادار إلى جانب تطبيقاتها.

الجدول 5.5-2

نطاقات الترددات الرئيسية لأنظمة الرادار

التردد	النطاق	التطبيق
MHz 25-5	HF	رادار فوق الأفق
MHz 450-420	UHF	تحديد موقع راديوي، مثلاً وصف التوقعات الريحية
MHz 1 215-960	L	البحث الجوي (تطبيق DME)
MHz 1 090-1 030	L	رادار أولي/ثانوي
MHz 1 350-1 250	L	رادار بحث جوي طويل المدى
MHz 2 900-2 700	S	مراقبة الحركة الجوية في المطارات
MHz 3 100-2 900	S	ملاحة السفن
MHz 3 600-3 100	S	البحث الجوي
MHz 4 400-4 200	C	مقياس ارتفاعات راديوي منخفض المدى
MHz 5 850-5 000	C	ملاحة جوية وبحث جوي
MHz 10 500-8 500	X	تحديد مواقع راديوي، والبحث الجوي والبحري
GHz 14-13,25	Ku	محساس حركة الرادار، تحديد موقع راديوي
GHz 17,7-15,4	Ku	ملاحة جوية، وبحث جوي
GHz 24,25-24,0	K	محساس حركة الرادار، الصناعة، تحديد موقع راديوي
GHz 36-31,8	Ka	محساس حركة الرادار، الصناعة، تحديد موقع راديوي
GHz 64-59,3	V	محساس حركة الرادار، الصناعة، تحديد موقع راديوي

9.5.5 أجهزة لقياس إشارات الرادار

ينبغي أن تكون المعدات التالية متاحة إذا ما تعين القيام بقياسات رادارية:

محلل الطيف

يمكن قياس الكثير من سمات الرادار مثل عرض النبضة وتردد تكرار النبضة وسرعة الدوران وقدرة النبضة والتردد المركزي وعرض النطاق المشغول والبثات غير المطلوبة بواسطة محلل الطيف. ويمكن استخدام المحلل في قياس الميول المرتفعة والمتناقصة، شريطة أن يكون عرض نطاق مرشاح RF كبيراً بما يكفي.

كاشف تذبذب رقمي

إن وجود كاشف تذبذب رقمي بالاقتران مع مزيل تشكيل عريض النطاق مناسب جداً لقياس فترة دوام النبضة والميول المرتفعة والمتناقصة وطول النبضة. ومن أجل ذلك فإن كثيراً من النبائط تجهز بوظائف قياس مخصوصة.

ومن الممكن أيضاً أن يتم قياس قدرة النبضة بمساعدة طريقة الإحلال. كما يمكن تحديد تشكيل الطور على الأقل.

بيد أن من الاشتراطات المسبقة لاستخدام كاشف التذبذب للقيام بتلك القياسات أن يتاح مستوى إشارة ملائم وألا تكون هناك بثات أخرى عند مدخل كاشف التذبذب. وهذا هو واقع الحال دائماً إذا ما تم القيام بالقياسات عند الرادار.

محلل الإشارة المتجهة أو FFT

يمكن استكمال وظائف محلل الطيف بواسطة محلل إشارة متجهة أو FFT عن طريق عرض الطور أو التردد على مر الوقت، بما يسمح بقياس تشكيل طور أو تردد النبضة. بيد أنه على عكس ما يحدث في محلل الطيف، فإنه يمكن التقاط الطيف وعرضه كاملاً بعد دورة واحدة للرادار. وقد يحتاج محلل الطيف إلى وقت طويل حتى يحقق ذلك. وقد لا يكون محلل FFT مناسباً لقياسات البثات غير المطلوبة في جميع الحالات بسبب الاشتراطات الخاصة المذكورة في الفقرة 7.10.5.5.

مقياس القدرة (مقياس قدرة حراري)

يمكن باستخدام مقياس قدرة حراري حديث أن يتم قياس كل من متوسط القدرة وقدرة النبضة مباشرة عند مخرج القياس في الرادار. ويمكن حساب قدرة النبضة من متوسط القدرة باستخدام دورة الواجبات.

محلل النبضة

يقوم محلل النبضة بمسح النبضات بسرعة مرتفعة، ويرقمنها ويقيم النتائج تلقائياً. ويتم قياس تردد واتساع وعرض النبضة وتردد تكرار النبضة لكل نبضة واصلة.

وتسمح هذه الطرائق في القياسات باستقصاء معلمات الرادار الرئيسية بدقة خلال فترة زمنية قصيرة. كما يمكن استقصاء الرادارات المتخالفة بسهولة، أي الرادارات التي يكون فيها طول النبضة أو أوقات تكرار النبضة غير ثابتة.

10.5.5 قياس إشارات الرادار

1.10.5.5 معلمات الرادار الرئيسية

- الترددات المركزية؛
- فترة دوام النبضة (عرض النبضة)؛
- زمن ارتفاع النبضة وإخمادها؛

- تردد تكرار النبضات (معدل النبضات)؛
- سرعة دوران الرادار؛
- قدرة النبضة (قدرة الذروة)؛
- عرض النطاق المشغول؛
- بثات غير مطلوبة (بثات هامشية وبثات خارج النطاق)؛
- تشكيل النبضة.

2.10.5.5 وضعية القياسات

اعتبارات عامة

هناك بالأساس طريقتان لاستقصاء رادار ما: عند الرادار الفعلي عند مخرج القياس أو من خلال سطح بيني راديوي (قياسات الفضاء الحر).

وكيما يتم تحديد سرعة دوران الهوائي المرسل، فإنه يتعين القيام بالقياسات عند السطح البيني الراديوي. ويطبق ذلك أيضاً عندما يتعين استقصاء نمط الإشعاع.

وإذا ما تعين قياس البثات غير المطلوبة عند مخرج القياس في الرادار، فإنه يتعين معرفة نمط الإشعاع بالضبط بالنسبة لسلوك الهوائي عند ترددات مختلفة (أنظر التوصية ITU-R M.1177-3) حيث إن الهوائي قد يضخم البثات غير المطلوبة على تردد مجاور مختلف عن البث الرئيسي.

ولا يوجد في كل الرادارات الصغيرة مخارج قياس بحيث إنه يتعين القيام بحالات القياس هذه عند السطح البيني الراديوي.

القياس عند مخرج القياس في الرادار

لا يمكن قياس قدرة إرسال الرادار في كثير من الأحيان عن طريق مخرج القياس فيه وذلك لأنه في حالة الرادارات الثابتة المستخدمة في الطيران بوجه خاص لا يمكن تقليل الارتفاع بما يكفي للقيام بقياس مباشر في الفص الرئيسي.

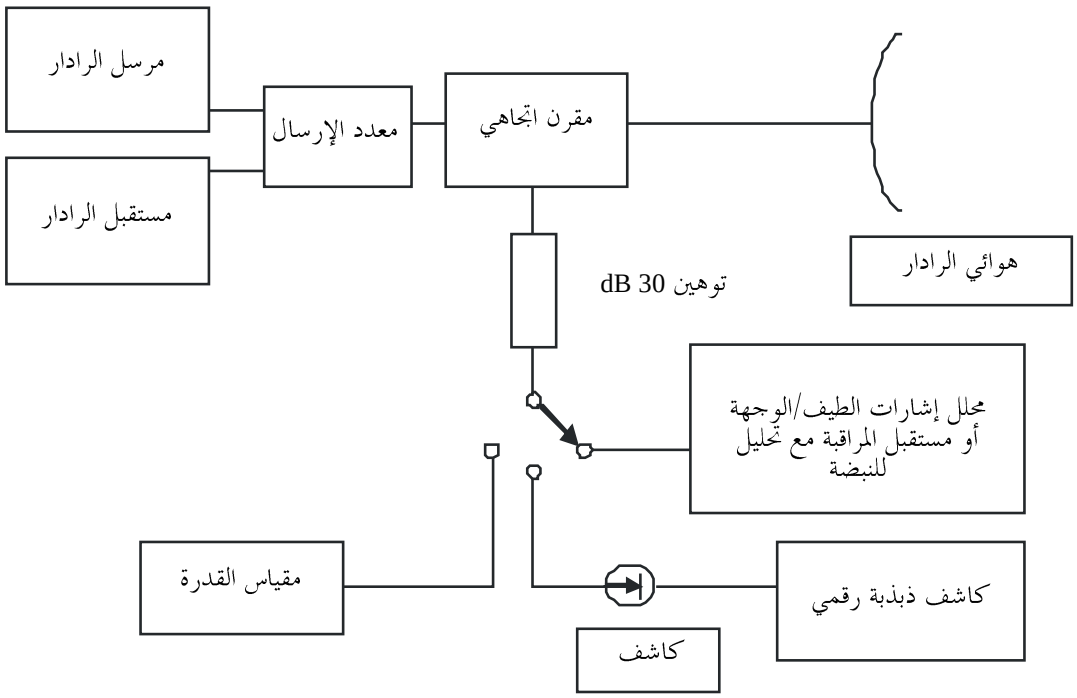
ومن شأن القياس عند مخرج القياس في الرادار أن يكفل ألا تقاس سوى عناصر التردد من الرادار الفعلي فقط. ومن شأن ذلك أن يجعل القياسات أقل إثارة للمشاكل من تلك المأخوذة عن طريق السطح البيني الراديوي.

بيد أنه يجب أن تكون خصائص الهوائي معروفة بالتفصيل حتى يكون بالمقدور حساب قدرة المرسل أو قدرة البثات غير المطلوبة.

ومن أجل ذلك، فإن معظم الرادارات بها مخرج قياس. ويتم إدراج مقرن اتجاهي بقدرة توهين اقتران تبلغ 30 dB بين مرسل الرادار وهوائي الرادار.

الشكل 5.5-8

رسم بياني تخطيطي لقياس سمات رادار نمطية عند الرادار نفسه



قياس الرادار بواسطة السطح البيني الراديوي (قياس الفضاء الحر)

من الضروري في هذه الكوكبة التأكد من أن هوائي القياس ثابت وموجه بدقة نحو هوائي الرادار المرسل (السمت والارتفاع). وينبغي ألا تكون هناك أي عوائق بين الهوائي المرسل والهوائي المستقبل، ويجب الامتثال لشروط المجال البعيد.

وشروط المجال البعيد الخاصة بالهوائيات الكبيرة مستنبطة من الصيغة التالية:

$$\frac{2D^2}{\lambda} \qquad (1\text{-}2.4)$$

حيث تكون:

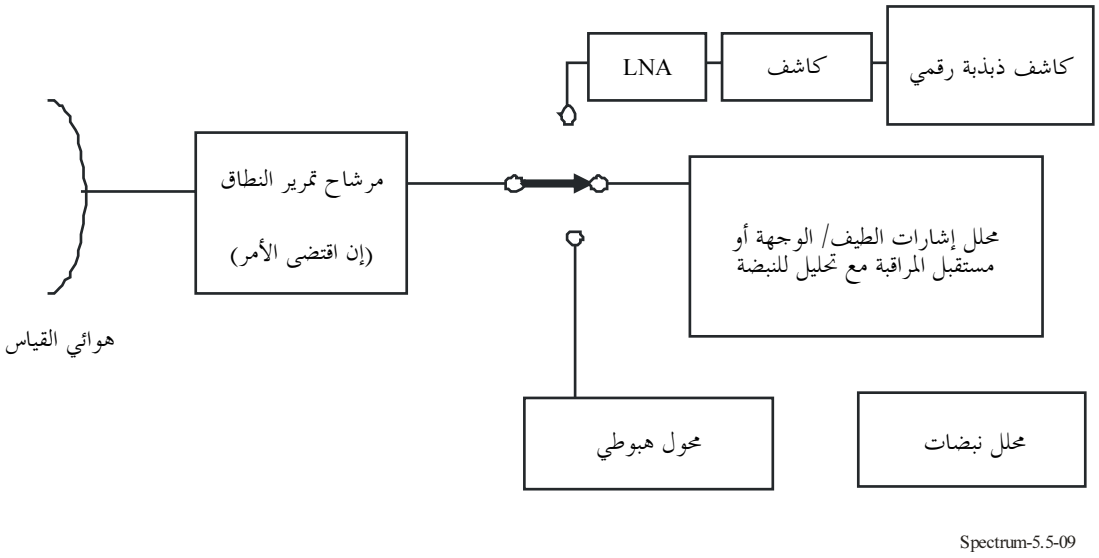
D: قطر الهوائي

λ: طول الموجة

مثال: لرادار بحث جوي طويل المدى هوائي قطره 6 م وتردد يبلغ 1 300 MHz. وتستوفى شروط المجال البعيد عند 312 م أو ما وراء ذلك.

الشكل 5.5-9

رسم بياني تخطيطي لقياس الرادار بواسطة سطحه البيني الراديوي
(قياس الفضاء الحر)



Spectrum-5.5-09

3.10.5.5 قياس التردد المركزي

يتم الحصول على التردد المركزي بواسطة تشغيل محلل الطيف لبعض الوقت بأسلوب التتبع "الذروة الموجبة" وأسلوب العرض "الحد الأقصى – للاستبقاء". وكلما كان مرشاح القياس أصغر (عرض نطاق RF) كلما كانت دقة قراءة التردد المركزي أكبر.

ويعرض الطيف بأفضل وجه عندما يسدد على كل نقطة كنس أفقية في المحلل مرة واحدة بواسطة الحد الأقصى لقدرة الرادار. بيد أن هذا القياس يستغرق وقتاً طويلاً تماماً مع استعمال محلل الطيف التقليدية.

مثال: يحتاج رادار بحث جوي طويل المدى إلى 11,6 ثانية للاستدارة الواحدة، والمحلل به 500 نقطة كنس، ومن ثم فإن القياس يستغرق 1,5 ساعة على الأقل.

ويكون زمن القياس أقصر بكثير إذا ما تم القيام به باستخدام محلل FFT. فيتم عرض الطيف بأكمله بعد دورة واحدة حيث إن محلل FFT يستطيع معالجة وإظهار عرض نطاق التردد المطلوب خلال مسحة واحدة.

4.10.5.5 قياس معلمات النبضة

يتوجب هنا قياس مدة النبضة ووقت ارتفاع النبضة وإخمادها، وتردد تكرار النبضة، وسرعة الدوران. وقد وصفت طريقة القياس إلى حد كبير بالفعل في الفصل 9.4. ولقياس سرعة الدوران، يلزم فحسب رفع زمن كنس المحلل إلى أن يتيسر قياس دورة واحدة على الأقل في أسلوب الامتداد الصفري.

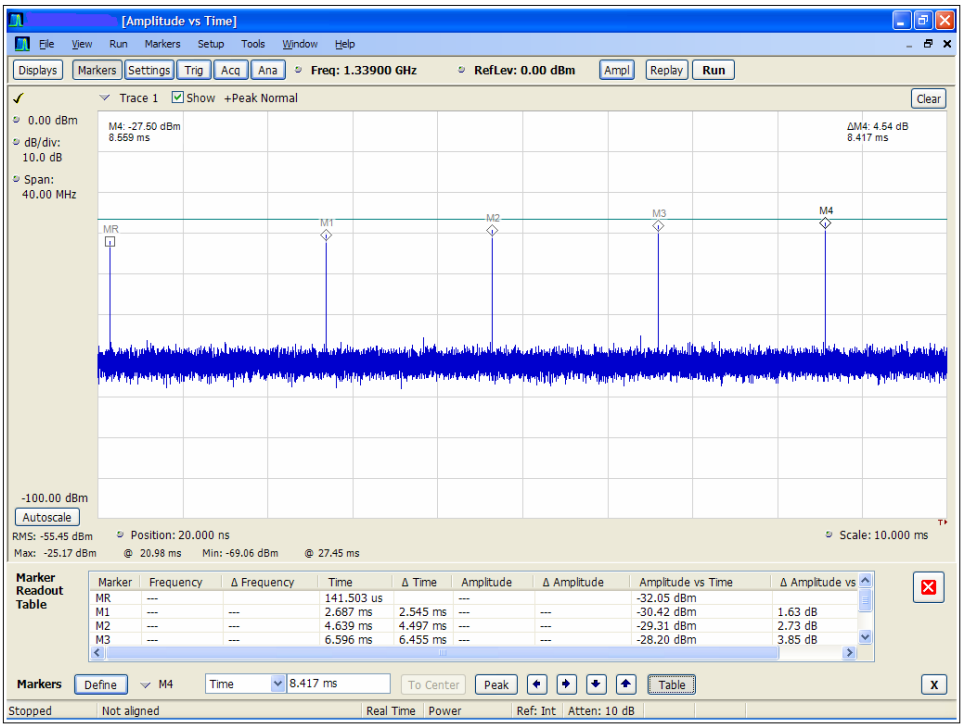
ولكي تستطيع قياس رادار متخالف باستخدام محلل الطيف، يجب التقاط نبضات عديدة بالتتابع. ويجب أن يكون العدد مرتفعاً بما يتيح لأوقات تكرار النبضة أن تكرر نفسها.

ويبين الشكل 5.5-10 مثالاً لرادار بحث جوي طويل المدى يستخدم 14 طول نبضة مختلف. ويظهر على الشاشة تتابع من 5 إلى 14 نبضة على فترات تبلغ 2,545 دقيقة و1,952 دقيقة و1,957 دقيقة و1,963 دقيقة.

ومن الأسهل بطبيعة الحال أن يستخدم محلل النبضة من أجل تلك القياسات حيث إنه يتم التقاط عدد أكبر من النبضات (مثلاً، 1 024) في كل طول نبضة، وأن نتيجة ذلك تتمثل في ترددات النبضة وفي معلمات أخرى.

الشكل 10-5.5

قياس نبضات رادار بحث جوي طويل المدى



Spectrum-5.5-10

5.10.5.5 قياس قدرة النبضة

يمكن قياس ذروة قدرة مخرجات المرسل (قدرة النبضة) عند الرادار مباشرة باستخدام مقرن اختبار. ويمكن القيام بذلك إما باستخدام محلل طيف أو مقياس قدرة حراري.

ومن أجل ذلك، فإنه يتوجب إما أن يكون باستطاعة مقياس القدرة قياس القدرة أثناء النبضة فحسب أو أن يستخدم بخلاف ذلك متوسط القدرة ودورة الواجب لحساب قدرة النبضة باستخدام معادلة "متوسط القدرة/دورة الواجب = قدرة النبضة".

مثال: عندما يكون متوسط قدرة مرسل رادار ما تساوي 1 KW وتكون دورة الواجب 1 000/1، فإن قدرة النبضة حينئذ تكون 1 MW.

ويتحدد e.i.r.p بواسطة إضافة كسب الهوائي G_i وأخذ خسارة الخط في الاعتبار.

وإذا ما تيسر توجيه الهوائي المرسل نحو اتجاه المفصل الرئيسي للهوائي المستقبل، فإنه يمكن قياس قدرة النبضة أيضاً عند السطح البيني الراديوي. وكيما يتيسر القيام بذلك، فإن الحاجة تمس إلى شروط للميدان البعيد والفضاء الحر. ويستخدم محلل الطيف في قياس القدرة. ويمكن قياس قدرة النبضة وطول النبضة في نفس الوقت. أنظر الفقرة 9.4 للاطلاع على قياسات النبضة. ويمكن بعدئذ حساب القدرة المشعة بمساعدة المعادلة المذكورة في الفقرة 1.2.3.6.

6.10.5.5 قياس عرض النطاق المشغول

إن قياس عرض النطاق المشغول له وثاقته بخصوص قياس البث غير المطلوب. ووفقاً للتوصية ITU-R M.1177، يجب ألا تتجاوز الرادارات حد أقصى لعرض النطاق يبلغ B_{40} أي 40 dB دون PEP (ذروة قدرة الغلاف). وتحتسب هذه القدرة من طول النبضة ووقت ارتفاع النبضة وإخمادها، بحسب ما يكون أي الاثنين أقصر. ويجب أن يكون عرض النطاق المشغول في حدود عرض النطاق المحسوب. ومعادلة قياس عرض النطاق B_{40} مذكورة بالتفصيل في الملحق 8 للتوصية ITU-R SM.1541.

وينبغي ألا يغيب عن الأذهان عند قياس عرض النطاق المشغول أن الحد الأقصى لعرض نطاق مرشاح القياس يعتمد على نوع التشكيل وطول النبضة وطول زقزقة الطور ونطاق كنس التردد. ويمكن الاطلاع على المزيد من المعلومات في التوصية ITU-R M.1177.

ووفقاً للملحق 1 للتوصية ITU-R M.1177، يستخدم مرشاح أكبر مما يستخدم عادة في التطبيقات الراديوية الأخرى كمرشاح قياس من أجل قياس البثات غير المطلوبة ومعها عرض النطاق المشغول. ويأخذ عرض النطاق B_{40} المقيس في اعتباره بالفعل أخطاء القياس الناجمة عن ذلك. وقياس عرض النطاق B_m في حالة، مثلاً، رادارات غير مشفرة النبضة، يغل $B_m \leq 1/T$ حيث تكون T = طول النبضة. وفي حالة طول نبضة يبلغ 1 µs فإن ذلك يسفر عن B_m يبلغ 1 MHz. وهذا القياس لعرض النطاق هام بالنسبة للقياس الصحيح للمستوى العام للبثات غير المطلوبة ومن ثم بالنسبة لعرض النطاق المنشغل أيضاً.

ويمكن قياس عرض النطاق المنشغل عند السطح البيني الراديوي وعند مخرج القياس في الرادار على حد سواء. وينبغي القيام بالقياسات عند السطح البيني الراديوي في هوائي رادار غير دوار.

7.10.5.5 قياس البثات غير المطلوبة

أ) اعتبارات عامة

ثمة تمييز بين "بثات خارج النطاق"، أي بثات خارج عرض النطاق الضروري الناجم عن التشكيل، ومن ثم فهي حتمية، وبين "بثات هامشية" غير متصلة بشكل مباشر بالبثات الفعلية. وتشمل البثات الهامشية بثات توافقية وبثات طفيلية ومنتجات مشتركة التشكيل ومنتجات لتحويل الترددات.

ويجب حساب حجاب لكل راداي يتعين التقيد به ويتألف من B_{40} ومن حدود خارج النطاق وحدود عرضية. وهذا الإجراء مشروح بالتفصيل في التوصية ITU-R M.1177.

ويتم القيام بقياسات عرض النطاق المشغول والبثات غير المطلوبة بمحلل للطيف أو محلل FFT. وينبغي اتباع الحرص لكفالة أنه إذا ما استخدم مضخم فإنه لا يكون زائد الحمولة وأن ثمة مدى دينامي كاف متاح لقياس البثات غير المطلوبة. ويجب أن تكون ضوضاء المستقبل مرئية عند حدود الطيف.

ويبين الشكل 5.5-11 مثالاً لقناع طيف محسوب ولطيف مقيس من التوصية ITU-R M.1177-3. ومن أجل القيام بعرض بياني، فقد سجل منحنى المرشاح بعرض نطاق قياس يبلغ 100 kHz برغم أن عرض نطاق قياس يقرب من 1 MHz قد يكون أنسب. والقياس تم بعرض نطاق قياس أضيق، فقد طبقت قيم تصحيحية في المجال الهامشي ومن أجل تحديد PEP.

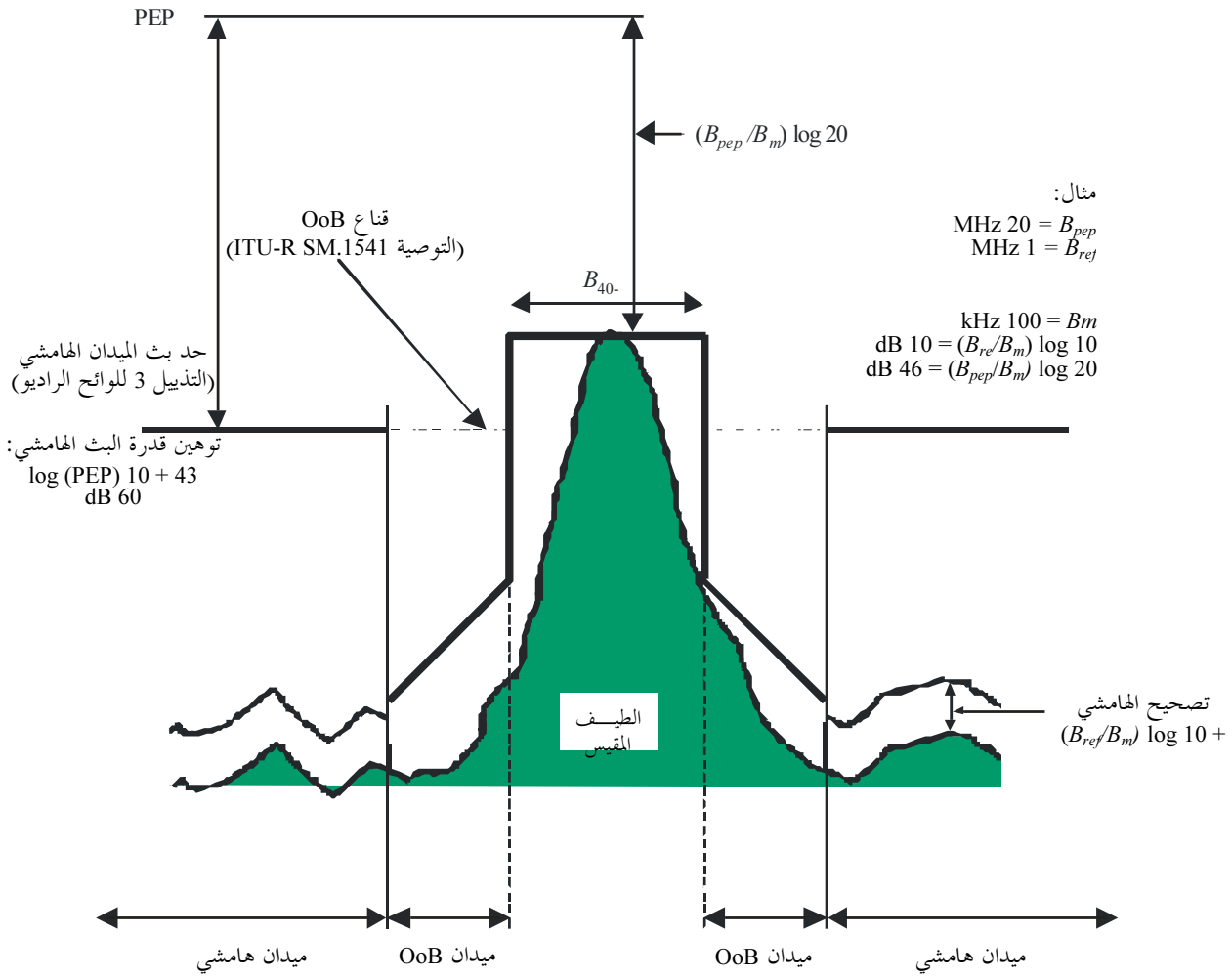
وعادةً ما تغطي أقنعة طيف بثات الرادار مدى سوية يبلغ 60 dB على الأقل، وأحياناً يصل إلى 100 dB. وبافتراض أنه ينبغي أن يكون أدنى سوية للبث غير المطلوب 10 dB على الأقل فوق حساسية المعدات، فإن الأمر يتطلب كحد أدنى مدى دينامياً لتركيز وحدة القياس يتجاوز 70 dB (حتى 110 dB) وهو ما يفوق خصائص مستقبلات القياس أو محللات الطيف المتاحة تجارياً.

ولذلك يتعين القيام بالقياس من خلال مرشاح يكبت البث الرئيسي ويمرر مدى التردد المطلوب بأكمله بدون تخميد تقريباً.

وبالنسبة لبثات الرادار غير المطلوبة، يجوز أن يغطي مدى الترددات التي يتعين قياسها الكثير من MHz. وكثيراً ما يكون مرشاح رفض النطاق (مرشاح الحز) المولف على تردد الرادار الرئيسي غير مناسب لأنه لا يوفر تخميداً "قريباً من الصفر" على مدى التردد بأكمله. وبثات الرادار، ومن ثم مدى التردد، التي يتعين قياسها عادة ما تكون أعلى من GHz 1، فإن المرشاح YIG هو الأنسب حيث يتم موالفته كهربائياً ويعمل كمرشاح تمرير نطاق ضيق. بيد أن استخدام مرشاح تمرير النطاق هذا يتطلب القيام بقياس تدريجي حيث يكون التردد الموالف لمرشاح تمرير النطاق متزامناً مع تردد القياس الراهن للمحلل. ويتم استيفاء هذا الاشتراط على أفضل وجه بواسطة محللات الكنس فيما قد تكون محللات FFT التي تغطي عرض نطاق آني عريض غير مناسبة.

الشكل 5.5-11

مثال لقناع طيف محسوب



ب) مثال لقياس بث غير مطلوب من رادار ما

أخذاً في الاعتبار بالمعلومات الموصوفة في الفقرة 12.4 بشأن قياسات البثات غير المطلوبة، فإن الفقرات التالية تستهدف توفير نظرة عامة عن النهج العام الذي يتعين اتباعه عند قياس بث غير مطلوب على نظام راداري. ويستند هذا المثال إلى القياسات المشعة لرادار في النطاق 5 GHz في الموقع مع توقيف دوران هوائي الرادار.

اعتبارات أولية

أولاً وقبل كل شيء، ثمة احتياج إلى نهج نظري لتحديد وتقييم سلسلة القياس الملائمة.

- الجدول 1 في التوصية ITU-R SM.329 يحدد مدى التردد الذي يتعين النظر فيه (بالنسبة لرادار عند 5,6 GHz ينبغي أن يكون التردد الأعلى للقياس 26 GHz والتردد الأدنى 30 MHz).

والتردد الأكثر انخفاضاً يجبر على استخدام هوائي كبير. وبمراعاة مدى التردد الكبير الذي يتعين تغطيته، فإن ثمة احتياج إلى هوائيي قياس:

- تحدد التوصية ITU-R M.1177 وضعية القياس (1 MHz RBW)، وامتداد القناع المنطبق البالغ 60 dB وخط الحدود بين المجال خارج النطاق والمجال الهامشي.

ويحتاج القناع إلى سلسلة قياس ذات مدي دينامي يبلغ 70 dB على الأقل.

- يوفر الملحق 8 للتوصية ITU-R SM.1541 بعض المبادئ التوجيهية بشأن تحديد عرض النطاق الضروري (يساوي عرض نطاق يبلغ –40 dB). ووفقاً لمعلمات الرادار في هذا المثال، فإن B_{40-} تبلغ 15,5 MHz.

وبعد مراعاة هذه الاعتبارات، من المطلوب إنشاء ميزانية وصلة من أجل العثور على موقع مناسب للقياس، أخذاً في الاعتبار بالقدرة e.i.r.p. المتوافرة ونطاق دينامي يبلغ 70 dB. كما تسمح هذه الميزانية بتحديد كسب هوائيات القياس الضروري. وينبغي الأخذ في الاعتبار بالبيئة أيضاً عند اختيار موقع القياس (عدم وجود عوائق في منطقة فرينل الأولى، وخط البصر إلى هوائي الرادار).

ومع اختيار الموقع، ينبغي إنشاء ميزانية وصلة نهائية من أجل حساب الحد الأقصى الممكن لسوية الإشارة المستقبلة في موقع القياس. وهذه المعلومات مفيدة في عملية مواءمة الزاوية المستمثلة لهوائي الرادار من أجل استمثال مدى القياس.

الجدول 5.5-3

ميزانية الوصلة

القدرة الإسمية للرادار (dBm)	81
كسب هوائي الرادار (dBi)	43,8
e.i.r.p. (dBm)	124,8
فقدان المسير (3,3 كم، فضاء حر) (dB)	117,8
السوية عند مدخل سلسلة القياس (dBm)	7
كسب هوائي القياس عند التردد المركزي للرادار (dBi)	8,5
فقدان الكبل (dB)	6
الحد الأقصى الممكن للسوية عند مدخل المحلل (dBm)	9,5

وإذا ما عرفنا أن الحد الأقصى لقدرة مدخل محلل الطيف النمطي هو +20 dBm (مع الحد الأقصى من التخميد) وأن متوسط سوية الضوضاء المعروض في RBW قدرته 1 MHz هو زهاء - 90 dBm (بدون تخميد)، فإن الموقع يكون قد ثبتت صلاحيته.

وقد تم استحداث برنامج للبرمجيات من أجل هذه القياسات بغية التحكم في محلل الطيف وجمع البيانات. ومبدأ برنامج المراقبة على النحو التالي:

- تشكيل محلل الطيف (1 MHz RBW)، ذروة الكاشف، الاستبقاء الأقصى للتتبع، التوهين (0 dB)؛
- يقسم طيف التردد إلى شرائح كل منها 100 MHz؛
- تقاس كل شريحة بواسطة محلل الطيف بوحدة زمنية متكاملة تبلغ 15 ثانية؛
- بعد كل قياس، تسجل بيانات التتبع بواسطة حاسوب.

القياسات

ينبغي، قبل بدء القياسات، أن يدار الرادار باتجاه موقع القياس. وبغية استمثال توجيه الرادار، يتم القيام بالقياسات على الأساسيات. وينبغي ضبط اتجاه الرادار ليكون أقرب ما يكون من سوية قدرة الرادار الموجودة في ميزانية الوصلة.

ويستند مبدأ القياس إلى:

الخطوة 1: التقاط طيف إشارة الرادار حول ترددها المركزي.

الخطوة 2: القيام بالقياسات من 30 MHz حتى 26 MHz مع فتح إشارة الرادار.

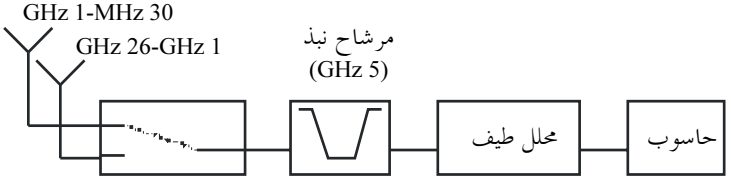
الخطوة 3: القيام بالقياسات من 30 MHz حتى 26 MHz مع غلق إشارة الرادار.

ويتم القيام بالخطوة الأولى باستعمال محلل طيف (توهين إلى أقصى حد، (1 MHz RBW)، امتداد 50 MHz، تردد مركزي وفقاً لأساسيات الرادار، ذروة الكاشف، الاستبقاء الأقصى للتتبع). وبذلك يكون قد تم القيام بأول تسجيل.

ويتم القيام بالخطوتين الأخريين باستخدام برمجيات مستحدثة. وبالنسبة لهاتين الخطوتين، فإن وضعية القياس مبينة في الشكل 12-5.5.

الشكل 12-5.5

هيئة القياس



Spectrum-5.5-12

المعالجة اللاحقة

تتحقق المعالجة اللاحقة في ثلاث خطوات:

الخطوة 1: تصحيح سوية مختلف القياسات.

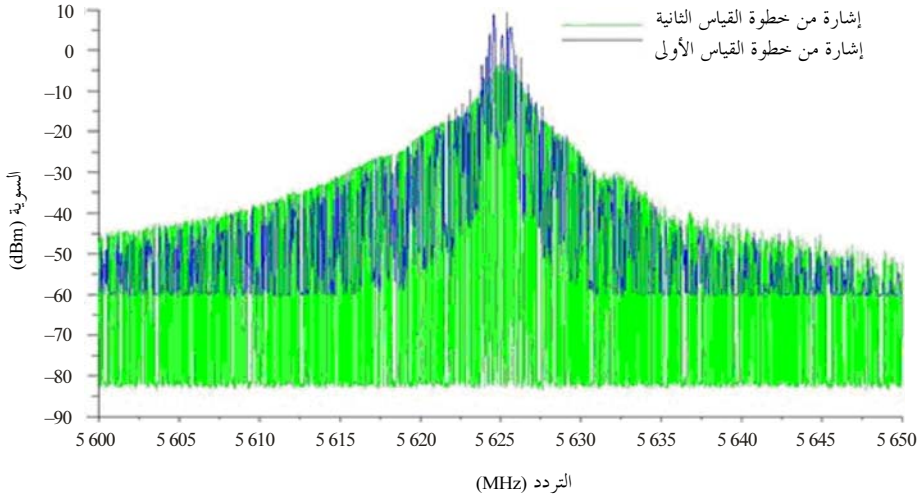
الخطوة 2: عملية التعالق.

الخطوة 3: تطبيق قناع الطيف على إشارة الرادار المقيسة.

وتعمل الخطوة الأولى على المساواة بين جميع القياسات الثلاثة، مع الأخذ في الاعتبار بتوهين المرشاح ومختلف توهينات محلل الطيف. ونتيجة هذه الخطوة الألى مبينة في الشكل 5.5-13.

الشكل 5.5-13

تصحيح سوية التردد المركزي للرادار

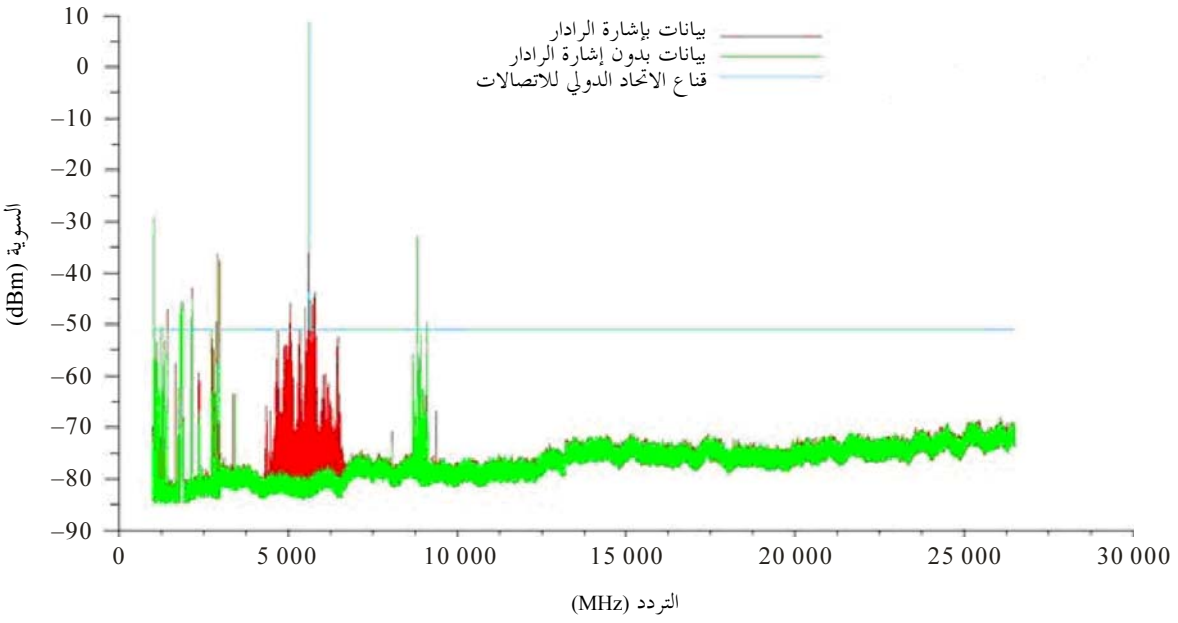


Spectrum-5.5-13

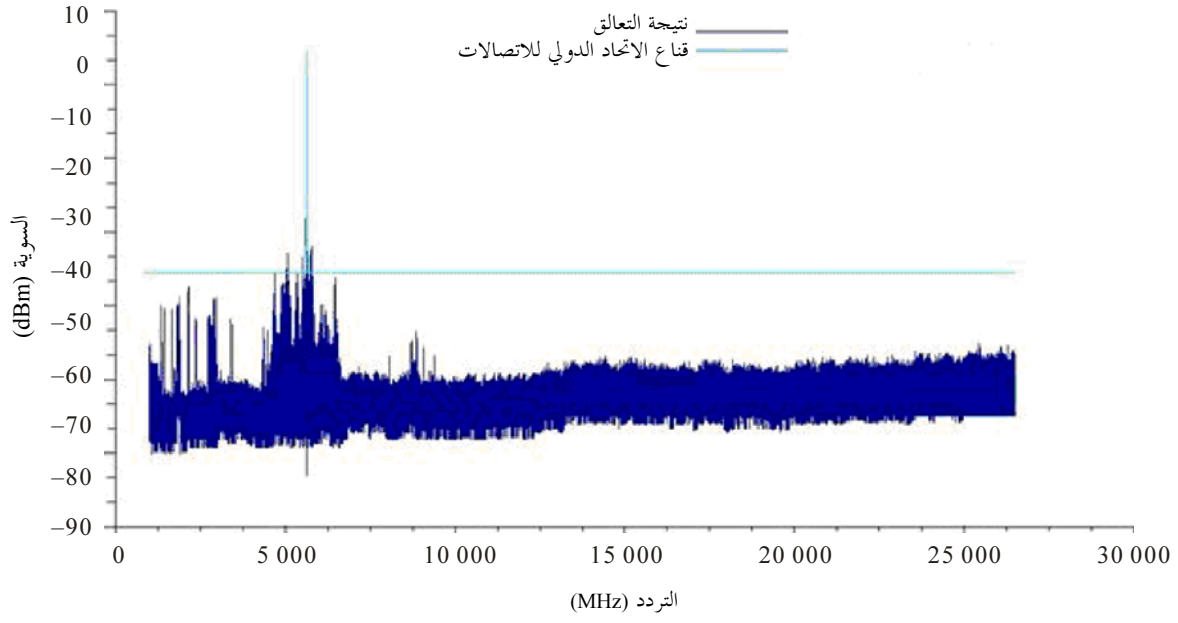
وتطبق عملية التعالق على البيانات المحتازة بواسطة إشارة الرادار أو بدونها. وتحسن هذه الخطوة من المدى الدينامي وينبغي أن تلغي البثات التي لم تنشأ من الرادار. وهذه العملية مبينة في الشكلين 5.5-14 و5.5-15.

الشكل 5.5-14

عملية التعالق



تبيان لسلسلتي جمع البيانات



نتيجة عملية التعالق

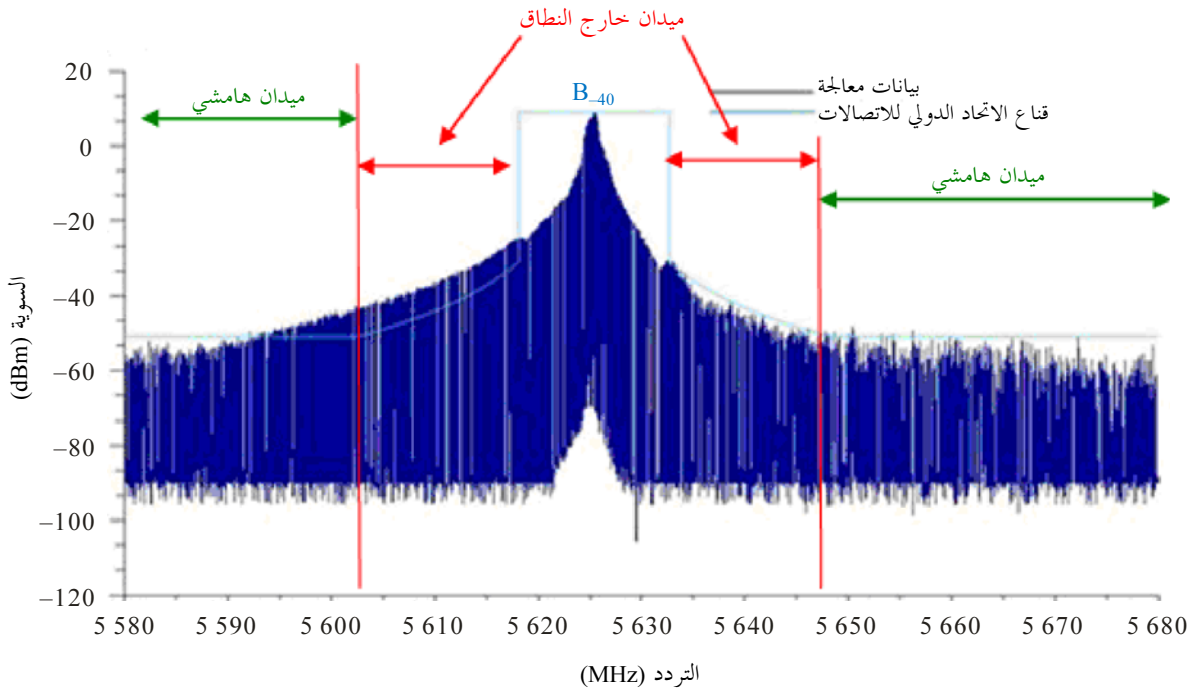
Spectrum-5.5-14

وفي هذه الحالة، لن يمكن إلغاء جميع الإشارات الخارجية. والأسباب المحتملة لذلك أن وقت التكامل يكون قصيراً جداً والوقت الطويل نسبياً بين القياسين 2 و3.

وتتكون الخطوة الأخيرة من تطبيق قناع الطيف على البيانات المعالجة. وهذا مبين في الشكل 5.5-15.

الشكل 15-5.5

قناع الاتحاد الدولي للاتصالات وإشارة الرادار



Spectrum-5.5-15

8.10.5.5 قياس تشكيل طور النبضة

في هندسة الرادار الحديثة يتزايد استخدام انضغاط النبضة لتحقيق استبانة للغرض من نوعية جيدة رغما عن مدى الرادار الأوسع (نبضة طويلة).

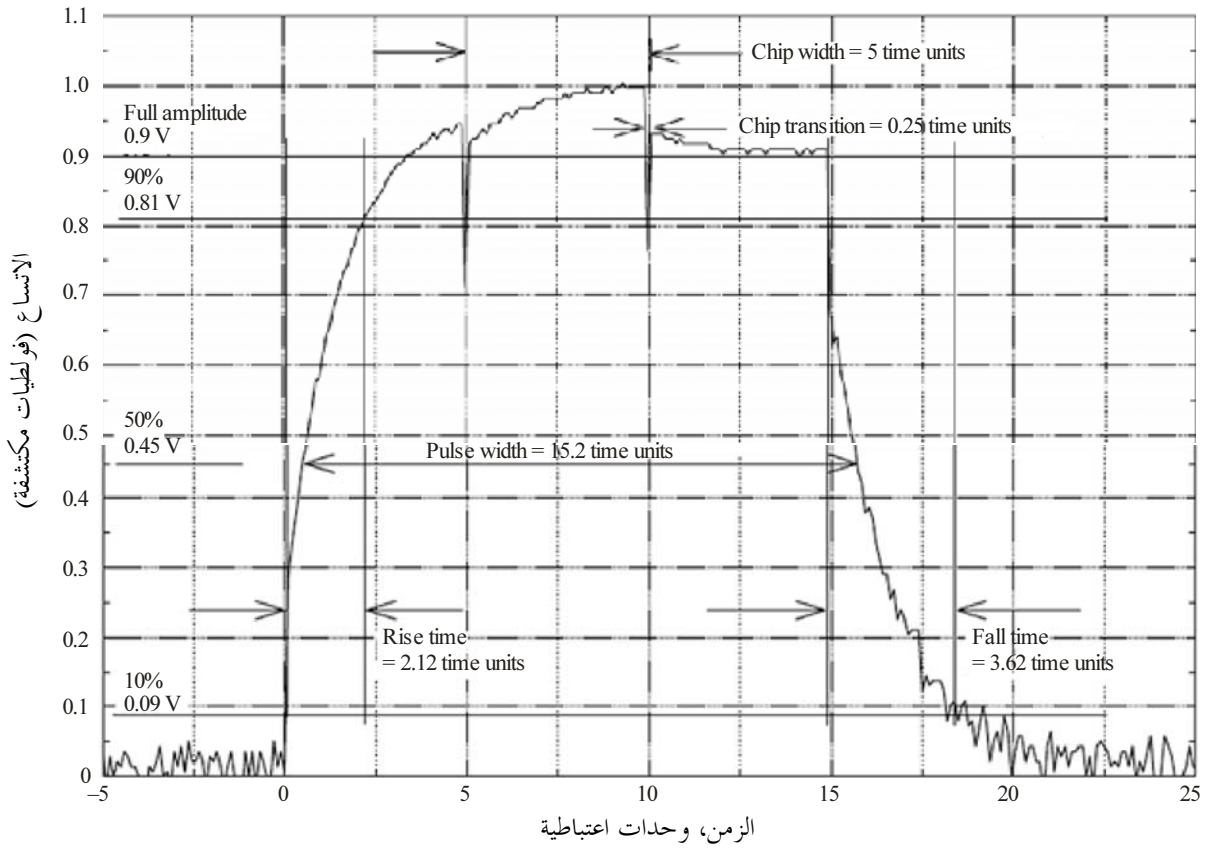
ويمكن تحقيق هذا الانضغاط للنبضة بواسطة تشكيل طور أو FM النبضة.

ويمكن قياس تشكيل النبضة بمحلل إشارة وجهة. وعلى النقيض من محلل الطيف، ففي هذه الحالة لا يعرض الاتساع على مدى التردد فقط وإنما الطور أو التردد على مدى الزمن أيضاً.

وإذا لم يكن هناك الكثير من زحزحة الطور، فإن هذه السمات يمكن قياسها بواسطة كاشف ذبذبة.

الشكل 5.5-16

مثال لنبضة مشكلة الطور



Spectrum-5.5-16

مثال لتشكيل الطور بثلاث زحزحات للطور.

(المصدر: Detection and Measurement of Radar Signals by Frank H. Sanders)

المراجع

Detection and Measurement of Radar Signals, NTIA Institute for Telecommunication Siences, Frank Sanders.

Radar Handbuch Third Edition by Merrill Skolnik.

Radar Measurements Application Note from Agilent.

Spektrum-Analysator-Meßtechnik-Seminar für Hochfrequenz- and Mikrowellentechnik, Hewlett Packard, September 1981.

توصيات قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

ملحوظة: يحبذ في كل حالة استعمال آخر طبعة من التوصية.

التوصية ITU-R M.1177 – تقنيات لقياس البث غير المطلوب لأنظمة الرادار.

التوصية ITU-R SM.1541 – البث غير المطلوب في مجال البث خارج النطاق.

6.5 قياسات الإشعاع غير المتأين

1.6.5 مقدمة

يتواكب الانتشار الهائل للهواتف المتنقلة وتوافر الإنترنت اللاسلكي مع العدد المتزايد من محطات القاعدة. وقد زادت هذه الظاهرة، مصحوبة بالبحوث المستحدثة في العقود القليلة الماضية، من وعي الجمهور بالآثار غير المرغوبة المحتملة للإشعاعات غير المتأينة (NIR) (أنظر الملحوظة 1) التي تبثها محطات القاعدة ومحطات الإرسال الإذاعي، وغير ذلك من النبائط الراديوية التي قد يرتئي أنها خطر محتمل على الصحة العامة. وظلت هذه الظاهرة مثار قلق متزايد لدى جمهور العامة خلال السنوات الخمس الماضية في الكثير والكثير من البلدان.

الملحوظة 1 – يستخدم الاختصار الأكثر عمومية EMF (ميدان كهرمغنطيسي) في العديد من المراجع بشأن هذا الموضوع عوضاً عن الاختصار المستخدم هنا، NIR. وقد تم تفضيل هذا النهج لزيادة توضيح التمييز بين المواضيع المتخصصة المناقشة في هذا القسم وتلك المناقشة في أقسام أخرى من الكتيب، وهي أكثر عمومية من حيث قياسات المجال الكهرمغنطيسي.

وقد أجريت دراسات بشأن هذا الموضوع منذ عام 1974، في الرابطة الدولية للحماية من الإشعاعات، IRPA، تلتها تشكيل اللجنة الدولية للإشعاعات غير المتأينة – INIRC في عام 1977 وأخيراً اللجنة الدولية للحماية من الإشعاعات غير المتأينة – ICNIRP في عام 1992. وقد استخدمت هذه الدراسات في قيام منظمة الصحة العالمية بوضع مبادئ توجيهية عن NIR وتزويد الكثير من البلدان بأساس لإنشاء إطار تنظيمي بشأن هذا الموضوع.

وقد عهدت إدارات كثيرة بإنفاذ اللوائح التنظيمية المتصلة بالحد الأقصى من مستويات NIR الصادرة من نبائط الاتصالات إلى السلطة المسؤولة عن إدارة الطيف مغتنمة ما هو قائم من خبرة في هذا المجال. ومن ثم كلفت دوائر خدمات المراقبة والتفتيش الوطنية بهذه المهمة المتمثلة في قياس مستويات NIR.

ويمكن إجراء قياسات NIR :

- بمصاحبة إصدار ترخيص راديوي؛
- بانتظام، وفقا لخطة ضبط ومراقبة NIR؛
- تبعاً لسبب وجيه، أي تبعاً للمطالب العامة أو الرسمية.

وتعتبر قياسات NIR من ناحية المبدأ مجرد قياسات لقدرة المجال. بيد أن هناك بعض القيود التي يتعين مراعاتها، وتقييم النتائج مختلف. ومراعاة لهذه المواصفات، فإن الفقرة 6.5 توفر دعماً إضافياً لموظفي ومنظمات مراقبة الطيف بشأن كيفية أداء هذه المهمة. وتصف الفقرة المبادئ والمراجع الأساسية للقياسات الموقعية من أجل تقييم الميادين الكهرمغنطيسية بغية مقارنتها مع حدود التعرض البشري. ولا تنطبق تلك المبادئ على الحالات التي يكون التعرض الحرج متمركز بقوة، مثلاً بواسطة هواتف يدوية خلوية بالنسبة للرأس البشرية.

ويمكن الاطلاع على معلومات إضافية هامة عن خصائص الميادين الكهرمغنطيسية وقياساتها (الإجراءات والمعدات) والمقارنة بين التوقعات والقياسات، وأمثلة لقدرات ميادين محسوبة، والحدود والمستويات في توصيات قطاع التقييس في الاتحاد الدولي للاتصالات K.52 وK.61 وK.70 والتوصية ITU-R BS.1698.

2.6.5 حدود NIR وحاصل قسمة التعرض

هناك نوعان للحدود، القيود الأساسية والمستويات المرجعية. والقيود الأساسية متصلة مباشرة بالآثار البيولوجية ولكن أحياناً ما يعبر عنها بالكميات، وهو ما يصعب قياسه (مثلاً، الكثافة الراهنة في الجسم البشري). وتستنبط المستويات المرجعية من القيود الأساسية وتصاغ في كميات يسهل قياسها. والتعريفات الدقيقة على النحو التالي.

القيود المتعلقة بالتعرض للمجالات الكهربية والمغنطيسية والكهرمغطيسية المتغيرة مع الزمن والتي تستند مباشرة إلى تأثيرات صحية مثبتة تعرف "بالقيود الأساسية". وطبقاً لتردد المجال، فإن الكميات الفيزيائية المستخدمة في تحديد هذه القيود هي:

- الكثافة الراهنة (J)؛

- معدل استيعاب طاقة معينة (SAR)؛
- كثافة القدرة (S).

وكثافة القدرة في الهواء، خارج الجسم، هي التي يمكن قياسها وحدها في الأفراد المعرضين.

ويتم توفير المستويات المرجعية من أجل أغراض تقييم التعرض العملي لتحديد ما إن كان من المحتمل تجاوز القيود الأساسية أم لا. وتستنبط بعض المستويات المرجعية من قيود أساسية وثيقة الصلة باستخدام تقنيات قياس و/أو حوسبة، وبعضها يعالج التصور والآثار المعاكسة المبشرة للتعرض إلى EMF.

والكميات المستنبطة هي شدة المجال الكهربي (E) وشدة المجال المغنطيسي (H) وكثافة التدفق المغنطيسي (B) وكثافة القدرة (S). وفي أي حالة تعرض بعينه، يمكن مقارنة القيم المقيسة أو المحسوبة لأي من هذه الكميات مع المستوى المرجعي الملائم.

ومن شأن الامتثال للمستوى المرجعي أن يكفل الامتثال للقيود الأساسية الوثيقة الصلة. وإذا ما تجاوزت القيم المقيسة أو المحسوبة المستوى المرجعي، فإن ذلك لا يستتبع بالضرورة أنه سيتم تجاوز القيود الأساسية.

بيد أنه حينما يتم تجاوز مستوى مرجعي ما فإن من الضروري اختبار الامتثال للقيود الأساسية الوثيقة الصلة والبت فيما إن كان من الضروري القيام بقياسات حمائية إضافية.

وتستنبط المستويات المرجعية المنطبقة على التعرض العمومي العام من حدود أساسية لتعرض البشر للميادين الكهرمغنطيسية المعتمدة من الهيئات المختصة للمقارنة مع الميادين الكهرمغنطيسية المقيسة. وتضمن القياسات الأدنى من المستويات المرجعية أنه سيتم الوفاء باشتراط عدم تجاوز الحدود الأساسية للتعرض.

ويجوز أن تنطبق حدود أكثر تهاوناً لتعرض مهني محدود الوقت. والمستويات المرجعية تعتمد على الترددات ويمكن أخذها من الوثائق الدولية أو الإقليمية أو الوطنية الوثيقة الصلة. وكمثال، أنظر مبادئ ICNIRP التوجيهية المعروضة في الجدول 6.5-1، غير أنه ينبغي أن يكون للوائح التنظيمية الوطنية الأسبقية في هذا الصدد.

ورغم أن المستويات المرجعية مقدمة في صورة قيم فعلية (RMS)، فإن هناك محدوديات لقيم الذروة أيضاً (أنظر الملحوظتين 3 و4 في الجدول 6.5-1). وتكتسب هذه القيم أهمية عندما تصبح نسبة الذروة إلى RMS مرتفعة (مثلاً، إشارات الرادار النبضي).

وحاصل قسمة التعرض عبارة عن نسبة الحد الأقصى المقيس لكثافة القدرة الكهرمغنطيسية أو شدة المجال (شدة المجال الكهربي أو المغناطيسي أو كثافة القدرة) إلى مستوى مرجعي ملائم عند تردد معين. وتفيد قيمة أكبر من "I" أن المستويات التي قد يتعرض لها الناس تتجاوز مستوى مرجعي.

ويجوز انطباق مستويات مرجعية عديدة، ومن ثم حواصل قسمة تعرض عديدة على تردد واحد (مثلاً، المجالين الكهربي والمغناطيسي)، ويجوز تطبيق حواصل قسمة مختلفة في كافة نطاقات التردد ذات الأهمية.

وحاصل قسمة التعرض الإجمالي عبارة عن تلخيص لجميع فرادى حواصل قسمة التعرض للترددات في نطاق تردد مقيس في موقع واحد. وحساب هذه القيمة من فرادى حواصل قسمة التردد معرف في حدود التردد. ويجوز أن تنطبق العديد من حواصل قسمة التعرض الإجمالية (مثلاً، بالنسبة إلى شدة المجال الكهربي والمغنطيسي).

ويمكن الاطلاع أدناه على بعض الأمثلة لحساب حواصل قسمة التعرض الإجمالية المشار إليها في مبادئ ICNIRP التوجيهية.

وفي مدى الترددات التي يكون تأثير التحفيز الكهربائي فيها مهيمناً، يستند حساب حاصل قسمة التعرض الإجمالي إلى شدة المجال مباشرة (أنظر المثال الثاني). وفي مدى الترددات التي يكون التأثير الحراري فيها مهيمناً، يستند حساب حاصل قسمة التعرض الإجمالي إلى مربع قيمة شدة المجال (أنظر المثال الثالث) أو إلى كثافة تدفق القدرة (المثال الأول). ويمكن أن يستشف من المثالين الأخيرين أن مدى الترددات المعنية يتراكب. وفي حالة ما إن كان هناك عناصر طيفية موضوعة في الجزء المشترك من المديين (100 kHz-10 kHz)، فينبغي حساب كلا النوعين من حاصل قسمة التعرض الإجمالي وينبغي أن تكون قيمة كليهما أقل من واحد.

- حاصل قسمة التعرض الإجمالي (أو نسبة التعرض التراكمية) استناداً إلى pfd:

$$\sum_{i=1}^{N} \frac{S_i^{meas}}{S_i^{guid}} = \frac{S_1^{meas}}{S_1^{guid}} + \frac{S_2^{meas}}{S_2^{guid}} + \frac{S_3^{meas}}{S_3^{guid}} + \ldots.. + \frac{S_N^{meas}}{S_N^{guid}} \quad < 1$$

حيث:

S_i^{meas}: pfd المقيسة للمؤشر i

S_i^{guid}: حد pfd للمبدأ التوجيهي المستخدم، في نفس التردد مثل S_i^{meas}

N: العدد الإجمالي للقياسات موضع النظر.

الجدول 6.5-1

ICNIRP 1998: المستويات المرجعية والتعرض العمومي العام لميادين كهربائية ومغنطيسية متباينة الزمن

نوع التعرض	مدى التردد	شدة المجال الكهربائي (V/m)	شدة المجال المغنطيسي (A/m)	كثافة قدرة الموجة المستوية S_{eq} (W/m²)
التعرض المهني	Up إلى 1 Hz	–	2×10^5	–
	Hz 8-1	20 000	$1{,}63 \times 10^5/f^2$	–
	Hz 25-8	20 000	$2 \times 10^4/f$	–
	kHz 0,82-0,025	$500/f$	$20/f$	–
	kHz 65-0,82	610	24,4	–
	MHz 1-0,065	610	$1{,}6/f$	–
	MHz 10-1	$610/f$	$1{,}6/f$	–
	MHz 400-10	61	0,16	10
	MHz 2 000-400	$3f^{1/2}$	$0{,}008f^{1/2}$	f/40
	GHz 300-2	137	0,36	50
الجمهور العام	Up إلى 1 Hz	–	2×10^4	–
	Hz 8-1	10 000	$3{,}2 \times 10^4/f^2$	–
	Hz 25-8	10 000	$4000/f$	–
	kHz 0,8-0,025	$250/f$	$4/f$	–
	kHz 3-0,8	$250/f$	5	–
	kHz 150-3	87	5	–
	MHz 1-0,15	87	$0{,}73/f$	–
	MHz 10-1	$87/f^{1/2}$	$0{,}73/f$	–
	MHz 400-10	28	0,073	2
	MHz 2 000-400	$1{,}375f^{1/2}$	$0{,}0037f^{1/2}$	f/200
	GHz 300-2	61	0,16	10

الملحوظة 1 – f على نحو ما هو مبين في عامود مدى التردد.

الملحوظة 2 – بالنسبة للترددات بين 100 kHz و10 GHz، فإن متوسط الوقت يبلغ 6 دقائق.

الملحوظة 3 – بالنسبة للترددات التي تصل حتى 100 kHz، يمكن الحصول على قيم الذروة بضرب قيمة r.m.s. في $\sqrt{2}(\approx 1{,}414)$. وبالنسبة للنبضات التي تدوم t_p، فإنه ينبغي حساب التردد المكافئ الذي يطبق على أنه $f = 1/(2t_p)$.

الملحوظة 4 – فيما بين 100 kHz و10 MHz، يتم الحصول على قيم الذروة لشدة الميادين بواسطة استقراء من ذروة مضاعف – 1,5 عند 100 MHz إلى ذروة مضاعف – 32 عند 10 MHz. وبالنسبة للترددات التي تتجاوز 10 MHz، يقترح بألا تتجاوز كثافة قوة الموجة المستوية المكافئة للذروة، مأخوذة كمتوسط لعرض النبضة، مقدار 1 000 مرة حد S_{eq}، أو ألا تتجاوز شدة المجال مستويات التعرض لشدة المجال المقدمة في الجدول.

الملحوظة 5 – بالنسبة للترددات التي تتجاوز 10 GHz، فإن متوسط الوقت يبلغ $68/f^{1.05}$ دقيقة (f معرفة بواسطة GHz).

– إجمالي حاصل قسمة التعرض المشار إليه في تأثير التحفيز الكهربائي:

$$\sum_{i=1\ \mathrm{Hz}}^{1\ \mathrm{MHz}} \frac{E_i}{E_{l,i}} + \sum_{i>1\ \mathrm{MHz}}^{10\ \mathrm{MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1$$

حيث:

E_i: المجال E المقيس بتردد i

$E_{l,i}$: الحد المعتمد على التردد

a= 87V/دقيقة للتعرض العمومي العام أو 610V/دقيقة للتعرض المهني.

$$\sum_{j=1\ \mathrm{Hz}}^{65\ \mathrm{kHz}} \frac{H_j}{H_{l,j}} + \sum_{j>65\ \mathrm{kHz}}^{10\ \mathrm{MHz}} \frac{H_j}{b} \leq 1$$

حيث:

E_i: المجال E المقيس بتردد i

$E_{l,i}$: الحد المعتمد على التردد

b= 5 A/دقيقة للتعرض العمومي العام أو 24,4A/دقيقة للتعرض المهني

– إجمالي حاصل قسمة التعرض المشار إليه في التأثير الحراري:

$$\sum_{i=100\ \mathrm{kHz}}^{1\ \mathrm{MHz}} \left(\frac{E_i}{c}\right)^2 + \sum_{i>1\ \mathrm{MHz}}^{300\ \mathrm{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{l,i}}\right)^2 \leq 1$$

حيث:

E_i: المجال E المقيس بتردد i

$E_{l,i}$: الحد المعتمد على التردد

c= $87/f^{1/2}$ V/دقيقة للتعرض العمومي العام أو $610/f$V/دقيقة للتعرض المهني

$$\sum_{j=100\ \mathrm{kHz}}^{1\ \mathrm{MHz}} \left(\frac{H_j}{d}\right)^2 + \sum_{j>1\ \mathrm{MHz}}^{300\ \mathrm{GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{l,j}}\right)^2 \leq 1$$

حيث:

H_j: المجال E المقيس عند تردد j.

$H_{l,}$: الحد المرجعي عند التردد j.

d= $0{,}73/f$ A/دقيقة للتعرض العمومي العام و1,6A/دقيقة للتعرض المهني.

3.6.5 الميادين الكهربية والمغنطيسية

يمكن تقسيم الميادين الكهرمغنطيسية جزئياً إلى مكونين: المجال الكهربائي E (مقاس في V/m) والمجال المغنطيسي H (مقاس في A/m). والمجال E والمجال H مترابطان رياضياً في المجال البعيد، أي أنه تم قياس مكون واحد فقط. وعلى سبيل المثال، إذا ما تم قياس المجال H في الفضاء الحر في تلك المنطقة، فإنه يمكن استخدامه لحساب حجم المجال E وكثافة القدرة S (W/m^2):

$$E = H \times Z_0,\ S = H^2 \times Z_0 \qquad \text{knowing } Z_0 = 377\ \Omega$$

وعلى النقيض من ذلك، فيجب قياس المجال H والمجال E منفصلين في منطقة الميدان القريب المعاد تنشيطه والنظر فيهما مقابل حدود كل منهما.

وعموماً، يعتبر أن الحدود الداخلية للمجال البعيد أنها تقع عند نصف قطر مقداره حوالي 3 λ من موقع جهاز البث (أو $2D^2/\lambda$ إذا كان حجم الهوائي كبيراً بالمقارنة مع طول الموجة λ). ويمكن الاطلاع على تفسير جيد للمجالين القريب والبعيد في التوصية ITU-T K.61.

وإذا لم يكن بالاستطاعة استخدام محساس متناح، مثلاً ينبغي القيام بعدد 3 قياسات بهوائي ثنائي القطب أو هوائي عروي في ثلاثة اتجاهات تعامدية للحصول على مكونات مختلفة للمجال. ويتم الحصول على إجمالي شدة المجال بواسطة التعبير التالي:

$$|E| = \sqrt{|Ex|^2 + |Ey|^2 + |Ez|^2}\ ,\ |H| = \sqrt{|Hx|^2 + |Hy|^2 + |Hz|^2}$$

4.6.5 أجهزة لقياسات NIR

1.4.6.5 مسبارات ومقاييس متناحية عريضة النطاق

المسبارات المتناحية العريضة النطاق نبائط مصممة خصيصاً لتكمية المجالات الكهبائية والمغنطيسية الخطرة. وتتألف تلك النبائط عادة من هوائي مدمج (مجال كهربي أو مغناطيسي) وعناصر كاشفة. وعادةً ما توفر المسبارات العريضة النطاق فولطية تيار مستمر (d.c) متناسبة مع شدة المجال المقيسة.

وتستخدم هوائيات المجال الكهربائي بصفة عامة صفيفات من ثنائيات القطب المقاومة في حين تستخدم المسبارات المغنطيسية صفيفات من العروات. وترتب هذه الهوائيات بطريقة تجعلها متعامدة بشكل مشترك، ومن ثم توفر قراءات عن جميع الاستقطابات والاتجاهات، وتخلق الخصائص شبه المتناحية لهذه المسبارات القادرة على توفير رقم واحد يمثل مستوى الإشعاع الإجمالي الذي يتم استقباله عند موقع محدد.

والمسبارات المتناحية لها كاشفات منفصلة لكل واحد من الأبعاد المكانية الثلاثة. وعادةً ما تطبق ثنائيات مسار شوتكي أو المزدوجات الحرارية لهذا الغرض. ومن الممكن تقسيم مدى دينامي أعرض باستخدام ثنائيات مسار شوتكي وهي توفر مستوى تيار مستمر مناسب لقيمة r.m.s. لإشارة RF فيما تُستخدم في قسم قانون التربيع من خصائصها.

ورغم أن المزدوجات الحرارية أقل في حساسيتها ومداها الدينامي من ثنائيات مسار شوتكي، فإنها توفر دائما قيم r.m.s. صادقة رغماً عن شكل موجة إشارة RF. ولذلك فهي أنسب لقياس إشارات RF ذات الذروة المرتفعة إلى نسبة RMS.

وعادةً ما تتوالف مستويات التيار المستمر المكتشفة الناتجة عن مكونات مكانية مختلفة في الأداة التي يوصل المسبار بها، وإن كانت تحدث في بعض الحالات في المسبار ذاته.

وحيث إن المسبارات العريضة النطاق لا تستطيع أن تميز بين العناصر الطيفية المختلفة فإن المرء يتحصل على نتيجة قياس وحيدة فقط. وتوفر الكاشفات ذات الاستجابة الترددية المنتظمة قيمة شدة المجال الإجمالية في النطاق، إلا أنها ليست مناسبة لقياس حاصل قسمة التعرض الإجمالية. وهناك مسبارات متاحة مجهزة بترددات مبيتة متوقفة على دارات وزن تحقق خصائص الوزن التي يتطلبها معيار محدد. ولا يمكن لهذه المسبارات الموزونة أن توفر سوى قيمة حاصل قسمة التعرض الإجمالي، ولا تعتبر مناسبة لقياس شدة المجال الإجمالية. ويوفر الشكل التالي بعض الرسوم البيانية وصورة لمسبار مجال كهربائي متناح مبني على شريحة سميكة، مثل ذلك الموصوف في Batello, *et al.* [2008].

وفيما يتعلق باستخدام المسبارات والمقاييس المتناحية العريضة النطاق، يمكن للمرء أن يشير إلى الفوائد الرئيسية التالية:

- توفر قراءة سريعة، عادة ما تكون في شكل ⅓ ثانية أو أقل، وتقلل من تعرض الشخص المتناول للمعدة وتسمح باستخدام تقنيات الإطلالات السريعة أو المراقبة المتنقلة.

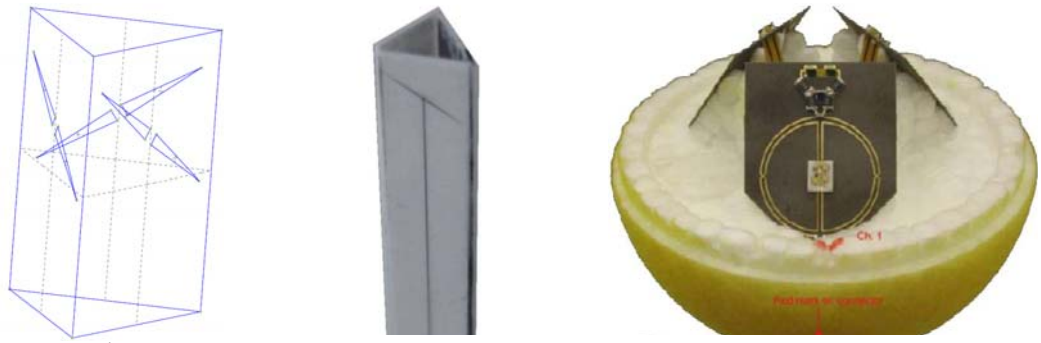
- عادة ما تكون مستخدمة خصيصاً ضد EMF قوية، بما يسمح بتشغيلها بالقرب من مصادر الترددات الراديوية، والمواقع المهمة لقياسات NIR. كما أن الحد الأعلى لمقياس القياسات يكون أعلى، أكثر من 70V/m ويصل في بعض الحالات إلى مئات (V/m)، بما يسمح بتقييم بيئات RF البالغة الخطورة، والنشاط الذي قد يكون ضرورياً لتسوية نزاع بشأن المخاطر المهنية.
- سهلة التشغيل.

ومن ناحية أخرى، ينبغي للمرء أن يعي بالمحدوديات التالية:

- زيادة عدم التيقن بموجب إشارات وأماكن مشكلة بمصادر متعددة عند شتى الترددات، كلما استخدم المسبار كاشفات ثنائيات مسار شوتكي. وكما أشير إليه في الدراسات النظرية [Randa and Kanda, 1985] فإن الخطأ يمكن أن يكون مرتفعاً إلى حد –15 dB حتى +3 dB (عادةً ما يكون أقل من 4 dB). وتؤكد التجارب التي أجريت بمسبارات، على نحو المبين في صحائف البيانات التجارية، أن هذا الخطأ له ميل نحو المبالغة في تقدير القيمة الحقيقية، أي أن القيمة المبينة أعلى من مستوى EMF "الحقيقي".
- تقدم قيمة وحيدة، غير متوقفة على التردد، وهو ما يعني أنه ما لم تكن المعدة مستخدمة في تقييم مصدر وحيد معين فينبغي استخدام الحد الأقل ولا يطبق أي تصحيح للخطأ.
- حساسية منخفضة، نتيجة لخصائص عرض نطاقها، وعادةً ما يكون مستوى الضوضاء في المسبارات المتاحة بين 0,1 V/m و0,8 V/m، ولا يعتبر ذلك مشكلة عندما يكون الحد التنظيمي الأقل الساري على البيئة العمومية العامة يبلغ نحو 28 V/m، كما هو مقترح في ICNIRP ومنظمة الصحة العالمية ، ولكن قد يكون حداً له شأنه إذا ما كانت اللوائح التنظيمية السارية أكثر صرامة. وعموماً، من المستصوب أن يكون مستوى الحساسية أقل بمقدار ثلاث مرات على الأقل من حد التقييم المعتزم.

الشكل 5.6-1

(أ) رسم بياني لترتيب ثنائيات مسار مقاومة من أجل تشكيل محساس للمجال E؛
(ب) صورة لنموذج لمحساس متناح للمجال E؛
(ج) صورة لنموذج لمحساس متناح للمجال H



أ) ب) ج)

Spectrum-5.6-01

ويوصى بأن تتوافق المسبارات المتناحية والمقاييس مع الخصائص التالية:

- تباين الخواص باختلاف المحور يكون أفضل من 1 Db (انحراف عن الخصائص المتناحية المثالية).
- تقييم قيمة متوسط الجذر التربيعي (r.m.s.) لشدة المجال.

- الحد الأقصى لمستوى التشغيل أعلى من أعلى حد تنظيمي ساري داخل نطاق المعدة.
- مستوى الضوضاء أقل من الحد التنظيمي الأدنى الساري داخل نطاق المعدة. والأقل من 10 dB قد يكون الحد الأدنى للمعدة المقبولة. وإذا ما أمكن، ينبغي أن يكون هذا الفارق أكبر.

2.4.6.5 هوائيات ثلاثية المحور ومقاييس شدة المجال

تشير الهوائيات الثلاثية المحور إلى هوائيات مخصوصة مصممة لأداء قياسات إشعاعات غير متأينة في الموقع. وهذه الهوائيات مصممة في العادة كصفيفة من 3 هوائيات متعامدة قصيرة (ثنائية القطب أو أحادية القطب أو عروية). وعوضاً عن الجمع بين إشارات RF من الهوائيات الأولية الثلاث، فإنها توصل تتابعياً إلى منفذ مخرج الهوائي بواسطة وحدة تبديل. ويؤدي مقياس شدة المجال (محلل طيف أو مستقبل قياس) قياسات المجال الكهربائي من مخرج الهوائي بالنسبة لكل مكون مكاني. وقد تمس الحاجة إلى متحكم خارجي مستقل للتحكم في تبديل الهوائي وجمع بيانات القياس من أجل المعالجة اللاحقة موفراً نتيجة وتقارير وفقاً للمعلمات واللوائح التنظيمية المحددة مسبقاً. وثمة حلول متاحة تُكامل بين وحدة تبديل الهوائي وبين المتحكم المستخدم المركب على معدة القياس، بحث يصبح أيسر حملاً وتلاؤماً من أجل الاستخدامات الميدانية.

ويقدم الشكل 2-6.5 مثالاً لنظم القياس تلك مثل الموصوفة في [Gallee *et al.*, 2007].

الشكل 2-6.5

(أ) رسم بياني لنظام يشمل متحكم خارجي يمكن إزالته
إذا ما كان محلل الطيف أو المستقبل يضم وظائف تحكم في الهوائي؛
(ب) رسم بياني يظهر مجموعة من ثنائيات القطب القصيرة المبنية لتوفر خصائص قياس شبه متناحية؛
(ج) صورة لنموذج لهوائي وحيد القطب ثلاثي المحاور



أ) ب) ج)

Spectrum-5.6-02

ومعالجة قياسات شدة المجال الأولية إلى حاصل قسمة تعرض تراكمية، كتلك الموصوفة في الفقرة 2.6.5 ضرورية للسماح بالتقييم الصحيح للقياسات وفقاً لحدود التعرض المنشأة. ومن شأن ذلك أن يزيد من أهمية المهام التي يؤديها المكون إضافة لتلك الموصوفة باعتبارها "متحكم خارجي" وإقرار الصلاحية السليم للخوارزميات المستخدمة لأداء هذا الحساب.

وفيما يتعلق باستخدام الهوائيات الثلاثية المحاور ومقياس شدة المجال، بوسع المرء أن يشير إلى الفوائد الرئيسية التالية:

- توفر قياسات انتقائية للتردد، بما يسمح بالتشغيل على بيئة المستخدم المتعدد (إشارات متعددة) وتقييم مساهمة كل مستخدم للطيف. كما أن عدم التيقن من القياسات يكون أفضل عادة من تلك الملاحظة بشأن المسبارات المتناحية العريضة النطاق، إذ تكون قابلة بصفة عامة للمقارنة مع عدم التيقن الملاحظ في طرائق قياس شدة المجال الموقعية الأخرى.

- توفر حساسية أكبر من المسبارات المتناحية من حيث mV/m بما يسمح بتقييم المواقع الخاضعة للوائح تنظيمية أشد صرامة بكثير من تلك المذكورة في ICNIRP ومنظمة الصحة العالمية.

ومن ناحية أخرى، ينبغي للمرء أن يعي بالمحدوديات التالية:

- وقت احتياز بطيء. ويمكن أداء إطلالة سريعة في ثواني قليلة، بما يسمح باستخدام حريص لطرائق من قبيل التقليب، إلا أن القياسات التي يعول عليها قد يستغرق أداؤها دقائق عديدة. وقد تستغرق المسوح التفصيلية الكاملة لنطاق الطيف بأكمله ما يقرب من ساعة.

- ونتيجة لتبديل المكونات المكانية فستكون هناك أوقات زمنية قصيرة لا يوفر فيها الهوائي الثلاثي المحاور أي ناتج (فترات عمياء). ولذلك فإنه ليس مناسبا لقياسات إشارات RF تشكل فترات ذروة قصيرة (مثلاً، شارات راديوية نبضية).

- رغم أن الهوائي ووحدات التبديل تسخر عادة للاستخدام ضد مجالات EMF قوية، فإن الأمر لا يسري على محللات الطيف ومستقبلات القياس التي لا تستطيع أن تقاوم في العادة، في حدود ضمانات الجهة المصنعة، ما هو أكثر من 10 أو 20 V/m، وتكون في معظم الأوقات دون أقل مستوى عرفته كحد ICNIRP ومنظمة الصحة العالمية. وإذا ما استخدمت الحواسيب الحجرية أو الحواسيب التجارية فقد يتأثر ذلك حتى بأدنى مستويات مجالات EMF.

- وبالنظر إلى وجود تعقيدات أكبر، فقد يكون النظام أكثر عرضة للفشل وبخاصة من جراء مكونات البرمجيات.

3.4.6.5 المحطة القابلة للنقل

أجهزة قياس EMF متاحة في أشكال يتم تشغيلها يدويا (محمولة يدوياً أو تنقلية) وفي نسخ تكون مناسبة للتشغيل الأتوماتي على المدى الطويل. ويشار إلى تلك الأجهزة على أنها محطات قابلة للنقل.

وتم في بعض البلدان (البرازيل وألمانيا وهنغاريا وإسرائيل وإيطاليا وأسبانيا (كاتالونيا))، وبخاصة نتيجة للمطالب العمومية، استكمال مراقبة NIR بإضافة محطة قابلة للنقل، مما يسمح بالمراقبة الطويلة الأجل و/أو "في الوقت الحقيقي" لمواقع محددة، أو كما هو في حالة البرازيل، بإطلالة سريعة فوق مناطق كبيرة بمحطة قابلة للنقل يتم تثبيتها فوق مركبة.

وتتألف المحطة القابلة للنقل من جهاز قياس NIR، مثل المسبارات المتناحية العريضة النطاق أو الهوائيات الثلاثية المحاور ومقاييس شدة المجال، مصحوبة بنظم فرعية داعمة، مثل الإمداد بقدرات خاصة، وتخزين البيانات ووحدة تحكم، وسطح بيني للاتصالات وملجأ ويتم وصف هذه البنود بمزيد من التفصيل في البنود التالية:

- **التغذية بالطاقة الكهربائية**: المسبارات المتناحية والمقاييس سريعة التاثر جداً من الضوضاء المرسلة من خطوط الكهرباء. وكيما تقلل هذه الضوضاء فإن المسبارات المتناحية لا توصل عادة إلى خطوط الكهرباء مباشرة، وتستمد الكهرباء من مصدر تيار مستمر، مثل البطاريات. وبالنسبة للعمليات الطويلة الأجل، مثل تلك المتوقعة لمحطة قابلة للنقل، قد تأتي الطاقة من ألواح شمسية أو تغذية بالطاقة مواءمة بشكل خاص، فيما يتم توفير الطاقة للمسبار بواسطة بطاريات تبديل أتوماتي من وقت لآخر أو بوسائل أخرى، مثل أجهزة الليزر. وعادة لا تخضع المحطات التي تستخدم هوائيات ثلاثية المحاور لتلك المشاكل بسبب استخدامها لمرشاحات قبل محساس RF تقلل من التداخل من تلك المصادر.

- **تخزين البيانات ووحدة التحكم**: تعتمد معظم المحطات على نوع ما من وحدات تخزين البيانات والتحكم. وبالنسبة لبعض الأنظمة ذات الهوائيات الثلاثية المحاور، عادة ما يتمثل ذلك في حواسيب صناعية، حيث إن مهام التحكم والمعالجة أكثر تحذيقاً وأن حجم البيانات أكبر. وبالنسبة للأنظمة التي تستخدم مسبارات متناحية، قد يكون هذا القسم أبسط بكثير؛ وفي الحقيقة فإن معظم المقاييس المحمولة الحديثة تضم خصائص

ذاكرة ومعالجة للقيام بمهمة المحطة المتنقلة. وفي كلتا الحالتين، من المتوقع أن يكون مثل هذا النظام قادرا على تخزين ما يكفي من البيانات لكي يعمل حتى أسبوع بدون اتصالات أو مساعدة.

- **السطح البيني للاتصالات**: يقصد بالمحطات المتنقلة أن تعمل على جمع مقاييس طويلة الأجل، لكنها تستخدم في حالات كثيرة أيضاً لتوفير مقاييس "وقت فعلي" للسكان العموميين. وكيما تؤدي هذه المهمة، يلزمها نوع ما من السطح البيني للاتصالات. ويمكن أداء ذلك بسهولة في معظم الأوقات، نظراً إلى صغر حجم المعلومات التي يتعين إرسالها، باستخدام الشبكة اللاسلكية العمومية. ولتجنب التداخل في القياسات، فإن وحدة التحكم تقوم بالقياسات وإرسال البيانات في العادة في تتابع وعلى فترات منتظمة، ومثلاً 6 دقائق للقياس + دقيقة واحدة لإرسال البيانات.
- **الملجأ**: وحيث إنه يقصد بالمحطات المتنقلة أن تركب في بيئات خارجية، فينبغي حمايتها على الوجه الصحيح من الرطوبة والحرارة والبرد والسرقة.

وفي حالة البرازيل، جهزت المحطة أيضاً بمستقبل GPS، مما يسمح عندئذ بتركيبها وتشغيلها في مركبة. ويمكن استخدام تلك المحطة لتوفير إطلالة سريعة على منطقة كبيرة، حيث تسير ببطء خلالها، ويمكن أن توفر معلومات عن مواقع معينة، بمجرد ترزيم المركبة.

وعلى أي حال، لا تلغي المحطات المتنقلة، بسبب حجمها الكبير، الحاجة إلى نبائط محمولة من أجل توصيف موقع ما على النحو الصحيح. وأحياناً ما تمس الحاجة أيضاً إلى معدات محمولة للقيام بتفتيش أولي وتحديد المكان الذي تركب فيه تلك المحطة.

4.4.6.5 استعمال معدات معيارية لقياس شدة المجال

من الممكن استعمال معدات معيارية لقياس شدة المجال لأداء قياسات NIR، بما في ذلك محطات مراقبة الطيف، كتلك التي تم وصفها في فصول أخرى من هذا الكتيب. وينبغي القيام بذلك بحرص، EMF القوية المتوقعة يمكن أن تلحق الضرر بأنظمة أكثر حساسية مثل هذه الأنظمة، وعلى أي حال، ينبغي للمرء أن يراعي النقاط التالية:

- نظراً إلى حجم الهوائي الأكبر، فمن غير المتيسر القيام بقياسات المجال القريب بهذه المعدات.
- كلما كانت المجالات القوية متوقعة فينبغي للمرء أن يستخدم موهنات لإبقاء مستوى الإشارة الصادرة من الهوائي في المدى التشغيلي لأداة القياس.
- ينبغي أداء القياس وحوسبته بمراعاة جميع الاستقطابات والاتجاهات وفقا لمختلف المصادر المأخوذة في الاعتبار.

ومن الممكن أن يكون الوقت المستغرق في أداء قياسات NIR في بيئة معقدة بمعدات معيارية أكبر بمقدار 4 إلى 8 مرات من وقت أداء نفس المهمة بهوائي ثلاثي المحاور، مع الأخذ في الاعتبار فقط بالوقت المطلوب لتكرار القياسات في اتجاهات واستقطابات مختلفة. ويمكن تبسيط ذلك بأن يتم قياس الاتجاهات والاستقطابات المستخدمة بالفعل فقط، إلا أن ذلك يتطلب حرصاً أكبر عند الاستعداد للقياس وفي وضعية الجهاز.

5.6.5 إجراءات القياس

يقدم القسم التالي مبادئ توجيهية أساسية يمكن استخدامها في أداء قياسات مستويات الإشعاعات غير المتأينة.

1.5.6.5 اختيار موقع القياس

ينبغي اختيار موقع القياس بحيث يمثل أعلى مستوى تعرض قد يجابهه الشخص، مع بمراعاة أوضاع الهوائيات المجاورة. ويمكن العثور على هذه المواقع بواسطة "التحقق السريع" باستخدام معدة قياس، أو بواسطة حسابات تستند إلى الانتشار النظري من هوائيات مجاورة.

ويمكن الاطلاع على تفاصيل عن إجراءات الحساب في توصيتي قطاع التقييس في الاتحاد الدولي للاتصالات K.52 وK.70، اللتين تشملان برنامجية EMF-estimator، وهي واحدة من التطبيقات التي يمكن استخدامها لتقدير التعرض التراكمي في منطقة مجاورة لمحطة مرسلة.

وعادة ما يمكن للنهج النظري أن يوفر كثيراً من الوقت، مما يسمح باختيار المنطقة الوثيقة الصلة قبل أي جولة استطلاعية كما أن من المهم ملاحظة أن هذا التعيين للحدود مسألة حرجة بالنسبة لنوعية النتائج، الجمع ما بين مرسلات مختلفة بأنماط هوائيات بث متباينة قد يجعل من الصعوبة القيام بتقييم يستند إلى الخبرة التقنية فقط للشخص القائم بالاختبارات.

كما أن من المهم التأكيد على أن الحاجة إلى القياسات يمكن استبعادها في معظم المواقع العامة عندما يرتأى أن النتائج المتحصل عليها من الحسابات النظرية أدنى بكثير من حدود العتبة المنشأة، وهو ما يزيد من أهمية توافر أدوات المحاكاة واستخدامها لتقليل عدد مهام القياس التي يتعين أداؤها.

والبديل التجريبي الذي سبق وصفه بأنه "التحقق السريع"، والمعروف أيضاً باسم "طريقة التقييم التحريكية"، يتألف من استخدام مسبار يؤدي مسحا سريعا لتعيين النقطة المحتملة للحد الأقصى من التعرض، ويفضل أن يكون ذلك داخل منطقة محددة الأبعاد.

وبموجب هذه الطريقة، ينبغي للمسبار أن يتحرك ببطء في كافة أنحاء تلك المنطقة، متجنبا القرب الوثيق من أي سطح معدني وكذلك من جسم المشغِل، متحركاً بخفة من ارتفاع يبلغ حوالي 1,1 متر إلى 1,7 متر من الأرضية. وينبغي أن يكون هذه الحركة الكانسة متوافقة مع وقت احتياز المسبار المستخدم. وينبغي اختيار المكان الذي يلاحظ فيه أن القيمة الآنية أعلى من أجل إجراء تقييم تفصيلي تبعاً للإجراءات المذكورة في الأقسام التالية.

وهذه الطريقة هامة لأن طرق الحساب ستحد من منطقة التحريات إلى عدة أمتار مربعة قليلة فقط، مثل سطح مبنى أو شقة ما، ولكن ينبغي للشخص المسؤول عن الاختبارات أن يضيق هذه المنطقة إلى نقطة محددة حيث توضع الأجهزة من أجل القياسات المذكورة في الأقسام التالية.

2.5.6.5 موضعة الأجهزة وتقدير متوسط القيم

ما أن يتم اختيار موقع محدد للقياس، ينبغي تركيب محاسيس أشعة RF أو تركيب هوائيات على حامل ثلاثي القوائم توصيلي من أجل تقليل التشويش من المجال الكهرمغنطيسي. وينبغي للأفراد أن يتراجعوا لنفس السبب بعيدا عن الهوائي أثناء القياسات.

وإذا ما كان الموقع المختار داخل منطقة المجال القريب المتوقع، فإنه ينبغي قياس كل من المجالين الكهربائي والمغنطيسي، على النحو المناقش في الفقرة 3.6.5. ويتم ذلك باستخدام مسابير أو هوائيات متميزة. ويمكن قياس المكون الكهربائي (E) للمجال الكهرمغنطيسي بسهولة باستخدام هوائيات مناسبة، مثلاً ثنائي القطب، ثنائي المخروط، لوغاريتمي دوري، إلى آخره، ويقاس المكون المغنطيسي (H) للمجال الكهرمغنطيسي عادة بهوائي عروي:

- لتقليل آثار التوزيع غير المتماثل للمجال الناجم عن الانتشار المتعدد المسيرات، ويوصى أيضاً بأداء تقدير لمتوسط قيم القياسات، مثلاً 3 نقاط عند ارتفاعات تبلغ 1,1 متر و1,5 متر و1,7 متر، على نحو ما هو مقترح كمرجع أساسي في توصية قطاع التقييس بالاتحاد الدولي للاتصالات K.61.
- ويتعين اختيار وقت القياس أيضاً وفقا للمبادئ التوجيهية للتعرض الوثيقة الصلة، مثلاً 6 دقائق في مبادئ ICNIRP التوجيهية. وينبغي للمرء أن يعي بأنه رغم أن المبادئ التوجيهية الراهنة تنشئ فترة زمنية واحدة لتقدير متوسط القيمة، فإنه ينبغي في حقيقة الأمر تعديل تلك الفترة وفقاً لخصائص الإشارة ومعدات القياس المستخدمة، ومثلاً تكييف التشكيل ودورة واجب الموجة الحاملة قيد النظر مع وقت الكنس والمكشاف المستخدم.

3.5.6.5 تحذيرات بشأن المجالات الكهربائية أو المغنطيسية القوية

عندما يتعين قياس مجالات كهرمغنطيسية قوية، يتعين اتخاذ تدابير سلامة لمنع تعرض الموظفين للإشعاعات. وقد تكون التنبؤات بشدة المجال واستخدام معدات حماية من الإشعاعات وتعاليم العمل الصريحة بمثابة أدوات ملائمة لكفالة ظروف عمل آمنة.

ويتعين التحقق من مناعة المعدات، وبخاصة المستقبلات أو محللات الطيف، وإذا لزم الأمر، يتعين استخدام مسبارات مزودة بمناعة أفضل ضد الإشارات القوية.

كما ينبغي للمرء أن يضمن مناعة معدات الدعم الضرورية، مثل الحواسيب المسؤولة عن أتمتة القياسات، EMF القوية قد تتسبب في أعطال متقطعة في هذه المعدات قد تتداخل مع القياسات.

4.5.6.5 استخدام مسبارات ومقاييس عريضة النطاق

ينبغي تطبيق هذه الطريقة عندما:

- يكون المستوى الإجمالي للإشعاعات غير المتأينة مطلوباً فقط، أي لا يحتاج المرء إلى معرفة المساهمات المستقلة لكل مصدر يعمل على ترددات مختلفة، أو يوجد مصدر رئيسي وحيد فقط ناشط في الجوار يتعين مراعاته؛
- شدة المجال الإجمالية المتوقعة والمعطاة بواسطة هذه الطريقة لا تتجاوز أقل مستوى مرجعي توجيهي لنطاق التردد المتحرى عنه؛
- تكون أرضية ضوضاء الجهاز 10 dB على الأقل دون أقل مستوى مرجعي توجيهي لنطاق التردد المتحرى عنه.

ويجب أن تغطي المسبارات نطاق التردد المقصود بالكامل، وإذا ما اقتضى الأمر فقد يحتاج الأمر إلى مسبارين أو أكثر. وإذا ما حدث ذلك، فتحسب النتيجة النهائية باستخدام القيم المقدمة من كل مسبار وفقاً للصيغة التالية:

$$E = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} E_i^2} \quad \text{or} \quad H = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} H_i^2}$$

حيث n هي عدد المسبارات وE_i أو H_i القيم المتحصلة بواسطة فرادى المسبارات. وكلما استخدمت مسبارات متعددة عريضة النطاق، فقد تكون النتيجة مبالغاً في قيمتها إذا كانت نطاقات تردد المسبار متراكبة.

وإذا ما كان هناك مصدر وحيد وثيق الصلة، أي مرسل قصير الموجة في موقع نائي، يمكن تطبيق تصويبات معينة للترددات تستند إلى عوامل معايرة للمسبار من أجل تحسين نوعية النتائج.

وإذا ما كانت النتائج المتحصلة قريبة من أقل مستوى توجيهي منطبق (في نطاق عدم تيقن القياسات)، فينبغي أداء تقييم انتقائي للتردد. ويعتبر ذلك حرجاً بوجه خص من أجل إشارات لها مخططات تشكيل معقدة، حيث قد توفر المسبارات العريضة النطاق المجهزة بكاشفات شوتكي ثنائية المسار أرقاماً غير صحيحة، مثل ما سبق وأن نوقش.

5.5.6.5 اعتبارات عامة بشأن التقييم الانتقائي للترددات

ينبغي تطبيق التقييم الانتقائي للترددات عندما تكون مستويات الإشعاعات غير المتأينة مطلوبة من ترددات داخل النطاق الممسوح.

ويتم القيام بتقييم انتقائي للترددات على أفضل وجه باستخدام مستقبل أو محلل طيف مزودان بالطاقة من بطارية خفيفة الوزن.

وحيث إنه يتعين تشغيل المستقبلات أو المحللات في مجالات كهرمغنطيسية قوية، فإن النطاق الدينامي الجيد وأداء التشكيل البيني ضروريان للحصول على نتائج يعول عليها وقابلة للتكرار.

وينبغي استخدام هوائيات خفيفة الوزن ومتينة وكوابل تغذية عالية الجودة. وأنواع الهوائيات المفضلة هي:

- مسبار انتقائي ثلاثي المحاور.

- عروة مغنطيسية من أجل HF.
- هوائي عريض النطاق وثنائي القطب أو هوائي لوغاريتمي دوري (مغلف).
- هوائي ثنائي المخروط.
- هوائيات اتجاهية (تستخدم عندما يكون هناك مساهم رئيسي واحد ومستويات لا يعتد بها من البثات الأخرى).

وبالنسبة للترددات الأدنى، وبالأخذ في الاعتبار بطول الموجات الهامة، ينبغي اختيار هوائيات كهربائية صغيرة.

ويجب أن يكون الحد الأدنى للمسافة بين الهوائي وأي عائق في اتجاه المرسل (مثلاً، حائط أو ارتفاع أرضي) 1 λ على الأقل. وينبغي لقياسات ترددات أقل من 600 MHz بارتفاع مقداره 50 سم فوق سطح الأرض أن تستخدم هوائيات عريضة النطاق أو مغنطيسية صغيرة مكهربة أو كهربائية بدلاً من الهوائيات الثنائية القطب. وينبغي للأفراد أن يتراجعوا بعيداً عن الهوائي أثناء القياسات، والتي ينبغي أن تركب فوق حامل ثلاثي الأرجل غير موصل من أجل عدم التشويش على المجال الكهرومغنطيسي.

والتحكم بالبرامجيات سمة ضرورية للمستقبل/المحلل بالنظر إلى كمية البيانات الضخمة التي يتعين جمعها أثناء المسح. وينبغي أن تسمح البرامجيات بتصويب عوامل الهوائي وخسارة الكبل على نطاق التردد. كما أن استخدام أتمتة للبرامجيات يسمح باستخدام تجهيزات مختلفة وفقا لشتى الخدمات التي تجري مراقبتها، وينبغي تفضيل هذا البديل على الدوام.

6.5.6.5 التقييم العام بين 9 kHz و6 GHz

يوجد في الطيف بأكمله مزيج من المصادر العريضة/الضيقة والتناظرية/الرقمية والمستمرة/المتوقفة لها خصائص إشارة مختلفة بشكل واسع. ومن ثم فإن نطاق القياس يكون توفيقياً. ونقدم في هذا القسم تشكيلاً نوعياً يمكن استخدامه بين 9 kHz و6 GHz كلما كان تشكيل خدمة معينة غير قابل للتطبيق، أو غير وثيق الصلة، أو غير معروف، ويكون التقييم العام فقط هو المطلوب.

والوضعيات المذكورة أدناه مناسبة للتقييم العام أو للإطلالة السريعة عن الطيف تبعا للمكشاف المستخدم. ومكشاف الذروة المزود بأقصى استبقاء مفيد في العثور على كل مصادر الإرسال ولكن حاصل قسمة التعرض الإجمالي النهائي المحسوب عادة ما يكون مبالغاً فيه في هذه الحالة. وبالنسبة للتقييم العام لحاصل قسمة التعرض الإجمالي، ينبغي استخدام مكشاف RMS من أجل الحسابات الدقيقة.

وفي الحقيقة، يفضل، كلما أمكن، أن تكون معلمات التشكيل مواءمة طبقاً للبثات المتوقعة، أي باستخدام عرض نطاق وأزمنة كنس تضاهي تشغيل الخدمة في كل نطاق فرعي للترددات.

ويرد وصف لبعض أمثلة تشكيلات معظم الخدمات الشائعة في الأقسام اللاحقة.

ونحن نرتئي أن من المهم إبراز حقيقة أن الاستخدام الصحيح لتشكيلات الخدمة المحددة لن يوفر فقط نتائج أكثر دقة، ولكنه يوفر أيضاً تشغيلاً أكفأ للوقت، عدد القنوات عادة ما يقلل، على سبيل المثال، أخذاً في الاعتبار فقط بقنوات التحكم بالنسبة للخدمات المتنقلة أو باستخدام قياس قدرة القناة بالنسبة للأنظمة العريضة النطاق.

وأخذاً بذلك الأمر في الحسبان، فإن النهج المستصوب بأكثر من غيره للتقييم الأولي لموقع مجهول هو الجمع بين عمليات الكنس ذات تشكيل خدمة معين وبين كنسات تقييم عام على النحو المبين أدناه.

وباستخدام هذا النهج، يمكن الحصول على نتائج أكثر معولية في النطاقات التي يوجد فيها انشغال أكبر بشأن مستويات NIR، مثل تلك المخصصة لخدمات الاتصالات العريضة النطاق والشخصية.

ومن ناحية أخرى، فعندما لا يكون لتعقيد تلك التشكيلات التفصيلية ما يسوغه بالنظر إلى الأسباب المذكورة بالفعل، فإنه يمكن الحصول على نتائج تمثيلية.

وينبغي للمرء أن يحاول التوصل إلى حل وسط مقبول بين نوعية القياسات وكنس كامل للطيف.

وقد يكون للكنس الكامل للطيف أهميه من أجل كشف البثات، مثل تلك الصادرة من محطات غير مرخصة و/أو من نبائط صناعية وعلمية وطبية (ISM).

وضعيات المستقبلات ومحللات الطيف

- ثبت أن عرض النطاق/حجم الخطوة التالي ملائم:

MHz 30-kHz 9	BW = 9 kHz أو 10 kHz	بحجم خطوة يبلغ 10 kHz
GHz 3-MHz 30	BW = 100 kHz	بحجم خطوة يبلغ 100 kHz
GHz 6-GHz 3	BW = 1 MHz	بحجم خطوة يبلغ 1 MHz

وقت كمون المستقبل ≤ 0.1 ثانية.

- بالنسبة لمحللات الطيف، يمكن استخدام وضعيات عرض النطاق/ الكنس التالية:

MHz 30-kHz 9	BW = 10 kHz	بوقت كنس يبلغ 50-100 دقيقة
MHz 300-MHz 30	BW = 100 kHz	بوقت كنس يبلغ 100 دقيقة
GHz 3-MHz 300	BW = 100 kHz	بوقت كنس يبلغ 700 دقيقة وثانية واحدة
GHz 6-GHz 3	BW = 1 MHz	بوقت كنس يبلغ 700 دقيقة وثانية واحدة

والحد الأقصى لاستبقاء مكشاف الذروة من أجل إطلالة سريعة أو مكشاف RMS من أجل التقييم العام على النحو الذي تمت مناقشته آنفاً.

- يختار مستوى العتبة دون 40 dB المستوى المرجعي. وإذا لم تتجاوز أي بثة مستوى العتبة في نطاق تردد فإنه يمكن الإبلاغ عن أعلى بثتين على أنهما بثات مرجعية.

- استقطاب الهوائي: تتم القياسات بواسطة هوائي القياس بطريقة تكشف مكونات شدة المجال بالنسبة لجميع الاتجاهات المكانية.

7.5.6.5 الإشارات الأعلى من 6 GHz

تستخدم الهوائيات الاتجاهية عادةً، أي هوائيات الأبواق والأطباق والخوارزمية الدورية. وتتم القياسات وفقاً للخطوات التالية:

- اضبط التردد المركزي في كل قناة من البث باستبانة مساوية (إن أمكن، وإلا أكبر) لعرض نطاق القناة.
- اختر مكشاف RMS.
- ينبغي أن يسدد الهوائي إلى المرسل (الإشارة القصوى) باستقطاب ملائم. ولأسباب عملية، يتم تجاهل الانعكسات المحتملة.

8.5.6.5 الرادار والبثات النبضية

بالنسبة لهذا النوع من الإشارات، يتم حمل الطاقة في انفجارات قصيرة. وعادةً ما تكون النبضة قصيرة بالمقارنة مع الوقت الفاصل بين النبضات.

وهناك تنوع كبير في الرادارات، ولا سيما بالنسبة لتطبيقات الطيران. وهذه التطبيقات لها خصائص متباينة جداً، وتكون في المعهود في ترددات بين 100 MHz و95 GHz وبقدرة ذروة تتراوح بين 1 W و50 MW.

وقد يكون هناك حدود إضافية بشأن قدرة الذروة وثيقة الصلة بالأنظمة الرادارية. وعلى سبيل المثال، ينبغي ألا تتجاوز قدرة الذروة المستوى المرجعي بمعامل يبلغ 30 dB وفقاً إلى EU 1999/519/EC ولا يكون متصلاً بخصائص نبضة الرادار.

ومن ثم، فإن القيم التي يتعين تقييمها بالنسبة لشدة المجال الكهربائي والمغنطيسي هي قيم الذروة وقيمة .r.m.s للمجال النبضي.

وبالنسبة لتقييم قيمة الذروة، ينبغي أن يكون الإجراء متوافقا مع الخطوات التالية:

- اختر مرشاح عريض النطاق بما يكفي للقيام بالقياسات على فترة أقصر من النبضة. وفي حالة النبضة غير المشكلة، فإن عرض نطاق مرشاح يبلغ $\tau/4$ حيث τ هي فترة النبضة، كاف لالتقاط 99% من شدة الإشارة.
- اختر أسلوب إيجابي لكشف الذروة.
- اختر أسلوب حد أقصى للاستبقاء من أجل دوران واحد أو عدة دورانات للرادار إلى أن تصبح الإشارة مستقرة.
- اختر امتداد صفري يتمحور حول تردد البثة.

وبالنسبة لتقييم شدة المجال .r.m.s، من الضروري معرفة الخصائص الزمنية للإشارة واستنباط القيمة المتوسطة من قيمة الذروة أو قياس متوسط الإشارة بأسلوب RMS.

يتعين القيام بقياسات مخصوصة، بسبب حركة الحزمة في السمت والارتفاع، من أجل قياس الإشارة على النحو الصحيح.

9.5.6.5 الإشارة المتقطعة

إذا كانت المعلمات التقنية للإشارة غير معروفة، فإنه يتم القيام بالقياسات وفقاً للخطوات التالية:

- اضبط التردد المركزي على كل قناة بث باستبانة مساوية (إن أمكن وإلا فأكبر) لعرض نطاق القناة.
- تحقق من كل من .r.m.s وقيم الذروة وضع في اعتبارك أكثرها حرجاً وفقاً للملحوظة 4 للجدول 6.5-1.

10.5.6.5 GSM

رغم أن الهدف من قياسات EMF في العادة هو اكتشاف قيم التعرض الفعلية، فإنه ينبغي في بعض الأحيان استقراء الحدود القصوى الممكنة في جوار محطة القاعدة.

وتتألف الإرسالات من هذه الأنظمة من وحدة تحكم دائم واحدة، مثلاً قناة BCCH في أنظمة GSM 900/1 800، وقنوات حركة (n-1) حيث تكون n العدد الإجمالي لقنوات محطة القاعدة. ومن ثم فإن إجمالي القدرة يعتمد على حمولة الحركة.

ويمكن استخدام الإجراء التالي لتقدير الحد الأقصى الممكن للحركة ومن ثم القدرة القصوى:

- عرف قناة التحكم الدائمة.
- اضبط التردد المركزي على قناة التحكم المركزي باستبانة مساوية (إن أمكن وإلا فأكبر) لعرض نطاق القناة.
- اختر كاشف ذروة.
- اختر أسلوب للحد الأقصى للاستبقاء.
- قس $E_{control\ channel}$.
- حدد عدد قنوات محطة القاعدة. وقد يكون ذلك صعباً في حالة قفزات الترددات.
- وحينئذ يمكن حساب الاستقراء إلى الحركة القصوى بواسطة:

$$E_{max} = E_{control\ channel} \times \sqrt{n_{transmitters}}$$

- وإذا ما كان يتم تشغيل قنوات الإرسال في محطة القاعدة بمستويات قدرة مختلفة، فينبغي استخدام التعبير التالي:

$$E_{max} = E_{control\ channel} \times \sqrt{\frac{P_{total}}{P_{control-channel}}}$$

حيث تكون:

P_{total}: القدرة الممكنة القصوى لمحطة القاعدة.

11.5.6.5 بثات واسعة النطاق (تلفزيون تماثلي/رقمي؛ شبكات رقمية...)

معدة القياس هي نفسها المستخدمة في إجراءات القياس العام. وتتطلب بعض أنواع البث، وعلى الأخص الإشارات النبضية وبثات UWB، استخدام محلل ميدان الزمن من أجل التحليل المسبق للإشارة ومواءمة وضعيات القياس تبعاً لذلك.

وبالنسبة لهذه الأنواع من البثات، قد يكون من الصعب الحصول على استبانة مساوية لعرض نطاق البثات، ولذا ينبغي أن يكون الإجراء وفقاً للخطوات التالية: اختر مرشاح استبانة أدنى وقم بحساب تراكمي أخذاً في الاعتبار بشكل مرشاح الاستبانة.

وهذا النوع من العمليات معروف باسم أسلوب "قدرة القناة" وتوفر الكثير من محللات الطيف هذه السمة كأداة قياس معياري أو اختياري.

12.5.6.5 أنظمة CDMA (UMTS...)

يمكن القيام بالاستقراء أيضاً من أجل شبكة UMTS أو الأنظمة الأخرى باستخدام تكنولوجيا CDMA لتحديد الحالة عند الحركة القصوى. بيد أن هذه المنهجية مختلفة بالمقارنة مع تلك المستخدمة من أجل GSM من الضروري قياس القدرة في ميدان الشفرة.

وإذا ما أخذنا UMTS كمثال، فإن الخطوة الأولى تكون تحديد قناة مشتركة معينة، قناة "P-CPICH" (القناة الدليلية المشتركة) ثم قياس شدة قناة PP-CPICH بعد ذلك. وتخصم شدة UMTS القصوى المصاحبة لهذه القناة من PP-CPICH باستخدام المعامل المبين أدناه. ويتمثل مبدأ القياس والحساب فيما يلي:

- تتحدد الترددات المركزية $freq_0$ لجميع بثات UMTS باستخدام محلل طيف ثم تسجل. وتقاس قدرة P-CPICHi الخاصة بشتى قنوات CIPCHi المكتشفة بواسطة ماسح UMTS. وبعد ذلك توجز قدرة جميع قنوات.

$$P_{P-CPICH}(freq_0) = \sum_{i=1}^{n} P_{P-CPICH_i}(freq_0)$$

ويحسب المكافئ $E_{P\text{-}CPICH\,(freq0)}$ بدءاً من قيمة P-CPICH ($freq_0$) بواسطة إدراج عامل الهوائي وفقدان الكبل. وتيسر الصيغة التالية حساب المجال الكهربائي بشأن الحركة القصوى عند التردد $freq_0$ باستخدام المعامل $R_{P\text{-}CPICH}$.

$$E_{max}(freq_0) = E_{P-CPICH}(freq_0) \times \sqrt{R_{P-CPICH}}$$

مع:

$$R_{P-CPICH} = \frac{P_{max}}{P_{P-CPICH}}$$

وبخصوص ماسح UMTS، يجدر بالإشارة إلى أنه لا توجد أي طريقة للمعايرة معترف بها دولياً بسبب نقص المراجع بشأن الشفرة المحددة بالبرامجيات (مثل CPICH).

وللقيام بقياسات يعول عليه، قد يتطلب الأمر تأهيل المعدات لكفالة عدم وجود مشاكل بشأن النتائج التي يوفرها ماسح UMTS.

وقد يكون من طرق أداء مثل هذا التأهيل استخدام مولدي إشارة UMTS على الأقل والتحقق من خصائص الماسح التالية:

- *استجابة التردد:*

بواسطة استخدام إشارة مرجعية في ترددين مختلفين في النطاق UMTS بنفس قدرة P-CPICH وبنفس القدرة المنبثة في الفدرة 5 MHz.

ينبغي تدنية الفرق بين قدرة قناتي P-CPICH المقيسة وقدرة القناتين المقيسة.

– *الخطية:*

باستخدام إشارة مرجعية عند تردد محدد، وبنسبة محددة بين قدرة P-CPICH وبين إجمالي قدرة القناة وبقدرة منبثة إجمالية مختلفة في القدرة 5 MHz.

ينبغي أن يكون الفرق بين القدرة المقيسة والقدرة المنبثة أقل من 2 dB.

– *الحركة:*

باستخدام إشارة مرجعية عند تردد محدد، بقدرة منبثة إجمالية محددة في القدرة 5 MHz وبنسبة مختلفة بين القدرة P-CPICH وبين قدرة القناة الإجمالية.

ينبغي تدنية الفرق بين النسبة المقيسة ونسبة الإشارة المنبثة.

ينبغي القيام بالتحقق من هذه المعلمات الثلاثة بواسطة اثنين من مولدي الإشارات وينبغي تدنية الفرق في النتيجة (بواسطة مولدي الإشارات الاثنين).

ومن الجلي أنه يجب أن تكون جميع أوجه عدم التيقن وعوامل معايرة سلسلة القياسات معروفة ومأخوذة في الاعتبار في الحساب.

6.6.5 عدم التيقن

يمكن تقسيم أوجه عدم التيقن في قياسات NIR إلى جزأين: عدم تيقن ناجم عن البيئة وعدم تيقن ناجم عن الأجهزة.

عدم التيقن الناجم عن البيئة: هناك أوجه عدم تيقن متأصلة في القياسات الموضعية، وناجمة عن شتى المعلمات (الخبو، وتعدد المسير...)

ويمكن تقليل هذه القيمة بطريقة أخذ المتوسطات المكانية على النحو المشروح في الفقرة 2.5.6.5.

ويمكن للمرء أن يعتبر أن عدم التيقن الناجم عن البيئة قد نقص إلى 3 dB بواسطة ثلاث نقاط قياس وإلى 2 dB بواسطة 6 نقاط.

ويمكن الاطلاع على المزيد من المعلومات التفصيلية عن تطبيقات إيجاد متوسطات الزمن والفضاء في توصية قطاع التقييس في الاتحاد الدولي للاتصالات K.61.

وأوجه عدم التيقن الناجمة عن المعدات ستكون متأصلة في كل جهاز، من ثم ينبغي أن توفرها الجهة المصنعة.

وينبغي الحرص عند شراء تلك المعدات على أن تكون جميع المعلومات الضرورية من أجل حوسبة عدم التيقن متوفرة.

ومن المفضل الاحتفاظ بجميع أوجه عدم التيقن العامة دون مستوى مقبول.

وكمثال، يوصى المعيار الأوروبي EN 50 492 بقيمة مقدارها 4 dB كحد أقصى لعدم التيقن.

7.6.5 الإبلاغ

ينبغي توثيق نتائج القياسات الخاصة بكل موقع في تقرير، ويفضل استخدام الجداول فيه. ويمكن حساب القيم المناظرة بشأن H (أو E) وS وفقاً للفقرة 3.6.5 إذا لم يتم قياسها في الميدان.

ويتعين مقارنة الكميات المقيسة أو المحسوبة مع أقل مستوى مرجعي للأحكام القانونية السارية.

وإذا ما كانت كميات القيم المقيسة أو المحسوبة مرتفعة، ينبغي إبراز ذلك في التقرير وينبغي أخذ الأحكام السارية في الاعتبار هي واللوائح التنظيمية النافذة.

ومن المتوقع أن يحتوي تقرير القياس الشامل ما يلي من المعلومات:

- الغرض من القياسات وأهدافها؛
- التاريخ، ووقت البدء والتوقف؛
- الإحداثيات الجغرافية، والارتفاعات فوق سطح الأرض، والخواص المعينة لمواقع القياسات؛
- قائمة بالمرسلات المعرفة؛
- درجة الحرارة؛
- المعدات المستخدمة وأرقامها المسلسلة؛
- عدم التيقن من القياسات.

وبالإضافة إلى ذلك، من المستصوب، بغية تحسين إمكانية فهم التقرير، استخدام التمثيل البياني للنتائج في شكل خرائط ورسوم بيانية وصور.

وقد يعرض ذلك نتائج القياسات ومواقعها وكذلك الموضع النسبي لوحدات البث الرئيسية والأماكن ذات الأهمية كالمدارس والمستشفيات والمنازل.

وأخيراً، يقارن التقرير بين القيم المقيسة مع حاصل قسمة التعرض الإجمالي المنطبق ويضع استنتاجات متوافقة مع التعرض RF فيما يتصل بالحدود في اللوائح التنظيمية الوثيقة الصلة.

المراجع

BOTELHO, T. R.; FRASSON, A. M. F.; NAZIMA, F. T.; ALMEIDA, A. M. [September, 2008] Análise e construção de Sensor de Campo Elétrico de Faixa Larga Construído com Filme Espesso; MOMAG – 13º SBMO-Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica e 8ª CBMAG – Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo.

ECC Recommendation (02)04 (revised Bratislava 2003, Helsinki 2007); "Measuring Non-Ionising Electromagnetic Radiation (9 kHz – 300 GHz)", available at: www.ero.dk.

European Recommendation, 1999/519/EC, 12 July 1999.

European standard EN 50 492, CENELEC, November 2008.

GALLEE, F.; CHAINON, S.; LATTARD, H.; GORON, E.; TOUTAIN Y. [October, 2007] Development of an isotropic sensor 2 GHz-6 GHz. Proceedings of the 37th European Microwave Conference Munich, Germany.

ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection [1998] Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz).

KANDAE, M.; DRIVER, L. D. [February, 1971] AnisotropicElectric-FieldProbewithTapered Resistive Dipoles for Broad-Band Use, 100 kHz to 18 GHz; IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol MTT-35, p. 124-130.

RANDA, J.; KANDA, M. [January, 1985] Multiple-Source, Multiple-Frequency Error of an Electric Field Meter; IEEE Transactions On Antennas And Propagation, Vol. Ap-33, No. 1.

توصيات قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

ملحوظة – يحبذ في كل حالة استعمال آخر طبعة من التوصية

التوصية ITU-R BS.1698 – تقييم المجالات الناجمة عن أنظمة الإرسال الإذاعي للأرض العاملة في أي نطاق تردد من أجل تقدير أثر التعرض للإشعاعات غير المؤينية.

توصيات قطاع التقييس في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-T K.52 – مبادئ إرشادية بشأن التقيد بالقيم الحدية لتعرض الإنسان للمجالات الكهرمغنطيسية.

ITU-T Recommendation K.61 – Guidance on measurement and numerical prediction of electromagnetic fields for compliance with human exposure limits for telecommunication installations.

ITU-T Recommendation K.70 – Mitigation techniques to limit human exposure to EMFs in the vicinity of radiocommunication stations.

7.5 قياسات الضوضاء الراديوية

1.7.5 مقدمة والخلفية

إن *C/I* معلم رئيسي عند تخطيط الشبكات الراديوية وتقييم أدائها. وفي حالة عدم وجود تداخلات مثل البثات في داخل القنوات، يتمثل التداخل بالأساس في مستوى أدنى من الضوضاء. وفي هذه الحالة، تصبح *C/I* مساوية *S/N*. وفي الكثير من التطبيقات الراديوية ونطاقات التردد، تكون الضوضاء الخارجية الناجمة عن بثات غير مطلوبة من نبائط كهربائية وإلكترونية أعلى من أرضية ضوضاء معدة الاستقبال.

لذلك فإن معرفة مستوى هذه الضوضاء الخارجية يحدد منطقة تغطية مرسل أو شبكة ما بقدرة مشعة مقدمة، أو القدرة المشعة الضرورية عندما يتعين تغطية منطقة معينة.

وعادةً ما يستند التخطيط لشبكة ما إلى أرقام الضوضاء الراديوية المنشورة في التوصية ITU-R P.372، غير أن هذه القيم مستنبطة من مقاييس تمت في السبعينيات وقد لا تكون منطبقة حالياً.

ولذلك قد تكون قياسات الضوضاء الراديوية ضرورية للأسباب التالية:

- توفير قيم محدثة لمستوى الضوضاء من أجل السماح بالتخطيط الواقعي للشبكات.
- تقييم أداء نظام شبكات قائمة في محيطات مختلفة أو في مواقع محددة.
- تحديث القيم القديمة المستخدمة في التخطيط للشبكات في التوصية ITU-R P.372.

بيد أن قياس الضوضاء الراديوية يمكن أن يمثل مهمة صعبة، وقد لا يكون المستوى هو المعلم الوحيد الضروري لتوصيفها بالكامل. ويوفر هذا الفصل الفرعي معلومات أساسية ضرورية بشأن مسألة قياس الضوضاء الراديوية المعقدة، في حين أن وضعية القياس الفعلي، والمعدات المطلوبة، وإجراءات القياس، والتقييم وعرض النتائج مذكورة بالتفصيل في التوصية ITU-R SM.1753.

2.7.5 مصادر الضوضاء الراديوية

وفقاً للتوصية ITU-R P.372 هناك ثلاثة مصادر للضوضاء الراديوية هي الضوضاء الجوية وضوضاء المجرات والضوضاء الاصطناعية (التي من صنع البشر) (MMN). وفي حين أن المصدرين الأولين معروفان جيداً ولا يتغيران بشكل له شأنه على مدار وقت طويل، فإن MMN كثيراً ما تسود وكثير منها يتغير مع زيادة كثافة النبائط الكهربائية والإلكترونية، ومن ثم فإن هذا هو الجزء الذي له أهمية في المقام الأول عند أداء قياسات الضوضاء الراديوية.

الجدول 7.5-1

أهمية مصادر الضوضاء الراديوية لكل نطاق من نطاقات الترددات

مصدر الضوضاء	نطاق التردد ذو الأهمية
الضوضاء الجوية	أقل من 100 kHz
ضوضاء المجرات	3 MHz إلى 100 MHz
الضوضاء الاصطناعية	9 kHz إلى 1 GHz

وعادةً ما يتطلب قياس ضوضاء المجرات هوائي موجه نحو السماء. بيد أن معظم مستقبلات الاتصالات تتلقى طاقتها الرئيسية من المنطقة المجاورة لسطح الأرض. وعند تقييم تأثير الضوضاء الراديوية لخدمات الاتصالات، ينبغي استخدام الهوائيات التي تستخدم الاتجاه المفضل لهذه الخدمات لأن المصدر الرئيسي للضوضاء المقيسة لن يكون حينئذ ضوضاء اصطناعية.

3.7.5 عناصر الضوضاء الراديوية

الضوضاء الراديوية، باستخدام التعريف الوارد في ITU-R P.372 هي مجموع البثات من مصادر متعددة لا تنشأ من مرسلات اتصالات راديوية. فإذا لم يكن هناك في موقع قياس معين هيمنة لمصدر ضوضاء وحيد، فإن خصائص الضوضاء الراديوية يكون لها توزيع اتساع عادي ويمكن اعتبارها ضوضاء غوسية بيضاء (WGN).

بيد أنه مع الكثافة المرتفعة للنبائط التي تبث ضوضاء، وبخاصة الموجود منها في المدن والمناطق السكنية، فإن من المستحيل فعلياً العثور على موقع لا تهيمن عليه، ولو على الأقل بصفة مؤقتة، ضوضاء أو بثات من مصدر وحيد.

وكثيراً ما تبث هذه المصادر نبضات أو موجات حاملة وحيدة. وحيث إنه يتعين تشغيل معدات الاتصالات الراديوية في تلك البيئات، فإن من غير العملي استبعاد هذه العناصر من قياسات الضوضاء الراديوية.

وتُكتشف SCN فقط عندما تأتي من مصدر وحيد قريب من موقع القياس. والمصادر المتعددة التي تبث موجات حاملة وحيدة تنجمع في طيف شبيه بالضوضاء عددها يتزايد. وتعرف التوصية ITU-R P.372 الضوضاء الراديوية بأنها إشعاع مجمع غير مقصود من مصادر شتى وتستبعد خصيصاً البثات من مصادر وحيدة يمكن تعريفها.

ولذلك من الضروري اختيار مواقع القياس والترددات/النطاقات التي ليست واقعة تحت هيمنة بثات من مصادر وحيدة مما يجعل إيلاء المزيد من النظر في SCN لا لزوم له في سياق قياسات MMN.

الجدول 7.5-2

عناصر الضوضاء الراديوية

عناصر الضوضاء	الخواص	المصادر (أمثلة)
ضوضاء غوسية بيضاء (WGN)	متجهات كهرمغنطيسية غير متعالقة عرض نطاق مساو لعرض نطاق المستقبل أو أكبر منه مستوى قدرة طيفية يزيد خطيا مع عرض النطاق	الحواسيب، خطوط القوى الكهربائية، نبائط فائقة عرض النطاق، شبكات حاسوبية سلكية، ضوضاء مجرات.
ضوضاء نبضية (IN)	متجهات كهرمغنطيسية متعالقة عرض نطاق أكبر من عرض نطاق المستقبل مستوى قدرة طيفية يرتفع بمربع عرض النطاق	شرارت إشعال، برق (ضوضاء جوية)، مشعل مصباح غازي، حواسيب
ضوضاء موجة حاملة وحيدة (SCN)	خط طيفي متميز أو أكثر عرض النطاق أصغر من عرض نطاق المستقبل مستوى قدرة طيفية مستقل عن عرض النطاق	شبكات حاسوبية سلكية، حواسيب، مغذيات طاقة بأسلوب مبدل.

4.7.5 المعلمات الرئيسية

في حين أن عنصر WGN يتم توصيفه بشكل كاف بواسطة قيمة مستوى RMS، فإن ذلك أصعب بكثير بالنسبة إلى IN. وخدمات الاتصالات الرقمية الحديثة تطبق على الدوام تقريباً تصحيح الخطأ، مما يجعها أكثر حصانة وبخاصة ضد الضوضاء النبضية. بيد أنه عندما يتم الوصول إلى أطوال نبضات ونسب تكرار معينة، فإن بإمكان IN أن تتداخل بشكل له شأنه مع تشغيل تلك الخدمات. ولذلك فمن المستصوب أن يتم قياس الضوضاء الراديوية بطريقة لا تعطي مستوى IN فقط وإنما تعطي أيضاً معلومات عن التوزيع الإحصائي لمعلمات النبضة مثل فترة دوام النبضة وتردد التكرار.

5.7.5 أنواع القياسات

من الممكن أن يكون تحديد مستوى MMN الحقيقي وخصائصها، بما في ذلك IN لكل نطاقات التردد مهمة مستنفدة للوقت جداً وقياسات معقدة. بيد أنه عندما يكون عنصر WGN هو مثار الاهتمام فقط، أو أنه يتعين التحري عن نطاقات ترددات معينة فقط، يمكن تبسيط القياسات بدون خسارة معلومات مهمة أو تقليل الدقة. ولهذا السبب، فإن الأنواع الثلاثة المختلفة التالية ممكنة عند أداء قياسات الضوضاء الراديوية:

النوع A: WGN فقط. وتنتج هذه الطريقة مستويات WGN فقط، مهملة IN ولا تتطلب سوى قياسات لمستوى RMS المتبقية فقط على تردد "حر". ويتم تبسيط تقييم البيانات. ويمكن استخدام معدات مراقبة معيارية في معظم الحالات.

النوع B: WGN وIN. وتنتج هذه الطريقة مستويات WGN فقط وخصائص معلمات IN الخاصة بالضوضاء الراديوية. وتتطلب هذه الطريقة معدات قياس قادرة على اعتيان مستوى إشارة مؤقت عند سرعة كبيرة جداً. وتقييم البيانات أكثر تعقيداً ويتطلب معالجة لاحقة مستفيضة، لا يمكن تأدية معظمها إلا بواسطة الحواسيب فقط.

النوع C: WGN وIN وفصل MMN. وبالإضافة إلى مستوى WGN وخصائص IN ، فإن هذه المنهجية تفصل ضوضاء النبضة الجوية عن MMN إلى حدٍ كبير وهو ما قد يكون هاما في نطاق التردد HF. وعملية القياس مساوية للنوع B ولكن يتعين أداؤها في موقعين مختلفين ويتعين أن تكون المعدات في كلا الموقعين متزامنة وقتياً بالضبط.

6.7.5 مواقع القياسات وتردداتها

يتفاوت مستوى الضوضاء الراديوية، حتى في التردد الواحد، وبخاصة عندما تكون تحت هيمنة MMN، وذلك تبعاً لأشياء من قبيل الوقت والموقع وظروف الانتشار. ولا يمكن استنباط رقم وثيق الصلة إحصائياً لمستوى الضوضاء إلا بواسطة أخذ متوسط النتائج من قياسات متعددة في مواقع مختلفة وإن تكن متماثلة. وتحدد التوصية ITU-R P.372 فئات المواقع المختلفة: مدينة، موقع سكني، وموقع ريفي، وموقع ريفي هادئ. وينبغي ألا تولف سوى نتائج القياسات المأخوذة في مواقع من نفس الفئة.

وتتمثل الطريقة العملية لاختيار تردد (نطاق) صحيح في العثور أولاً على النطاق المرشح المحتمل بواسطة مسح نطاق التردد المستصوب وتحديد التردد (النطاق) الذي له أقل مستوى. ويمكن التحقق من صلاحية ذلك التردد (النطاق) بواسطة تطبيق عملية تجزئة القيمة الواحدة (SVD) أو بمساعدة نقطة توزيع احتمال الاتساعات (APD).

وكلتا الطريقتين مشروحتان بالتفصيل في التوصية ITU-R SM.1753. وإذا ما كشفتا عن أن المسح يحتوي في الأغلب على WGN، فيمكن استخدام القياس. وإذا لم يحدث ذلك، يتعين اختيار تردد (نطاق) بديل.

وبسبب ظروف الانتشار المختلفة، وعرض النطاق المختلف المعهود لمستقبلات الاتصالات وهوائيات القياس المختلفة التي يتعين استخدامها، قد يتم قياس الضوضاء الراديوية بشكل منفصل في نطاقات التردد الثلاثة ذات الأهمية، ألا وهي:

- LF حتى HF (9 kHz حتى 30 MHz).
- VHF (30 MHz حتى 300 MHz).
- UHF وما فوقها (أكثر من 300 MHz).

وتقدم التوصية ITU-R SM.1753 المزيد من المعلومات التفصيلية عن اختيار مواقع القياسات والترددات (النطاقات).

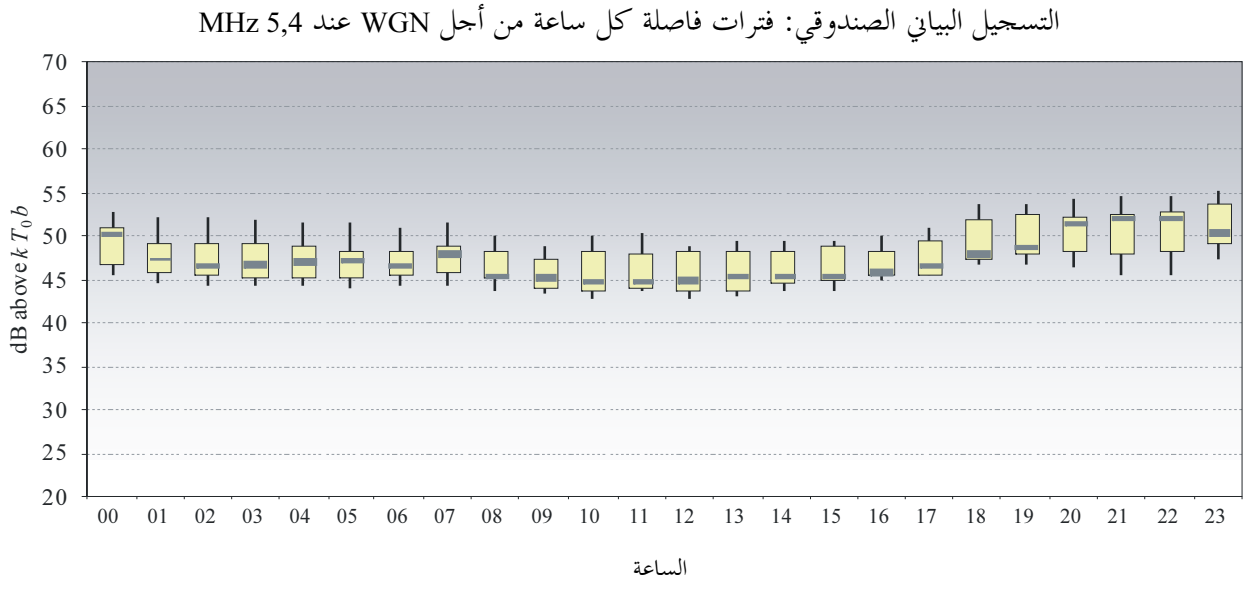
7.7.5 أمثلة لتقديم النتائج

وكما سبق وأن ذكرنا، يتحدد مستوى MMN كقيمة إحصائية يمكن أن تتغير أيضاً مع مرور الزمن.

والتقديم المعهود لقيمة WGN هو ما يسمى "التسجيل البياني الصندوقي" يبين أعلى القيم وأدناها وأوسطها، جنباً إلى جنب مع أعلى 75% وأدنى 25% من القيم مثلما هو مبين في الشكل 7.5-1.

الشكل 7.5-1

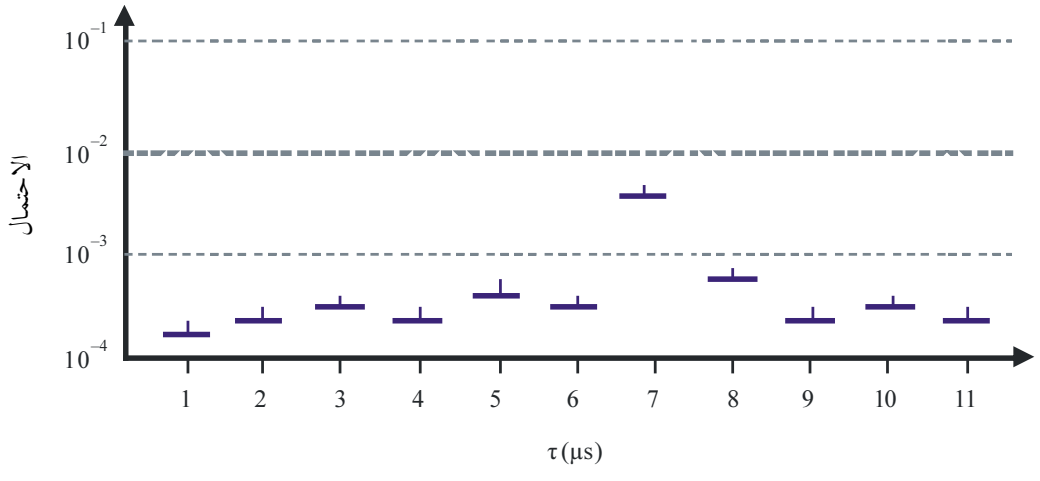
مثال للتسجيل البياني الصندوقي



ستقدم معلمات ضوضاء النبضة كتوزيع للاحتمالات مثل ما هو معروض في الشكل 7.5-2 الذي يبين فترة دوام النبضة.

الشكل 7.5-2

مثال لتوزيع طول النبضة/الانفجار



8.7.5 بنك بيانات الاتحاد الدولي للاتصالات بشأن الضوضاء الراديوية

مستويات الضوضاء الراديوية وإحصاءاتها لها قيمة كبيرة عندما يمكن تجميع عدد كبير من التسجيلات. ولهذا الغرض، أنشأ الاتحاد الدولي للاتصالات بنك بيانات حيث يمكن لجميع الإدارات أن تطلع على بيانات القياسات المتاحة. وترد بيانات الضوضاء الراديوية في الجدول C9-1 في بنك البيانات. وتقدم وظائف البحث والترشيح عن شتى الميادين من أجل استرجاع البيانات ذات الأهمية فقط.

وبنك البيانات متاح على العنوان: http://www.itu.int/ITU-R/go/sg3-dtbank-dbsg3/en.

وترد المعلومات المتعلقة بكيفية البحث والنفاذ إلى بنك البيانات في دليل للمستخدم يمكن تنزيله من نفس الموقع المذكور آنفاً.

ويحتوي بنك البيانات في مرحلته الأولى على مستويات WGN فقط. وتستحث الإدارات التي تقوم بقياسات الضوضاء الراديوية على تقديم بياناتها بحيث يمكن تيسير نفاذ جميع الأطراف المهتمة إليها.

المراجع

توصيات وتقارير قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

ملحوظة: يحبذ في كل حالة استعمال آخر طبعة من التوصية.

التوصية ITU-R P.372 – الضوضاء الراديوية.

التوصية ITU-R SM.1753 – طرائق لقياس الضوضاء الراديوية.

التقرير ITU-R P.2089 – تحليل بيانات الضوضاء الراديوية.

الفصل 6

المبادئ الأساسية والأدوات الداعمة

الصفحة

1.6 تحديد الموقع عالمياً عبر السواتل 599
1.1.6 عموميات 599
1.1.1.6 الغرض 599
2.1.1.6 الأنظمة المتيسرة 599
3.1.1.6 التجهيزات المتيسرة 600
4.1.1.6 تحسين الدقة 600
2.1.6 النظام NAVSTAR GPS 600
1.2.1.6 وصف النظام 600
2.2.1.6 أداء النظام 600
3.1.6 النظام GLONASS 601
1.3.1.6 نظرة عامة 601
2.3.1.6 ميزات الاستعمال المشترك للنظامين GLONASS وGPS 602
3.3.1.6 خصائص النظامين GPS وGLONASS 603
2.6 الخرائط الجغرافية 604
1.2.6 استخدام الخرائط في محطات المراقبة 604
2.2.6 مصادر البيانات الرقمية 605
1.2.2.6 الخرائط الورقية (المطبوعة) 605
2.2.2.6 الصور الساتلية والتصوير الجوي والمسح الليزري 606
3.2.6 أنماط بيانات الخرائط الرقمية 607
1.3.2.6 الخرائط السياسية وخرائط الطرق والصور الفوتوغرافية الأرضية المراجع 609
2.3.2.6 نموذج التضاريس الرقمي (DTM) 609
3.3.2.6 بيانات تخص الأبنية ونموذج الارتفاع الرقمي 609
4.3.2.6 بيانات التشكلات 610
5.3.2.6 خريطة العالم المرقمنة من وضع الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU) 610
6.3.2.6 خدمات رسم الخرائط في الويب 611
4.2.6 استبانات الخرائط المطلوبة في حسابات انتشار الموجات 611
5.2.6 أنظمة الإحداثيات 612

الصفحة

3.6 حسابات القدرة المشعّة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) 613
1.3.6 المدخل والتعريف 613
2.3.6 تقدير القدرة e.i.r.p. استناداً إلى قياسات مراقبة الإرسالات 614
1.2.3.6 حساب القدرة e.i.r.p. من القدرة المستقبلي وشدة المجال 614
3.3.6 تأثير الانتشار 616
4.6 نماذج الانتشار 616
1.4.6 تأثيرات الغلاف الجوي الأرضي 617
1.1.4.6 التأثيرات عند الترددات التي تقل عن 30 MHz تقريباً 617
2.1.4.6 التأثيرات عند الترددات التي تفوق 30 MHz تقريباً 617
2.4.6 تأثيرات التضاريس الأرضية غير المنتظمة 617
1.2.4.6 مسير خط البصر 618
2.2.4.6 الانعراج على العوائق والتضاريس الأرضية غير المنتظمة 618
3.4.6 تأثيرات الانعكاسات على سطح الأرض 618
4.4.6 الانتشار على مسيرات من الأرض إلى الساتل 618
5.4.6 نماذج الانتشار المتيسرة 618
6.4.6 نماذج الانتشار واستخدام مختلف نطاقات التردد 619
5.6 التشكيل البيني 621
1.5.6 معلومات أساسية 621
2.5.6 معادلات تحليل التشكيل البيني 621
3.5.6 الكشف عن نواتج التشكيل البيني وتعرف هوياتها 623
6.6 التشكيل وطرائق النفاذ إلى الطيف 625
1.6.6 مقدمة 625
2.6.6 التشكيل التماثلي 625
1.2.6.6 تشكيل الاتساع 625
2.2.6.6 تشكيل التردد 628
3.2.6.6 تشكيل الطور 630
4.2.6.6 تشكيلات تماثلية خاصة 631
1.4.2.6.6 تشكيل الإذاعة التلفزيونية 631
2.4.2.6.6 تشكيل نطاق جانبي وحيد مع موجة حاملة مكبوتة 632
3.4.2.6.6 تشكيل نطاق جانبي مستقل 632
4.4.2.6.6 تشكيل الاتساع الدينامي 632

الصفحة

3.6.6 التشكيل الرقمي 633
1.3.6.6 مبادئ التشكيل الرقمي 633
2.3.6.6 الإبراق بزحزحة الاتساع 633
3.3.6.6 الإبراق بزحزحة التردد 634
4.3.6.6 الإبراق بزحزحة الطور 634
5.3.6.6 الإبراق بزحزحة صغرى 636
6.3.6.6 تشكيل اتساع تربيعي (QAM) 637
7.3.6.6 ترشيح النطاق الأساسي لتشكيلات موجه حاملة وحيدة 638
8.3.6.6 تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM) 639
4.6.6 طرائق النفاذ إلى الطيف 640
1.4.6.6 النفاذ المتعدد بتقسيم التردد 641
2.4.6.6 النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن (TDMA) 642
3.4.6.6 الطيف الممدّد 643
1.3.4.6.6 الطيف الممدّد بالقفز الترددي (FHSS) 643
2.3.4.6.6 الطيف الممدّد بتتابع مباشر (DSSS) 644
4.4.6.6 النفاذ المتعدد بتقسيم شفري (CDMA) 644
5.4.6.6 تعدد إرسال مكاني (SDMA) وقنوات فضائية 647
7.6 تحويل فورييه السريع 648
1.7.6 مبادئ أساسية 648
2.7.6 التحويل من تماثلي إلى رقمي، الاعتيان 650
3.7.6 استعمال النوافذ 652
4.7.6 تطبيقات تحويل فورييه السريع (FFT) 654
5.7.6 مدى التطبيقات 656
8.6 تخطيط شبكات مراقبة الطيف واستمثالها 657
1.8.6 مقدمة 657
2.8.6 مبادئ التخطيط لشبكات مراقبة الطيف واستمثالها 657
3.8.6 تخطيط شبكات المراقبة واستمثالها في نطاقي الموجات المترية والديسمترية (VHF/UHF) 659
9.6 الارتياب في القياس 667
1.9.6 مقدمة 667
2.9.6 نظرة شاملة على الارتياب في القياس وتعريفه 667
3.9.6 دوالّ التوزيع الشائعة للتعبير عن الارتياب 668
4.9.6 تطبيق 669

الصفحة

5.9.6 مثال على حساب الارتياب 670
10.6 معالجة الهوائيات والتنوع المكاني 675
1.10.6 مقدمة 675
2.10.6 معالجة الهوائيات ومراقبة الطيف 675
3.10.6 مبادئ معالجة الهوائيات 676
1.3.10.6 صفيف هوائيات ومستقبل 677
2.3.10.6 تكوين الحزمة 677
1.2.3.10.6 ترشيح الهوائي أو تكوين الحزمة التقليدي 677
2.2.3.10.6 الهوائي التكيفي أو تكوين الحزمة التكيفي 678
3.3.10.6 إزالة تشكيل والتحليل 678
11.6 الوثائق المطلوبة 678
1.11.6 الوثائق الدولية الأساسية والعامة 679
2.11.6 الوثائق الدنيا التي ينبغي تيسرها في محطات المراقبة 679
3.11.6 توصيات قطاع الاتصالات الراديوية ITU-R 680
4.11.6 توصيات وتقارير لجنة الدراسات الأولى (SG 1) للاتصالات الراديوية 681
5.11.6 كتيّبات القطاع ITU-R 681
6.11.6 برمجيات القطاع ITU-R ذات الصلة 683
7.11.6 مواقع شبكة الويب على الإنترنت 683

1.6 تحديد الموقع عالمياً عبر السواتل

1.1.6 عموميات

1.1.1.6 الغرض

أنظمة خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) أساسية لأغراض مراقبة الإرسالات، مثل:

تحديد الموقع:

- **الترخيص**: التحقق من مواقع المحطات كما هي مبينة في الرخصة وتحديد مواقع المحطات غير الشرعية.
- **الأنظمة المتنقلة لقياس زوايا الاتجاه بالراديو**: التنبؤ بالموقع الصحيح لأنظمة قياس زوايا الاتجاه بالراديو المتنقلة.
- **أنظمة قياس شدة المجال المتنقلة**: تغطية محطات الإذاعة العاملة بتشكيل التردد (FM)؛ والتحقق من شدة المجال العظمى لدواعٍ أمنية.
- **قياسات مخططات الإشعاع**: قياسات مخططات الإشعاع من الطائرات المروحية.

معيار الزمن والتردد:

- **الزمن**: مزامنة شبكات قياس زوايا الاتجاه بالراديو في حالة كون الإشارات قصيرة المدة جداً.
- **التردد**: مزامنة المستقبِلات.

وتستطيع أنظمة الخدمة RNSS أن تتنبأ بالسرعة والاتجاه، ولكنها لا تكون كلها بالدقة المطلوبة للمراقبة.

وهذه الخدمات تؤمن تحديد الموقع على نطاق عالمي، على الدوام وفي جميع أحوال الطقس، لصالح مستعملين موجودين على سطح الكرة الأرضية أو بالقرب منه. وتعمل المستقبلات بالأسلوب المنفعل، وهذا يتيح أن يكون عدد المستعملين على التآون عدداً غير محدود. وتتسم أنظمة الخدمة RNSS بميزات تتيح لها أن ترفض خدمة دقيقة للمستعملين غير المرخص لهم.

وتساعد شفرات قياس المسافات التي تذيعها السواتل المستقبل على قياس زمنٍ عبور الإشارات، ومنه تستنتج المسافة الفاصلة بين الساتل والمستعمل. ويحتاج الأمر عادة إلى أن تكون أربعة سواتل مرئية معاً على التآون من المستقبل لأغراض تحديد الموقع تحديداً ثلاثي الأبعاد (3-D).

وتوصي التوصية ITU-R TF.767 باستعمال النظام العالمي لتحديد الموقع (GPS) والنظام العالمي للملاحة الساتلية (GLONASS) في التطبيقات التي تتطلب تغطية عالمية وسويّات دقة من رتبة 10 إلى 100 نانوثانية. وتعتبر الرؤية المشتركة للنظامين GPS وGLONASS أنها تحدد إحداثيات بقدر متر واحد لهوائيات الاستقبال. ولما كان المستقبل مجهزاً بمعيار تردد نموذجي مدمج فيه عالي الدقة من الروبيديوم فإنه يصلح أيضاً أن يكون معياراً نموذجياً للتردد من أجل جميع تجهيزات المراقبة.

وفي عمليات المراقبة المتنقلة، أصبحت أنظمة الخدمة RNSS هي المعيار المستعمل بالتغيب، حين تكون حدود الدقة 20 متراً كافية. وما أن يجري إطلاق النظام حتى يبدأ بتزويد معلومات تحديد الموقع المحدثة كل ثانيتين تقريباً (ويمكن ضبط هذه الفترة الزمنية حسب أفضليات المستعمل). ففي مرْكبة متحركة، تكون هذه النتائج دقيقة إلى حدّ يكفي لتحديد أي جانب من الشارع تكون المركبة فيه، وهي تكفي عادة لقياس تغطيات الخلايا الكبيرة أو شبكات الإذاعة الكبيرة. ويجري تطوير أنظمة ملاحة ساتلية تجارية أخرى كجزء من خدمات متنقلة ساتلية جديدة، ولكن النظام GPS هو الأكثر استعمالاً على نطاق واسع في الوقت الحاضر.

2.1.1.6 الأنظمة المتيسرة

تتيسر في الوقت الحاضر أنظمة الخدمة RNSS التالية:

NAVSTAR هو نظام أمريكي مصمم أصلاً للاستعمال العسكري، وهو متيسر حالياً للتطبيقات المدنية التابعة للنظام GPS، ويتيح للمستعملين دقة أكبر في التطبيقات التفاضلية التابعة للنظام GPS.

GLONASS هو نظام روسي يمكن استعماله منفرداً أو مع النظام NAVSTAR+GPS للحصول على دقة أكبر.

3.1.1.6 التجهيزات المتيسرة

يمكن توقع الوصول باستعمال مستقبلات أنظمة الخدمة RNSS التجارية الشائعة، إلى تحديدات للمواقع بدقة 10 أمتار في أسوأ حالة، أما الدقة الزمنية فهي ضمن ±250 نانوثانية (ns). ومن شأن والتوسع في القياس إلى ساتل إضافي وإلى محطة ثانية على سطح الأرض أن يحسّن الدقة إلى حوالي السنتمترات بفضل قراءات مختلفة. ومن السهل إدماج المستقبلات في نظام متنقل. وهي متيسرة بشكل وحدات قائمة بذاتها، أو مستقبلات محمولة تشغلها البطاريات، أو بطاقات يمكن إدخالها في مساري الحواسيب العادية. وتكون الهوائيات المحمولة متراصّة ومتينة ويمكن تركيبها بمجهود بسيط على سقوف المركبات.

ويوفر العديد من المستقبلات التجارية معلومات إضافية مشتقة من البيانات القادمة من الساتل، تشمل الارتفاع والسرعة والتسارع. ويقدّم عدة مصنّعين خيارات "الملاحة بنقاط على الطريق". ولكي تستعمل المستقبلات القائمة بذاتها، في الأنظمة المتنقلة المجهزة بمحطة عمل حاسوبية، فإنها تجهّز بسطح بيني للبيانات مناسب للحاسوب. ويمكن إدماج معلومات النظام GPS في رزم محسوبة من الخرائط (انظر الفقرة 2.6) لتوفير عرض على الشاشة في الوقت الفعلي يبيّن مرقع مَرْكبة أثناء تحرك هذه المركبة.

وقد تنشأ بعض المشاكل في الدقة والتقاط الإشارة عندما يستعمل النظام GPS في التطبيقات المتنقلة. ويحتاج تحديد الموقع إلى دقة أعلى بكثير في القياسات التي تجري في خلايا صغرية واقعة في مناطق الأبنية السكنية أو المناطق التي يرتادها المشاة. والتقاط الإشارات من السواتل يثير المشاكل والصعاب في مناطق المدن، داخل الأبنية أو في مناطق أخرى تحجب فيها حواجز مهمة إمكانية الاستقبال. وفي هذه الحالات يجب اللجوء إلى تقنية بديلة لتحديد الموقع.

4.1.1.6 تحسين الدقة

يمكن تحسين الدقة في أنظمة الخدمة RNSS بتجميع أنظمة مثل مقاييس الارتفاع وأنظمة الملاحة العطالية، مع تقنيات يوفرها النظام نفسه (نظام GPS التفاضلي (DGPS) للنظام NAVSTAR، والنظام GPS + GLONASS للنظام GLONASS، وغيرها).

2.1.6 النظام NAVSTAR GPS

1.2.1.6 وصف النظام

تدور سواتل النظام البالغ عددها 24 ساتلاً في مدارات عالية الارتفاع جداً وتقدّم معلومات الموقع والزمن للمستعملين الموزعين في العالم أجمع عبر إشارات متزامنة. وبقياس الإشارات الواردة من ثلاثة سواتل على الأقل، يمكن تحديد موقع محطة الاستقبال على سطح الأرض. ويمكن أن توفر هذه الكوكبة للمستعمل الاتصال بثماني سواتل مرئية من أي نقطة على سطح الأرض.

والملاحة الثلاثية الأبعاد هي الوظيفة الأساسية للنظام GPS. وتحديد الموقع بدقة ممكن باستخدام مستقبلات النظام GPS في مواقع مرجعية تؤمن التصحيحات (DGPS) وتقدم بيانات تحديد الموقع النسبي للمستقبلات البعيدة. والاستعمال الآخر للنظام GPS هو تعميم الزمن والتردد القائم على الميقاتيات الدقيقة المحمولة على متن السواتل والتي تتحكم فيها محطات المراقبة. ويمكن تحديد منشآت الاتصالات ومعايير المختبرات وفقاً لإشارات زمنية دقيقة. ويمكن أيضاً التحكم بترددات دقيقة عن طريق مستقبلات النظام GPS ذات الغرض الخاص.

2.2.1.6 أداء النظام

يؤمن النظام GPS مستويين للملاحة: خدمة تحديد الموقع الدقيقة (PPS) وخدمة تحديد الموقع العادية (SPS). ويستخدم المستعملون المدنيون النظام GPS في العالم أجمع مجّاناً ودون قيود (انظر الجدول 1.6-1).

وغالبية المستقبلات قادرة على استقبال واستعمال إشارات النظام GPS. وقامت وزارة الدفاع في الولايات المتحدة عن قصد بخفض دقة خدمة تحديد الموقع العادية (SPS) سابقاً عن طريق استعمال التيسر الانتقائي (SA). ولكن التيسر الانتقائي انتهى في نهاية 1 مايو 2000، وليس في نية الولايات المتحدة الأمريكية أن تعود إليه من جديد.

الجدول 1.6-1

الدقة في النظام GPS

الدقة المتوقعة (دون تيسر انتقائي (SA))	خدمة تحديد الموقع العادية (SPS)
الدقة الأفقية (95%)	22 متراً
الدقة الرأسية (95%)	33 متراً
الدقة الزمنية (95% بالنسبة إلى التوقيت UTC)	200 نانوثانية

ويمكن أن يلجأ مصنّعو المستقبلات إلى مقاييس دقة أخرى (RMS؛ خطأ دائري محتمل (CEP)؛ خطأ كروي محتمل (SEP)، مع أو بدون التيسر الانتقائي) غير المقاييس المذكورة هنا. وتكون النتيجة أن بعض بطاقات المواصفات للمستقبلات تجعل مستقبلاتها تبدو أكثر دقة من مستقبلات بائعين آخرين مسؤولين يستعملون مقاييس خطأ أكثر صرامة.

3.1.6 النظام GLONASS

1.3.1.6 نظرة عامة

تتكون كوكبة النظام GLONASS، حين تكون عناصرها منشورة بالكامل، من 24 ساتلاً موضوعة في ثلاثة مستويات مدارية. وتنتج سواتل هذا النظام نمطين من إشارات الملاحة: إشارة عالية الدقة وإشارة عادية الدقة. والإشارة العالية الدقة ليست معدّة مبدئياً إلا للمستعملين المرخص لهم بذلك. والإشارات العالية الدقة ترسل على كلا النطاقين الفرعيين L1 وL2، لتأمين إجراء التصحيح الذي تستدعيه طبقة الأيونوسفير. والنفاذ إلى الإشارات العادية الدقة على تردد النطاق الفرعي L1 متيسر لجميع المستعملين على أساس مجاني. وإشارة الملاحة العادية الدقة واردة في الجدول 1.6-2، ولكن يمكن تحسينها تحسيناً محسوساً باستخدام أسلوب الملاحة التفاضلي و/أو تقنيات القياس الخاصة الإضافية.

الجدول 1.6-2

الدقة المتوقعة في النظام GLONASS

الدقة المتوقعة	النظام GLONASS
الدقة الأفقية (95%)	28 متراً
الدقة الرأسية (95%)	60 متراً
الدقة الزمنية (95%)	700 نانوثانية
متجه السرعة	15 سنتيمتراً/ثانية

2.3.1.6 ميزات الاستعمال المشترك للنظامين GLONASS وGPS

يتألف جزء المستعمل وGLONASS من هوائيات ومستقبلات تساعد خصائص المعالجة فيها على توفير استقبال الإشارة وعلى إيجاد حلّ ملاحي لتزويد المستعملين بمعلومات عن الموقع والسرعة والوقت الدقيق. وترسل السواتل إشارة تزامن شبه عشوائية ورسالة ملاحة تحتوي على معلمات المدار لكل ساتل (الجداول الفلكية الموقوتة). ويستخدم المستقبل بيانات الجداول الفلكية لكي يحدد موقع ساتل. وبعد الحصول على المواقع الدقيقة لأربعة سواتل في المستقبِل، يستطيع المستقبِل تحديد موقعه تحديداً ثلاثي الأبعاد (3D) وزمنه أيضاً.

وتمكّن الطرائق الحديثة لمعالجة الإشارات الرقمية من معالجة إشارات النظامين GPS وGLONASS باستخدام المستقبلات بنفس المعمارية، على الرغم من الفروق المبينة في الجدول 1.6-3. ومديا الترددات في النظامين GPS وGLONASS قريبان من بعضهما، وهذا يساعد على استعمال هوائي مدمج، ومضخم مسبق مشترك للدخل في تجهيزات المستعمل. ومن شأن التصميم الأمثل للمستقبل مع تنفيذ برمجية مناسبة لمعالجة الإشارة أن يتيح صنع مستقبل مدمج لا يزيد ثمنه إلاّ قليلاً عن ثمن المستقبل في النظام GPS أو GLONASS. والفروقات الموجودة بين معلومات الجداول الفلكية والتمثيل التقويمي في النظامين GPS وGLONASS لا تشكل عقبة لتشغيل تجهيزات المستعمل. وتقدّم برمجية معالج بيانات الملاحة التصحيحات اللازمة، وتتيح معالجة تدفقي البيانات كليهما.

أما تجهيزات المستعمل، وهي الجزء الأكثر مرونة في النظام كله، فهي في تحسّن مستمر. وأغلب المستقبلات الموجودة حالياً متعددة القنوات قادرة على تحليل المسافات الكاذبة والسرعات الكاذبة في نفس الوقت لعدد من السواتل المرئية. وهكذا فإن هذه المستقبلات تضمن أكثر ما يمكن من الدقة والاكتمال لرصدات الملاحة.

وبفضل التقدم التقني الحاصل في مجال معالجة الإشارات الرقمية يمكن تحقيق درجة عالية جداً من الاكتمال تؤمن بالفعل تحويلاً منفصلاً ومعالجة رقمية لإشارات الساتل في مرحلة قريبة جداً من الدخل الأمامي.

والاستخدام المشترك للنظامين GPS وGLONASS يؤمن مزايا مهمة مقابل الاستعمال الفردي لأي واحد من النظامين:

تعزيز التيسّر: في العمليات التي تجري في بيئة مملوءة بالعوائق، مثل الأرض الجبلية أو "الأخاديد" الحضرية، تأتي مضاعفة عدد السواتل غالباً بحلّ مقبول، بينما لا يعطي استعمال مستقبل واحد في النظام GPS أو النظام GLONASS أي حلّ.

تحسين الدقة: زيادة عدد السواتل تؤدي عادة إلى تحسين التشكيلة الهندسية من المستعمل إلى الساتل.

تسريع الانطلاق البارد: عندما لا يحصل المستقبل على أي معلومات عن الموقع أو الزمن، فإن احتمال حيازة المعلومات من الساتل تزداد بازدياد عدد السواتل المرئية، وبذلك ينخفض الزمن اللازم للحيازة.

سلامة النظام ومتانته: تزداد كثيراً مقدرة الكشف عن ساتل أصابه عطب وعزله بازدياد عدد السواتل المرئية. وكذلك توفر الاعتمادية على نظامين مستقلين سوية إضافية من السلامة يؤمن حماية من عطب عام يصيب مجمل النظام.

تتوفر في السوق أجهزة مصممة للعمل مع إشارات سواتل الملاحة GLONASS وGPS في إرسالات متآونة، في مسح طوبولوجي وجيوديسي على أرض اليابسة وفي البحر وفي الجوّ.

وعندما تعمل هذه الأجهزة بالأسلوب التفاضلي فإنها تضمن دقة في التحديد الجيوديسي لمواقع المحطات الأرضية بتقريب 1-3 سنتيمتر + $L\ 10^{-6}$ (L = 1 000 كيلومتر) حيث L هي المسافة بين المحطات الجيوديسية والسيارات والطائرات والسفن.

3.3.1.6 خصائص النظامين GPS وGLONASS

يعطي الجدول 3-1.6 خصائص النظامين GPS وGLONASS.

الجدول 3-1.6

مقارنة الأنظمة GPS وGLONASS وGPS + GLONASS

المعلمة	GLONASS	GPS
طريقة عرض معلومات الجدول الفلكي	الإحداثيات الثابتة الممركزة في الأرض، ومشتقاتها من المرتبتين الأولى والثانية	معلمات كبلر المدارية المعدّلة
نظام الإحداثيات الجيوديسي	PZ-90	WGS-84
التصحيحات الزمنية بالنسبة إلى التوقيت العالمي المنسّق (UTC)	UTC (SU)	UTC (USNO)
عدد السواتل (الشغّالة) بالكامل)	24	21 + 3 احتياط
عدد المستويات المدارية	3	6
زاوية ميل المدار	°64,8	°55
ارتفاع المدار	19 100 كيلومتر	20 180 كيلومتر
الدور المداري	11 ساعة 15 دقيقة	12 ساعة
طريقة تقسيم الإشارة الساتلية	FDMA	CDMA
نطاق تردد الطبقة L1 (MHz)	1 609,8235-1 601,489 (1 605,886-1 597,5 515)[1]	1,023 ± 1 575,42
نطاق تردد الطبقة L2 (MHz)	1 252,1985-1 245,489 (1 249.136-1 242,4265)[1]	1, 023 ± 1 227,6
مدة الإرسال التقويمي	2,5 دقيقة	12,5 دقيقة
السعة بالأرتال الفائقة	7 500 بتة (5 أرتال)	37 500 بتة (25 رتل)
طول الرتل	30 ثانية	30 ثانية
دور تكرار شفرة التزامن	2 ثانية	6 ثوان
اللَغَط بين قناتين متجاورتين	dB 48–	dB 21–
معدل عناصر الشفرة C/A	MHz 0,511	MHz 1,023
طول الشفرة C/A (الرموز)	511	1 023
نمط الشفرة C/A	التتابع PRN بالمدى الأقصى	شفرة Gold
التشكيل	BPSK	BPSK
معدل بيانات الملاحة	50 بتة/ثانية	50 بتة/ثانية

[1] حتى 2005 وما بعد (بين قوسين).

معلمات الدقة (العادية 95%)	GLONASS	GPS[1]	GPS + GLONASS
الأفقية	28 متراً	22 متراً	20 متراً
الرأسية	40 متراً	33 متراً	30 متراً
السرعة	15 cm/c	0,5 m/c	5 cm/c
الزمن	0,7 ميكروثانية	0,20 ميكروثانية	0,25 ميكروثانية

[1] معلمات الأرقام الخاصة بالنظام GPS مبنية على خدمة تحديد الموقع العادية (SPS) من دون تيسر انتقائي (SA)

بيبليوغرافيا

GLONASS ICD [1998] Global Navigation Satellite System GLONASS. Interface Control Document (4th edition), Moscow.

ICD-GPS-200C [12 April, 2000] Global Positioning System. Interface Control Document.

Signal specification [2 June, 1995] Global Positioning System, Standard Positioning Service, 2nd Edition.

توصيات قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد

ملاحظة – يفضل استعمال الطبعة الأخيرة من التوصية في كل مرة.

التوصية ITU-R TF.767 – استخدام النظام العالمي للملاحة الساتلية لأغراض نقل الوقت فائق الدقة.

2.6 الخرائط الجغرافية

1.2.6 استخدام الخرائط في محطات المراقبة

أصبحت أنظمة المعلومات الجغرافية (GIS) الرقمية في هذه الأيام واحداً من المكونات الرئيسية لأنظمة إدارة الطيف ومراقبة الطيف المؤتمتة بمساعدة الحاسوب. وصار استخدامها مفيداً في أنظمة المراقبة العاملة إما مستقلة في حد ذاتها أو كجزء من نظام كامل لإدارة الطيف.

واستعمال النظام GIS الرقمي مفيد جداً لأسباب عديدة: وأكثرها وضوحاً هو أن النظام GIS يؤمن لمحة سريعة ومفصلة عن الموقع الجغرافي لأشياء مهمة للمراقبة، مثل مواقع المرسلات المرخصة (وأحياناً غير المرخصة) الواردة في قاعدة بيانات إدارة الطيف، ومواقع محطات المراقبة الثابتة، ومواقع أنظمة القياس المتنقلة، والمواقع المقدّرة لمحطات الإرسال المجهولة انطلاقاً من قياسات أجهزة تحديد زوايا الاتجاه، وغير ذلك. ويمكن حسب الحاجة عرض هذه الأهداف على خرائط جغرافية مختلفة. ويمكن أن تكون الخريطة السياسية خريطة مفيدة، إذ إنها تبين إن كان الهدف موجوداً في إحدى المقاطعات أو في بلد معين، وكذلك تفيد خريطة طرق في التحقق من أن القياسات قد أخذت على طول طريق معينة أو في المدينة المنشودة.

وعند عرض هذه الأهداف على خرائط رقمية، يقدّم نظام المراقبة معها نفاذاً سريعاً وسهلاً إلى خصائصها، بما في ذلك أهم البيانات التقنية والإدارية، عندما يكون موصولاً إلى قاعدة البيانات المركزية في نظام إدارة الطيف.

وهناك عنصر آخر حاسم في أنظمة إدارة الطيف ومراقبته المؤتمتة بمساعدة الحاسوب هو حساب شدة المجال المتوقعة لمحطات الإرسال، انطلاقاً من نماذج شائعة لانتشار الموجات. ويتطلب الحصول على نماذج انتشار أكثر دقة النفاذ إلى أنماط مختلفة من البيانات الجغرافية، بما فيها البيانات الطبولوجية، والبيانات المتعلقة باستخدام الأراضي، وأحياناً النفاذ إلى أنماط أخرى من البيانات لتأمين حساب وافٍ. وهذه البيانات الجغرافية مرتبة عادة في طبقات مختلفة من الخرائط في نظام المعلومات الجغرافية (GIS) الرقمي. وعليه فإن رسم الخرائط الرقمي هو القاعدة الأساسية لأكثر حسابات انتشار الموجات (انظر الفقرة 4.6). غير أن إنشاء بيانات الأراضي والاستخدام الدقيق للأراضي يكون غالباً عملاً مكلفاً.

وعلى الرغم من أن الحسابات المذكورة أعلاه لا تقدّم على مدى زمني طويل إلاّ تقريباً لمجموعة من الحالات الواقعية للإرسال، إلاّ أنها يمكن أن تستعمل لإجراء محاكيات تغطية، وللتعرف إلى القياسات وتحليلها. والقياسات الدقيقة لشدة المجال وتحديد مواقع المرسلات هامة جداً للتحقق من أن إرسالات محطات البث مطابقة لرخصتها.

وتتوقف حسابات انتشار الموجات إلى حد بعيد على نوعية بيانات الدخل. وفي جميع الحسابات، تكون الاستبانة الخاصة في طبقة الخريطة المستعملة من المعلمات المهمة ذات المغزى. وأهم علاقة يجب أخذها بالحسبان هي العلاقة الكائنة بين استبانة طبقة الخريطة المستعملة وتردد الإرسال المعتبر وقدرته. وعموماً، تكون الاستبانة أعلى، كلما ازداد التردد وانخفضت القدرة.

وترتبط الاستبانة المطلوبة بمدى الإرسال، وعندما يكون المدى صغيراً يجب أن تكون الاستبانة أفضل وهي تتوقف أيضاً على معلمات أخرى مثل خدمة الاتصال الراديوي، وارتفاع هوائيات الإرسال والاستقبال، والمنطقة الجغرافية قيد النظر. ففي منطقة جبلية مثلاً يجب أن تقوم الحسابات على بيانات عالية الاستبانة بينما تكفي الاستبانة المنخفضة عادة في الأرض المنبسطة. وتتأثر الاستبانة المستعملة أيضاً بتكلفة البيانات الرقمية وتيسرها، وبالبرامج الحاسوبية التي تستعمل هذه البيانات.

2.2.6 مصادر البيانات الرقمية

البيانات الطوبولوجية الرقمية متيسرة بأنساق مختلفة من مصادر مختلفة – غالباً من الوكالات الحكومية في مختلف الإدارات. وهناك قاعدة بيانات طوبولوجية رقمية موحّدة واحدة متيسرة لأغلب مناطق العالم في [GLOBE, 2001]. والبرنامج GLOBE هو ملف من البيانات الطوبولوجية الرقمية يغطي أغلب أجزاء العالم.

والمصادر الأكثر شيوعاً لتوليد البيانات الجغرافية الرقمية هي الخرائط التقليدية الورقية والصور الساتلية والتصوير الجوي. ويقدّم "المسح الليزري" مزيداً من الإنتاج المؤتمت لنماذج التضاريس الرقمية (DTM). وتتيسر في جميع أنحاء العالم تقريباً نماذج التضاريس الرقمية باستبانة 100 متر أو 200 متر وبيانات التجمّع من الخرائط التقليدية الرقمية. وبفضل الخلايا الصغرية في التخطيط الخلوي بالترددات الراديوية والتكنولوجيات الراديوية الرقمية الجديدة، مثل نظام الاتصالات المتنقلة العالمية (UMTS) والنفاذ المتعدد بتقسيم شفري للعام 2000 (CDMA2000)، تتوفر بيانات أكثر دقة بكثير. وتحل النماذج DTM باستبانة 10 أمتار و5 أمتار وحتى متر واحد، الموضوعة استناداً إلى الصور الساتلية والتصوير الجوي والمسح الليزري، بالتدريج محل النماذج DTM المنتجة استناداً إلى الخرائط التقليدية الورقية.

ولكي تكون مصادر البيانات مفيدة، يجب أن تستوفي الشروط التالية:

التيسر: يجب التحقق من أن مصدر البيانات ليس محمياً بحقوق المؤلف أو مصنّفاً سرّياً من السلطات الحكومية أو العسكرية.

نوعية المعلومات وكثافتها: لا تلبي أنماط المعلومات المطلوبة الموجودة في مصدر بيانات دائماً احتياجات المستعمل. وفوق ذلك فإن دقة الخرائط واعتماديتها في بعض البلدان لا تستجيب للاحتياجات التقليدية.

المعلومات المحدثة: في كثير من البلدان ومن أجل الكثير من أنماط مصادر البيانات، قد تكون المدة الفاصلة بين التحديثات طويلة جداً، وهذا يؤثر خاصة على اعتمادية الطبقات الخرائطية الخاصة باستخدام الأراضي. بينما تبقى قيم الارتفاعات، على العكس من ذلك موثوقة لفترة زمنية طويلة (بدون زلازل)، مثل الارتفاعات اللازمة لحساب نموذج DTM.

1.2.2.6 الخرائط الورقية (المطبوعة)

يمكن أن ترقمن المعلومات المنسوخة على خريطة ورقية تقليدية لإنتاج قاعدة بيانات جغرافية. ويمكن استكمال نماذج التضاريس الرقمية (DTM) من منحنيات السوية المرقمنة. ويمكن استخراج المعلومات الخاصة باستخدام الأراضي والميزات الخطية (المتجهات) بمسح الخرائط أولاً ثم تحويل النظام التنقيطي إلى نظام متجهي.

ويقدم الجدول 2.6-1 معلومات عن الدقة التي يمكن الحصول عليها عن بيانات التضاريس الرقمية الناجمة عن الخرائط الورقية ذات مقاييس الرسم المختلفة.

ومسح الخرائط في الوقت الحاضر هو الوسيلة الأرخص والأسرع لإنتاج قواعد البيانات الجغرافية بدقة متوسطة للمناطق الكبيرة المساحة. وتتوفر خرائط لجميع أجزاء العالم تقريباً بمقياس رسم قدره 1:200 000 أو أكثر. ويمكن الحصول على مثل هذه الخرائط ومسحها دون أي صعوبة كبيرة. وتكون المعلومات المتوفرة في هذه المقاييس موثوقة بالقدر الكافي عامة لحاجات التشغيل.

وتتوقف الدقة على مقيّاس رسم الخريطة، ويمكن تقديرها كما يلي: كل 1 ميلليمتر على الخريطة هو استبانة جدية بالنسبة إلى العين البشرية، ولذلك تتقيّد استبانة الخرائط بهذا الطول. وهكذا تكون استبانة نموذج DTM على خريطة مقياس رسمها 1:50 000 مساوياً 50 متراً، وعلى خريطة مقياس رسمها 1:250 000 مساوياً 250 متراً.

وفي الجدول التالي يحدد الدقة في الاتجاه XY ثخن الخط في منحنيات السوية للارتفاع المرسومة على الخريطة. بينما تتعلق الدقة في الاتجاه Z بعدد المنحنيات المتوفرة في كل منطقة وبنمط المنطقة.

الجدول 2.6-1

الدقة النمطية التي يمكن الحصول عليها بمقاييس رسم مختلفة

مقياس رسم الخريطة	XY (متر)	Z – منطقة منبسطة (متر)	Z منطقة جبلية (متر)
1:25 000	10	2,5	10
1:50 000	20	7	10
1:100 000	40	10	20
1:200 000	80	20	40
1:250 000	100	25	50
1:500 000	250	60	150

2.2.2.6 الصور الساتلية والتصوير الجوي والمسح الليزري

تحمل سواتل رصد الأرض الضوئي أدوات منفعلة مصممة لقياس النصوع أو القياسات الراديوية على سطح الأرض بأطوال موجية "ضوئية" مختلفة. ويتميز الساتل بمداره وبأدوات التصوير التي يحملها، وهذا يحدد استبانة النظام. وتوضع أغلب سواتل رصد الأرض في مدار متزامن مع الشمس على ارتفاع يقرب من 800 كيلومتر. وبذلك تستطيع عملياً أخذ الصور لأي نقطة على سطح الأرض (عندما تسمح السحب بذلك)، وعلى امتداد مساحة تبلغ آلاف الكيلومترات المربعة، وأن تحلّق فوق أي موقع معيّن في فترات زمنية منتظمة.

والمأخذ الرئيسي على بيانات السواتل الضوئية أن استبانتها محدودة، وإذ لا تستطيع أدوات التصوير والمحاسيس التي تحملها السواتل المدنية الحالية أن تحصل على صور عالية الاستبانة جداً من مداراتها المتزامنة مع الشمس. وإضافة إلى ذلك، باعتبارها أدوات ضوئية، فهي لا تستطيع "الرؤية" عبر الغيوم والسديم والضباب.

ويبين الجدول 2.6-2 عدة سواتل ضوئية متيسرة في السوق التجارية.

الجدول 2.6-2

قائمة بعدة سواتل ضوئية في مداراتها

الساتل	المالك	المحساس	الاستبانة (متر)	قد الصورة (كيلومتر)
Landsat	Space Imaging Corporation	TM	(MS) 30	185
Landsat-7	Space Imaging Corporation	ETM	(MS) 30 (PAN) 15	185
		HRMSI	(MS) 10 (PAN) 5	60
SPOT	CNES (Centre National d'Etudes Spatiales)	HRV	(MS) 20 (PAN) 10	60
JERS-1	NASDA (National Space Developing Agency)	ADEOS	(MS) 16 (PAN) 8	75
IRS-1C		LISS-III	23	70
		PAN	5,8	70

عينة من السواتل في مدارها (MS – محساس متعدد الطيف؛ PAN – محساس جميع الألوان).

وقد أصبح التصوير الجوي مصدر بيانات مهماً لإنتاج نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) العالي الاستبانة، وهو يستعمل على نطاق واسع في رسم الخرائط التقليدية.

والتصوير الجوي مفيد بصورة خاصة في استبانات وقيم دقة تتجاوز مقدرات المحاسيس المحمولة على متن السواتل والمتيسرة حالياً للمستعملين في القطاع الخاص. ونقطة الانطلاق هي صور جوية تمتد مقاييسها من 1:10 000 إلى 1:30 000. والتراكب المهم الذي يحدث بين الصور المتجاورة ينتج أزواجاً من الصور المجسّمة. وتجري رقمنة هذه الصور باستخدام ماسحات دقيقة، وينتج عن ذلك صور رقمية تتراوح استباناتها بين بضعة ديسيمترات ومتر واحد أو مترين. وتطبق بعدئذ معالجة على هذه الصورة على خط إنتاج رقمي للحصول على منتجات تمتد من صور صحيحة ونماذج DTMs وDEM إلى خرائط استخدام الأراضي والمعلومات المتجهية. والمأخذ الرئيسي على هذه الصور هي قلة تيسرها. ففي مناطق كثيرة مهمة لا توجد لها بكل بساطة صور جوية محدثة، وإن وجدت ينظر إليها على أنها سرية. وفوق ذلك تكون المنطقة التي تغطيها كل صورة، صغيرة نسبياً، لذلك يحتاج المستعمل أن يشتري ويعالج عدداً كبيراً من الصور، وهذا يؤدي إلى إضافة تكاليف كبيرة إلى المشروع.

ويمكن المسح الليزري من استحداث نموذج DEM بدرجة عالية من الأتمتة. ويحمل نظام المسح الليزري في الطائرات، ويضم نظام GPS تفاضلياً مع نظام عطالي لقياس التسارع وتغير الاتجاه في منصة المحساس. ويتيح هذا التجهيز تحديد مسار الطائرة بدقة تقرب من سنتيمترين. ويضمن نظام المسح الليزري الحالي قياسات دقيقة جداً للمسافات (بدقة سنتيمتر واحد) بين المنصة والشيء، أو سطح الأرض، وذلك باللجوء إلى قياس انعكاسات النبضة الليزرية. ويتيح تكامل المحاسيس الثلاثة الحصول على قياسات دقيقة جداً لسطح التضاريس.

وباختصار، فإن الجدول 3-2.6 يقدم لمحة شاملة عن مصادر البيانات المتنوعة وعن الاستبانة الأفقية التي يمكن الحصول عليها باستخدام كل مصدر.

الجدول 3-2.6

لمحة شاملة عن مصادر البيانات المختلفة

مصدر البيانات	نمط البيانات	الاستبانة الممكنة (متر)
الخرائط الورقية: المقياس 1:20 000 – 1:500 000	خريطة طرق	100-2
	نموذج تضاريس رقمي، تشكلات	200-10
الصور الساتلية	صورة	50-1
	نموذج ارتفاع رقمي، تشكلات	50-5
التصوير الجوي	صورة فوتوغرافية	5-0,5
	نموذج ارتفاع رقمي، أبنية، تشكلات	5-1
المسح الليزري	صورة فوتوغرافية	5-0,5
	نموذج ارتفاع رقمي، أبنية، تشكلات	5-1

3.2.6 أنماط بيانات الخرائط الرقمية

ثمة نماذج متنوعة لانتشار الموجات في أمداء تردد وخدمات معينة، تختلف اختلافاً كبيراً في تعقيدها، وفي الفقرة 4.6 مزيد من المعلومات عن الانتشار. وهناك تأثير كبير لسطح الأرض ولجوها في انتشار الموجات الكهرمغنطيسية. وحسب النموذج المختار، تجري الحسابات انطلاقاً من أنماط مختلفة من البيانات، بغية نمذجة خصائص سطح الأرض:

- الخرائط الجغرافية وخرائط الطرق والصور الفوتوغرافية الأرضية المراجع؛
- نموذج تضاريس رقمي (DTM)؛
- بيانات الأبنية ونموذج ارتفاع رقمي (DEM)؛

- بيانات التشكلات؛
- خريطة العالم المرقمنة من وضع الاتحاد الدولي للاتصالات (IDWM).

ويجب إرجاع هذه البيانات إلى الأرض، كما في حالة الخرائط الرقمية العادية، حسب نظام إحداثيات خرائطي مناسب. وهي متضمنة في نظام المعلومات الجغرافية (GIS) في شكل طبقات خاصة لتجسيد رؤية الخصائص المقابلة لسطح الأرض، ولتوفير نفاذ إلى البيانات اللازمة لحسابات انتشار الموجات.

وتسمح ورشة بيانات خرائطية للإدارة نفسها بإنتاج خرائط مرقمنة يستعملها نظام إدارة الطيف ومراقبته، وبإدماج هذه الخرائط في النظام. ويمكن استخدام الورشة كذلك لإنتاج بيانات خرائطية أو لتحديثها.

وتتوفر عادة غالبية هذه البيانات الرقمية للتضاريس في نسقين:

- *بيانات متجهية (بيانات خطوطية)*: تختزن المعلومات الجغرافية في مضلّعات تتبع ملامح خطية (طرق السيارات والسكك الحديدية وخطوط السوّية وغير ذلك) أو تعيّن حدود مناطق لها نفس الخصائص (مثل الحدود السياسية والبحريات وأكفّة المدن والغابات). ويمكن أن تضاف معلومات أخرى (عدد السكان والدخل وعدد السكان حسب العمر وأسماء الشوارع أو المدن) إلى المعلومات الجغرافية. والمعلومات المختزنة في البيانات المتجهية تتطلب عادة ذاكرة أقل على القرص الصلب من البيانات التنقيطية. وبالمقابل يتطلب الحصول على معلومات عن نقطة معينة وقتاً أطول، مثل الارتفاع الصحيح لتضاريس الأرض في نقطة واقعة بين عدة خطوط سوية. وارتفاع التضاريس هذا يجب استكماله أولاً من خطوط السوية المجاورة. ويمكن إضافة طبقات معلومات للحصول على البيانات المطلوبة.
- *البيانات التنقيطية (البيانات المشبّكة)*: تقسم المنطقة إلى مستطيلات قدّها معيّن ومتباعدة تباعداً منتظماً. وقدّ هذه المستطيلات يدعى الاستبانة الأفقية. ويختزن عنصر معلومات واحد في كل مستطيل، ويمكن أن يكون هذا العنصر هو ارتفاع التضاريس أو صنف التجمع أو عدد السكان الذين يعيشون في هذه المنطقة المستطيلة أو مجرد معلومات بيانية عن صورة أو عن خريطة ورقية ممسوحة. وإذا احتاج الأمر إلى تخزين أكثر من عنصر معلومات واحد عن كامل المنطقة، يلزم توليد طبقة تنقيطية لكل صنف من المعلومات. والبيانات التنقيطية تحتاج عادة إلى ذاكرة أكبر على القرص الصلب مما تحتاجه نفس البيانات في النسق المتجهي. وميزة البيانات التنقيطية أنها تؤمن نفاذاً سريعاً جداً إلى كل واحدة من النقاط. وتبدو الصورة كما لو كانت خريطة، غير أن عملية تزويم تزيد من تفصيل المعلومات (مثل الأسماء والأنهار).

ويعدّد الجدول 4-2.6 أنساق تبادل البيانات الشائعة بين ملفات البيانات المتجهية والبيانات التنقيطية.

الجدول 4-2.6

أنساق تبادل البيانات الشائعة بين ملفات البيانات المتجهية والبيانات التنقيطية

نمط البيانات	أنساق الملفات الشائعة
بيانات متجهية	AutoCAD DXF / DWG، Esri ArcInfo E00, Esri ArcView Shape، MapInfo TAB (MapInfo MIF / MID (ASCII Export Format، Microstation DGN، SDTS، TIGER، VPF
بيانات تنقيطية – أنساق الصورة	BMP، GIF، JPG، TIFF، GeoTIFF
بيانات تنقيطية – أنساق بيانات التضاريس	ASCII Grid، ASCII XY Value، BIL، BIP، BSQ، DTED، ESRI Generic Planet، Binary

1.3.2.6 الخرائط السياسية وخرائط الطرق والصور الفوتوغرافية الأرضية المراجع

يمكن استعمال الخرائط السياسية وخرائط الطرق لإظهار المواقع ومناطق التغطية والحزم الاتجاهية للمرسلات أو لمحطات المراقبة. فالخرائط السياسية تظهر عادة المرسلات ومحطات المراقبة في منطقة واسعة. وبإمكان خرائط الطرق ذات الاستبانات المختلفة أن تساعد على تعرّف مواقع محطات الإرسال المعلومة والمجهولة. وتوفر الصور المأخوذة من الجو أو الصور الساتلية نظرة محدثة للمنطقة قيد النظر، كما تساعد على تعرّف مناطق الانعكاس أو العوائق.

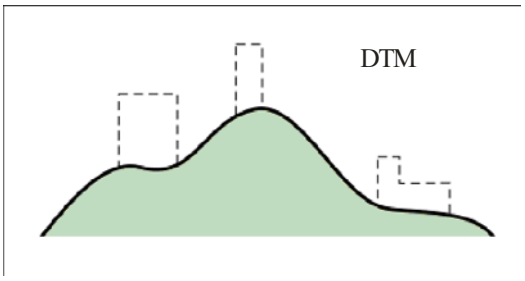
2.3.2.6 نموذج التضاريس الرقمي (DTM)

يمثل نموذج التضاريس الرقمي (DTM) سطح الأرض بالنسق التنقيطي أو المتجهي، ويبين ارتفاع كل نقطة فوق المستوى المتوسط لسطح البحر (AMSL) في المنطقة الممثلة. ولا يشمل النموذج DTM ارتفاعات الأبنية أو الأشجار أو غير ذلك من استخدام الأراضي، على سطح الأرض. وتعطى استبانة النموذج DTM بالاستبانة في الاتجاه XY واستبانة ارتفاع النقطة. وكما ذكر آنفاً، تستنتج الاستبانة المطلوبة من مدى التردد في العمليات والمنطقة المعنية والخدمات قيد النظر ونماذج الانتشار المستعملة.

وتمتد استبانات الخرائط ما بين 1 كيلومتر في الاتجاه الأفقي مع 100 متر لاستبانة الارتفاع، وبين متر واحد في الاتجاه XY و0,1 من المتر للاستبانة الرأسية. وتحتاج نماذج الانتشار الأكثر دقة والتخطيط للخلايا الصغرية بالترددات الراديوية إلى دقة أعلى بكثير. ويمكن الحصول على الاستبانة الجيّدة للتحليل التقني الشائع في خريطة تضم 100 بكسل في المتر المربع، واستبانة رأسية قدرها 10 أمتار. ويمثل الشكل 2.6-1 خريطة رقمية تخطيطية للتضاريس من دون أبنية ولا أشجار أو غيرها.

الشكل 2.6-1

النموذج DTM: سطح الأرض من دون أبنية أو أشجار، وغيرها



Spectrum-6.2-01

3.3.2.6 بيانات تخص الأبنية ونموذج الارتفاع الرقمي

تضيف بيانات الأبنية عادة ارتفاع الأبنية إلى سطح الأرض. وكثيراً ما تستعمل بيانات الأبنية للتحقق على خط البصر من التخطيط للمواصلات بالموجات الصغرية والوصلات من نقطة إلى نقاط متعددة (P-MP). والاستبانات النموذجية تقع في المدى من متر واحد إلى 10 أمتار، ولكنها لا تكون أعلى من حجم الأشياء.

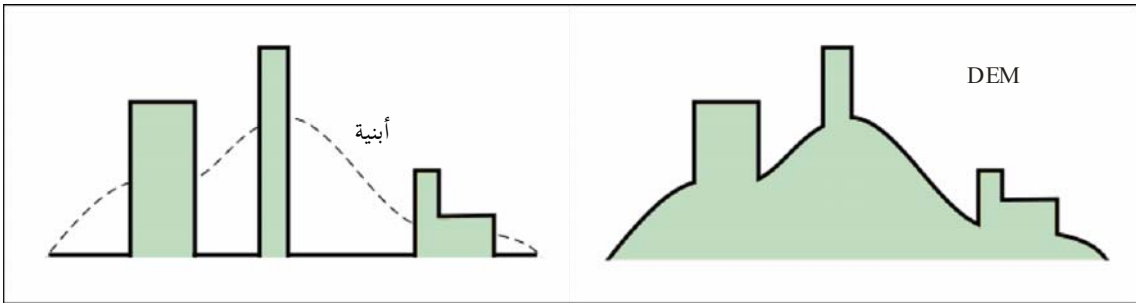
وتُختَزَن بيانات الأبنية بالنسق التنقيطي أو بالنسق المتجهي. ويفضل النموذج المتجهي للاستبانات ثلاثية الأبعاد في المناطق الحضرية. وبالمقارنة مع البيانات التنقيطية، فإن البيانات المتجهية يمكن أن تشتمل على تفاصيل أكثر مثل أسطحة المباني. وتحتاج هذه المعلومات إلى مزيد من التحديثات، وذلك فيما يخص النموذج DTM فقط، لأن الأبنية وارتفاعاتها يصيبها تتغير أكثر مما يتغير ارتفاع سطح اليابسة فوق مستوى سطح البحر.

ويمكن لنموذج الارتفاع الرقمي (DEM) أن يضم بيانات الأبنية، فهو يبين سطح الأرض بالإضافة إلى ارتفاعات الأبنية. وإلى جانب الأبنية، يمكن أيضاً إظهار ارتفاع سطح الأرض. وتستعمل النماذج DEM لأغراض التخطيط للخلايا الصغرية ووصلات الموجات الصغرية والوصلات من نقطة إلى نقاط متعددة (PMP)، بينما تستطيع أدوات النظام GIS (نظام

المعلومات الجغرافية) القيام بتحققات على خط البصر وبحسابات شدة المجال. وتقع الاستبانات النموذجية للنماذج DEM ما بين متر واحد و25 متراً. ويمثل الشكل 2.6-2 البيانات الخاصة بالأبنية: سطح الأرض مع ارتفاع الأبنية.

الشكل 2.6-2

النموذج DEM: سطح الأرض مع ارتفاع الأبنية



Spectrum-6.2-02

4.3.2.6 بيانات التشكلات

تحتوي بيانات التشكلات، وتدعى أيضاً بيانات استخدام الأراضي، أو بيانات المورفولوجيا، أو تغطية الأراضي أو إشغال سطح الأرض، على معلومات تصنيف بنود التشكلات (تصنيف القطاع ITU-R)، مثل المساحات المعدنية المكشوفة أو الحقول والأراضي المزروعة أو الغابات أو المياه أو المناطق الحضرية الكثيفة أو المناطق الحضرية المبعثرة أو المناطق الحضرية المختلطة. ويمكن أن تقدّم هذه المعلومات بشكل متجهات (بتوفير مساحات مضلّعة مؤلفة من نقاط من التصنيف ذاته: مثل أكفّة البحيرات والغابات والمدن)، غير أن النسق التنقيطي يناسب أكثر للاستعمال في نماذج الانتشار. وفي الحالة الأخيرة، تمثل خريطة بيانات التشكلات إما بيانات كيفية تبيّن أي عنصر (منطقة حضرية أو ضاحية أو غابة أو مساحة مائية) موجودة في كل بكسل، وإما بيانات كمية مثل كثافة النباتات أو كثافة الأبنية أو ارتفاعاتها. وتستطيع نماذج الانتشار استخدام هذه الخرائط من بيانات التشكلات. وتتطلب بعض النماذج التنبؤ بشدة المجال، مثل Okumura-Hata وWalfish Ikegami بيانات التشكلات، بالإضافة إلى نموذج التضاريس الرقمي (DTM)، لتحسين دقة التنبؤات. وتنحصر الاستبانات النموذجية لخرائط بيانات التشكلات ما بين 10 أمتار و100 متر.

5.3.2.6 خريطة العالم المرقمنة من وضع الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU)

وضعت خريطة العالم المرقمنة في الاتحاد (IDWM) لتجميع ما يلزم من بيانات جغرافية وسياسية وخاصة بالأرصاد الجوية وتقنية تتوقف على الإحداثيات الجغرافية للنقاط والمناطق. والمعلومات التي تحتويها مفيدة جداً في مدى واسع من عمليات الحساب. وتتكون الخريطة IDWM من جزأين هما قاعدة بيانات الخريطة IDWM ومكتبة البرنامج الفرعي للخريطة IDWM. وتحتوي قاعدة بيانات الخريطة IDWM البيانات التالية: البيانات الجغرافية (مثل السواحل، والبحار، والجزر، والبحيرات)، والبيانات السياسية (مثل الحدود الوطنية والإقليمية)، وبيانات الأرصاد الجوية للمناطق المناخية المطرية، والبيانات التقنية مثل مناطق توصيلية التربة ومناطق الضوضاء. وفوق ذلك تحتوي خريطة العالم المرقمنة IDWM على مكتبة البرنامج الفرعي التي توفر سلسلة كبيرة من الوظائف تضمن الاستعمال الكامل لقاعدة البيانات المذكورة أعلاه، مثل تحديد الإقليم والبلد والمنطقة المناخية المطرية وما إلى ذلك، من أجل نقطة معينة، وحساب المسافة من نقطة معينة إلى الساحل، والحدود الوطنية، وما إلى ذلك، من أجل سمت معين، وحساب المسافة والسمت من أجل نقطة معينة بالنسبة إلى أقرب ساحل، وإلى أقرب نقطة على حدود البلد، وغيرها من الوظائف العديدة. والخريطة IDWM متضمنة في أغلب رزم البرمجيات التي يقدمها الاتحاد، من قبيل النشرة الإعلامية الدولية للترددات (IFIC) التي يصدرها مكتب الاتصالات الراديوية (BR) كل نصف شهر والتي تبين المحطات المسجلة على خريطة.

6.3.2.6 خدمات رسم الخرائط في الويب

هناك بديل مثير للاهتمام وهو استعمال خدمات رسم الخرائط في شبكة الويب، فهي تقدم خرائط عالمية مرسومة من تراكب الصور الساتلية والتصوير الجوي والمعلومات المستقاة من نظام المعلومات الجغرافية (GIS). وأغلب مساحات الأراضي تغطيها الصور الساتلية باستبانة تبلغ حوالي 15 متراً لكل بكسل بل أفضل من ذلك.

وتؤدي الخرائط الرقمية وظائف مختلفة منها:

- تزويم سريع للخريطة.
- قياس المسافات وزوايا الاتجاهات.
- استخدام أنماط إحداثيات مختلفة.

وجدير بالملاحظة أن استعمال خدمات رسم الخرائط في شبكة الويب قد يتطلب عقد ترخيص للمستعملين الحكوميين و/أو التجاريين، على الرغم من أن هذا الاستعمال قد يكون مجانياً بالنسبة إلى المستعملين الخصوصيين.

4.2.6 استبانات الخرائط المطلوبة في حسابات انتشار الموجات

تتوقف الاستبانات المطلوبة لجميع أنماط طبقات البيانات الجغرافية في حسابات انتشار الموجات على المعلمات التالية:

- التضاريس الأرضية؛
- تردد الإرسال وقدرته التي تعرف مدى التشغيل؛
- نمط الخدمة.

وينبغي أن تكون استبانة بيانات الخريطة كافية لتأخذ في الحسبان التغيرات المهمة في التضاريس الأرضية. وإلاّ فهناك خطر ضياع في بعض البيانات المهمة التي تؤدي إلى نتائج حسابات خاطئة بالكامل. ويتوقف مستوى التفاصيل في تغيرات بيانات الخريطة اللازم لبعض الحسابات إلى حد كبير على الطول الموجي للإرسال. وتدل التجارب على أن التفاصيل التي تكون أصغر من الطول الموجي لا تؤثر تأثيراً كبيراً جداً في خسارة الانتشار. ويقدم الجدول 2.6-5 لمحة موجزة عن استبانات الخرائط المطلوبة للحسابات في مختلف نطاقات التردد. وجانبية التضاريس الأرضية أكثر أهمية في حالة الترددات التي تزيد على الترددات الديكامترية (HF) (30 MHz) والمقابلة لأطول موجية أقل من 10 أمتار.

وليس من اتصال دقيق بين المرسل والمستقبل إذا كانا يعملان بتردد يزيد على 5-10 GHz وبدون رؤية مباشرة في خط البصر بينهما، لذلك تكون، دقة النموذج DTM في حساب الإشارة المستقبلة أهم من دقة نماذج الانتشار المستخدمة.

الجدول 2.6-5

استبانات الخرائط في مختلف أمداء التردد

نطاق الترددات	مدى الترددات	الطول الموجي (أمتار)	مدى الإرسال التقريبي (كيلومترات)	الاستبانة المقترحة لبيانات الخرائط
VLF (الميريامترية)	30-3 kHz	100 000-10 000	عدة آلاف	1 كيلومتر
LF (الكيلومترية)	300-30 kHz	10 000-1 000	عدة آلاف	1 كيلومتر
MF (الهكتومترية)	3-0,3 MHz	1 000-100	بضعة آلاف	1 كيلومتر
HF (الديكامترية)	30-3 MHz	100-10	بضعة آلاف	1 كيلومتر
VHF (المترية)	300-30 MHz	10-1	حتى 1 000	~1 كيلومتر
UHF (الديسمترية)	3-0,3 GHz	1-0,1	حتى 100	~ 100 متر
SHF (السنتمترية)	30-3 GHz	0,1-0,01	حتى 30	~ 10 أمتار
EHF (الميليمترية)	300-30 GHz	0,01-0,001	حتى 20	~ 1 متر

5.2.6 أنظمة الإحداثيات

يستخدم نظامان من الإحداثيات لتعريف الخرائط المفيدة في إدارة الطيف ومراقبته. وتستعمل الإحداثيات الكروية لتحديد الخرائط التي تهدف إلى نقل سطح الكرة الأرضية الكروي على صفائح خرائط مستوية. وتستعمل خطوط العرض والطول في أغلب أنظمة الإحداثيات الشائعة، ثم يجري "إسقاط" هذه الخطوط من السطح الكروي على سطح مستوٍ باستخدام إسقاطات متنوعة للحصول على نتائج مختلفة. وفيما يخص نظام الإحداثيات الكروية فإن أهم المسائل التي يجبً أن تحلها تطبيقات النظام GIS تعني أشياء وظواهر على سطح الكرة الأرضية، وفي الجو الذي يعلوه، وفي الكتلة البرية التي تقع تحته. ولا بد من معرفة الموقع الصحيح على الخريطة ومرجعيته على سطح الكرة الأرضية، حتى يتم تحليل العلاقة القائمة بين هذه الأشياء. لذلك لا بد من إيجاد إجراء لتمثيل جزء من سطح الأرض الثلاثي الأبعاد على خريطة ثنائية الأبعاد.

وتكون المقاربة الأساسية كما يلي:

- أولاً، الكرة أو القطع الناقص المجسّم يمثلان تقريباً الشكل الحقيقي للأرض. وشكلها واتجاهها في الفضاء يصفهما ما يسمى النظام المرجعي الجيوديسي: مجموعة من القيم المرجعية يجب أن يبنى عليها نظام الإحداثيات (انظر الملاحظة 1).
- ثانياً، جزء من هذا الشيء الثلاثي الأبعاد يجب تمثيله في مستوٍ ثنائي الأبعاد يسمى خريطة عادةً.

الملاحظة 1 – يوصى للتنسيق الدولي بالنظام الجيوديسي العالمي WGS 84، المبني على نظام 'جيوئيد' GRS 80.

ويجري هذا التحويل باستخدام الإسقاط الخرائطي. والإسقاط الخرائطي مع النظام المرجعي الجيوديسي يؤلفان معاً نظام إحداثيات يشرح بالكامل الإجراء كله. وتلجأ جميع نماذج الكرة الأرضية الناقصية المجسّمة المتنوعة إلى أنظمة إحداثيات خرائطية مختلفة لتعريف مواقع جغرافية على الخرائط. وفي الحقيقة لا تصلح هذه الإسقاطات إلاّ لمساحات صغيرة من سطح الكرة الأرضية.

وفي كثير من الحالات، يستطيع مشغّل المراقبة أن يختار بين أنماط مختلفة من الخرائط مع عدة أنظمة إحداثيات مختلفة من خطوط الطول والعرض (بالدرجات والدقائق والثواني) (مركاتور العرضاني العالمي (UTM)، لامبرت، مركاتور، وغيرها) ليضمه إلى نظامه في المراقبة.

وعلى نظام المعلومات الجغرافية (GIS) أن يتبادل جميع أنماط الإحداثيات المختلفة. ويكفي عادة استخدام نظام إحداثيات مرجعي داخلي واحد تحوّل إليه جميع أنظمة الإحداثيات الأخرى. وهذه الآلية الأوتوماتية تسمح للمشغّل بأن يستعمل جميع الخرائط المختلفة من دون أن يهتم بأنظمة إحداثياتها المختلفة.

وغالباً ما يستعمل نظام إحداثيات مستطيلة للمساحات الصغيرة نسبياً لسهولة رسمها وإجراء حساباتها (المسافة الفاصلة مثلاً). وفي هذه الحالة، تكون الأخطاء الناجمة عن افتراض الأرض مسطّحة، صغيرة يمكن قبولها. ويقدم الجدول 1 في توصية القطاع ITU-R P.1058 موجزاً يبين الفروق ما بين أنظمة الإحداثيات.

الجدول 6-2.6

أنظمة الإحداثيات

المعلمة	خطوط الطول والعرض	UTM	غيرها
قابلية التطبيق	كامل الكرة الأرضية	غالبية الكرة الأرضية	محلية عادة
شكل خلايا الشبكة	مجسّم شبه منحرف بخطوط منحنية	تقريب جيد من المرّبع	تقريب جيد من المرّبع عادة
تغير عامل التدريج	تغير مع خط العرض	تقريب جيد من الثابت	تقريب جيد من الثابت عادة
الحدود الفاصلة	لا يوجد	حسب خط الطول	متغيرة

ويجب إيلاء اهتمام كبير وأخذ الحذر عند تحويل المواقع ما بين الخرائط التي تستخدم أنظمة إحداثيات مختلفة. فهناك عدد من المراجع تقدم شرحاً واضحاً لهذه الإسقاطات الخرائطية المهمة ولغيرها أيضاً. وتقدم المراجع التالية شرحاً بيانياً جيداً مع معلومات الرياضيات اللازمة لتفسير البيانات وتحويلها.

المراجـــع

GLOBE [2001] 30 arc-second (1 km) gridded quality controlled global DTM is available from NOAA National Data Centres via the Web page: http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/globe.html.

بيبليوغرافيا

SNYDER, J. P. [1987] Map Projections, A Working Manual. U.S. Geological Survey Professional Paper 1395, United States Government Printing Office, Washington, United States of America.

Institut Géographique National, 135 bis rue de Grenelle, Paris, France, http://www.ign.fr.

توصيات وقرارات قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد

ملاحظة – يشجع في كل مرة استعمال آخر طبعة من التوصية والقرار.

التوصية ITU-R P.1058 – قاعدة معطيات طوبوغرافية رقمية لدراسات الانتشار.

القرار ITU-R 40 – قواعد بيانات عالمية النطاق لارتفاعات الأراضي وملامح التضاريس.

3.6 حسابات القدرة المشعّة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.)

1.3.6 المدخل والتعريف

القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) هي معلمة مهمة للمرسل، ومعرفتها ضرورية لتحديد مدى العمليات ومنطقة التداخل الراديوي الحادث للمستقبلات الأخرى، والمخاطر الراديوية التي يتعرض لها الموظفون، والتجهيزات الطبية، والعتاد الحربي، والوقود. لذلك فمن الأمور الجوهرية أن تكون محطة المراقبة قادرة على تقدير القدرة e.i.r.p. لمرسل ما. كما يحتاج الأمر إلى حساب سوية قدرة المرسل من أجل مقارنة القدرة المرسلة الفعلية بالبيانات المسجلة في الرخصة: القدرة العظمى المقبولة وكسب الهوائي. وحساب القدرة e.i.r.p. أساسي لمراقبة إرسالات الطائرات (انظر الفقرة 4.2.1.5).

وتعرف هذه القدرة في الرقم 161.1 من لوائح الراديو كما يلي:

"*القدرة المشعّة المكافئة الفعالة (e.i.r.p.):* هي جداء القدرة المقدمة إلى الهوائي في كسبه بالنسبة إلى هوائي متناحٍ (*كسب متناحٍ أو مطلق*)، في اتجاه معيّن".

وتحسب القدرة e.i.r.p. من الصيغة التالية:

$$e.i.r.p. = P_t + G_t - L \quad \text{dBm} \tag{1-3.6}$$

حيث:

P_t: قدرة الخرج من المرسل (dBm)

G_t: كسب هوائي الإرسال، في اتجاه المستقبل، (dB) بالنسبة إلى هوائي متناحٍ (dBi)

L: خط الإرسال وخسارات المواءمة.

وفي حالة هوائي شامل الاتجاهات، تكون القدرة e.i.r.p. منتظمة في جميع الاتجاهات. أما في حالة هوائي اتجاهي فإن قيمة هذه القدرة تتغير عامة مع السمت والارتفاع. وعندما يقال إن القدرة e.i.r.p. مستقلة عن الاتجاه، فهذا يعني القيمة العظمى.

الملاحظة 1 – هناك مصطلح مشابه هو (.e.r.p) (القدرة المشعّة الفعالة) غالباً ما يستعمل في مجال التطبيقات نفسه. ويعرّف في الرقم 162.1 من لوائح الراديو كما يلي:

"*القدرة المشعة الفعالة (.e.r.p)* (في اتجاه معطى): هي جداء القدرة المقدمة إلى الهوائي *في كسبه بالنسبة إلى ثنائي أقطاب نصف موجي*، في اتجاه معيّن".

وتستعمل كثيراً في قياسات الملاءمة الكهرمغنطيسية (EMC)، حيث يستعاض عن التجهيز الموجود تحت الاختبار (EUT)، والذي كان إرساله قد جرى قياسه بهوائي ومستقبل قياس، بثنائي أقطاب نصف موجي مع مولد إشارة تضبط قدرة خرجه لكي يعطي نفس القراءة على شاشة مستقبل القياس التي يعطيها التجهيز EUT لو كان مكانه. وتكون قدرة الدخل إلى ثنائي أقطاب نصف موجي لا خسارة فيه هي القدرة .e.r.p المطلوب قياسها.

وترتبط القدرتان .e.r.p و.e.i.r.p عموماً بالعلاقة:

$$e.i.r.p. = e.r.p. + 2.1 \quad \text{dBm} \tag{2-3.6}$$

2.3.6 تقدير القدرة .e.i.r.p استناداً إلى قياسات مراقبة الإرسالات

يمكن في محطة المراقبة قياس سوية القدرة المستقبلة (P_r (dBm)) عند مدخل المستقبل. وكثيراً ما تكون معاوقة دخل المستقبل مساوية 50 Ω، وتسجل القدرة المستقبلة باعتبارها فلطية V_r (dB(μV)) بين طرفي مقاومة 50Ω.

في مقاومة دخل قدرها 50 Ω، ترتبط القدرة P_r والفلطية V_r بالعلاقة التالية:

$$P_r\,(\text{dBm}) = V_r\,(\text{dB}(\mu\text{V})) - 107 \tag{3-3.6}$$

في مقاومة دخل قدرها 75 Ω، ترتبط القدرة P_r والفلطية V_r بالعلاقة التالية:

$$P_r\,(\text{dBm}) = V_r\,(\text{dB}(\mu\text{V})) - 108.8 \tag{4-3.6}$$

ويمكن حساب القدرة .e.i.r.p للمرسل من P_r أو من V_r، كما هما محددان في محطة المراقبة، إذا كان توهين الانتشار معلوماً.

1.2.3.6 حساب القدرة .e.i.r.p من القدرة المستقبلة وشدة المجال

يمكن حساب القدرة .e.i.r.p للمرسل انطلاقاً من القدرة المستقبلة المعايرة، بعد معرفة كسب الهوائي والخسارة في خط الإرسال عند الاستقبال، والخسارة بعدم مواءمة الاستقطاب والتوهين بالانتشار، إذا أجري القياس في اتجاه الكسب الأقصى لهوائي الإرسال:

$$e.i.r.p. = P_r - G_r + R_{loss} + X_{pol} + L_{prop} \quad \text{dBm} \tag{5-3.6}$$

حيث:

P_r: قدرة الإشارة المقيسة عند مدخل المستقبل (dBm)

G_r: كسب هوائي الاستقبال في اتجاه المرسل المراقب (dBi)

R_{loss}: الخسارة في خط الإرسال عند الاستقبال: الخسارة في الكبلات وفي نظام التغذية وبسبب عدم المواءمة (dB)

X_{pol}: عدم مواءمة الاستقطاب (تمييز هوائيي الإرسال والاستقبال (dB))

L_{prop}: التوهين بالانتشار (dB).

ومن المفترض أن عرض نطاق المستقبل أكبر من عرض نطاق الإرسال.

ومن السهل حساب القدرة e.i.r.p. في حالة الانتشار في الفضاء الحر. ويمكن حساب التوهين بالانتشار في الفضاء الحر، L_{prop}، باستعمال المعادلة التالية:

$$L_{prop} = 20 \log f + 20 \log d + 32.45 \qquad \text{dB}$$

حيث:

d: المسافة بين المرسل والمستقبل (km)

f: التردد (MHz)

وتكون القدرة:

$$e.i.r.p. = P_r - G_r + R_{loss} + X_{pol} + 20 \log f + 20 \log d + 32.45 \quad \text{dBm} \tag{6-3.6}$$

تفترض هذه الصيغ أن الانتشار يحدث في الفضاء الحر، ولا تأخذ في الاعتبار الآثار التي قد تنتج عن سطح الأرض وعن العوائق وآثار الانتشار في المجاري وغير ذلك. وفي الحالات الأخرى، يحسب التوهين بالانتشار باستخدام نماذج الانتشار المفصّلة في الفقرة 4-6.

وقبل استعمال صيغة الفضاء الحر، يلزم التحقق من جانبية المسير للتأكد من أن الفضاء الحر موجود. ويعتبر المسير فضاءً حراً حيث لا تمتد التضاريس الأرضية إلى داخل طبقة Fresnel الأولى (أو مع الحرص الزائد داخل طبقة فرينل الثالثة). ويعطى نصف قطر طبقة Fresnel الثالثة r (m) بالعلاقة:

$$r = 30 * \sqrt{\frac{d_1 \, d_2}{fd}} \tag{7-3.6}$$

حيث:

d_1: المسافة بين العائق والمرسل (km)

d_2: المسافة بين العائق والمستقبل (km)

d: طول المسير الكلي (km)

f: التردد (GHz).

شرح التطبيق: من أجل $d_1 = d_2 = d/2$ و$d = 10$ km و$f = 2{,}5$ GHz، يكون نصف قطر منطقة Fresnel الثالثة مساوياً 30 متراً، وهذا يعني أن الحصول على إشارة توهينها بسبب الانتشار في فضاء حر، يقضي بالاّ يقترب أي بناء أو عائق آخر بأكثر من 30 متراً على خط البصر من منتصف جانبية المسير. ولو كان المطلوب هو نصف قطر منطقة Fresnel الأولى، لكانت منطقة الحماية اللازمة مجرد 17,32 متراً.

وللحصول على نصف قطر منطقة Fresnel الأولى نقسّم نصف قطر منطقة Fresnel الثالثة على (3√ =) 1,732.

وبغية حساب مسافة خط البصر (LoS) العظمى، يجب أن تؤخذ في الحسبان آثار الانكسار الجوي. ولكي يجري هذا الحساب عادة، تستعمل طريقة رسم جانبية المسار، باستخدام نصف قطر للأرض أكبر من نصف قطرها الحقيقي (6 370 km)، بضربه بعامل (k). وفي مناطق المناخ المعتدل، تكون القيم المتوسطة للعامل k تساوي تقريباً 4/3. وفي هذه الحالة، يمكن استعمال صيغة بسيطة نسبياً لحساب المسافة إلى الأفق (d_{los}) فوق سطح البحر أو فوق سطح أرض منتظمة:

$$d_{los} = 4.1 \left(\sqrt{H_t} + \sqrt{H_r} \right) \text{ km}$$

حيث:

H_t وH_r هما ارتفاعا هوائيي الإرسال والاستقبال (بالأمتار) فوق مستوى سطح الأرض، على التوالي.

ويمكن الربط بين شدة المجال وفلطية المستقبل باستخدام عامل الهوائي. وعندما تحوّل هذه المقادير إلى الوحدة dB، نكتب:

$$E = V_r + k_e \qquad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \tag{8-3.6}$$

حيث:

V_r: الفلطية المقيسة عند مدخل المستقبل (dB(μV))

k_e: عامل الهوائي $(\text{dB/1/m m}) = -29{,}77 - G_r + 20 \log f\,(\text{MHz})$

وبالتالي يكون:

$$P_r = E\,(\text{dB}(\mu\text{V/m})) - k_e - 107 \qquad \text{dBm}$$

فيمكن استعمال الصيغة الواردة أعلاه:

$$e.i.r.p. = E - 20 \log f\,(\text{MHz}) - 77.23 + R_{loss} + X_{pol} + L_{prop} \qquad \text{dBm} \tag{9-3.6}$$

وفي حالة الانتشار في فضاء حر، يكون:

$$e.i.r.p. = E + R_{loss} + X_{pol} + 20 \log d\,(\text{km}) - 44.78 \qquad \text{dBm} \tag{10-3.6}$$

ويمكن اشتقاق هذه المعادلة مباشرة من التعبير المعروف جيداً (انظر التوصية ITU-R P.525):

$$E = 30 * \sqrt{\frac{e.i.r.p}{d}} \tag{11-3.6}$$

حيث:

E (V/m) و e.i.r.p. (W) والمسافة (m)

3.3.6 تأثير الانتشار

يؤثر التغير الحاصل من خسائر الانتشار في النتائج، وتزداد الدقة بازدياد الفترة الزمنية التي يجري فيها أخذ متوسط القياسات على البيانات. ويزداد تأثير آثار الانتشار بازدياد المسافة بين محطتي الإرسال والاستقبال، حتى ولو لم يكن بينهما خط بصر مباشر. كما أن سلوك المرسلات في القنوات المجاورة له شأن مهم.

4.6 نماذج الانتشار

عندما تنتشر الموجات الراديوية في وسط عازل مثالي متجانس ممتد إلى اللانهاية، يكون انتشارها في فضاء حر. وفي هذه الحالة، لا يكون الانتشار متأثراً لا بالغلاف الجوي ولا بعوائق التضاريس الأرضية. وتتناقص القدرة المرسلة مع مربع المسافة، وتعطى خسارة الإرسال الأساسية في الفضاء الحر بالعلاقة التالية (انظر التوصية ITU-R P.525):

$$L\,(\text{dB}) = 20 \log f\,(\text{MHz}) + 20 \log d\,(\text{km}) + 32.45 \tag{1-4.6}$$

أما في الحالات العملية الأخرى فيتأثر انتشار الموجات الراديوية بين المرسل والمستقبل بتأثيرات مختلفة أخرى، تؤدي بدورها إلى انخفاض نوعية الإشارة. وتعود هذه التأثيرات:

- إلى الغلاف الجوي الحيادي أو إلى الأيونوسفير؛
- إلى التضاريس الأرضية التي تتضمن سطح الأرض وعدم انتظام التضاريس والأبنية والنباتات.

وتشكل الطريقة الجيدة في التنبؤ بالانتشار أداة قيّمة في تقدير احتمال استقبال إرسال معين، من حيث قدرته أو شدة إشارته في موقع معيّن. والمقارنة بين القيم المتنبأ بها والقيم المقيسة تقدم معلومات مفيدة لأغراض المراقبة، مثل تعرّف القيم المفرطة جداً في علوها لمستوى الإشارة المستقبلة. ويمكن إجراء هذه المقارنة أوتوماتياً في الوقت الفعلي عن طريق تخزين القيم المتنبأ بها والقيم المقيسة في قواعد البيانات.

1.4.6 تأثيرات الغلاف الجوي الأرضي

يؤثر الغلاف الجوي الأرضي في انتشار الموجات الراديوية. ويجب التمييز بين التأثيرات الناجمة عن الغلاف الجوي الحيادي أي التروبوسفير، والتأثيرات الناجمة عن الجزء المتأين من الجو الأرضي – الأيونوسفير. ويمتد ارتفاع التروبوسفير من حوالي 9 كيلومترات عند قطبي الكرة الأرضية إلى حوالي 17 كيلومتراً عند خط الاستواء. أما ارتفاع الأيونوسفير فيمتد من حوالي 50 كيلومتراً إلى حوالي 000 2 كيلومتر. وصفات غلاف التروبوسفير مهمة جداً لانتشار الترددات التي تفوق 30 MHz تقريباً، كما أن صفات غلاف الأيونوسفير مهمة أيضاً للترددات التي تقل عن 30 MHz تقريباً في الأجزاء الأرضية. وتجدر الإشارة مع ذلك إلى أن تأثيرات مهمة عبر الأيونوسفير (على المسيرات من الأرض إلى الفضاء) قد تحدث عند ترددات تصل إلى عدة وحدات من GHz.

1.1.4.6 التأثيرات عند الترددات التي تقل عن 30 MHz تقريباً

يؤخذ في الاعتبار عادة نمطان من الانتشار ما بين الترددين حوالي 9 kHz و30 MHz وهما: انتشار الموجة الأرضية التذي يحصل على طول سطح الأرض، وانتشار الموجة السماوية أو الانتشار الأيونوسفيري. ويعود انتشار الموجة الأرضية إلى الانتشار على خط البصر المباشر وأيضاً بالإنعراج ما بعد الأفق. ويتوقف انتشار الموجة الأرضية بشكل أساسي على الخصائص الكهربائية لسطح الأرض وعلى التردد الراديوي. ويكون التوهين أقل على السطوح التي إيصاليتها النوعية كبيرة. ويعود انتشار الموجة السماوية إلى الانعكاس أو الانكسار الناتجين عن الغلاف الأيونوسفيري. وعند الترددات VLF (الموجات الميريامترية) والترددات ELF (الهكتوميغامترية)، يمكن أن تنتشر الموجات الكهرمغنطيسية بأسلوب الدليل الموجي في الجزء السفلي من الغلاف الأيونوسفيري. والمنحنيات النظرية لانتشار الموجة الأرضية معطاة في التوصية ITU-R P.368. وطريقة التنبؤ الموصى بها لانتشار الموجة السماوية الديكامترية مفصلة في التوصية ITU-R P.533.

2.1.4.6 التأثيرات عند الترددات التي تفوق 30 MHz تقريباً

تؤثر التغيرات التي تصيب قرينة انكسار الغلاف الجوي الحيادي كثيراً في انتشار الموجات الراديوية التي تفوق ترددها 30 MHz. وعند الترددات التي تفوق حوالي 6 GHz، تصبح التأثيرات الناجمة عن الهواطل ذات مغزى، ومع ازدياد التردد، يجب أن تؤخذ في الاعتبار آثار أخرى كالناجمة عن الغازات الجوية وبخار الماء والغيوم. وتتناقص قرينة انكسار الجو الأرضي قليلاً مع ازدياد الارتفاع. ويمكن أن يؤثر في مدى انتشار الإشارة التغيرات في قرينة الانكسار، وتدرجها الرأسي بفعل تغيرات درجة الحراة والضغط والرطوبة. وهناك حالة تتسم أهمية خاصة هي الحالة التي يصبح فيها التدرج الرأسي أكثر سالبية من حالة الجو الاعتيادي. وفي هذه الظروف (حالة الانكسار الفائق أو الانتشار بالمجاري)، يمكن أن تمتد أمداء الانتشار إلى ما بعد الأمداء المتوقعة عادة، وهذا يؤدي إلى احتمال حدوث تداخلات عند تقاسم الترددات. وتطور انكسارية الجو الأرضي معالج في التوصيتين ITU-R P.453 وITU-R P.834. والتوصيات الأخرى التي تهتم بتأثيرات الأرصاد الجوية الراديوية هي التوصية ITU-R P.676 (امتصاص الغازات الجوية)، والتوصية ITU-R P.837 (نموذج هطول المطر)، والتوصية ITU-R P.835 (بخار الماء).

2.4.6 تأثيرات التضاريس الأرضية غير المنتظمة

تؤثر معالم التضاريس الأرضية على طول الطريق في انتشار الموجات الراديوية، وخاصة عندما يزداد التردد إلى فوق 30 MHz تقريباً. وتتضمن آلية الانتشار الانعراج على العوائق والانتثار منها والانعكاس عليها. ولذلك من المهم تفحص مسير الانتشار لمعرفة درجة الحجب التي تسببها عوائق التضاريس الأرضية.

1.2.4.6 مسير خط البصر

على الرغم من احتمال وجود خط بصر مباشر ما بين الهوائيين، فإن التضاريس الأرضية تؤثر في الانتشار، إذا لم يكن هناك انكشاف كافٍ بين مسير الأشعة وعائق التضاريس. ويطبق معيار شائع الاستعمال هو أن يكون مسير الانتشار نظيفاً من كل عائق بما لا يقل عن 0,6 من مسافة منطقة Fresnel الأولى، وإلا فقد تحدث بعض الخسارة بسبب الانعراج. وعندما يتم تقدير الانكشاف بهذه الكيفية، يلزم أن يؤخذ في الحسبان انحناء الأشعة بالانكسار الناجم عن الغلاف الجوي، ولهذا السبب كثيراً ما يستعمل مفهوم نصف القطر الأرضي المكافئ (انظر التوصية ITU-R P.530).

2.2.4.6 الانعراج على العوائق والتضاريس الأرضية غير المنتظمة

يواجه العديد من مسيرات الانتشار عائقاً واحداً أو عدة عوائق منفصلة ما بين الهوائيات، ويمكن حساب خسارة الانعراج باستعمال طرائق استقر اعتمادها مثل الطرائق المشروحة في التوصية ITU-R P.526. ويزداد تأثير عدم انتظام التضاريس، وبالتالي الخسارة الناجمة عن الانعراج، مع ازدياد التردد.

3.4.6 تأثيرات الانعكاسات على سطح الأرض

تنعكس الموجات الكهرمغنطيسية عن سطح الأرض، وقد يجتمع على مسير خط البصر الشعاع الوارد مباشرة والشعاع المنعكس عن سطح الأرض فيصلان معاً إلى هوائي الاستقبال. وفي حالة سطح كامل التوصيلية الكهربائية، تكون قيمة شدة المجال المستقبل عظمى لاجتماع الشعاعين، ويمكن أن تصل (نظرياً) إلى مثلي قيمة شدة المجال للشعاع الوارد مباشرة، عندما تصل الإشارتان على توافق في الطور فيما بينهما، بينما تلغي الموجات بعضها بعضاً إذا وصلت بفرق طور يساوي 180°. أما ارتفاع الهوائي فيؤثر في طور الإشارتين الواصلتين، وكذلك في قيمة الإشارة الحاصلة. وتتيسّر تقنيات لتخفيض الإشارة المنعكسة على مسير خط البصر، وبذلك تُجتنب تأثيرات التداخل ما بين الشعاعين (انظر التوصية ITU-R P.530).

4.4.6 الانتشار على مسيرات من الأرض إلى الساتل

تعالج التوصية ITU-R P.618 طرائق التنبؤ بتأثيرات الانتشار في المسيرات المائلة، لمدى الترددات 1-55 GHz. وهذه التوصية تحيل عند اللزوم إلى توصيات القطاع ITU-R الأخرى من السلسلة P، وخاصة تلك التوصيات التي تتضمن معلومات وبيانات عن الأرصاد الجوية الراديوية.

5.4.6 نماذج الانتشار المتيسرة

هنالك العديد من طرائق التنبؤ بالانتشار للاتصالات من نقطة إلى منطقة ومن نقطة إلى نقطة، وذلك للمسيرات الأرضية والمسيرات المائلة حسب المدى الترددي والخدمات المعنيّة وما إلى ذلك. ولذلك من المستحيل إعطاء نظرة شاملة كاملة، إلاّ أن عناية القارئ توجه إلى التوصية ITU-R P.1144 التي هي دليل توجيهي لتطبيق طرائق الانتشار الواردة في توصيات القطاع ITU-R من السلسلة P. ويذكر بعض هذه التوصيات فيما يلي أدناه.

تحتوي التوصية ITU-R P.368 على منحنيات انتشار الموجة الأرضية عند الترددات الممتدة من 10 kHz حتى 3 MHz. وهذا من أجل الهوائيات المنصوبة على سطح الأرض وتنطبق على الجو الأرضي التصاعدي. ولا يؤخذ أي حسبان للتضاريس الأرضية غير المنتظمة. وتتحكم في انتشار الموجة الأرضية بشكل أساسي الخصائص الكهربائية لسطح الأرض. ويمكن التعبير عن الخصائص الكهربائية بثلاث معلمات هي النفاذية والسماحية والإيصالية النوعية (انظر التوصية ITU-R P.527). وهذه الإيصالية النوعية هي أهم خاصية كهربائية عند الترددات التي تقلّ عن 3 MHz. وتحتوي التوصية ITU-R P.832 على أطلس عالمي للإيصاليات النوعية لسطح الأرض (ولكنه يحتاج إلى تحديث). ويمكن استخدام البرنامج الحاسوبي GRWAVE (الذي يمكن الحصول عليه من موقع لجنة الدراسات الراديوية الثالثة على الويب) لحساب هذه المنحنيات.

وتحتوي التوصية ITU-R P.1546 على طريقة التنبؤات من نقطة إلى منطقة للخدمات الأرضية في مدى الترددات الممتد من 30 إلى 3 000 MHz. وكما يرى من عنوان هذه التوصية، فهي تغطي مدى موسّعاً من الترددات. غير أن مدى المسافة الذي يمكن إجراء حسابات تنبؤ عليه يمتد من 1 إلى 1 000 كيلومتر.

وفي التوصية ITU-R P.526 طريقة عامة تطبق على عائق واحد أو أكثر.

وتحتوي طريقة معهد علوم الاتصالات (ITS) التابع للإدارة الوطنية للاتصالات والمعلومات (NTIA) بخصوص نموذج التضاريس الأرضية غير المنتظمة، والمعروفة أيضاً باسم طريقة Longley وRice، مجموعة من الخوارزميات موضوعة للتطبيقات الحاسوبية. وتؤمن الشفرة C++ شفرة خالية من البقّ http://flattop.its.bldrdoc.gov/itm.html.

كما وضعت نماذج متنوعة تجريبية للانتشار في المناطق الحضرية (مثل Hata-Okumura وWalfish-Ikegami) ثم تحولت إلى صيغ مُحَوْسَبَة. وتستعمل مثل هذه النماذج بشكل أساسي لتخطيط الأنظمة الراديوية الخلوية. وفي التوصية ITU-R P.1411 طرائق تنبؤ بالانتشار على مدى قصير تعمل خارج الأبنية في مدى التردد 300 MHz إلى 100 GHz، وهي تشمل الحالات التي تكون فيها هوائيات الطرفين محجوبة بعوائق.

6.4.6 نماذج الانتشار واستخدام مختلف نطاقات التردد

يوضح الجدول 1-4.6 استخدام مختلف نطاقات التردد من 3 kHz إلى 300 GHz، استناداً إلى خصائص الانتشار. وتقدم التوصية ITU-R P.1144 دليلاً عاماً لتطبيق طرائق الانتشار في توصية لجنة دراسات الاتصالات الراديوية الثالثة.

الجدول 1-4.6

نماذج الانتشار واستخدام مختلف نطاقات التردد

النطاق	التردد	الأسلوب	المدى	أمثلة استعمال	توصية ITU-R
موجات ميريامترية (VLF)	30-3 kHz	دليل موجي	عدة آلاف الكيلومترات	العالم أجمع مدى طويل للملاحة الراديوية والاتصالات الراديوية	P.684
موجات كيلومترية (LF)	300-30 kHz	موجة أرضية وموجة سماوية	عدة آلاف الكيلومترات	مدى طويل للملاحة الراديوية والاتصالات الراديوية	P.368 وP.1147
موجات هكتومترية (MF)	3-0,3 MHz	موجة أرضية وموجة سماوية	بضعة آلاف الكيلومترات	مدى متوسط للاتصالات الراديوية من نقطة إلى نقطة وإذاعية ومتنقلة بحرية	P.368 وP.1147
موجات ديكامترية (HF)	30-3 MHz	موجة سماوية	حتى عدة آلاف الكيلومترات	اتصالات راديوية من نقطة إلى نقطة، على المدين الطويل والقصير وإذاعية ومتنقلة	P.533
موجات مترية (VHF)	300-30 MHz	موجة فضائية وانتشار تروبوسفيري وانعراج	حتى عدة مئات الكيلومترات	اتصالات راديوية من نقطة إلى نقطة، على المدين القصير والمتوسط، والمتنقلة وLAN، والإذاعية (صوت وصورة) والاتصالات الشخصية	P.1546 وP.617
موجات ديسمترية (UHF)	3-0,3 GHz	موجة فضائية وانتشار تروبوسفيري وانعراج وخط النظر	أقل من 100 كيلومتر	اتصالات راديوية من نقطة إلى نقطة، على المدين القصير والمتوسط، والمتنقلة وLAN، والإذاعية (صوت وصورة) والاتصالات الشخصية، والاتصالات الساتلية	P.1546 وP.530 وP.617 وP.618 وP.452 وP.1238 وP.1411
موجات سنتمترية (SHF)	30-3 GHz	خط النظر	أقل من 30 كيلومتراً	اتصالات راديوية من نقطة إلى نقطة، على المدى القصير، إذاعية ساتلية (صوت وصورة) وLAN، والمتنقلة/اتصالات شخصية، واتصالات ساتلية وملاحية راديوية	P.530 وP.618 وP.452 وP.1410 وP.1411
موجات مليمترية (EHF)	300-30 GHz	خط النظر	أقل من 20 كيلومتراً	اتصالات راديوية من نقطة إلى نقطة على المدى القصير، وأنظمة خلوية صغرية، وLAN، واتصالات شخصية، واتصالات ساتلية	P.618 وP.1238 وP.1410 وP.1411

المراجـــع

توصيات وتقارير قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد

ملاحظة – يشجع في كل حالة استعمال آخر طبعة من التوصية والتقرير.

التوصية ITU-R P.310 – تعاريف المصطلحات المتصلة بالانتشار في الوسائط غير المؤينة.

التوصية ITU-R P.368 – منحنيات انتشار الموجة الأرضية للترددات ما بين 10 kHz و30 MHz.

التوصية ITU-R P.453 – دليل الانكسار الراديوي: عباراته وبيانات الانكسارية.

التوصية ITU-R P.525 – حساب التوهين في الفضاء الحر.

التوصية ITU-R P.526 – الانتشار بالانعراج.

التوصية ITU-R P.527 – الخصائص الكهربائية لسطح الأرض.

التوصية ITU-R P.530 – معطيات الانتشار وطرائق التنبؤ المطلوبة لتصميم أنظمة راديوية للأرض في خط البصر.

التوصية ITU-R P.533 – طريقة التنبؤ بأداء الدارات العاملة بالموجات الديكامترية (HF).

التوصية ITU-R P.618 – بيانات الانتشار وطرائق التنبؤ المطلوبة لتصميم أنظمة الاتصالات أرض – فضاء.

التوصية ITU-R P.676 – التوهين الناجم عن الغازات الجوية.

التوصية ITU-R P.832 – الأطلس العالمي لإيصالية الأرض.

التوصية ITU-R P.834 – آثار الانكسار التروبوسفيري على انتشار الموجات الراديوية.

التوصية ITU-R P.835 – الأجواء المعيارية المرجعية.

التوصية ITU-R P.837 – خصائص تهاطل الأمطار بالنسبة لنمذجة الانتشار.

التوصية ITU-R P.1144 – دليل تطبيق طرائق الانتشار للجنة الدراسات 3 للاتصالات الراديوية.

التوصية ITU-R P.1411 – معطيات الانتشار وطرائق التنبؤ لتخطيط أنظمة الاتصالات الراديوية قصيرة المدى المعدة للعمل خارج المباني والشبكات المحلية الراديوية في مدى الترددات المتراوحة بين 300 MHz و100 GHz.

التوصية ITU-R P.1546 – طريقة التنبؤ من نقطة إلى منطقة لخدمات الأرض في مدى الترددات بين 30 MHz و000 3 MHz.

التوصية ITU-R P.1791 – أساليب التنبؤ بالانتشار لتقييم أثر الأجهزة ذات النطاق العريض جداً.

التوصية ITU-R P.1812 – طريقة تنبؤ بانتشار خاصة بمسير لخدمات الأرض من نقطة-إلى-منطقة في نطاقات الموجات المترية (VHF) والموجات الديسمترية (UHF).

التقرير ITU-R P.2011 – الانتشار في ترددات فوق أقصى تردد مستعمل (MUF) الأساسي.

التقرير ITU-R P.2089– تحليل بيانات الضوضاء الراديوية.

التقرير ITU-R P.2090 – قياس معلمات الدخل لنموذج نقل الطاقة الإشعاعي للتوهين بسبب الغطاء النباتي.

التقرير ITU-R P.2097 – الانتشار الراديوي عبر الأيونوسفير – النموذج العالمي للتلألؤ الأيونوسفيري (GISM).

كتيبات قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد

Handbook [2002] Curves for Radiowave Propagation over the Surface of the Earth: http://www.itu.int/pub/R-HDB-13

Handbook [1998] Ionosphere and its Effects on Radiowave Propagation: http://www.itu.int/publ/R-HDB-32/en

Handbook [1996] Radiometeorology: http://www.itu.int/publ/R-HDB-26/en

Handbook [1996] Radiowave Propagation Information for Predictions for Earth-to-Space Path Communications: http://www.itu.int/publ/R-HDB-27/en

Handbook [2002] Terrestrial land mobile radiowave propagation in the VHF/UHF bands: http://www.itu.int/pub/R-HDB-44

كتيب [2008] معلومات انتشار الموجات الراديوية المعدة لتصميم وصلات الأرض من نقطة إلى نقاط: http://www.itu.int/publ/R-HDB-54/en

5.6 التشكيل البيني

1.5.6 معلومات أساسية

قد تتداخل الإرسالات غير المطلوبة التي تتكون من الإرسالات الهامشية والإرسالات خارج النطاق مع أنظمة الاتصالات الراديوية المرخص لها. وأكثر أنماط الإرسالات الهامشية التي تواجه هي الإرسالات التوافقية أو نواتج التشكيل البيني التي تنتج في الأجهزة غير الخطية، مثل مضخم الخرج في المرسل. وهذه الإرسالات هي إرسالات خرج هامشية غير مرغوبة، قد تتسبب في تداخل.

وتتولد نواتج التشكيل البيني (IMP) في جهاز لا خطي، عندما تتفاعل إشارتان (أو أكثر) وتولدان إشارة غير مرغوبة. ويمكن أن يتسبب ناتج التشكيل البيني غير المرغوب في تداخل:

- عندما يكون تردده مساوياً التردد الموالف لمستقبل أو قريباً منه؛ أو
- عندما يكون تردده مساوياً أي تردد آخر يمكن أن يكون في المستقبل، مثل التردد الوسيط (IF) في مستقبل مازج الترددات (superhetrodyne).

ويمكن أن تتولد نواتج التشكيل البيني في المرسلات أو في مضخمات الخرج متعدد القنوات (وأن يتم إشعاعها). ويمكن أن تتولد أيضاً في مضخمات التوزيع أو في دخل المستقبل ومراحل التردد الوسيط. من المهم بالنسبة إلى مشغّل المراقبة عندما يقوم بحل حالات التداخل، أن يكون قادراً على تحديد ما إذا كان يقيس إشارة مشروعة مفيدة أم ناتج تشكيل بيني.

2.5.6 معادلات تحليل التشكيل البيني

في كثير من الحالات، تكون نواتج التشكيل البيني هي النواتج الصعبة جداً على الكشف وتعرف الهوية في محطة مراقبة، ولهذا السبب خصصت الفقرات التالية بشكل رئيسي لتحليل التشكيل البيئي وكشفه والتعرّف إلى هويته.

والنص التالي، باستثناء المثال، منسوخ من الوثائق الخاصة بنموذج تحليل طيف الحاسوب الصغري (MSAM) الصادر عن الإدارة الوطنية للاتصالات والمعلومات (NTIA) في صيغته 5.24 وتاريخ فبراير 1997. وقد راجعت لجنة دراسات الاتصالات الراديوية الأولى برامج النموذج MSAM، وهي متوفرة على الموقع: http://ntiacsd.ntia.doc.gov/msam/.

ولا يهتم التحليل إلاّ بنواتج التشكيل البيني داخل النطاق (أي النواتج التي ترددها قريبة من ترددات إشارات الدخل). ويعرّف التداخل بالتشكيل البيني بواسطة أي من المعادلات التالية:

حالة إشارتين:

المرتبة الثالثة: $2T_{f1} - T_{f2} = R_f \pm \text{BW}$

المرتبة الخامسة: $3T_{f1} - 2T_{f2} = R_f \pm \text{BW}$

المرتبة السابعة: $4T_{f1} - 3T_{f2} = R_f \pm \text{BW}$

حالة ثلاث إشارات:

المرتبة الثالثة: $T_{f1} - T_{f2} + T_{f3} = R_f \pm \text{BW}$

المرتبة الخامسة: $2T_{f1} - 2T_{f2} + T_{f3} = R_f \pm \text{BW}$

$3T_{f2} - T_{f2} - T_{f3} = Rf \pm \text{BW}$

المرتبة السابعة: $2T_{f1} - 3T_{f2} + 2\ T_{f3} = R_f \pm \text{BW}$

$3T_{f1} - 3T_{f2} + T_{f3} = R_f \pm \text{BW}$

$4T_{f1}\ - 2T_{f2} + T_{f3} = R_f \pm \text{BW}$

حيث:

T_f: تردد المرسل

R_f: تردد المستقبل

BW: عرض نطاق المستقبل

وفيما يلي مثال عملي على ناتج التشكيل البيني (IMP):

الترددات المرسلة هي $f_1 = 232$ MHz (قناة متنقلة)، و$f_2 = 229{,}75$ MHz (حاملة الصوت في القناة التلفزيونية 12، حسب المعيار الأوروبي B)، والتردد المتداول فيه هو 234,25 MHz (قناة متنقلة أخرى)، هكذا:

$$\text{IMP} = 2T_{f1} - T_{f2} = 2 \times 232 - 229.75 = 234.25.$$

ويعطي المصنّعون عادةً قيم نقاط الاعتراض وعوامل الضوضاء لتمييز المضخمات والمستقبلات. ويمكن حساب المقادير التالية انطلاقاً من هذه البيانات

أ) سوية ضوضاء المستقبل u_N من أجل قيم معطاة لعرض نطاق القياس $B_{3\text{dB}}$ (Hz)، وعامل الضوضاء NF (dB) وعامل توزين الكاشف: W (dB):

$$u_N = -67\ \text{dB}(\mu\text{V}) + NF + 10 \log (B_{3\text{dB}}) + W \qquad \text{dB}(\mu\text{V})$$

ويأخذ عامل التوزين W لنمط الكاشف القيم التالية: 0 dB (القيمة المتوسطة)، و1,1 dB (للقيمة الفعّالة: جذر متوسط التربيع)، و7 dB نظرياً (لقيمة نصف الذروة)، و11 dB نظرياً (لقيمة الذروة).

فلو كان مثلاً $NF = 10$ dB و$B_{3\text{dB}} = 9$ kHz، تكون الدلالة المتوسطة:

$$u_N = -67 + 10 + 39.5 = -17.5 \qquad \text{dB}(\mu\text{V})$$

ب) سوية ناتج التشكيل البيني $uIMP$ من أجل قيم معطاة لنقطة اعتراض IP_3 من المرتبة الثالثة والسوية الإفرادية لإشارتين مولدتين لناتج التشكيل البيني u_{IMS}:

$$u_{IMP} = IP_3 - 3(IP_3 - u_{IMS}) \qquad \text{dB}(\mu\text{V})$$

فلو كان مثلاً $IP_3 = 20$ dBm = 127 dB(μV) و$u_{IMS} = 80$ dB(μV) وكانت مقاومة المدخل تساوي 50 Ω (انظر التفاصيل في الفقرة 3.6) نحصل على:

$$u_{IMP} = 127 - 3\ (127 - 80) = -14 \qquad \text{dB}(\mu\text{V})$$

ج) سوية ناتج التشكيل البيني u_{IMP} من أجل قيم معطاة لنقطة اعتراض IP_2 من المرتبة الثانية، والسوية الإفرادية لإشارتين مولدتين لناتج التشكيل البيني u_{IMS}:

$$u_{IMP} = IP_2 - 2\ (IP_2 - u_{IMS})$$

فلو كان مثلاً $IP_2 = 50$ dBm = 157 dB(μV) و$u_{IMS} = 80$ dB(μV) نحصل على:

$$u_{IMP} = 157 - 2\ (157 - 80) = 3 \qquad \text{dB}(\mu\text{V})$$

المدى الديناميي الخالي من التشكيل البيني:

1. حساب سوية الضوضاء u_N
2. حساب السوية الإفرادية لإشارتين مولدتين لناتج التشكيل البيني باستخدام:
   $u_{IMS} = 1/3\ (u_N + 2\ IP_3)$، وكل الوحدات مقدرة بـ dB(μV).
3. حساب المدى الديناميي الخالي من التشكيل البيني D_{IMF} من: $D_{IMF} = u_{IMS} - u_N$

فلو كان مثلاً $NF = 10$ dB: $B_{3\text{dB}} = 9$ kHz و$IP_3 = 20$ dBm في كاشف القيم المتوسطة. يكون:

$$u_{IMS} = 1/3\ (-17.5 + 2(127)) = 78.8 \text{ dB}(\mu\text{V})$$

$$D_{IMF} = 78.8 - (-17.5) = 96.3 \text{ dB}$$

وتظهر تفصيلات تحليل ناتج التشكيل البيني المتولد في المرسلات في التوصية ITU-R SM.1446 وفي التقرير ITU-R SM.2021 وتقدم التوصية ITU-R SM.1134 طريقة حساب لتحديد ناتج التشكيل البيني المتولد في المستقبلات، مما يتيح تحديد سويات نواتج التشكيل البيني من المرتبة الخامسة. وهناك أيضاً مثال معطى على طريقة الحساب.

3.5.6 الكشف عن نواتج التشكيل البيني وتعرف هوياتها

إن الموقف العملي الذي يواجه مشغّل مستقبل المراقبة هو تحديد ما إذا كانت الإشارة المراقبة هي إشارة شرعية يقدمها الهوائي إلى المستقبل أم هي ناتج تشكيل بيني تولده في المستقبل إشارتان قويتان أو أكثر. وغالباً ما تكون أول دلالة نحصل عليها عن وجود نواتج التشكيل البيني في خرج المستقبل هي مشاهدة ما يبدو أن يكون نفس تشكيل الإشارة على أكثر من تردد واحد.

وثمة اختبار سهل لتحديد نواتج التشكيل البيني، يكمن في إدخال قدر معين من التوهين عند مدخل المستقبل، فإذا تناقص اتساع الإشارة المراقبة بنفس القدر المعلوم من التوهين المضاف، تكون الإشارة المراقبة إشارة شرعية. وإذا تناقص اتساع الإشارة المراقبة بقدر مضاعف صحيح من قيمة التوهين المضاف، تكون الإشارة المراقبة ناتج تشكيل بيني من مرتبة المضاعف الصحيح الذي نتج في المستقبل. وإذا كان ناتج التشكيل البيني متولداً داخلياً وخارجياً، فإن اتساع الإشارة المراقبة يتناقص بأكثر من قيمة التوهين المضاف، ولكنه لن يكون بمضاعف صحيح من قيمة التوهين المضاف.

مثال ذلك، إذا أدخل توهين قدره 10 dB، وتناقص اتساع الإشارة المراقبة بقدر 30 dB، كانت الإشارة المراقبة هي ناتج تشكيل بيني من المرتبة الثالثة. أما إذا أصاب الإشارة المراقبة خبو، فإن قدر التوهين يجب توسيع مداه إلى حدّ يكفي لمنع سوء تفسير الانخفاض حتى الخبو واعتباره ناجماً عن ناتج تشكيل بيني. ويجب اجتناب استعمال توهين واسع جداً إلى درجة تجعل الإشارة تتناقص بعد التوهين إلى مستو تكون فيه أعلى بقدر 5 dB على الأقل من ضوضاء الخلفية للمستقبل.

ويمكن، بديلاً من ذلك، استعمال التوهين عند مدخل محلّل طيفي أو مستقبل قياس. وجميع هذه الأدوات تحتفظ بمستواها المرجعي ثابتاً، مهما تغير التوهين عند المدخل، وهذا يعطي معياراً مختلفاً عن المعيار الذي يطبق عند اللجوء إلى توهين بدون اقتران. فإذا بقي اتساع الإشارة المراقبة ثابتاً، تكون الإشارة شرعية. وإذا تغير اتساعها، يكون هناك ناتج تشكيل بيني متولد داخلياً، أو هو مجموع النواتج المتولدة داخلياً وخارجياً.

وإذا تيسر وجود محلل طيفي، يمكن استعمال عروض نطاق باستبانات متفاوتة لتسهيل كشف نواتج التشكيل البيني وتعرّفها. وهذا النهج فعّال خاصة عندما تكون هناك نواتج تشكيل بيني عديدة موجودة على التآون، وهذا يرفع ضوضاء الخلفية الظاهرية في المستقبل ضمن نطاق تردد واسع.

وأخيراً يمكن أن تنجم نواتج التشكيل البيني من إشارات مرسلة داخل النطاق (مثل إشارات ديكامترية (HF) تتسبب في نواتج تشكيل بيني في نطاق الموجات الديكامترية) أو من إشارات خارج النطاق (مثل إشارات مترية (VHF) تتسبب في نواتج تشكيل بيني في نطاق الموجات الديكامترية (HF)). وتفيد مراشيح التمرير المنخفض والتمرير العالي وتمرير النطاق مع المحللات الطيفية في تعرّف نواتج التشكيل البيني، ومعرفة ما إذا كانت هذه النواتج داخل النطاق أو خارجه. ومن شأن المحلّلات الطيفية ذات التخزين الرقمي والآثار العديدة وإمكانية خزن الأثر ومعاينته أن تسهّل مقارنة الأطياف بمراشيح أو بدونها، لتحديد وجود أو غياب نواتج التشكيل البيني.

والمحللات الطيفية المجهزة بشاشات عرض ثلاثية المحاور (الاتساع بدلالة التردد والزمن مع كنسات متعددة) مهيأة تهيئة خاصة جيداً لكشف نواتج التشكيل البيني وتعرّفها، عند مراقبة الطيف بمراشيح أو بدونها.

وعند محاولة حل إشكالات التداخل، يكون من المفيد أن يتحدد ما إذا كان التداخل ناجماً عن نواتج التشكيل البيني التي تتولد داخل المرسل أم داخل المستقبل. ومن المفيد أيضاً إجراء مسح معمق للإشارات للكشف عن أسباب كامنة محتملة لنواتج التشكيل البيني. ويمكن استعمال معادلات تحليل التشكيل البيني للنظر في المواءمة التي قد تكون بين نواتج التشكيل البيني المحسوبة والإشارة المسببة للتداخل.

بيبليوغرافيا

توصيات وتقارير قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد

ملاحظة – يشجع في كل حالة استعمال الطبعة الأخيرة من التوصية أو التقرير.

التوصية ITU-R SM.329 – الإرسالات غير المطلوبة في مجال البث الهامشي.

التوصية ITU-R SM.1134 – حسابات تداخلات التشكيل البيني في الخدمة المتنقلة البرية.

التوصية ITU-R SM.1446 – تعريف وقياس منتجات التشكيل البيني في المرسل باستخدام تقنيات تشكيل التردد أو الطور أو تقنيات التشكيل المعقدة.

التقرير ITU-R SM.2021 – إنتاج وتخفيف منتجات التشكيل البيني في المرسل.

6.6 التشكيل وطرائق النفاذ إلى الطيف

1.6.6 مقدمة

إن تشكيل التردد الراديوي هو تغيير الموجة الحاملة الكهرمغنطيسية الجيبية (الفلطية أو شدة التيار أو شدة المجال) بواسطة إشارة. والغرض من التشكيل هو نقل إرسال إشارات النطاق الأساسي، التي ليس لها بصورة عامة شكل مناسب ولا تردد يمكن إرساله مباشرة، إلى تردد أعلى يمكن بثّه عبر هوائي.

ويمكن أن تغير الإشارة المشكِّلة اتساع الموجة الحاملة أو ترددها/طورها أو كليهما. ويمكن أن تكون إشارة تماثلية أو رقمية، مثل تدفق بتات.

وتسميات أنماط التشكيل معددة في التذييل 1 من لوائح الراديو.

وتبيّن طرائق النفاذ إلى الطيف كيف ومتى تستطيع إشارة متشكِّلة النفاذ إلى موارد الطيف. وإذا رغبت عدة إشارات قادمة من مصادر متعددة (من مستعملين مختلفين أو مرسلات مثلاً) في أن يكون لها نفاذ إلى الطيف داخل المنطقة نفسها، يجب تطبيق طرائق النفاذ للسماح بتقاسم المورد من دون تداخل.

2.6.6 التشكيل التماثلي

1.2.6.6 تشكيل الاتساع

إذا جرى لموجة حاملة اتساعها E_C (الشكل 6.6-1أ)) تشكيل اتساعي باهتزازة جيبية (نغمة ما)، تكون الموجة الحاصلة هي المبينة في الشكل 6.6-1ب). وفي هذه الأشكال محور الفواصل يمثل الزمن، ومحور التراتيب يمثل فلطية الموجة (أو شدة تيارها) (التمثيل في الميدان الزمني).

وهكذا يتغير الاتساع وفق إشارة الموجة الجيبية المشكِّلة إلى الحد المقابل لغلاف الموجة الحاملة.

فإذا ازداد اتساع الإشارة المشكِّلة، فإن التغير في اتساع الموجة المتشكلة يزداد بطريقة مماثلة حتى يصل إلى نقطة يحصل فيها إلغاء آني للغلاف، كما هو مبين في الشكل 6.6-1ج.

فإذا كان الاتساع الأعظم للموجة المتشكلة هو E_{max}، وكان الاتساع الأصغر للغلاف هو E_{min} (انظر الشكل 6.6-1ب))، فإن عمق التشكيل m يعطى بالعلاقة:

$$m = \frac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}} \quad \text{أو كنسبة مئوية:} \quad m\ (\%) = \frac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}} \tag{1-6.6}$$

وإذا ازداد اتساع الإشارة المشكّلة أكثر، فإن الاتساع الأعظم للموجة يزداد أيضاً، ولكن يحدث انقطاع في الموجة لفترة زمنية قصيرة، كما هو مبين في الشكل 6.6-1د). ويسمى ذلك فوق التشكيل.

ولكي يكتشف فوق التشكيل باستخدام المعادلة (6.6-1)، يجب أن يكون النظام قادراً على تحديد قيمة للاتساع الأصغر E_{min} تحقق العلاقة $E_{min} < 0$.

ويمكن استعمال تعاريف أخرى بديلة لقيمة العمق m، مرتبطة بالفلطية المتوسطة E_c.

وتعطي هذه التعاريف نفس القيم التي تعطيها المعادلة (6.6-1) للأشكال الموجية في التشكيل الجيبي، ولكنها مع ميزة تعريف التناظر وفق التشكيل.

وباستخدام E_{max} وE_c نحصل على:

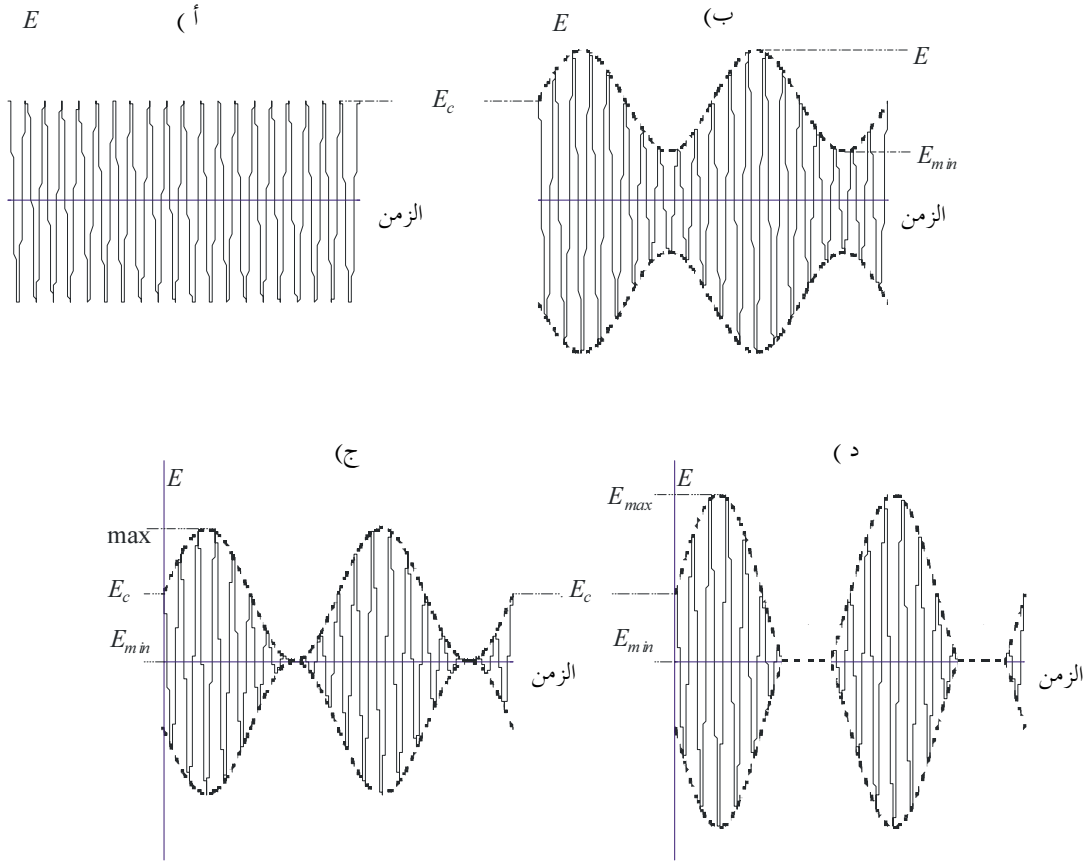
$$m_+(\%) = \frac{E_{max} - E_c}{E_c} \times 100 \tag{2-6.6}$$

وباستخدام E_{min} وE_c نحصل على:

$$m_(\%) = \frac{E_c - E_{min}}{E_c} \times 100 \qquad (3\text{-}6.6)$$

الشكل 1-6.6

تمثيل الإشارة المتشكلة بالاتساع في الميدان الزمني



Spectrum-6.6-01

وإذا أخذنا بالاعتبار القيم E_{max} وE_{min} وE_c نجد:

$$m_{+/-}(\%) = \frac{E_{max} - E_{min}}{2E_c} \times 100 \qquad (4\text{-}6.6)$$

حيث يعتبر التشكيل متناظراً، عندما يكون $m_+ = m_- = m_{+/-}$، أي قيمة اتساع الموجة الحاملة (E_c=) لا يتغير بالتشكيل، والنسبة المئوية للتشكيل أصغر من 100% في أي حالة، وهذا يعني عدم وجود فوق تشكيل.

ويدعى التشكيل غير متناظر إذا كان:

$$m_+ \neq m_- \neq m_{+/-}$$

وعندما تستقبل إشارة فوق متشكلة، تعطى إشارة موجة جيبية مع ذرى مقلّمة، عند مخرج التردد السمعي للمستقبل، بدلاً من إشارة الموجة الجيبية المستعملة لتشكيل المرسل تشكيلاً فوقياً.

وهذا يؤدي إلى تشوه محسوس، لذلك يجب اجتناب فوق التشكيل وانحطاط الإرسال الناتج، وعلاوة على ذلك ذلك فإن فوق التشكيل يزيد عرض النطاق الذي يشغله الإرسال.

ويبين الشكل 2-6.6 الإشارات المتشكلة بالاتساع في الميدان الترددي ("التمثيل الطيفي"). ومحور الفواصل يمثل التردد ومحور التراتيب يمثل فلطية الموجة أو شدة تيارها.

وكما هو واضح فإن الموجة الحاملة المتشكلة بإشارة موجة جيبية واحدة تكون مترافقة مع نطاقين جانبيين ترددهما هما $f_c + f_m$ و$f_c - f_m$، واتساع كل منهما هو:

$$E_m = \frac{m}{2} \cdot E_c \tag{5-6.6}$$

ويكون *عرض النطاق المشغول* هو:

$$(f_c + f_m) - (f_c - f_m) = 2f_m \tag{6-6.6}$$

ويساوي مثلي تردد الإشارة المشكّلة.

ويبين الشكل 2-6.6د) طيف موجة فوق متشكلة. وبافتراض أن فوق التشكيل يتسبب في نواتج تشوه تصل إلى التوافقية الثالثة للإشارة المشكّلة، يكون عرض النطاق المشغول أكبر بثلاث مرات من عرض النطاق المشغول في حالة إشارة متشكلة خالية من التشوه. لذلك يجب اجتناب حدوث فوق تشكيل.

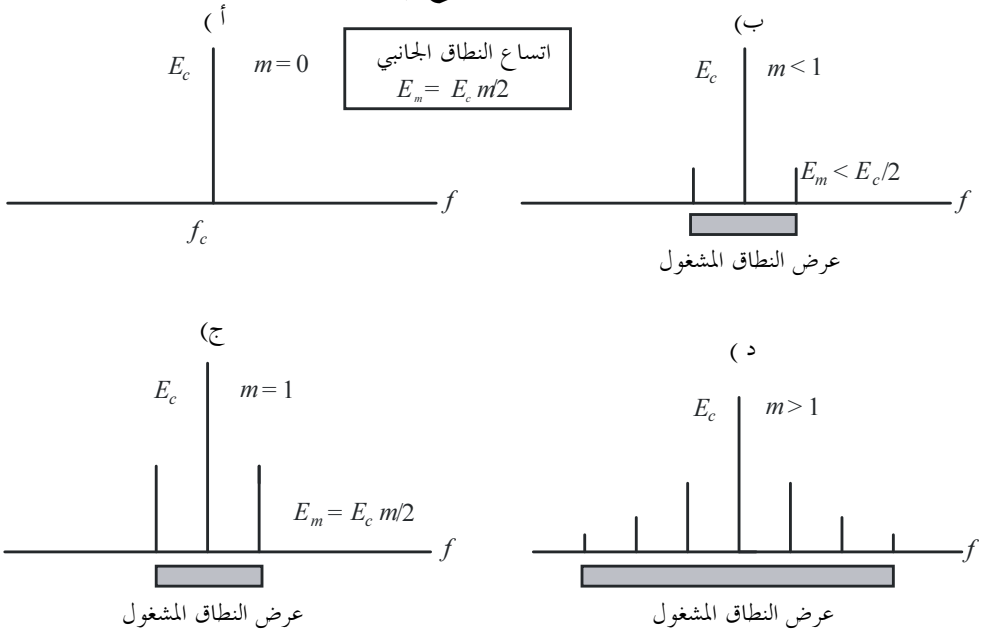
وكما يرى من الشكلين 6.6-1أ) و6.6-1ج)، فإن اتساع الموجة الحاملة وعرض النطاق المشغول يبقيان ثابتين إذا لم يحدث فوق تشكيل. وتوجد قدرة إضافية في النطاقين الجانبيين. وتساوي القدرة الكلية للموجة المتشكلة مجموع قدرة الموجة الحاملة وقدرة النطاقين الجانبيين. وتعطى بالعلاقة:

$$P_m = P_C\left(1 + \frac{m^2}{2}\right) \tag{7-6.6}$$

ويؤدي فوق التشكيل إلى تخفيض اتساع الموجة الحاملة.

الشكل 2-6.6

تمثيل الإشارة المتشكلة بالاتساع في الميدان الترددي



Spectrum-6.6-02

2.2.6.6 تشكيل التردد

الإشارة المتشكلة بالتردد هي إشارة ينحرف ترددها الآني وفقاً للإشارة المشكِّلة.

وشكل الموجة، في حالة إشارة مشكِّلة جيبية، يعطى بالمعادلة العامة التالية:

$$s(t) = a * \cos[2\pi.f_c.t + m.\sin(2\pi.f_m.t)] \quad (8\text{-}6.6)$$

حيث a اتّساع الإشارة المتشكلة بالتردد، وf_c تردد الموجة الحاملة، وf_m تردد الإشارة المشكلة وm دليل التشكيل.

ودليل التشكيل متناسب طرداً مع انحراف التردد، ويعرف كما يلي:

$$m = \frac{\Delta f}{f_m} \quad (9\text{-}6.6)$$

حيث Δf هو انحراف التردد.

والميدان الترددي أهم من الميدان الزمني، لأنه يتيح حساب الطاقة الكلية لإشارة التشكيل الترددي (FM).

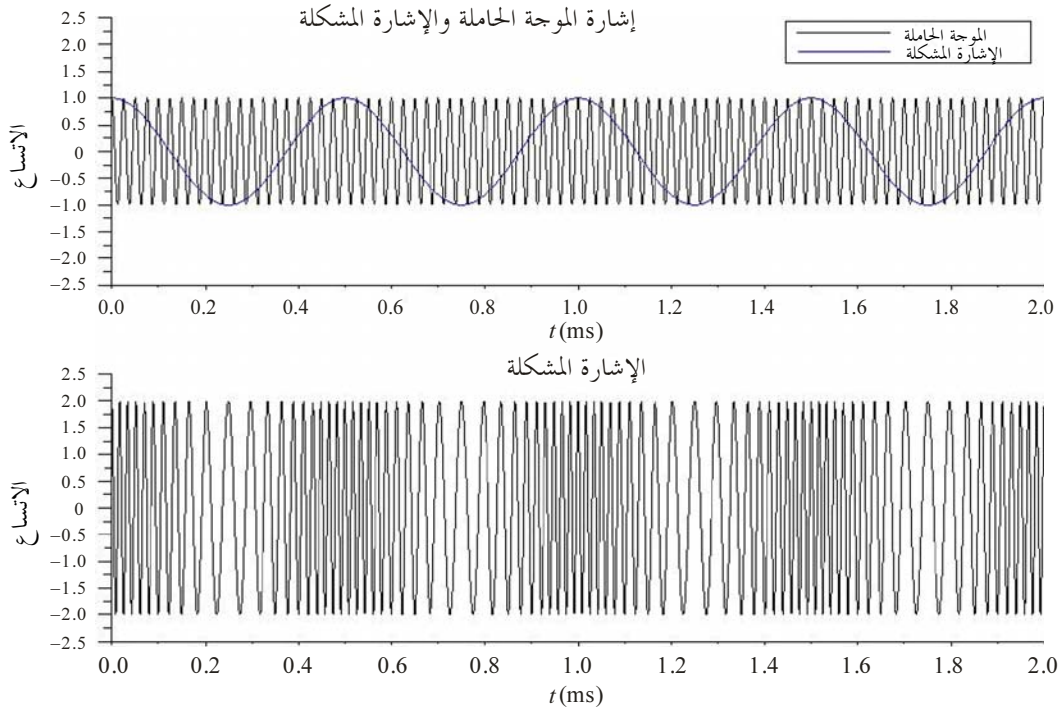
وبتطبيق تقدير تحويل فوريه السريع (FFT) على معادلة الميدان الزمني، يوصف الطيف بالعلاقة العامة التالية:

$$S(\omega) = a.\sum_{k=-\infty}^{+\infty} m(\omega_p - k.\omega_m).J_k(m) \quad (10\text{-}6.6)$$

حيث الحدود $J_k(m)$ هي دوالّ Bessel من النوع الأول، وهي ممثلة أدناه.

الشكل 3-6.6

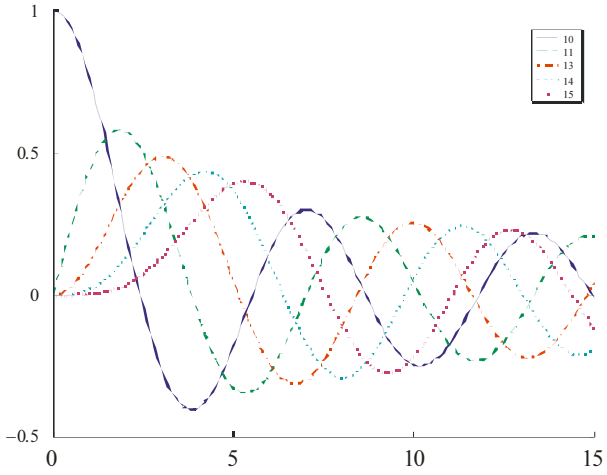
تمثيل الإشارة المتشكلة بالتردد في الميدان الزمني



Spectrum-6.6-03

الشكل 4-6.6

دالة Bessel من النوع الأول



Spectrum-6.6-04

وتتكون إشارة التشكيل الترددي نظرياً من عدد لا نهائي من أزواج النطاق الجانبي، وبعبارة عملية فإن 99% من الطاقة موجودة في عرض نطاق منتهٍ يمكن تعريفه على وجه التقريب كما يلي:

- في تشكيل النطاق الضيق ($m \leq 1$)، يساوي عرض النطاق $2 \times f_m$؛
- وإذا كانت الإشارة المشكلة ذات تردد مستمر أو طيف عريض من الترددات، يعبّر عن قاعدة عرض نطاق Carson بالعبارة $2(\Delta f + f_m)$ or $2 \cdot f_m \cdot (m + 1)$.

مثال:

$f_c = 100$ MHz و$f_m = 2$ kHz و$\Delta f = 10$ kHz و$m = 5$

فيكون تقدير عرض النطاق: $B = 2*2k*(5 + 1) = 24$ kHz.

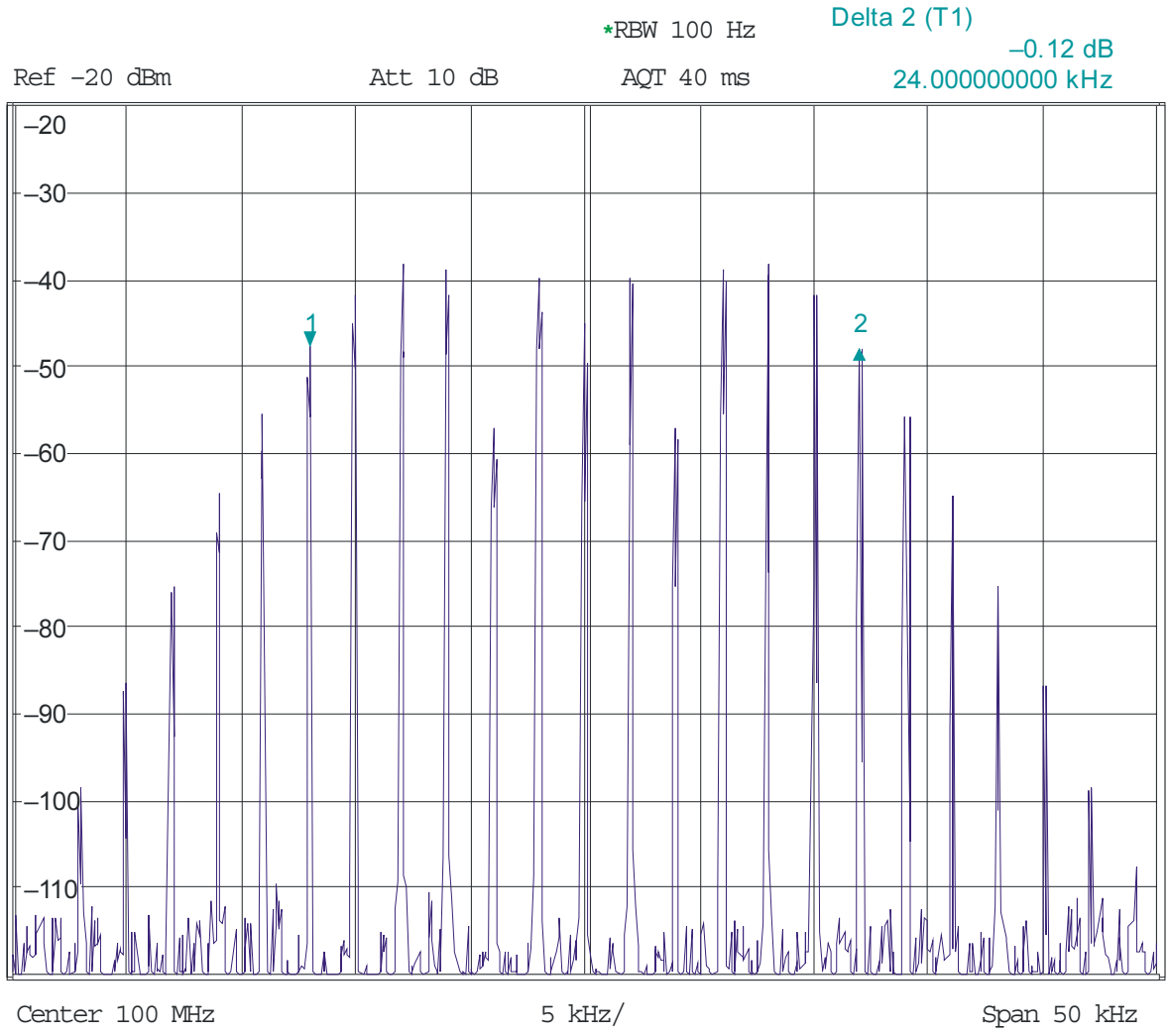
وحساب اتساع كل زوج من النطاق الجانبي (دالة Bessel من أجل $m = 5$):

التردد	الاتساع	
f_c	J_0 (5)	0,18–
$f_c \pm f_m$	J_1 (5)	0,33–
$f_c \pm 2 f_m$	J_2 (5)	0,05
$f_c \pm 3 f_m$	J_3 (5)	0,36
$f_c \pm 4 f_m$	J_4 (5)	0,39
$f_c \pm 5 f_m$	J_5 (5)	0,26
$f_c \pm 6 f_m$	J_6 (5)	0,13
$f_c \pm 7 f_m$	J_7 (5)	0,05
$f_c \pm 8 f_m$	J_8 (5)	0,02
$f_c \pm 9 f_m$	J_9 (5)	0,005

ويبين الشكل 6.6-5 طيف التشكيل الترددي الناتج لهذا المثال:

الشكل 6.6-5

مثال على طيف التشكيل الترددي



Spectrum-6.6-05

3.2.6.6 تشكيل الطور

تشكيل الطور (PM) وتشكيل التردد هما نفس الشيء من حيث الأساس: فتغيير التردد يغير أيضاً مؤقتاً طور الإشارة الراديوية الناتجة بالنسبة إلى الطور الأصلي للإشارة غير المتشكلة، والعكس بالعكس.

وعليه فالصيغ نفسها التي تنطبق على تشكيل التردد تنطبق أيضاً على تشكيل الطور، وتكون الأطياف الناتجة متساوية. والفرق الوحيد بينهما هو الطريقة التي يستعملها المستقبل ليزيل تشكيل الإشارة ويسترجع المعلومات المشكِّلة.

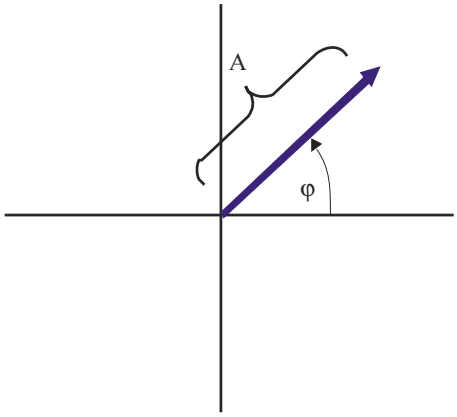
مع ذلك فالميدان الترددي غير مناسب لترميز تشكيل الطور، لأنه لا يمكن أن نرى سوى التردد والاتساع. والطريقة الأكثر شيوعاً لترميز تشكيل الطور هي استعمال مخطط قطبي، تكون فيه الإشارة الراديوية ممثلة بمتجه يبدأ في المركز. ويكون طول المتجه ممثلاً للاتساع، والزاوية بين المتجه والمحور الأفقي هي الطور الآني. ويبين الشكل 6.6-6 مثالاً على ذلك.

ويمكن تمثيل الموجة الحاملة غير المتشكلة بمتجه ثابت مستقر. وإذا كانت الإشارة متشكلة بالتردد فإن المتجه يدور إلى اليسار أو إلى اليمين، حسبما يكون التردد الآني أخفض أو أعلى من تردد الموجة الحاملة غير المتشكلة.

وفي نفس الوقت، يمكن أن تتغير الزاوية φ باستمرار، وهكذا فإن التشكيل بالتردد يساوي بالفعل التشكيل بالطور.

الشكل 6.6-6

المخطط القطبي الآني لإشارة متشكلة بالطور



Spectrum-6.6-06

4.2.6.6 تشكيلات تماثلية خاصة

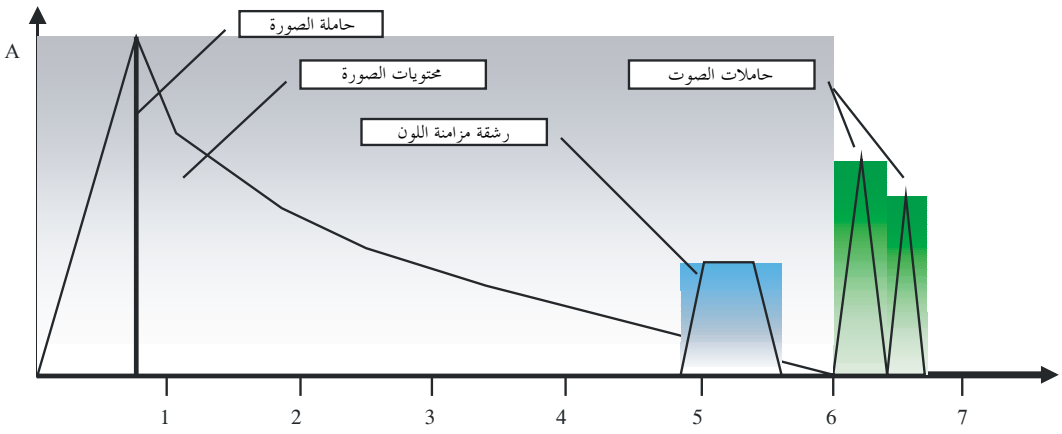
1.4.2.6.6 تشكيل الإذاعة التلفزيونية

تستعمل إرسالات الإذاعة التلفزيونية التماثلية في نطاقي الموجات المترية والديسمترية (UHF/VHF) تشكيل النطاق الجانبي المتبقي (VSB) (السالب أو الموجب) للإشارة الفيديوية ولواحدة أو أكثر من حاملات الصوت المنفصلة المشكلة بالتردد أو بالاتساع.

والطيف الناتج معقد، وتتوقف المكونات الفردية وكذلك اتساعاتها وتباعد ترددها بالنسبة إلى الموجة الحاملة على المعيار الخاص. ويبيّن الشكل 6.6-7 مثالاً مبسّطاً على إشارة تلفزيون ملوّن تماثلي مع صوت مجسّم.

الشكل 6.6-7

طيف مبسّط لتلفزيون بنظام PAL مع صوت مجسّم



التردد بالنسبة إلى الحد السفلي للقناة (MHz)

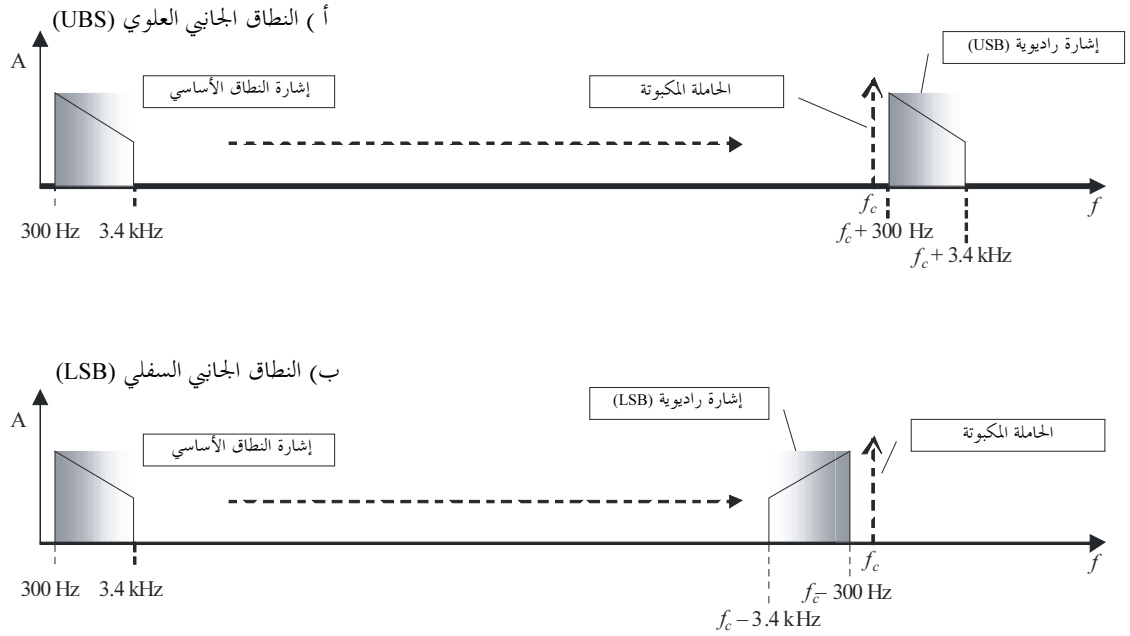
Spectrum-6.6-07

2.4.2.6.6 تشكيل نطاق جانبي وحيد مع موجة حاملة مكبوتة

يستعمل كثيراً تشكيل النطاق الجانبي الوحيد مع موجة حاملة مكبوتة (SSB أو J3E) في الإرسالات الصوتية بنطاق ضيّق. وفي هذا النمط من التشكيل فإن النطاق الأساسي للمهاتفة يزحزح فقط (أو يزحزح ويقلب) إلى التردد المخصص، ويضخم ويَبثّ عبر هوائي. وبالنتيجة، إذا لم تكن هناك إشارة صوتية، إذن لا يبقى إلا الموجة الحاملة، وبما أنها مكبوتة، لا يبث أي شيء. ويوضح الشكل 8-6.6 مبدأ تشكيل النطاق الجانبي الوحيد (SSB).

الشكل 8-6.6

مبدأ تشكيل النطاق الجانبي الوحيد (SSB)



وعموماً، يستعمل النطاق الجانبي العلوي (USB، الشكل 8-6.6 أ))، ولا يستعمل النطاق الجانبي السفلي إلا محطات الهواة (LSB، الشكل 8-6.6 ب)).

وميزة تشكيل النطاق الجانبي الوحيد (SSB) على تشكيل الاتساع العادي (AM) هي أنه لا يستعمل إلا نصف عرض النطاق الطيفي، ولا يبدّد طاقة المرسل في بثّ الموجة الحاملة.

3.4.2.6.6 تشكيل نطاق جانبي مستقل

يعمل تشكيل النطاق الجانبي المستقل (ISB) مع الموجة الحاملة المكبوتة (B8E) على نفس مبادئ عمل التشكيل بنطاق جانبي وحيد، ما عدا إرسال نطاقين أساسيين سمعيين مستقلين هما نطاق أساسي أول يزاح إلى النطاق الجانبي العلوي، ونطاق أساسي ثانٍ يقلب ويزاح إلى النطاق الجانبي السفلي في مدى الترددات الراديوية.

4.4.2.6.6 تشكيل الاتساع الدينامي

إن المرسل بتشكيل الاتساع في النطاقين الجانبيين التقليدي هو– من وجهة نظر استهلاك الطاقة – جهاز غير اقتصادي مطلقاً. إذ حتى مع عمق تشكيل m يساوي 100%، لا يستعمل إلا 17% من القدرة المشعة لإرسال المعلومات (نطاق جانبي واحد)، و66% من القدرة يذهب إلى الموجة الحاملة بدون أي محتوى معلوماتي (انظر المعادلة (7-6.6)).

ومن أجل قيم للعمق m أقل، تكون العلاقات أسوأ. وجرت محاولات عديدة لإيجاد حل لهذه المشكلة بتخفيض قدرة الموجة الحاملة دينامياً في الأوقات التي يكون فيها عمق التشكيل m منخفضاً (وهو الواقع العملي في أغلب الأوقات).

ويدعى أحد هذه الحلول تشكيل الاتساع الدينامي (DAM)، وفيه تنخفض قدرة الموجة الحاملة عندما يكون العمق *m* أقل من 100% بقدر محسوس. ومن الواضح أن هذا الإجراء يوفر الطاقة.

3.6.6 التشكيل الرقمي

1.3.6.6 مبادئ التشكيل الرقمي

ترسل المعلومات في الاتصالات الرقمية بالشكل المكمّى، أي إن الاتساع و/أو الطور في الإشارة لا يأخذان إلاّ قيماً متقطعة. وتتكون المعلومة المرسلة من تدفق من البيانات مؤلف من "آحاد" و"أصفار". وينظر المرسل إلى بتات الدخل بسرعة تسمى "معدل الميقاتية". وينظر المستقبل إلى حالة الإشارة الراديوية بنفس معدل الميقاتية، ويفكك شفرة بتة (بتات) المصدر وفقاً لذلك.

وكما في حالة الإشارات التماثلية، لا تتمتع إشارات النطاق الأساسي الرقمية لا الشكل المناسب ولا بالتردد الخاص لإرسالها عبر هوائي. وحتى يمكن إرسالها في قناة راديوية، يجب أولاً نقلها إلى تردد أعلى عن طريق تشكيل موجة حاملة راديوية جيبية.

فتؤثر إشارة البيانات التي تحتوي المعلومات، في اتساع الموجة الحاملة الراديوية و/أو في ترددها و/أو في طورها وفق معدل الميقاتية لإشارة البيانات. ويسمى معدل الميقاتية أيضاً معدل الرموز. ويستعمل أحياناً في نفس الوقت التشكيل بالاتساع والتشكيل الزاوي.

وفي التقنيات الرقمية، غالباً ما يستعاض عن كلمة "تشكيل" بكلمة "إبراق". وتستعمل المختصرات ASK وFSK وPSK للتعبير عن الإبراق بزحزحة الاتساع وإبراق بزحزحة التردد والإبراق بزحزحة الطور.

وميزة الإشارات الرقمية أنه يمكن استرجاعها بدون أي انحطاط بسبب الضوضاء في بعض الظروف.

2.3.6.6 الإبراق بزحزحة الاتساع

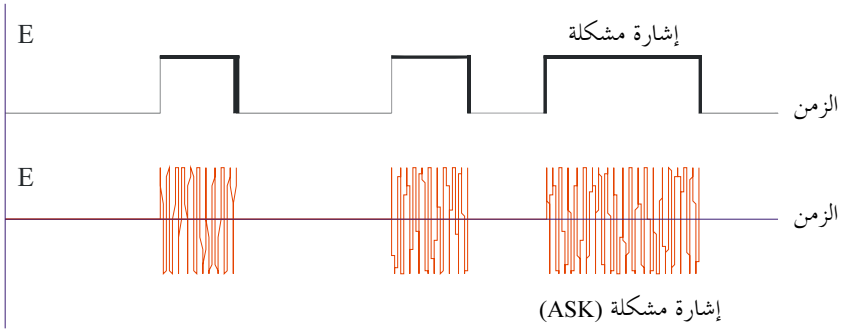
أبسط سبيل إلى تشكيل الموجة الحاملة بإشارات النطاق الأساسي الرقمية هو الإبراق بزحزحة الاتساع (ASK). ويتم ذلك مثلاً بإشارة تبدل الموجة الحاملة بين حالتي الفتح والغلق. فإذا كان الواحد "1" هو المطلوب إرساله، تغلق دارة الموجة الحاملة، وإذا كان الصفر "0" هو المطلوب إرساله تفتح دارة الموجة الحاملة.

والمثال التقليدي لهذا النوع هو شفرة مورس. وإذا كان تبديل الموجة الحاملة فقط بالفتح والغلق حسب معدل النبض في إشارة البيانات يسمى الإبراق عندئذ إبراق فتح وغلق (OOK). ويمثل الشكل 6.6-9 الإشارة المشكّلة والإشارة المتشكلة في هذا النوع من التشكيل.

وفي بعض الحالات، مثل إشارات التوقيت المعيارية، يكون الإبراق بنسبة 100%. ويتميز هذا الإبراق بأن تدفق البيانات حتى لو كان يتألف فقط من أصفار عديدة، يبقى فيه إرسال بعض الطاقة مستمراً، وبذلك لا يفقد المستقبل الإشارة ويحتفظ بالمزامنة.

الشكل 6.6-9

الإبراق بزحزحة الاتساع



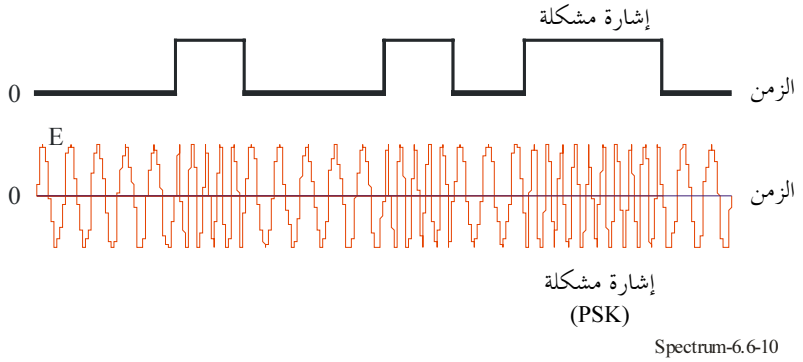
Spectrum-6.6-09

3.3.6.6 الإبراق بزحزحة التردد

في الإبراق بزحزحة التردد (FSK)، يتأثر تردد الموجة الحاملة بالإشارة المشكِّلة: فإذا كان المطلوب إرسال الواحد "1"، يرفع تردد الموجة الحاملة f_c إلى f_1، وأثناء إرسال الصفر "0" يخفض التردد f_c إلى f_2. ويمثل الشكل 10-6.6 الإشارتين المشكِّلة والمتشكلة في هذا النمط من التشكيل.

الشكل 10-6.6

الإبراق بزحزحة التردد



يبقى اتساع الموجة الحاملة ثابتاً، بينما يتأرجح التردد بين قيمتين:

$$f_2 = f_C - \Delta f \quad \text{و} \quad f_1 = f_C + \Delta f \tag{11-6.6}$$

لكي يكون فك التشفير ناجحاً، فإن المباعدة Δf تتوقف على معدل الميقاتية، فكلما كان معدل الميقاتية عالياً، تكون المباعدة أعلى.

4.3.6.6 الإبراق بزحزحة الطور

الطريقة الثالثة لتشكيل الموجة الحاملة بالإشارات الرقمية هي الإبراق بزحزحة الطور (PSK). ويمثل الشكل 11-6.6 إشارة البيانات المشكّلة والإشارة الراديوية المتشكلة في هذا النمط من التشكيل.

وكما يرى، فإن سوية الإشارة المتشكلة تبقى ثابتة، في حين يصيب الطور تبديل (في هذا المثال) بقدر 180°، إذا تغيرت الإشارة المتشكلة من الصفر "0" إلى الواحد "1" (2-PSK).

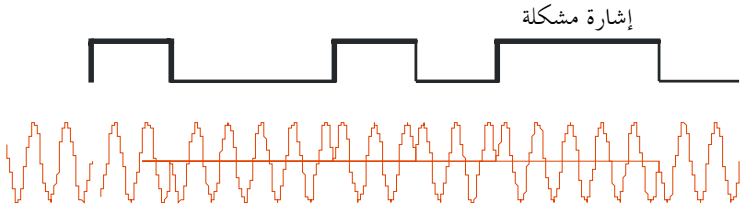
وأفضل سبيل لترميز الإبراق PSK هو، كما في حال التشكيل الطوري التماثلي، المخطط القطبي المبين في الشكل 6.6-6.

ومع ذلك، من المستحسن ألاّ يرسم المتجه الراديوي إلا في تلك النقاط الزمنية التي يحاول فيها المستقبل تفكيك شفرة الإشارة. وفي تلك اللحظة ترسم جميع الحالات الممكنة على المخطط نفسه.

ولتحسين القراءة، لم ترسم إلا النقاط النهائية من المتجهات بشكل نقاط.

الشكل 6.6-11

الإبراق بزحزحة الطور



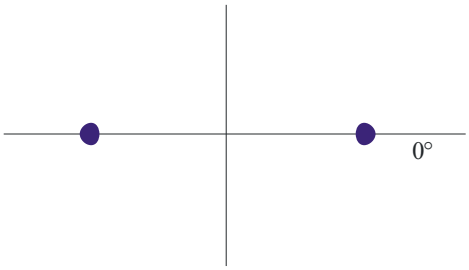
إشارة مشكلة بطور 180° PSK

Spectrum-6.6-11

ويسمى الشكل الناتج "مخطط الكوكبة". ويبين الشكل 6.6-12 مخطط الكوكبة في إبراق 2-PSK.

الشكل 6.6-12

مخطط الكوكبة في إبراق 2-PSK



Spectrum-6.6-12

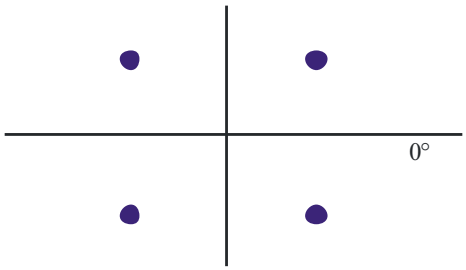
وفي جميع الأمثلة المستعملة على الإبراق ASK وFSK وPSK، لم تكن الموجة الحاملة الراديوية تأخذ سوى حالتين مسموحتين عند تفكيك التشفير (ASK: الحاملة في "غلق" أو في "فتح"؛ FSK: التردد f_1 أو f_2؛ PSK: الطور "0°" أو "180°"). وعليه تستطيع هذه الأنظمة إرسال بتة واحدة من بيانات المصدر في كل خطوة. ويكون معدّل الميقاتية في هذه الحالات مساوياً معدّل البتات.

وإذا عرفنا أكثر من حالتين متمايزتين للموجة الحاملة الراديوية، يمكن إرسال المعلومات المحتواة في بتتين أو حتى في أكثر من بتتين في خطوة واحدة. ومثال على ذلك ما يدعى 4-PSK أو إبراق تربيعي بزحزحة الطور (QPSK). ويكون طور الموجة الحاملة الراديوية في لحظة فك التشفير مساوياً 45° أو 135° أو 225° أو 315°. ويبين الشكل 6.6-13 مخطط الكوكبة.

وتمثل كل نقطة من نقاط الكوكبة الأربع بتتين من بتات المصدر. وتسمى البتات المرسلة في خطوة واحدة الرمز، والتوصيل بين الرمز والحالة الراديوية (نقطة من الكوكبة) يقرر في مخطط تشفير.

الشكل 6.6-13

مخطط الكوكبة في الإبراق QPSK



Spectrum-6.6-13

الجدول 6.6-1

مثال على مخطط تشفير الإبراق QPSK

الرمز (بتات المصدر)	طور الحاملة الراديوية
00	°45
01	°135
10	°225
11	°315

ويسمى عدد الرموز المرسلة في كل ثانية واحدة معدّل الرموز. وتستمر الموجة الحاملة الراديوية بتغيير حالتها بسرعة تساوي معدل الرموز، غير أن معدل البتات في مثال الإبراق QPSK يساوي مثلي معدل الرموز. ويسمح هذا المبدأ بزيادة معدلات البتات دون زيادة عرض النطاق، لأنه هو وحده الذي يتوقف على معدل الرموز. ومع ذلك ولأن نقاط الكوكبة في الإبراق التربيعي بزحزحة الطور (QPSK) تكون أقرب بعضها إلى بعض مما هي عليه في الإبراق 2-PSK، إذ يحتاج الإبراق QPSK إلى نسبة إشارة إلى ضوضاء أكبر، مما لا يجعل هذا التشكيل متيناً متانة الإبراق 2-PSK.

وتستخدم الأنظمة الرقمية الحديثة لتشكيل يصل إلى 8-PSK، لكي تشكلات ثلاث بتات في كل رمز.

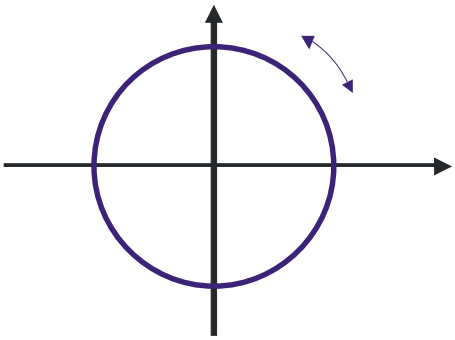
5.3.6.6 الإبراق بزحزحة صغرى

لما كانت جميع نقاط الكوكبة في إشارة إبراق بزحزحة الطور (PSK) ذات اتساع متساو، فإن هذه المعلمة لا تبقى ثابتة طوال الوقت الذي يتحدد عرض نطاق الإشارة بالترشيح: ففي الطريق من نقطة كوكبة إلى النقطة المجاورة، يتغير طول المتجه الراديوي الآني، وبالتالي يتغير الاتساع الراديوي. وعلى سبيل المثال في الإبراق 2-PSK الوارد في الشكل 6.6-2، يكون الطريق المباشر بين نقطة الكوكبة 0° والنقطة المقابلة عند 180° هو الطريق الذي يمر في مركز المخطط. ويمكن في هذه اللحظة أن يصبح الاتساع مساوياً حتى الصفر.

وهناك سبيل آخر لتشكيل الطور الراديوي (أو التردد) هو الانتقال في دائرة وإبقاء الاتساع ثابتاً. ثم تشفّر المعلومات المطلوب إرسالها إلى الاتجاه الذي يدور به المتجه الراديوي. وعلى المستقبل وحده أن يكشف جهة الدوران بغية فك تشفير الإشارة (الصفر "0" إلى اليسار، والواحد "1" إلى اليمين مثلاً). وكما هو مبيّن في الفقرة 3.2.6.6 فإن دوران المتجه الراديوي يساوي رفع أو خفض التردد الراديوي. وبغية كشف دوران المتجه كشفاً صحيحاً، فإن أدنى تغير ممكن في زاوية المتجه بين خطوتين (بتتين) هو 90°. ويسمى هذا التشكيل الإبراق بالزحزحة الصغرى (MSK). ويبين الشكل 6.6-14 مخطط "الكوكبة" للإبراق بالزحزحة الصغرى وهو في شكل دائرة، لأن الزوايا الفعلية للمتجه في كل مرة من مرات فك التشفير ليست محددة.

الشكل 14-6.6

مخطط الكوكبة في الإبراق MSK



Spectrum-6.6-14

وأكبر ميزات الإبراق MSK على الإبراق PSK هي رخص التجهيزات التي يمكن استعمالها (أي مضخمات خطية في المرسل ومستقبلات أبسط)، والحضور الدائم للإشارة الراديوية الذي يتيح مزامنة مستمرة للمستقبل ونسب إشارة إلى الضوضاء *S/N* منخفضة جداً.

6.3.6.6 تشكيل اتساع تربيعي (QAM)

عندما يقتضي الأمر جمع ثلاث بتات في رمز واحد، لا يعود الإبراق PSK مثالياً، لأن نقاط الكوكبة تصبح متقاربة جداً بعضها من بعض وهذا يتطلب نسباً *S/N* (إشارة إلى ضوضاء) أكبر فأكبر.

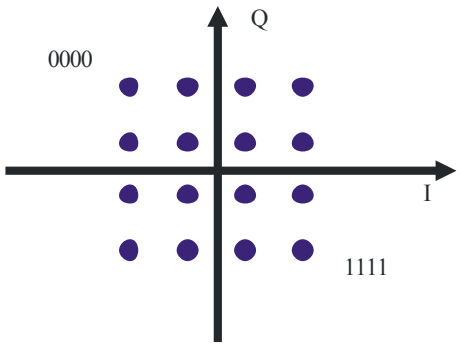
وبدلاً من ذلك، يتأثر الاتساع والطور لنقاط الكوكبة بحيث يصبح مخطط الكوكبة مربعاً، مملوءاً بانتظام بنقاط الكوكبة. ويبين الشكل 15-6.6 مثالاً على الإبراق 16-QAM.

وفي الإبراق 16-QAM، تشكلات أربع بتات في رمز واحد، وإذا أمكن توفير نسبة *S/N* كافية (في إرسالات الكبل مثلاً) وفي الإبراق 256-QAM، تشكلات 8 بتات في رمز وهذه شائعة، ويستعمل أحياناً إبراق يصل حتى 1 024-QAM تشكلات فيه 10 بتات في رمز.

ولا تؤثر المرسلات الحديثة، التي تستخدم معالجات الإشارة الرقمية (DSP)، حقاً في اتساع الموجة الحاملة الراديوية وفي طورها مباشرة. وبدلاً من ذلك، تؤلف الإشارة الراديوية المرسلة من إشارتين مكوّنتين بالتردد السمعي، تشكلان بالاتساع موجتين حاملتين راديويتين لهما نفس التردد وزحزحة طور ثابتة قدرها 90°. ويقال عن المكونات إنها على توافق في الطور (I) وعلى ترابع في الطور (Q). وقد سمّي المحوران في الشكل 15-6.6 المحور I والمحور Q وفقاً لذلك. ويمكن الوصول إلى أي نقطة من الكوكبة بتغيير (بتشكيل) الاتساع في كل مكوّنة إلى قيمة معينة.

الشكل 15-6.6

مخطط الكوكبة في التشكيل 16-QAM



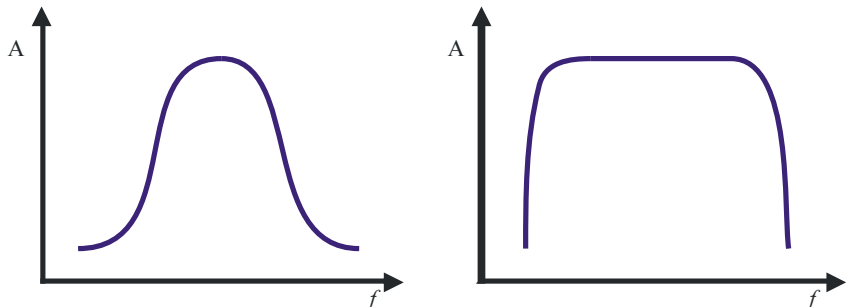
Spectrum-6.6-15

7.3.6.6 ترشيح النطاق الأساسي لتشكيلات موجه حاملة وحيدة

يكون التمثيل في الميدان الزمني مستطيلاً لإشارة رقمية مشكّلة متكونة فقط من "آحاد" و"أصفار". وإذا كانت الإشارة الراديوية تتبع إشارة البيانات الرقمية بالضبط، يكون على المتجه الناتج أن يغير حالاته (الاتساع أو التردد أو الطور) مباشرة في كل مرة يكون في إشارة البيانات ميل. وقد يحصل من ذلك نطاق عريض جداً، أطياف راديوية تشبه الرادار. ولما كان المستقبل وحده يتوقع أن يكون المتجه الراديوي واقعاً على واحدة من نقاط الكوكبة في وقت فك التشفير، يمكن تغيير الحالات ببطء في الوقت المنقضي بين خطوتين. ويمكن تنفيذ ذلك بتطبيق مرشاح منخفض التمرير قبل عملية التشكيل (أي في النطاق الأساسي). ويكون مفعول ذلك اجتناب حدوث حافات حادّة في إشارة الزمن، وانخفاض عرض النطاق الراديوي الناتج انخفاضاً محسوساً. وبسبب بعض القيود (عدم وجود تداخل بين رمز والرمز الذي يليه) لا يمكن استعمال إلا مراشيح غَوْسية أو مرفوعة جيب التمام. وتغلق بعض الأنظمة مرشاح جيب التمام بحيث يطبق نصف المرشاح على المرسل بينما يطبق النصف الآخر على المستقبل. ومراشيح "نصف جيب التمام" هذه تدعى مراشيح "جذر جيب التمام المرفوع" (RRC). ويبين الشكل 16-6.6 شكل الطيف للإشارات الرقمية في موجة حاملة وحيدة بعد ترشيح النطاق الأساسي.

الشكل 16-6.6

أطياف الإشارات الرقمية في موجة حاملة بعد الترشيح



Spectrum-6.6-16

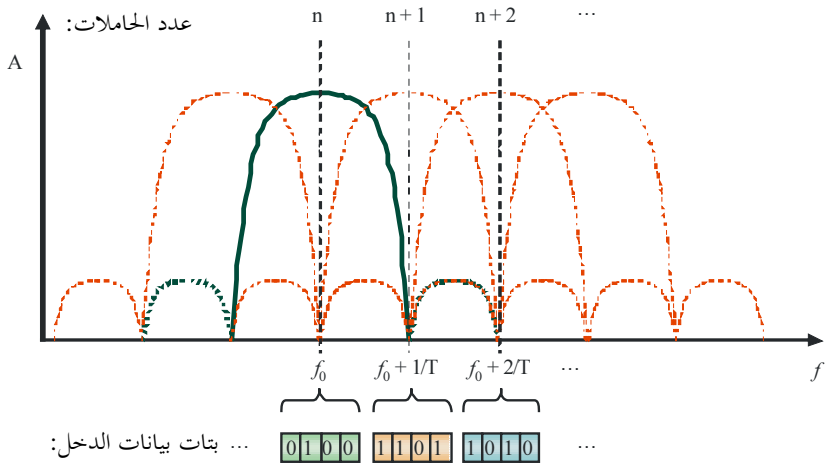
8.3.6.6 تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM)

تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM) هو طريقة لتجميع عدد كبير من الموجات الحاملة المتشكلة رقمياً لتكوين مجموعة [Carlson, 1986] و[Lymer, 1994]. وحسب تشكيل كل حاملة، فإنها تشكّل بالمعلومات المحتواة في عدد من البتات (4 أو 6 بتات عادة). ثم يُفْلق تدفق بيانات الدخل هذا إلى عدة زمر، حسبما هو موجود من الموجات الحاملة في التعدد OFDM (حتى بضعة آلاف). ولأن جميع الموجات الحاملة ترسل في آن واحد (في خطوة واحدة)، فإن حجم الرمز في نظام تعدد OFDM يكون كبيراً للغاية (عدة كيلوبتات)، وهذا يولد معدلات رمز بطيئة جداً بينما يحافظ على معدّل عالٍ من البيانات المفيدة.

وعندما يعاني الطور المرجعي للموجات الحاملة المجاورة من زحزحة قدرها 90°، يمكن أن تكون المباعدة بين الموجات الحاملة منخفضة إلى حدّ معدّل الرموز. وعندئذ تتراكب أطياف الموجات الحاملة المتشكلة، من دون أن تؤثر في فك تشفير الموجات الحاملة المجاورة. ويشرح الشكل 17-6.6 تكوّن مجموعات التعدد OFDM. ويستخدم المثال تشكيل الموجات الحاملة بالتشكيل 16-QAM الذي تكون فيه كل موجة حاملة متشكلة بزمرة أربع بتات.

الشكل 17-6.6

موجات حاملة بالتعدد OFDM متشكلة بالتشكيل 16-QAM



Spectrum-6.6-17

وتتولد إشارات التعدد OFDM بكاملها باستخدام مقلوب تحويل فوريه السريع (FFT) ويزال تشكيلها باستخدام التحويل FFT.

ونظراً إلى تراكب أطياف الموجات الحاملة المتشكلة، يكون لطيف التعدد OFDM الكامل الناتج شكل مستطيل كما هو مبين في الشكل 18-6.6 يكون الخط الأعلى يشبه الضوضاء. ولا يمكن تمييز الموجات الحاملة المنفردة.

وكمثال على ذلك، يحتوي واحد من أنظمة الإذاعة الفيديوية الرقمية – الأرضية (DVB-T) المستعملة في أوروبا على 6 817 موجة حاملة متشكلة بالتشكيل 64-QAM، تحمل كل واحدة منها 6 بتات من المعلومات في كل خطوة. فيكون حجم الرمز كله هو:

$$6 * 6\,817 = 40\,902 \text{ bits}$$

وتساوي مباعدة الموجات الحاملة 1,11 kHz، ويتثبت بذلك معدل الرمز عند 0,9 ميكروثانية. ويكون معدل البيانات الإجمالي في هذا النظام هو:

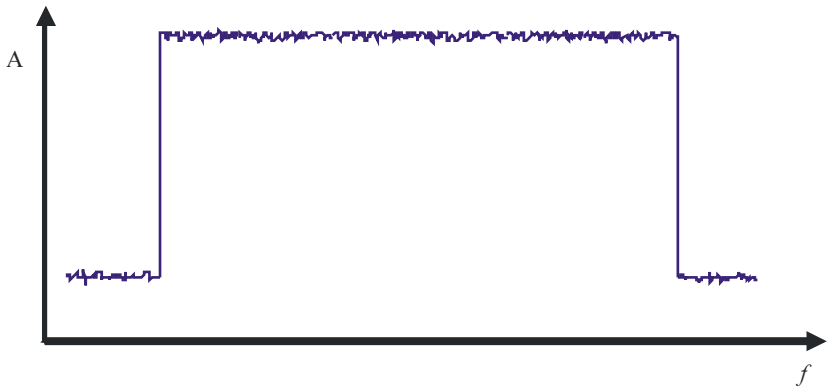
$$40\,902 \text{ bits} / 0.9 \text{ ms} = 45.447 \text{ Mbit/s}$$

ولما كانت بيانات الدخل منتشرة على هذه الموجات الحاملة المتعددة جداً، فإن النظام متين جداً إزاء الخبو والتداخل بحسب الترددات. وعلى الرغم من أن عدة موجات حاملة غير قابلة للاستعمال، إلا أن البيانات الواردة من الموجات الحاملة المتبقية ما زالت قابلة للتقرير.

وإذا طبّق تصحيح الأخطاء الأمامي (FEC) بشكل حصيف يبقى المستقبل قادراً على إعادة تكوين كامل الرمز.

الشكل 18-6.6

طيف تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM) (المبدأ)



Spectrum-6.6-18

ويتيح معدل الرموز المنخفض إدخال "فاصل حراسة" طويل نسبياً. وهو وقت إضافي يوضع في بداية كل رمز حيث تتكرر المعلومات. ويمكن للمستقبل أن ينتظر فاصل الحراسة حتى يمر قبل أن يبدأ بعملية فك التشفير. وإذا وصلت الأصداء من استقبال المسير المتعدد في المستقبل قبل أن يمرّ فاصل الحراسة، فإنها تحسّن الاستقبال بعملية الجمع حتى الإشارة المباشرة.

وإذا كان لبيانات الدخل مخطط عادي، فقد تنشأ حالات عندما يكون لجميع الموجات الحاملة أو لبعضها على الأقل أطوار واتساعات متساوية. ونظراً إلى العدد الكبير من الموجات الحاملة في المجموعة، فإن ذلك يؤدي إلى حدوث ذُرا عالية للغاية في المستوى الإجمالي المطلوب إرساله. وقد تكون مراحل الخروج في مرسل التعدد OFDM بحاجة إلى تسوية أبعادها من أجل هذا المستوى الذروي، بينما يكون المستوى المتوسط الذي يصيب التغطية أخفض من ذلك بكثير.

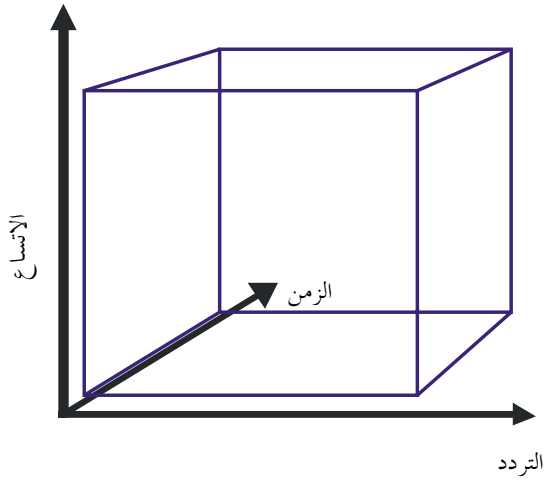
ولاجتناب حدوث ذلك، يشفّر تدفق البيانات قبل إرساله، بطريقة تكون فيها الإشارة الناتجة تشبه الضوضاء دائماً. ويستخدم لهذه الأنظمة المختصر COFDM تعبيراً عن تعدد الإرسال الشفري بتقسيم تعامدي للتردد.

4.6.6 طرائق النفاذ إلى الطيف

يمكن ترميز السعة الكلية لقناة إرسال بشكل مكعب في مخطط ديكارتي ثلاثي الأبعاد كما هو مبين في الشكل 19-6.6.

الشكل 19-6.6

سعة قناة الإرسال



Spectrum-6.6-19

وكمية المعلومات التي يمكن إرسالها محدودة بثلاث معلمات:

– *الزمن*:

من الواضح جيداً أن توفر مزيد من الزمن يسمح بإرسال مزيد من المعلومات.

– *التردد أو عرض النطاق*:

جميع التشكيلات الرقمية المعروضة لها تبعية بين معدل الرموز وعرض النطاق الراديوي الناتج. وعليه إذا تيسر مزيد من عرض النطاق، أمكن إجراء التشكيل بمعدل رموز أعلى وإرسال مزيد من البيانات المفيدة (bits/s).

– *السوية أو نسبة الإشارة إلى الضوضاء ونسبة الإشارة إلى التداخل*:

إذا زدنا قدرة المرسل، بتحسين نسبة الإشارة إلى الضوضاء أو نسبة الإشارة إلى التداخل في المستقبل، يمكننا استعمال مخطط تشكيل أعلى يجمع مزيداً من البتات في الرمز (مثلاً استعمال التشكيل 64-QAM بدلاً من 16-QAM). وهذا يسمح أيضاً بإرسال مزيد من البتات المفيدة في نفس الوقت.

وفي العديد من الأنظمة العملية، يحتاج أكثر من مستعمل واحد (أو محطة واحدة) النفاذ إلى قناة الإرسال ومواردها. مثال ذلك: في نظام الهاتف الخلوي، يرغب العديد من الأشخاص في المهاتفة في نفس الوقت ضمن مدى المحطة القاعدة.

ويكون استعمال سعة القناة أمثل، عندما يكون المكعب الوارد في الشكل 19-6.6 مملوءاً بالكامل من دون فجوات. ومع ذلك يجب تنظيم النظام بطريقة تسمح لعدة مستعملين بالنفاذ إلى الموارد. وتدعى طرائق النفاذ إلى الطيف لتنظيم ذلك أساليب النفاذ المتعددة.

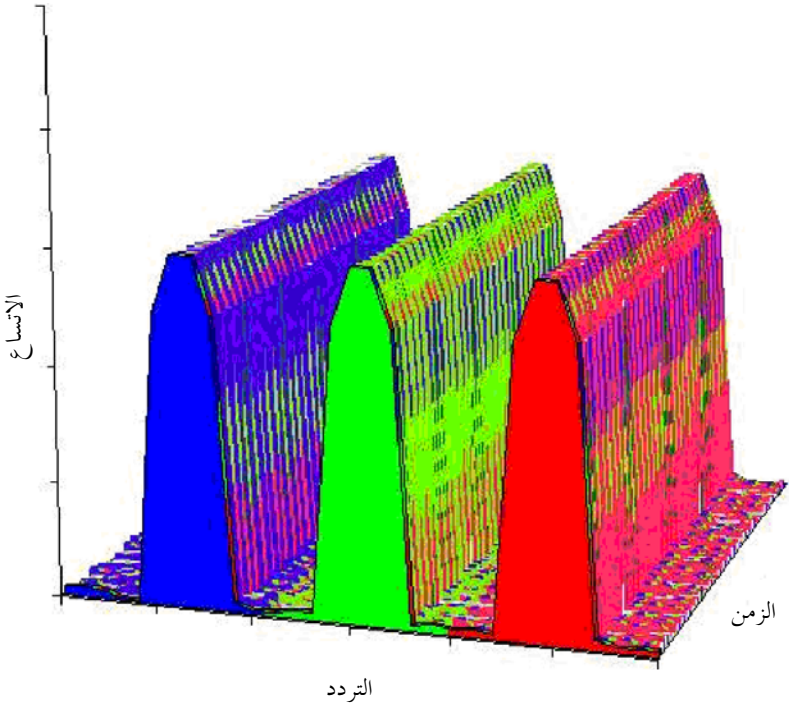
1.4.6.6 النفاذ المتعدد بتقسيم التردد

النفاذ المتعدد بتقسيم التردد (FDMA) هو أبسط طريقة للنفاذ المتعدد، وهو يعمل أيضاً في الأنظمة التماثلية. وفيها يحصل كل مستعمل على تردد مختلف يستطيع استخدامه باستمرار على جزء من الطيف المتيسر. ومبدؤه مشروح في الشكل 20-6.6.

ولما كانت مراشيح الانتقاء في المستقبلات الفعلية ليست مستطيلة الشكل، يجب الحفاظ على مباعدة تردد معينة ما بين إرسالات كل مستعمل. وبالنظر إلى هذا المتطلب، تنشأ "فجوات" في ميدان التردد، لا يمكن استعمالها لإرسال البيانات، وبالتالي لا يكون مكعّب السعة لقناة الإرسال مستعملاً بكامله.

الشكل 20-6.6

النفاذ المتعدد بتقسيم التردد



Spectrum-6.6-20

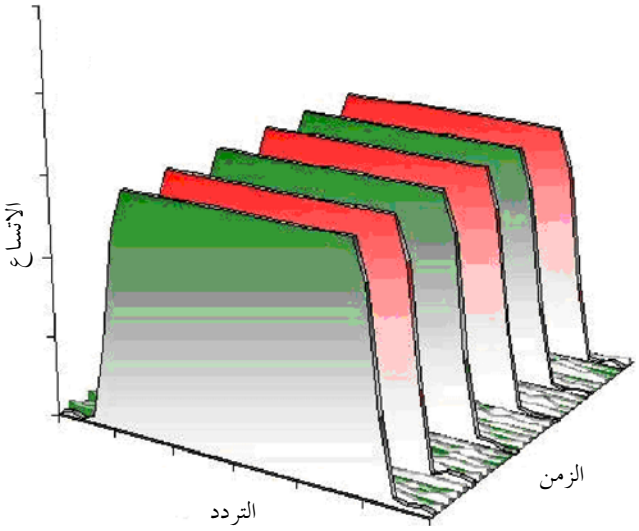
2.4.6.6 النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن (TDMA)

يتميز الإرسال الرقمي بإمكانية إرسال البيانات فيه بأسرع مما يقدمها مصدر البيانات. ففي مثالنا الذي هو نظام الهاتف الخلوي، يرقمن الكلام المتواصل ويقسّم إلى فدرات زمنية أطوالها مختلفة. وإذا كانت سرعة الإرسال تسمح بذلك، فإن البيانات في هذه الفدرات ترسل بشكل رشقات، تترك فترات زمنية غير مستعملة يستطيع أثناءها مستعملون آخرون إرسال بياناتهم فيها. وهكذا فإن هذا النظام يوزّع الزمن المتيسر ما بين المستعملين، لذلك أطلق عليه اسم "النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن" (TDMA). حيث يرسل المستعمل بياناته فيما يسمى "الفُرْجات الزمنية" مستخدماً كامل عرض النطاق في قناة الإرسال. ويشرح الشكل 21-6.6 هذا المبدأ.

إذا كان أحد المستعملين بعيداً عن المستقبل المشترك (أي المحطة القاعدة)، تصل إشارته متأخرة نسبياً، نظراً إلى أن سرعة الضوء محدودة، وقد يصل إرساله في الفرجة الزمنية التالية الخاصة بمستعمل آخر قريباً من المستقبل المشترك. ولاجتناب التداخل، يجب إدراج فواصل الحراسة الزمنية التي لا يجوز فيها الإرسال من أي مستعمل. ولذا هنالك "فجوات" زمنية لا يمكن فيها إرسال أي بيانات. وهكذا، وفي حالة النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن أيضاً، لا يكون مكعب السعة لقناة الإرسال مستعملاً بكامله.

الشكل 21-6.6

النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن



Spectrum-6.6-21

3.4.6.6 الطيف الممدّد

تتعرض عادة إشارات النفاذين FDMA وTDMA للتداخل، ولذلك فهي تحتاج إلى تنسيق في الزمن أو التردد ما بين المستعملين. وإشارات الطيف الممدد أقل عرضة بكثير للتداخل، ويتوصف غالباً بأنها إشارات تقاسم القدرة. وقد تشغل إشارات الطيف الممدد المتعددة على التآون نفس الطيف.

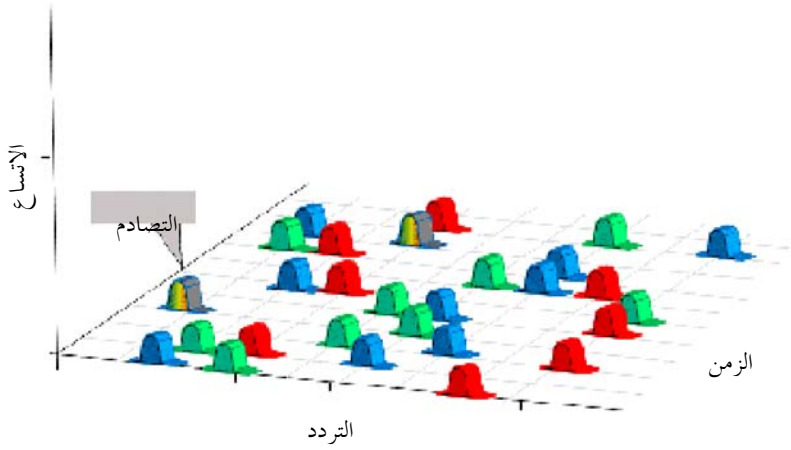
وتستحدث إشارات الطيف الممدد عندما يجري تشكيل إشارة نطاق ضيق لتشغل عرض نطاق أوسع (تمديد). ولما كانت عملية التمديد لا تزيد القدرة فإن الكثافة الطيفية للقدرة تنقص، وهذا يجعل كشف الإشارات غير المتماسكة أصعب. فتكون الإشارة مثلاً أصعب على المشاهدة في قياسات طيف القدرة. وتكون آثار التداخل التي تسببها إشارات أخرى أصغر في مستقبل الطيف الممدد عندما يزال التمديد عن الإشارة. والتقنيتان الأكثر شيوعاً لتوليد إشارة طيف ممدد هما تمديد الطيف بالقفز الترددي (FHSS) وتمديد الطيف بالتتابع المباشر (DSSS).

1.3.4.6.6 الطيف الممدّد بالقفز الترددي (FHSS)

كما يدل الاسم، فإن إشارات الطيف الممدّد بالقفز الترددي (FHSS) تولّد دورياً بتغيير تردد الإرسال. ويجب أن تعلم المستقبلات، أو تسترجع، التوقيت ومخطط القفز الترددي لتشكيل الإشارة. ولخفض التداخل إلى أقصى حدّ يكون لمختلف الإذاعات تتابعات مختلفة من القفز الترددي، أو تكون في أطوار مختلفة في تتابع طويل. ويمكن ألاّ تكون القفزات الترددية منسّقة أو متزامنة بين المرسلات، بحيث تحدث في تصادمات عارضة كما هو مبين في مثال المرسلات الثلاثة الوارد في الشكل 22-6.6 بشأن أطياف قوس قزح العالية القدرة. وشفرات تصحيح الأخطاء هي التي تستعمل لاسترجاع البيانات المفقودة أثناء هذه الفترات الزمنية القصيرة التي يحصل فيها تداخل. وبما أن الإشارات المتشكلة بالطيف الممدّد بالقفز الترددّي (FHSS) أصعب كشفاً واشد متانة حيال التداخل، فإنها غالباً ما تستعمل في الأغراض العسكرية. ويعثر على الإشارات FHSS في الطيف غير المرخص به حيث يكون التنسيق بين المستعملين صعباً. وتشكل القفزات الترددية المنسّقة جزءاً من النظام العالمي للاتصالات المتنقلة (GSM) الخلوي المعياري.

الشكل 22-6.6

الطيف الممدّد بالقفز الترددي



Spectrum-6.6-22

2.3.4.6.6 الطيف الممدّد بتتابع مباشر (DSSS)

إشارات الطيف الممدّد بتتابع مباشر (DSSS) هي إشارات عريضة النطاق تتولد من إشارات ضيقة النطاق، عن طريق تشكيل تتابع أو تشكيل يكون معدل بياناته منخفضاً، مع تتابع أو تشكيل معدل بيانات مرتفع. فيمكن مثلاً جمع تتابع بيانات، معدّله منخفض مع تتابع بيانات، معدله مرتفع باستخدام دالّة المؤثر OR الحصري (XOR). ويمكن استعمال البديل حيث يتم تشكيل إبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة (BPSK) معدله منخفض، بإبراق بزحزحة الطور رباعي الحالة (QPSK) معدله مرتفع، باستعمال عملية ضرب معقدة، أو بمزيج من العمليات. والتتابع الاثنيني المستعمل كتتابع عالي المعدل، أو تشكيل، يحيل غالباً إلى شفرة تمديد أو شفرة تخليط أو مفتاح. ويمكن أن تكون شفرة التمديد طويلة أو قصيرة، ويمكن أن تكون تتابعاً متخصصاً، مثل شفرة Barker، أو تتابعاً أعم يتم الحصول عليه من مولد أرقام شبه عشوائية (PRN).

وتسترجع عملية إزالة التمديد في المستقبل الإشارات ضيقة النطاق الأصلية. ويجري تمديد إشارات أخرى غير مطلوبة في عملية إزالة التمديد، ولكنها لا تنتقل بالكامل وتظهر كضوضاء ضيقة النطاق في المستقبل. ويزاح الكثير من طاقة الإشارة المشكلة، ولكن ليس كلها، باستخدام مراشيح ضيقة النطاق (وبشكل أجهزة مكاملة عادة). ويوضح الشكل 23-6.6 مفاهيم تقاسم القدرة في الطيف الممدد بتتابع مباشر. وفي الشكل يكون المرسل TX1 عالي القدرة، وهذا ينتج سويات تداخل أعلى من المرسل TX1 في المستقبل RX2. وتضبط أنظمة النفاذ المتعدد بتقسيم شفري (CDMA) باستمرار القدرة المرسلة لموازنة الأداء ما بين جميع مستعملي النظام.

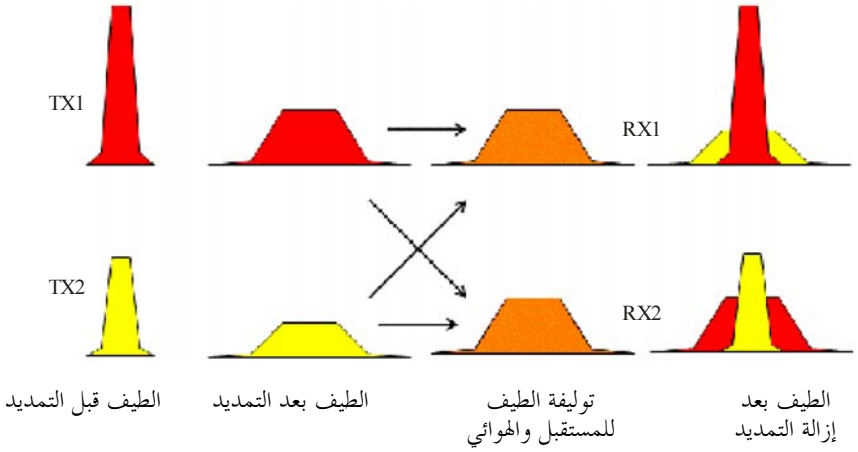
4.4.6.6 النفاذ المتعدد بتقسيم شفري (CDMA)

حرصاً على اجتناب "الفجوات" غير المستعملة في مكعب سعة الإرسال (انظر الشكل 19-6.6)، يمكن "تشكيل" بيانات المستعمل رقمياً إلى ما يسمى "المفتاح" الذي هو تتابع بتات ثابت. وهذا التشكيل هو عملية حصرية (XOR) منطقية في كل بتة من بيانات المستعمل. وينتج عن ذلك أن المفتاح يرسل بدلاً من الواحد "1"، بينما يرسل المفتاح المقلوب بدلاً من الصفر "0". ويشرح الشكل 24-6.6 هذا المبدأ مع مثال على مفتاح طوله 4 بتات.

ويعمل المستقبل بنفس الطريقة: تقارن دائماً زمر البتات الأربع (المثال) بالمفتاح. وتكون النتيجة دائماً هي "1111" أو "0000". ثم "يؤخذ متوسط" البتات الأربع الناتجة لتكوين بتة خرج فعلية. ويبين الشكل 25-6.6 هذه العملية.

الشكل 23-6.6

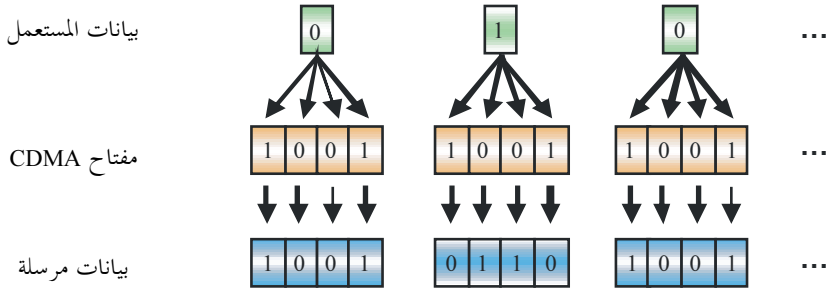
الطيف الممدد بتتابع مباشر



Spectrum-6.6-23

الشكل 24-6.6

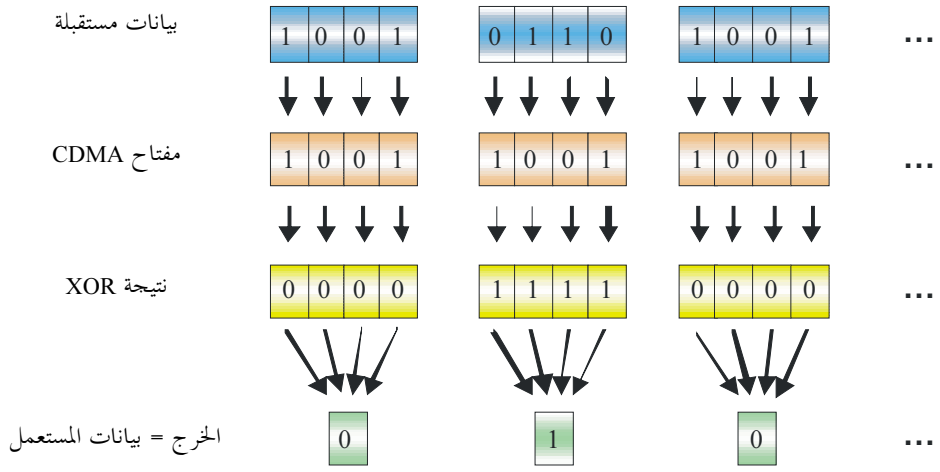
تشكيل رقمي مع مفتاح النفاذ CDMA



Spectrum-6.6-24

الشكل 25-6.6

استقبال النفاذ بمفتاح مضبوط CDMA

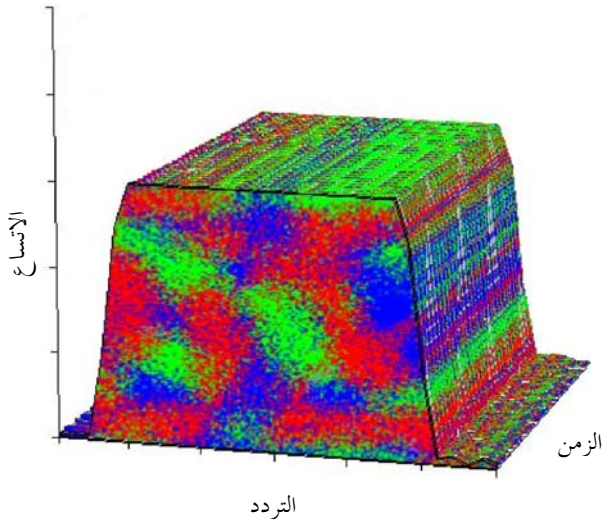


Spectrum-6.6-25

لما كان مقدار البيانات المطلوب إرسالها أعلى بكثير (بعامل طول المفتاح) من بيانات المستعمل، يجب أن تكون سرعة الإرسال أكبر أيضاً، وهذا يؤدي إلى مزيد كبير من عرض النطاق المطلوب. ويستحدث المثال المطروح بمفتاح رباعي الأرقام تدفق بيانات أسرع من تدفق بيانات المستعمل بأربع مرات. ولكي يرسل هذا القدر من البيانات بنفس معلمات التشكيل، يجب أن يكون معدّل الرموز أعلى بأربع مرات، الأمر الذي يتطلب عرض نطاق أوسع بأربع مرات. وإذا كانت المفاتيح تحقق بعض المتطلبات الرياضية، فيمكن استعمال "الإطناب" في بيانات المستعمل عند المستقبل حتى يسمح بمعدلات خطأ عالية جداً قبل أن تكشف الإشارة على نحو خاطئ. وفي مثل هذا النظام، تستطيع محطات يصل عددها إلى أربع محطات، يستعمل كل منها مفتاحاً رباعي الأرقام مختلفاً، أن ترسل بنفس الوقت وعلى نفس التردد، ويبقى المستقبل قادراً على ترشيح "إشارته" من بين جميع الإشارات الأخرى. وتكمن "البراعة" في تصميم المفاتيح المختلفة المستعملة بحيث تكون المقارنة XOR بفدرة مشفرة بأي مفتاح "خاطئ" ذات أعداد متساوية من الآحاد والأصفار، حتى يقع التكامل على الفدرة كلها في المنصّف بين الصفر والواحد. ويمكن أن يدعم التتابع الرباعي البتات حتى أربع قنوات بيانات. والمفاتيح الأربعة رباعية البتات التي تلبي المتطلبات المشروحة هي 1111 و1100 و1010 و1001. وتجمع معاً البيانات الأربعة المحددة مع هذه المفاتيح للإرسال. ويعاد فصل الإشارة المستقبلة إلى تدفقات البيانات المستقلة الأربعة في المستقبل باستخدام نفس المفاتيح لإزالة تمديد الإشارة المركّبة. وكفاءة الطيف الإجمالية في النفاذ CDMA هي أفضل من كفاءة النفاذين FDMA وTDMA، لأن مكعّب سعة الإرسال ليس فيه فجوات. وهذا مبين في الشكل 6.6-26.

الشكل 6.6-26

النفاذ المتعدد بتقسيم شفري



Spectrum-6.6-26

وفي الحالة التي يمكن فيها التحكم في الإشارات القادمة من عدة مستعملين بحيث تصل إلى المستقبل بتراصف زمني مناسب، يمكن إزالة التداخل المتبادل بين المستعملين باستخدام شفرات التمديد التعامدية، أو المفاتيح. والتراصف الزمني المناسب مطلوب لأن شفرات التمديد تعامدية فقط (دون تداخل) عند التراصف الزمني. وفي شفرات التمديد التعامدية، لا يتقاسم المستعملون القدرة، بل يتقاسمون فراغات الشفرة، طالما أن التشكيل هو "نفاذ متعدد بتقسيم شفري". وتستعمل أنظمة النفاذ CDMA الخلوية شفرات التمديد التعامدية لفصل تدفقات البيانات (قنوات التحكم والحركة) في قطاع ما، ومعها أيضاً الشفرات غير التعامدية (الغلاف) لفصل المحطات القاعدة والمتنقلة.

تستخدم الأنظمة الخلوية شفرات تمديد غير تعامدية لفصل المرسلات (المحطات القاعدة والمتنقلة)، لأن الأداء الأمثل يتطلب أن تصل الإشارات من المستعملين إلى المستقبل بنفس شدة المجال تقريباً. وهذا غير ممكن في البيئة الواقعية، كما في شبكة الهاتف الخلوي مثلاً، إلاّ إذا كانت جميع المرسلات تضبط باستمرار قدرة إرسالها وفقاً للمعلومات التي تعطى لها من المستقبل المشترك (المحطة القاعدة). وهذا يتطلب وجود قناة تنظيم سريعة يمكنها أن تَشْغَل جزءاً مهماً من معدل البيانات المتيسر، خافضة بذلك المعدل الصافي لبيانات المستعمل. وحالما تعزل الإشارة من مرسل وحيد بواسطة أول إزالة تمديد مع شفرة غلاف غير تعامدية، يمكن أن تفصل قنوات البيانات المستقلة على التتابع ثم يعاد استرجاعها بالشفرات التعامدية (المفاتيح).

5.4.6.6 تعدد إرسال مكاني (SDMA) وقنوات فضائية

الموقع هو بعد رابع يمكنه تمديد نموذج سعة القناة الوارد في الشكل 19-6.6. وهناك مثالان بسيطان واضحان يأتيان من الأنظمة الخلوية التقليدية، حيث يعاد استعمال الموارد الطيفية في مواقع مختلفة وفق التردد، أو مخطط إعادة استعمال الشفرة، أو حيث تستعمل هوائيات اتجاهية للسماح بإعادة استعمال زوايا مختلفة (قطاعات).

في البيئات العاكسة ذات المسيرات المتعددة الكبيرة، يمكن الاستفادة من تعدد المسيرات في استحداث قنوات مكانية متعددة، يمكن استعمالها بعد ذلك في زيادة سعة البيانات أو في زيادة المتانة أو لدعم المزيد من المستعملين

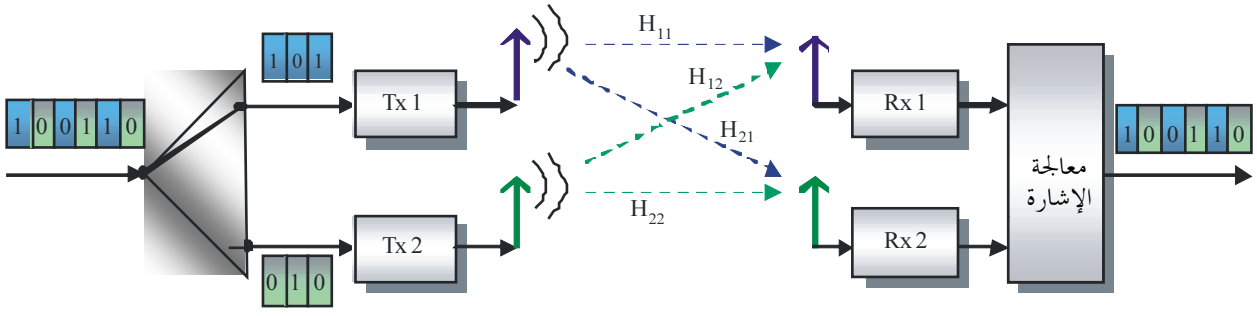
وتسمح أصفّة الهوائيات المتقاربة المسافة، ذات الكسب والتشكيل بالطور في كل هوائي، بتسليم أقصى قدرة إلى أحد المواقع، بينما تخفضها إلى أدنى حد في موقع آخر. وكثيراً ما يسمى ذلك النفاذ المتعدد بتقسيم مكاني (SDMA). وأحد الأمثلة البسيطة هو عبارة عن توجيه الحزمة وعدم التوجيه، وهي عملية فعالة في البيئات غير الانعكاسية. حيث يكون توجيه حزمة أحد المستعملين في اتجاه ذلك المستعمل، بينما توجه 'الأصفار' لمنع إشارة المستعمل الأول من التداخل مع غيره من المستعملين. ويمكن أن يعمل النفاذ المتعدد بتقسيم مكاني في بيئات انعكاسية أيضاً، مع أن مخطط الإشعاع أكثر تعقيداً بكثير، وتكون معرفة القناة لازمة لإنتاج متجه التوجيه. ومتجه التوجيه هو مجموعة من عمليات ضبط الطور والاتساع التي تطبق على الإشارة التي تغذّي الهوائي.

وما يرتبط ارتباطاً وثيقاً بالنفاذ SDMA هو الدخل المتعدد والخرج المتعدد (MIMO) الذي يشير إلى نظام يستعمل هوائيات إرسال متعددة وهوائيات استقبال متعددة. وتستخدم الأنظمة الراديوية MIMO أصفّة الهوائيات المتباعدة لتخفض إلى أدنى حد الترابط ما بين الهوائيات. والمباعدة الواسعة تعوق عادة تكوين الحزم. ومن شأن المباعدة الواسعة بين الهوائيات، وغيرها من العوامل مثل الاستقطاب، أن تزيد من عدد أو جودة القنوات الفضائية.

وتتعين الزيادة النظرية في سعة الأنظمة MIMO بعدد هوائيات الإرسال والاستقبال. فقد تكون سعة نظام 2x2 MIMO، كالمبين في الشكل 27-6.6، مساوية نظرياً إلى مثلي سعة النظام الراديوي الذي يستخدم فقط هوائي إرسال واحد وهوائي استقبال واحد؛ بينما يمكن أن تساوي سعة النظام 3x3 MIMO ثلاثة أمثال سعة هذا النظام.

الشكل 27-6.6

دخل متعدد وخرج متعدد (MIMO)



Spectrum-6.6-27

وتقنيات أسلوب الدخل المتعدد والخرج المتعدد (MIMO) موجودة في معايير التطور على المدى البعيد (LTE)، وإمكانية التشغيل البيني في العالم أجمع للنفاذ بالموجات الصغرية (WiMax)، والأمانة اللاسلكية (802.11n) WiFi.

والفكرة تشبه فكرة تشغيل زوج آخر من الأسلاك لمضاعفة سعة كبل. لا شك أن الأسلاك تكون في العادة معزولة جيداً ما بين الأزواج في الكبل، كما في الأنظمة الراديوية MIMO، وتكون الإشارة المستقبلة عند كل هوائي استقبال هي توليفة خطية من الإشارات المرسلة. وهذا يشبه حالة الكبل الذي يوجد فيه مقادير مهمة من اللغط ما بين أزواج الأسلاك. وقد يكون حدّا اللغط في النظام MIMO، الواردان في الشكل 27-7.6 وهما H_{12} وH_{21}، لا يساويان الصفر، ومن دون أن يتسبّبا في خسارة السعة. وهذا مهم في ظرف مصفوفة القناة [H]. وإذا مكّن المسير المتعدد الإشارات المستقبلة Rx1 وRx2 من احتواء قدر مهم من التوليفات الخطية المختلفة من الإشارات المرسلة Tx1 وTx2، عندئذٍ يمكن استرجاع تدفقات البيانات الأصلية. فمثلاً إذا كان تدفقا الإشارات المستقبلة هما: Rx1 = (Tx1+Tx2) وRx2= 2*(Tx1-Tx2)، يمكن عندئذ استرجاع الإشارة Tx1 بجمع الإشاراتين المستقبلتين باستخدام العلاقة Tx2 .0,5*Rx1 + 0,25*Rx2. كما يمكن استرجاع الإشارة Tx2 بنفس الطريقة. وبديلاً عن ذلك، إذا كان النظام MIMO يعمل في بيئة غير انعكاسية، فإن كلا المستقبلين يمكنهما أن يريا نفس التجميعة الخطية من الإشارات (أي يكون Rx1=Tx1+Tx2 ويكون Rx2=0,9*(Tx1+Tx2)). وفي هذه الحالة، بينما يمكن أن تكون سويتا الإشارتين المستقبليتين مختلفتين، لا يكون هناك سوى قناة فضائية واحدة. ولا يمكن استرجاع الإشارتين Tx1 وTx2 بصورة مستقلة بواسطة أي توليفة خطية من الإشارات المستقبلة.

بيبليوغرافيا

ANDERSON, J., AULIN, T. and SUNDBERG, C.-E. [1986] *Digital Phase Modulation*. Plenum Press New York, United States of America.

CARLSON, A. B. [1986] *Communications Systems*. McGraw Hill.

LEE, E. A. and MESSERSCHMIDT, D. G. [1988] *Digital Communication*. Kluwer, Academic Publishers.

توصيات وتقارير قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد

ملاحظة – يشجع في كل حالة استعمال الطبعة الأخيرة من التوصية أو التقرير.

التوصية ITU-R SM.328 – أطياف وعرض نطاق البث.

التوصية ITU-R SM.1541 – البث غير المطلوب في مجال البث خارج النطاق.

التقرير ITU-R SM.2048 – استعمال معيار عرض النطاق dB*x* لتحديد الخواص الطيفية لمرسل في ميدان البث خارج النطاق.

7.6 تحويل فوريه السريع

1.7.6 مبادئ أساسية

عندما يراد تحويل إشارة من الميدان الزمني إلى الميدان الترددي، يمكن استعمال طريقة رياضية تسمى تحويل فوريه.

وتبنى هذه الطريقة على واقع أن كل إشارة حقيقية، بصرف النظر عن شكل موجتها، يمكن إنشاؤها بجمع عدد من الإشارات الموجية الجيبية ذات اتساعات وترددات وأطوار مختلفة. وهكذا فإن أي إشارة زمنية مستقبلة يمكن تفكيكها إلى عدد من الموجات الجيبية المختلفة في الميدان الترددي.

وإن كان تحويل فوريه يبدو لأول وهلة أنه أحسن سبيل لحل جميع مشاكل تحليل الإشارات، إلاّ أن هناك بعض التقييدات وبعض الارتيابات في القياسات التي تنشأ من عملية التحويل من تماثلي إلى رقمي الضرورية ومن عملية تحويل فورية بالذات. ولفهم هذه التقييدات، لا بد من نظرة سريعة نلقيها على المبادئ.

أثبت جان باتيست جوزيف، بارون دي فوريه، في عام 1822 أن كل ظاهرة متغيرة مع الزمن يمكن النظر إليها على أنها مجموع عدد من المكوّنات الترددية الجيبية، لكل منها اتساعها الخاص وطورها الخاص.

وقد مثّل ذلك في متسلسلة فورييه لإشارات دورية محدودة النطاق، تعرض بشكل مشترك في المعادلة (1-7.6).

$$x(t) = \sum_{k=_N}^{N} C_k e^{j(\omega_k t)} \tag{1-7.6}$$

ومتسلسلات فورييه لا تصلح إلا للإشارات الدورية التي يكون بينها علاقة توافقية متبادلة بين كل منها والأخرى، غير أن الإشارة غير الدورية أكثر شيوعاً في الواقع. فيصبح عدد المكوّنات التي تؤلف الشكل الموجي لا نهائياً. وهذا يحوّل المعادلة السابقة إلى معادلة تكامل:

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) \cdot e^{j(\omega t)} \mathrm{d}\omega \tag{2-7.6}$$

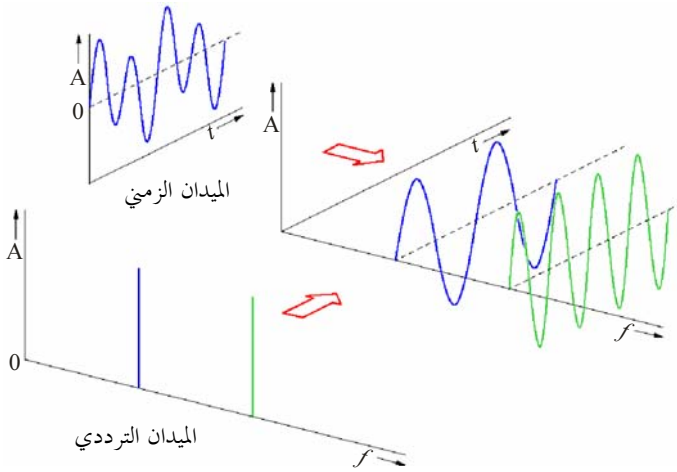
ويمكن كتابة مقلوب دالة هذه المعادلة كما يلي:

$$x(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \cdot e^{j(\omega t)} \mathrm{d}t \tag{3-7.6}$$

وهذه المعادلة الأخيرة تجعل من الممكن نظرياً حساب الطيف المعقد لإشارة مستمرة في الميدان الترددي وذلك باستعمال شكلها الموجي في الميدان الزمني.

الشكل 1-7.6

الميدان الزمني والميدان الترددي



Spectrum-6.7-01

وللأسف، لا تصلح هذه الطريقة لحساب طيف الإشارات الاعتباطية. ولما كانت الإشارات مستمرة، وكان يجب أن يجري التكامل من ناقص لانهاية إلى زائد لانهاية، فإن ذلك يقتضي عمليات حساب لا نهائية. ويمكن حل المشكلة بجعل الإشارة متقطعة في الزمن بالاعتيان وإدخال تحويل فورييه المتقطع (DFT). فإذا كان عرض نطاق الإشارة محدوداً يمكن تمييز الإشارة بأخذ عيناتها في فترات تمتد زمناً يساوي $n \cdot T_s$.

حيث:

n: عدد صحيح يتراوح بين الصفر و $N-1$،

T_s: دور الاعتيان

N: العدد الكلي من العيّنات (انظر الفقرة 2.7.6).

ويتطلب تطبيق خوارزمية تحويل فوريه المتقطع (DFT) على صفيف العناصر N من عيّنات الميدان الزمني صفيفاً من العناصر N هي من مكوّنات الميدان الترددي.

ومعادلة التحويل DFT هي:

$$X[k]=\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}x[n]\cdot e^{-j\frac{2\pi kn}{N}} \qquad (4\text{-}7.6)$$

ومقلوب هذه المعادلة هو:

$$x[n]=\sum_{k=0}^{N-1}X[k]\cdot e^{j\frac{2\pi kn}{N}} \qquad (5\text{-}7.6)$$

حيث $X[k]$ يمثل قيمة المكوّنة الطيفية عند التردد $k\cdot f_0 = k\frac{1}{N\cdot T_s}$، و$x[n]$ يمثل قيمة إشارة الميدان الزمني في الفترة $n\cdot T_s$.

وتسمى توليفة هاتين المعادلتين الزوج DFT.

ويستطيع التحويل DFT معالجة فدرات من العيّنات مهما يكن طولها. ومع ذلك إذا كان طول الفدرة هو من الأسّ 2، يمكن أن يجري الحساب أسرع بكثير. وهذا يسمى تحويل فوريه السريع أو FFT.

وقبل تطبيق تحويل فوريه الرياضي، يجب أن تختزن كمية من البيانات تمثل الشكل الموجي في ذاكرة تدعى "السجل الزمني" أو "الإطار". وأصغر فترة زمنية لهذا السجل الزمني هي دور أخفض تردد تطلب معالجته. والزمن الذي تستغرقه هذه العملية يدعى زمن التجميع أو زمن الحيازة. ثم يحلّل الشكل الموجي بكامله دفعة واحدة، ويحوّل رياضياً إلى متسلسلة من الموجات الجيبية ذات اتساعات وترددات وأطوار مختلفة. وتكون النتيجة تحليل كامل الجزء من الطيف في لحظة معينة من الزمن.

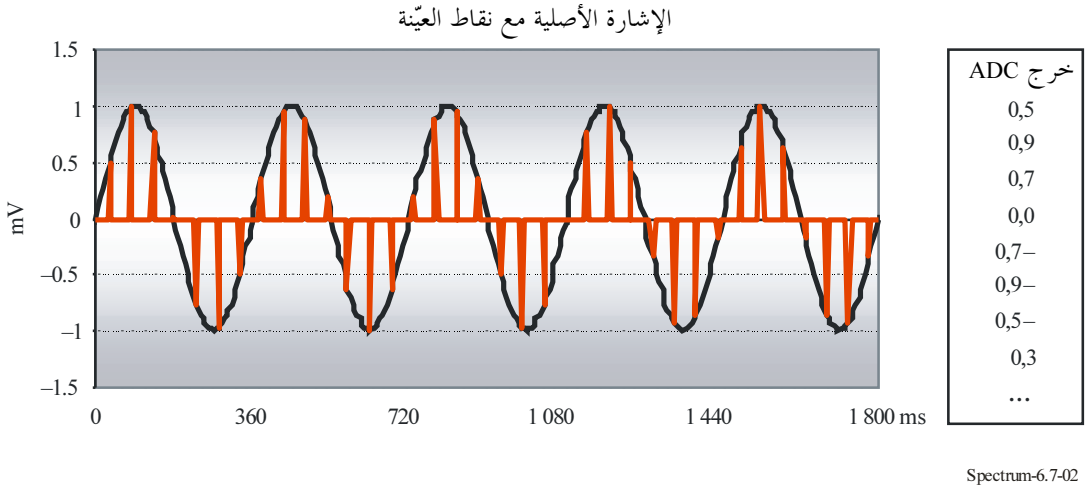
ويكون خرج تحويل فوريه معقد القيمة، سواء كان الشكل الموجي الزمني الداخل حقيقياً أو معقداً (أي حقيقي وتخيلي أو I & Q). وإذا كان الشكل الموجي الداخل حقيقياً فقط، فإن الطيف الناتج يكون متزاوجاً متناظراً. ولحساب طيف الأسّ من نتيجة تحويل فوريه، يتطلب حساب قيمة مربع المقدار في كل نقطة تردد. وطيف الأس هو كمية يجب أخذ متوسطها في كل مرة يستعمل فيها حساب المتوسط.

2.7.6 التحويل من تماثلي إلى رقمي، الاعتيان

لما كان تحويل فوريه عملية رياضية، فأفضل تأدية له تكون في معالج إشارة رقمي (DSP)، وهو من حيث الأساس حاسوب خاص. ولهذا الغرض يجب أن تقدم الإشارة الزمنية بشكل رقمي وهذا يجري بعملية تحويل من تماثلي إلى رقمي (ADC).

الشكل 2-7.6

التحويل من تماثلي إلى رقمي



ويجري تحويل إشارة تماثلية إلى إشارة رقمية بأخذ عينات من اتساعها الحالي أثناء فترة زمنية معينة. وتنص نظرية Nyquist على أن تردد الاعتيان يجب أن يكون بأكثر من مرتين من عرض نطاق الشكل الموجي المطلوب اعتيانه:

$$fs > 2b$$

ولاحظ Nyquist أن تردد الاعتيان يجب أن يكون أكبر بأكثر من مرتين من أعلى تردد موجود في الشكل الموجي المطلوب اعتيانه:

$$fs > 2f_{max}$$

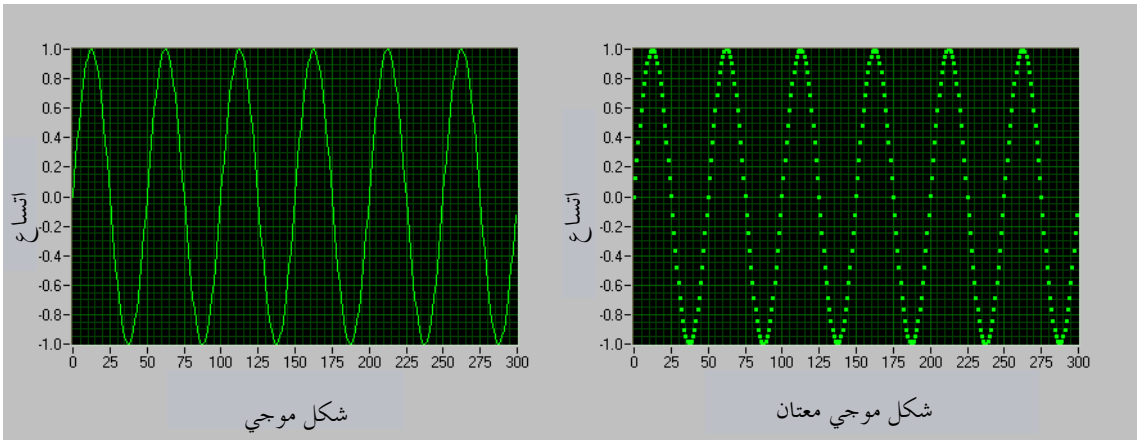
وهذا يسمى تردد Nyquist عند تطبيقه على الإشارات الحقيقية. وفي الإشارات المعقدة، مثل التي نحصل عليها من اعتيانين في التحويل من تماثلي إلى رقمي (ADC) لخرج مزيل تشكيل IQ، يجب أن يكون معدل الاعتيان أكبر من عرض نطاق الإشارة ($f_s > b$). ولا تضيع المعلومات لأن في حالة الإشارات المعقدة هناك قيمتان لكل عيّنة، بحيث تكون كثافة الاعتيان هي نفسها كما في حالة الإشارات الحقيقية مع قيمة واحدة لكل عينة، ولكن معدّل الاعتيان هو المضاعف.

وخرج التحويل من تماثلي إلى رقمي (ADC) هو تدفق بتات يمثل فيه عدد اتساع الإشارة الأصلية عند أخذ كل عينة.

وإذا كان تواتر الاعتيان كافياً، يمكن إعادة بناء خرج التحويل من تماثلي إلى رقمي داخل الشكل الموجي الأصلي بطريقة فريدة. ويقدّم الشكل 3-7.6 مثالاً لهذا الاعتيان.

الشكل 3-7.6

الاعتيان



Spectrum-6.7-03

وتتوقف الدقة في هذا التمثيل الرقمي على عدد البتات المحتجزة لكل قيمة اتساع. وتقع استبانات التحويل ADC ما بين 14 إلى 18 بتة، وتنتج فيما يصل إلى 262,144 خطوة اتساع مختلفة. وعلى الرغم من أن قيم الاتساع المتقطعة لا يمكنها أن تمثل بدقة الإشارة الأصلية، إلاّ أن الخطأ الناجم عن هذا الأثر يمكن تخفيضه إلى أقل ما يمكن عن طريق انتقاء مناسب للمباعدة بين خطوتين (مباعدة ضيقة عند قيم اتساع منخفضة، ومباعدة واسعة عند قيم اتساع عالية). وبهذه الطريقة، يمكن أن يكون المدى الديناميي للإشارة المرقمنة أفضل من 100 dB.

وتكون الترددات التي تفوق مثلي معدل الاعتيان "ضئيلة الاعتيان"، وهذا ينتج مكوّنات تردد إضافية في الإشارات المرقمنة، ليست جزءاً من الإشارة الأصلية. ولاجتناب هذا الخطأ، من الضروري تغذية الإشارة التماثلية عبر مرشاح تمرير منخفض يوضع قبل التحويل من تماثلي إلى رقمي (ADC).

ومن حيث المبدأ، لا يحدّ دقة عملية الرقمنة إلا السرعة في وحدة التحويل ADC. وفي الوقت الحاضر، أصبحت "رقاقات" التحويل ADC تسمح بتيسر ترددات للإشارة تصل إلى حوالي 100 MHz وعمق رقمنة يبلغ 18 بتة. ولتحليل ترددات أعلى من ذلك، ينبغي أن يتحول تردد الإشارة الراديوية انخفاضاً حتى يبلغ مدى يمكن رقمنته.

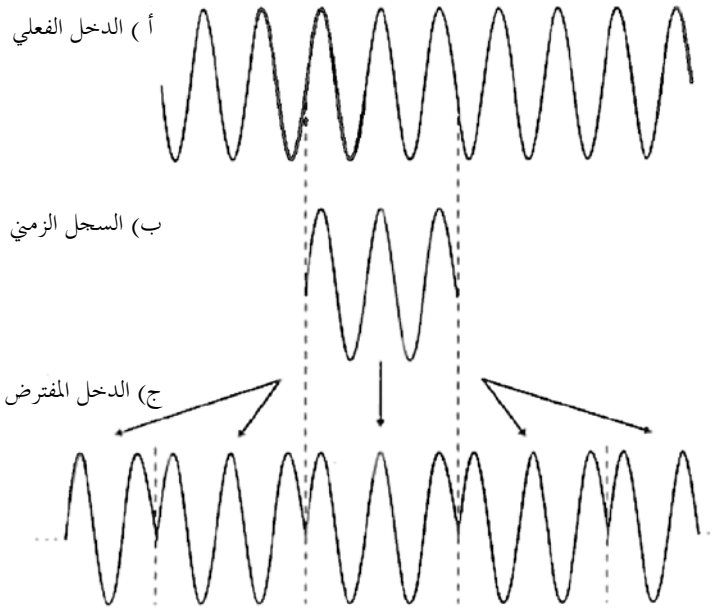
3.7.6 استعمال النوافذ

يحسب تحويل فورييه السريع (FFT) على مدى فترة زمنية محدودة، فإذا كانت الإشارة المتجمعة دورية أثناء هذه الفترة، تعتبر النتيجة تمثيلاً دقيقاً لطيف الإشارة. أما إذا كانت الإشارة غير دورية أثناء الفترة، فلا تعود الافتراضات الأساسية المطروحة في تعريف التحويل FFT حقيقية وتكون القيمة المقدرة للطيف الناتج أقل دقة. فتستعمل وظائف النافذة لتحسين الدقة في تغير الطيف عن طريق التدخل في شكل الإشارة بتخفيض آثار التقطيع (التغيرات المفاجئة) إلى أدنى حد، عند حافات النافذة.

وتقتضي إجراءات تحويل فورية السريع (FFT) أن تكون الإشارة المتشكلاتة حاضرة باستمرار لزمن لا نهائي، وأن تكون دورية أثناء السجل الزمني. وإذا لم تكن الإشارة دورية، يحصل انقطاع عندئذ كما يبين الشكل 4-7.6. وعندما تكون الإشارة مستمرة، فإن السجل الزمني المستعمل لحساب التحويل FFT يحتوي على 2,5 دورة من الموجات الجيبية، بدلاً من العدد الصحيح من الدورات المفترض أصلاً.

الشكل 7.6-4

التحويل FFT لإشارة موجة جيبية مستمرة



Spectrum-6.7-04

لا تستطيع نتيجة التحويل FFT أن تمثل بدقة إلا مجموعة محدودة من الترددات الصحيحة، أي دورتان، 3 دورات، وهكذا. ولما كان لا يوجد أمثال للتردد 2,5 دورة، فإن نتيجة هذا المثال ستدل خطأ على الطاقة في عدد صحيح من دورات التردد.

والإشارات التي تقع بالكامل في سجل زمني واحد تبدو وكأنها دورية بالنسبة إلى التحويل FFT. وتسمى هذه الإشارات ذاتية "النوفذة". ولكي تحلل بدقة بالتحويل FFT، لا تحتاج إلى نوافذ إضافية (وهذا يسمى أحياناً تطبيق نافذة مستطيلة): ومن أمثلة هذا النوع من الإشارات شوكات تحدث مرة واحدة فقط وإشارات رشقة رقمية، ما دامت الرشقة تقع بكاملها في السجل الزمني.

أما بالنسبة للإشارات المستمرة فمن الواضح أننا نغير الشكل الموجي الأصلي نظراً للحاجة إلى استخدام النوافذ، وهذا يدخل بعض الخطأ دائماً. وهذا الخطأ كامن في مبدأ استعمال النوافذ في التحويل FFT، ولا يمكن تحاشيه تماماً. ومع ذلك يمكن تخفيض هذا الخطأ إلى ادنى حدّ، حسب المعلمة المطلوب حسابها (الاتساع والتردد والطور)، وذلك باختيار وظيفة نافذة مناسبة.

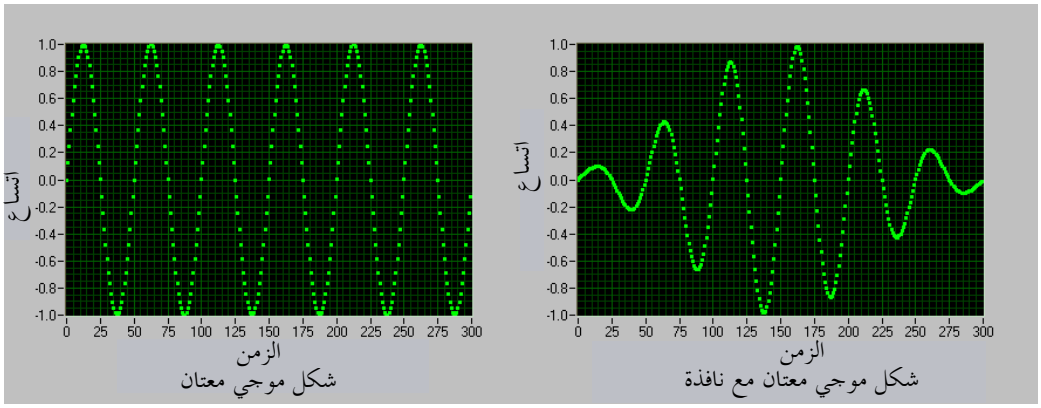
ويعطي الشكل 7.6-5 مثالاً على الأثر الذي تتركه عملية استعمال النوافذ على الإشارة.

واستعمال النوافذ يؤثر في طيف التردد، في استبانة التردد ودقة الاتساع على حد سواء. ويمكن تصوير تحويلي فوريه المتقطع والسريع (DFT/FFT) بمثابة صف من المراشيح المتوازية، كل منهما يرشح مكونة تردد. وتقارن وظيفة النافذة بنبضة الاستجابة لاستبانة مرشاح عرض النطاق في محلل الطيف عندما يحدد الخصائص المقابلة في الميدان الترددي لأداء عرض النطاق وعامل الشكل والفص الجانبي (نطاق الإيقاف).

وقد طوّرت نوافذ مختلفة، لكل منها صفاتها المميزة الخاصة بها.

الشكل 7.6-5

استعمال النوافذ



Spectrum-6.7-05

وبهذه المعلومات، أصبح من الواضح أنه لا يمكن لنمط واحد من النوافذ أن يكون خياراً جيداً في جميع الحالات. ويجب النظر دائماً إلى نوع الإشارة المطلوب تحليلها (عابرة أم مستمرة) وإلى الهدف من القياس (التشديد على استبانة التردد أو دقة الاتساع)، بغية إيجاد نافذة تقدّم أفضل حل وسط.

وتسمح تجهيزات التحويل FFT المستعملة لمراقبة الطيف للمستعمل غالباً أن ينتقي بين نوافذ مختلفة في تحويل فورييه السريع (FFT). ويلزم أن نعرف خصائص وظائف النوافذ المنفذة، بغية انتقاء الوظيفة المناسبة لمهمة القياس المقابلة. ويبين الجدول 7.6-1 أمثلة من النوافذ الشائع تنفيذها في تجهيزات القياس الراديوية.

الجدول 7.6-1

أمثلة من وظائف نوافذ التحويل FFT الشائعة

وظيفة النافذة	التطبيق
مستطيلة	تستعمل للإشارات العابرة التي تقع بكاملها داخل السجل الزمني
Hann	دقة التردد العالية
Blackman-Harris أو Flattop	دقة الاتساع العالية والمدى الدينامي العالي وكَبْت الضوضاء
غَوْسية	حل وسط بين دقتي الاتساع والتردد (تتوقف على عامل الشكل)

4.7.6 تطبيقات تحويل فورييه السريع (FFT)

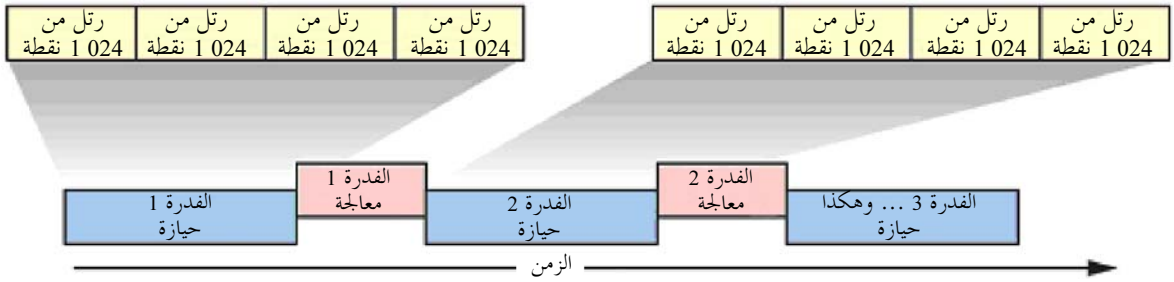
يمكن أن ينظر إلى التحويل FFT على أنه صف متواز من مراشيح استبانة عرض النطاق (RBW). ولما كان الطيف مقدراً لجميع الترددات في آن واحد، فإن التحويل FFT ينتج تقديراً للطيف متسقاً ذاتياً عند تطبيقه على أشكال موجية عالية الدينامية.

والطبيعية المتوازية للتطبيق توفر أيضاً قياسات طيفية أسرع لاستبانة عرض النطاق الضيق، عند مقارنتها بمحلل طيف كَنْسي لا يستطيع إلا قياس تردد واحد في المرة الواحدة.

وإذا كان التحويل FFT مطبقاً بحيث لا يستطيع محلل التحويل FFT تجميع البيانات أثناء حساب التحويل FFT، عندئذ يكون المستقبل "أعمى" أثناء حسابات التحويل FFT، فلا يوجد استقبال مستمر ويمكن أن تضيع إشارات قصيرة المدة. وللتغلب على هذا القيد، طورت تقنيات مختلفة في محللات التحليل FFT الحديثة. وإحدى هذه الطرائق تكمن أولاً في تجميع العديد من السجلات الزمنية ثم حساب جميع التحويلات FFT بعدئذ دفعة واحدة (انظر الشكل 7.6-6).

الشكل 7.6-6

الحيازة في الفدرات



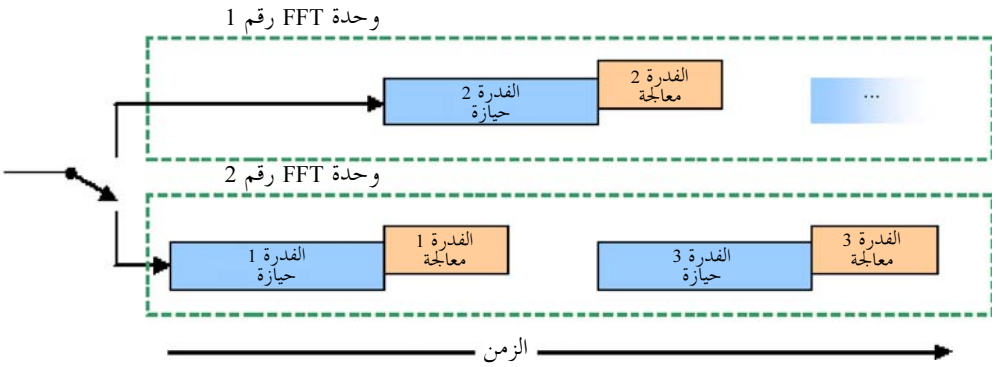
Spectrum-6.7-06

أثناء أزمنة الحساب الأطول، ينقطع الاستقبال، ولكن إذا كان بالإمكان إطلاق الحيازة باتجاه الإشارة المقصودة، وإذا كانت الذاكرة المتيسرة تسمح بأوقات حيازة طويلة، يمكن الحصول عل استقبال مستمر على الأقل أثناء الوقت المطلوب.

وهناك طريقة لتأمين الاستقبال المستمر تكمن في تنفيذ وحدتي حيازة وحساب تحويل FFT تتناوبان على معالجة الإشارة (انظر الشكل 7.6-7).

الشكل 7.6-7

استقبال مستمر مع وحدتي تحويل FFT



Spectrum-6.7-07

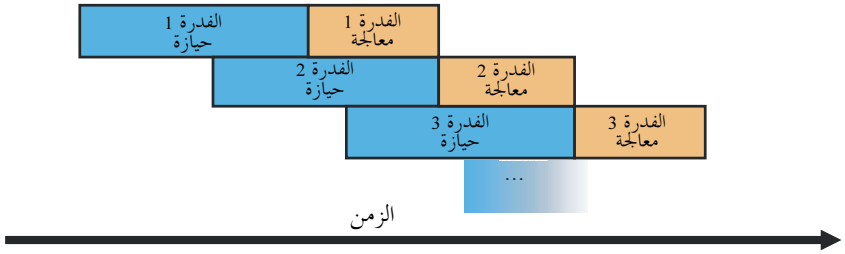
ورغم أن الأمر ليس واضحاً، فما زالت هناك فجوات في المعالجة في الشكل 7.6-7. وهذا يحدث لأن وظيفة النافذة ترجح الشكل الموجي نحو الصفر في بداية ونهاية كل فدرة حيازة. ويمكن حل هذه المشكلة باستخدام المعالجة المتراكبة المشروحة أدناه.

ليس التحويل FFT منيعاً إزاء معاوضات استبانة التردد والزمن. فعدد خطوط التردد في طيف التحويل FFT يساوي عدد العينات في السجل الزمني. وأقصر مدة زمنية للسجل الزمني هي مقلوب استبانة التردد (استبانة التردد/1). ولزيادة استبانة التردد علينا أيضاً أن نزيد طول السجل الزمني (وبالتالي نفقد استبانة في الزمن)، والعكس بالعكس.

وتستطيع بعض محللات تحويل فورييه السريع (FFT) أن تخفض إلى أدنى حدّ هذا القيد عن طريقة مُرَاكبة السجلات الزمنية (انظر الشكل 7.6-8)، مما يحسّن التمثيل المرئي للنبضات القصيرة. وتدعى هذه الطريقة أيضاً تحويل فوريه السريع والقصير الزمن، أو نافذة FFT المتزلقة أو المعالجة المتراكبة. وثمة طريقة مشابهة لمعاوضة استبانة التردد والزمن في محللات الطيف المكنوس، حيث يجب أن يزاد زمن الكنس مع نقصان استبانة عرض النطاق.

الشكل 8-7.6

تراكب السجلات الزمنية



Spectrum-6.7-08

5.7.6 مدى التطبيقات

شاع استعمال تقنيات تحويل فوريه السريع (FFT) في تحليل الطيف وفي مراقبة الطيف. والتعداد التالي قائمة غير حصرية من المعلمات التي يمكن قياسها باستخدام تقنيات التحويل FFT.

- السوية.
- التردد.
- عرض النطاق المشغول (طريقة x-dB وطريقة β/2).
- انشغال الطيف (مخطط طيفي وانشغال قناة التردد).
- كشف الإرسالات القصيرة الزمن.
- كشف الإشارات الأقل من ضوضاء الخلفية.

ولمزيد من التفاصيل، يرجى الرجوع إلى الفقرات ذات الصلة في الفصلين الرابع والخامس.

ولما كان التحويل المعقد FFT يعطي معلومات عن الاتساع والطور، فإن محددات زوايا الاتجاه في النطاق العريض تستطيع استعمال خوارزميات التحويل FFT لتحديد اتجاهات على عدة إشارات في الوقت نفسه. وهناك مثال آخر هو خوارزمية Goertzel أي تحويل FFT في نقطة تردد واحد. وإذا كان التحويل FFT بمثابة صف من المراشيح فإن خوارزمية Goertzel هي أحد هذه المراشيح. والتطبيقات هي مفككات الشفرة بنظام التردد المتعدد مع نغمة مزدوجة (DTMF) ونظام الضبط الساكت المستمر بنغمة مشفرة (CTCSS) أو بمفككات نغمة مشفرة أخرى، وبمراشيح في المستقبلات ومراشيح مزيلات التشكيل في التشكيل بزحزحة التردد (FSK)، إلى آخر ما هنالك. وتنطبق جميع صفات التحويل FFT (الاستبانة والمدى الديناميي) على هذه التطبيقات. وليس السبب في استعمال خوارزميات FFT هو الأداء الأفضل دائماً. إذ يمكن التحويل FFT من إجراء معالجة سلسة لطيفٍ معين ممتدة على الزمن، وهي غير ممكنة بعملية كنس تماثلية. ويؤدي تيسر معالجات الإشارة الرقمية (DSP) بأثمان رخيصة إلى جعل المنتجات القائمة على التحويل FFT أرخص تصنيعاً من نظيراتها التماثلية التقليدية. وعلى الرغم من توفر منتجات ممتازة في السوق، يوصى دوماً باستعراض التجهيزات بعناية.

بيبليوغرافيا

ECC REPORT 63 [Utrecht, 2005], Measurements using Fast Fourier Transform (FFT).

MARVEN, G. and EWERS, G. [1993] A simple approach to digital signal processing. Texas Instruments, ISBN-0-904047-00-8.

POULARIKAS, A. D. [1998] The Handbook of formula's and tables for signal processing. CRC Press-IEEE Press ISBN 0-8493-8579-2.

RAMIREZ, R. W. [1996] The FFT – fundamentals and concepts. Prentice Hall. ISBN 0-471-51692-9.

RAUSCHER, C. [2001] Fundamentals of Spectrum Analysis. Rohde & Schwarz – ISBN 978-3-939837-01-5.

THOMÄ, R. [1993] Fensterfunktionen in der DFT Spektralanalyse – MEDAV/Technische Universität Ilmenau (German) – ISBN 3-9804152-0-1.

SMITH, S. [1999] The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, California Technical Publishing, ISBN 0-9660176-6-8.

8.6 تخطيط شبكات مراقبة الطيف واستمثالها

1.8.6 مقدمة

يتعين على تخطيط شبكات مراقبة الطيف، سواء كانت عالمية تضم العديد من محطات المراقبة أم محلية تضم حفنة من المحطات، أن يأخذ في اعتباره الموقع الأمثل للمحطات الثابتة مراعياً التفاعل فيما بينها ومع المحطات المتنقلة. والمصطلح "محطة المراقبة" يشير فيما يلي، على حد سواء، إلى محطة مجهزة بالكامل لأداء جميع وظائف المراقبة المشار إليها في الفصل الرابع، وإلى المحطات الأوتوماتية النائية التي لا تؤدي إلا إلى وظيفة تحديد زوايا الاتجاه.

وتنطوي عملية التخطيط لشبكة مراقبة الطيف بصورة عامة على تغطية أكبر مساحة ممكنة من الأرض باستعمال أصغر عدد ممكن من المحطات. ولتخطيط شبكة جديدة لمراقبة الطيف واستمثال شبكة قائمة أهمية اقتصادية كبيرة لأن تكلفة نظام المراقبة تشكل نسبة كبيرة من تكلفة أي نظام وطني لإدارة الطيف. وقد ينتج عن استمثال شبكة مراقبة الطيف وفورات مالية ضخمة بالنسبة لكل محطة ثابتة أو متنقلة.

وما أن يختار الموقع الأمثل للمحطة ضمن الشبكة، وفق حسابات تبينها المنهجية المبينة أدناه، يجب تهيئة المحطة تهيئة خاصة لتتوافق مع المحلة والمعالم المحيطة بها، طبقاً لأحكام الفقرة 6.2. فإذا تطلبت هذه التهيئة أن توضع المحطة في غير الموقع الذي حسب لها، فقد يقتضي ذلك لزوم إعادة حساب معلمات الشبكة في ضوء التشكيلة الجديدة من المحطات.

2.8.6 مبادئ التخطيط لشبكات مراقبة الطيف واستمثالها

يمكن التخطيط لشبكة جديدة لمراقبة الطيف أو استمثال شبكة قائمة بحساب مناطق التغطية لكل منهما، مع الرجوع إلى المهمتين اللتين تتوخاهما مراقبة الطيف عادة [Kogan and Pavliouk, 2004].

وتتناول أولى هاتين المهمتين الوظائف المشروحة في الفقرات من 2.4 إلى 6.4 وفي الفقرة 10.4. وهي تتعلق بالقياس من بعد لمعلمات الإرسال، مثل التردد وشدة المجال وانشغال الطيف وعرض النطاق ونمط التشكيل وهكذا. ويمكن أن تتضمن هذه المهمة التنصت (المراقبة السمعية) إلى الإرسالات وتحديد زوايا اتجاهات مصادرها، وتعرف هوية الإرسال وتحليل لإشارة، كما هي مشروحة في الفقرتين 7.4 و8.4. وتؤدي جميع هذه الوظائف كل محطة مراقبة مجهزة تجهيزاً مناسباً.

وتنطوي المهمة الثانية على وظيفة واحدة فقط، وإن كانت معقدة وكثيفة العمالة، إلاّ أنها مهمة جداً في نفس الوقت، وهي تحديد مواقع مصادر الإرسال باستعمال طريقة تحديد الموقع بمحطة واحدة (SSL) في نطاق الترددات الراديوية (انظر الفقرة 4.3.7.4)، أو باستعمال طريقة التثليث في جميع نطاقات التردد عبر معالجة البيانات الزاوية المستقاة من محدد زوايا

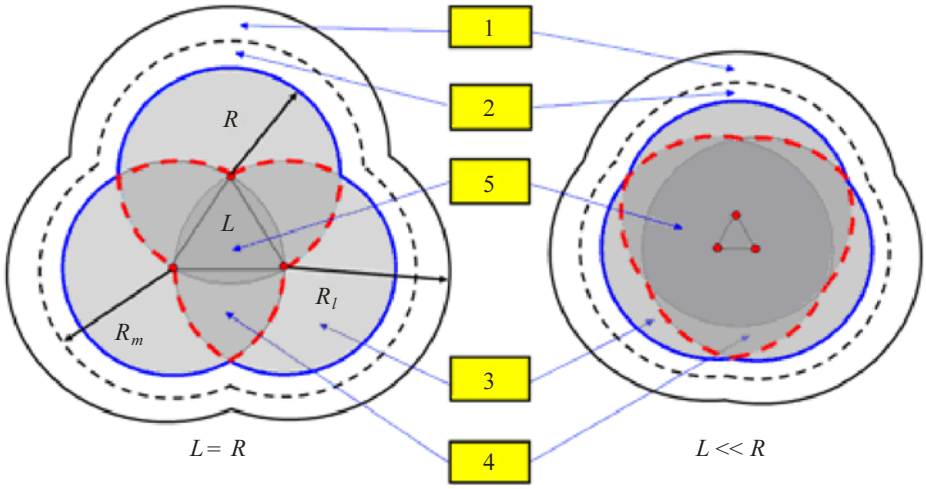
الاتجاه أو المحددات، وهي إما وحدات مستقلة أو أجزاء من محطات المراقبة. والميزات الخاصة لتحديد الموقع بطريقة التثليث مشروحة في الفقرة 1.3.7.4.

ومع العلم أن حساسية مستقبلات القياس تكون مختلفة عامة باختلاف وظائف المراقبة، يمكن تحديد مناطق تغطية عديدة، كما هو مبين في الشكل 1-8.6 الذي يصوّر ثلاث محطات مراقبة، بينها مسافات ***L*** مختلفة. ودون أن يغيب عن الذهن أن حساسية المستقبل تكون عظمى في الإصغاء، وأخفض قليلاً في خصائص إشارة القياس، وصغرى في تحديد زوايا الاتجاه، يمكن أن تحدد – كما يرى في الشكل 1-8.6 – ثلاث مناطق تغطية (1-3) أنصاف أقطارها R_l وR_m و***R*** (بقصد السهولة، اعتبرت هذه المناطق دائرية في هذه المرحلة).

وحيثما تعلق الأمر بتحديد زوايا الاتجاه، تعتبر المنطقة 3 هي مساحة الأرض التي يتم داخلها قياس زوايا يعتمد عليه بالقدر الكافي.

الشكل 1-8.6

مناطق التغطية للمراقبة



Spectrum-6.8-01

وطبقات التغطية الثلاث هذه تتبع كل منها فردياً لكل واحدة من المحطات، ولا تتعلق أي منها بالأخرى. وهكذا فإن مناطق تغطية الإصغاء الكلي وقياس معلمة الإرسال وتحديد زوايا الاتجاه تزداد مع ازدياد المسافة ما بين المحطات حتى القيمة $L = \sqrt{3}\,R$. وعندما تصبح $L > \sqrt{3}\,R$، تظهر المساحات غير المغطّاة ما بين مناطق تغطية تحديد الاتجاه لمختلف المحطات.

ويختلف السلوك فيما يخص مناطق تغطية تحديد الموقع، التي تقابل مناطق تغطية تحديد الاتجاه المتراكبة من محطتين أو ثلاث محطات (المنطقتان 4 و5 على الترتيب في الشكل 1-8.6). وتصبح هاتان المنطقتان ولا سيما المنطقة 5، أصغر عندما تزداد المسافة L بين المحطات، وهذا يحدث بسرعة أكبر في المدى $R< L < \sqrt{3}\,R$، حيث تصبح المنطقتان 4 و5 أصغر بكثير من منطقة تحديد الاتجاه كلها. وعندما يكون $L \geq \sqrt{3}\,R$، فإن منطقة تغطية تحديد زوايا الاتجاه رقم 5 (ثلاث محطات) تختفي، وعندما يكون $L > 2\,R$ تختفي منطقة تغطية تحديد زوايا الاتجاه رقم 4 (محطتان)، أي لا تعود هنالك أي نقطة يحدث فيها تحديد موقع.

وفي نفس الوقت، حيث يكون انخفاض في ***L*** وزيادة في منطقة تغطية تحديد الموقع كلها، يزداد كثيراً الارتياب في تحديد الموقع في محيط منطقة التغطية هذه، ذلك لأن قياسات الزوايا التي تجري في المحطات الثلاث في هذه المناطق تتقاطع الواحدة مع الأخرى وفق زوايا حادة، وتزداد حدتها بالاقتراب من حدود المنطقة. وهذا يزيد من صعوبة العثور على المرسلات بالتوجه الذاتي من المحطات المتنقلة في محيط كامل منطقة التغطية لتحديد الموقع عندما يكون $L << R$.

ومع ذلك، يبين الشكل 1-8.6 بيانياً أن تحديد الموقع هو أبرز وظائف المراقبة أهمية، وهي وظيفة يجب أن تقام على أساس تخطيط الشبكة، إذا كان الهدف هو تحقيق تغطية شاملة لمساحة أرضية معينة، وإن كانت واقعة داخل حدود شبكات محلية.

وسيستعمل المصطلح "تغطية المراقبة" فيما يلي ليدل على التغطية التي توفرها جميع وظائف مراقبة الطيف، أي الإصغاء وقياس خصائص الإشارة وتحديد زوايا الاتجاه، وما لم يحدد خلاف ذلك، تحديد الموقع.

وفي جميع الحالات، فتحقيق تغطية شاملة لتحديد الموقع في أراضٍ واسعة وسعاً كافياً باستخدام محطات ثابتة للمراقبة في نطاقي ترددات الموجات المترية والديسمترية VHF/UHF، يستدعي عدداً كبيراً من هذه المحطات تقع نسبياً على مسافات قصيرة بعضها من بعض، مع ارتفاع حاد في تكاليف الشبكة التي يستلزمها ذلك. وفي سبيل إنقاص عدد هذه المحطات الثابتة، قد يكون مقبولاً في بعض الحالات ترك مسافات أكبر ما بين المحطات الثابتة، مما يجعل بعض المساحات متروكة خارج منطقة تحديد الموقع. ويمكن تغطية هذه المساحات بعدئذ باستخدام محطات متنقلة تعمل بالتفاعل مع المحطات الثابتة. وينصح في هذه الحالات بأن تؤمن الشبكة تغطية تحديد زوايا الاتجاه بواسطة محطات المراقبة الثابتة بحيث تستطيع التفاعل مع المحطات المتنقلة لتأمين تحديد الموقع بطريقة التثليث عبر الأراضي. وهذا يعزز بشكل محسوس كفاءة التشغيل في المحطات المتنقلة، بما في ذلك عمليات التوجيه الذاتي للعثور على المرسلات الخاصة.

مما تقدم نستنتج أن زيادة المسافات ما بين محطات المراقبة الثابتة العاملة في نطاقي ترددات الموجات المترية والديسمترية (VHF/UHF)، أي مع عدد منخفض من مثل هذه المحطات، تؤدي إلى زيادة العبء الملقى على محطات المراقبة المتنقلة التي يطلب منها، بالإضافة إلى عمليات التوجيه الذاتي، التفاعل مع المحطات الثابتة في أداء مهمات تحديد الموقع حين يبدو ذلك ممكناً. ولذا هناك جزء لا يتجزأ من تخطيط شبكة محطات المراقبة الثابتة يتناول تحديد النسبة المثلى بين عدد كل من محطات المراقبة الثابتة والمتنقلة، وذلك تبعاً لتشكيلية محطات المراقبة الثابتة في الشبكة.

وتختلف منهجية التخطيط لشبكات مراقبة الطيف اختلافاً بيّناً بين نطاقي الموجات المترية والديسمترية (VHF/UHF) ونطاق الموجات الديكامترية (HF). إذ يتأثر حجم وشكل مناطق تغطية المراقبة في نطاقي الموجات المترية والديسمترية (HF/UHF)، إلى حد كبير بالتضاريس الأرضية، كما هو مبين في الفقرة 3.8.6، الأمر الذي يضطرنا إلى اللجوء إلى نماذج انتشار الموجة الراديوية المقابلة لها في الحسابات. وصغر أبعاد مناطق تغطية المراقبة يتطلب، في حالة تحقيق التغطية الشاملة، أن توضع المحطات في مواقع لا تبعد بعضها عن بعض أكثر من 30 إلى 60 كيلومتراً. بينما لا يكون في نطاق الموجات الديكامترية (HF) للتضاريس الأرضية تاثير يذكر على شكل مناطق تغطية المراقبة. وهكذا عند استعمال هوائيات شاملة الاتجاهات، تكون مناطق التغطية للموجة السماوية (المنعكسة على الأيونوسفير) دائرية، أنصاف أقطارها من رتبة 000 2 إلى 500 2 كيلومتر. وإحدى ميزات انتشار الموجة الراديوية الأيونوسفيرية هي وجود "بقع عمياء" ("مناطق سكوت") يجب أخذها بالحسبان عند تخطيط شبكات مراقبة الطيف واستمثالها، كما هو مشروح في [Krutova *et al.*, 2008].

3.8.6 تخطيط شبكات المراقبة واستمثالها في نطاقي الموجات المترية والديسمترية (VHF/UHF)

في كثير من البلدان يكون الحل الأكثر شيوعاً في نطاقي الموجات المترية والديسمترية (VHF/UHF) هو أن تتضمن شبكات المراقبة المحلية عدداً من المحطات الثابتة تخدم مدناً كبيرة ومراكز صناعية منفردة. ويمكن التخطيط لمثل هذه الشبكات المحلية عبر حساب تجريبي لمناطق تغطية المراقبة، مع مراعاة التضاريس الأرضية لتشكيلات مختلفة من مواقع المحطات، يتبع ذلك انتقاء وتنفيذ أفضل خيار يبنى على جميع المعايير المطلوبة. ويمكن الاطلاع على مبادئ وضع البرمجيات ذات الصلة في [Krutova *et al,* 2005] و[ITU-R Handbook, 2005]. واستناداً إلى نتائج الحسابات التي تراعي تيسر البنية التحتية اللازمة لتنظيم محطات المراقبة المزودة بالعاملين، يمكن التعرف إلى تلك المحطات المطلوب منها أن تؤدي جميع وظائف المراقبة وتكون مزودة بالعاملين وتلك المحطات التي تصلح للعمل كمحددات زوايا اتجاه أوتوماتية نائية.

ويمكن استمثال شبكة قائمة لمراقبة الطيف، لا سيما في سياق تحديثها، عبر إيجاد مواقع تقديرية تجريبية لمحطات مراقبة ثابتة جديدة، في نقاط من المناطق لا يكون فيها مستوى التغطية الذي تؤمنه المحطات القائمة وافياً، يتبعه انتقاء أفضل خيار وتنفيذه. وعلى غرار ذلك، يمكن بعد حساب مناطق التغطية للمحطات القائمة، التعرف إلى المحطات القائمة التي لسبب أو لآخر لا تقوم بالمساهمة الواجبة في التغطية المطلوبة، ويمكن بالتالي اعتبارها مرشحة للنقل إلى موقع آخر حيث يكون لها أثر أكبر. وإذا كان المطلوب تغطية شاملة للمراقبة داخل حدود منطقة معينة، يجب أن يتم التخطيط والاستمثال على أساس وظيفة تحديد الموقع التي

هي الوظيفة الحاسمة في تعيين مواقع محطات المراقبة، أو كسهم أخير على أساس وظيفة تحديد زوايا الاتجاه المكيّفة نحو الاستعمال الأكثف لمحطات المراقبة المتنقلة لأغراض تحديد الموقع، وليس فقط للعثور على المرسلات بواسطة التوجيه الذاتي.

ومن الضروري عند إجراء الحسابات انتقاء نموذج انتشار الموجة الراديوية المناسب، الذي يأخذ في الحسبان التضاريس الفعلية للمنطقة المعنية، ثم انتقاء القيم الدنيا لشدة المجال، عند حدود مناطق تغطية المراقبة، وكذلك انتقاء قدرات وارتفاعات الهوائيات لمرسلات الاختبار التي يجب إجراء الحسابات بشأنها.

من المستحسن عن طريق نموذج انتشار الموجة الراديوية، أن يتم انتقاء جملة المنهجية المقدمة في التوصية ITU-R P.1546، التي تسمح أحكامها الجديدة (انظر الملحق 5 بالفقرة 1.1 من التوصية) بمراعاة الميزات الخاصة للمحطات الثابتة. وهذه الميزات الخاصة تعود إلى أن محطات المراقبة الثابتة لها عادة هوائيات استقبال عالية، بينما تكون هوائيات مرسلات المراقبة منخفضة – مثل مرسلات الإذاعة المتنقلة الخاصة (PMR) المحمولة في مركبات خفيفة. ومثل هذا النهج هو المستعمل في البرمجية المشروحة في [Krutova *et al.*, 2005] و[ITU-R Handbook, 2005]. وتجدر الملاحظة في هذا الصدد أن التوصية ITU-R P.1812 قد اعتمدت حديثاً، وهي تسمح على نحو أوفى بأخذ عامل التضاريس الأرضية في الحسبان. وقد يفيد استعمال هذا النموذج في تعزيز دقة الحسابات.

وفيما يخص معلمات التخطيط لشبكة مراقبة الطيف التي تعيّن حدود منطقة التغطية، طبقاً لما هو وارد في [Kogan and Pavliouk, 2004] و[Bondarenko *et al.*, 2008]، على الأقل لأغراض المقارنة، يمكن اقتراح القيم التالية لشدة المجال في حدود منطقة التغطية:

- شدة المجال الصغرى من مرسل الاختبار في موقع هوائي محطة المراقبة في حالة الإصغاء: $E_{min(l)} = S$، حيث S هو حساسية مستقبل المراقبة المستعمل في الإصغاء، مع مراعاة كسب الهوائي وخسارة التغذية. وقيمة الحساسية العادية عندما تكون نسبة الإشارة إلى الضوضاء (S/N) تساوي: $S/N \geq 10$ dB، تبلغ 1 (μV/m)، وعليه يمكن في أغلب الحالات (أو لأغراض المقارنة) اعتبار شدة المجال تساوي $E_{min(l)} = 0$ dB(μV/m).
- شدة المجال الصغرى لقياس خصائص إشارة المرسل كما هي مبينة في الفصل الرابع، تساوي $E_{min(m)} = E_{min(l)} + 12$ dB، وعليه يمكن في أغلب الحالات (أو لأغراض المقارنة) اعتبار شدة المجال تساوي $E_{min(m)} = 12$ dB(μV/m).
- شدة المجال الصغرى في حالة تحديد زوايا الاتجاه، كما هو مشروح في الفقرة 7.4، بهدف إنجاز قياس زوايا يعتمد عليه، تساوي $E_{min(m)} = E_{min(l)} + 20$ dB، وعليه يمكن في أغلب الحالات (أو لأغراض المقارنة) اعتبار شدة المجال تساوي: $E_{min(df)} = 20$ dB(μV/m).

وتتميز المرسلات المراقَبة في نطاقي الموجات المترية والديسمترية (VHF/UHF) بتناثر واسع جداً في سويات القدرة وارتفاعات الهوائيات – تمتد من 10 W و1,5 متر (مرسلات الإذاعة المتنقلة الخاصة (PMR) المحمولة في مَرْكبات خفيفة) إلى 40 kW وأكثر و500 متر (مرسلات التلفزيون). وكذلك تتفاوت أبعاد مناطق تغطية المراقبة المقابلة ضمن حدود واسعة جداً.

ولأغراض التخطيط للشبكة والحساب المقارن، من المفيد تعيين ثلاث فئات من المرسلات منخفضة القدرة [Krutova *et al.*, 2009] مع هوائيات منخفضة نسبياً، مع الاعتراف بأن مزيداً من المرسلات القوية مع الهوائيات المرتفعة تغطّى تغطية جيدة بهذه الشبكات:

- *الفئة الأولى:*

القدرة 10 W، وارتفاع الهوائي 1,5 متر (مرسلات الإذاعة المتنقلة الخاصة (PMR) المحمولة في مَرْكبات خفيفة).

- *الفئة الثانية:*

القدرة 10 W، وارتفاع الهوائي 20 متراً (المحطات القاعدة في الاتصالات الراديوية المتنقلة البرية، ومرسلات الإذاعة المنخفضة القدرة، والمرسلات المستجيبة التلفزيونية).

– *الفئة الثالثة:*

القدرة W 20، وارتفاع الهوائي 40 متراً (نفس نوعيات المرسلات كما في الفئة الثانية، ولكن مع مستويات قدرة وارتفاعات هوائيات أكبر نوعاً ما).

ويبين الجدول 8.6-1 هذه المعلمات وغيرها مما يمكن استعماله معياراً في تخطيط شبكات المراقبة واستمثالها في نطاقي الموجات المترية والديسمترية (VHF/UHF) (وهي نفسها مستخدمة في الحساب المقدم أدناه).

وتقدم الأشكال من 8.6-2 إلى 8.6-5 مثالاً على إجراء تخطيط شبكة محلية لمراقبة الطيف على أساس المعلمات المبينة في الجدول 8.6-1.

لنأخذ حالة مدينة موجودة في منطقة هضاب، كما هو مبيّن في الشكل 8.6-2، ولنفترض أنه يلزم تنفيذ مراقبة الطيف لهذه المدينة وضواحيها الكثيفة بالسكان إلى حد ما بالنسبة إلى الفئة الأولى من مرسلات الاختبار.

وعلى افتراض أن تشكيلة هذه المدينة دائرية إلى حدٍ ما، يمكن تأمين هذه الخدمة باستعمال ثلاث محطات مراقبة ثابتة.

وترسم خطة رائدة تمهيدية بوضع المحطات من ***S1*** إلى ***S3*** في قمم الهضاب كما يبين الشكل 8.6-2، لأن هذه الطريقة تترك هوائيات المحطات قصيرة نسبياً عند ارتفاع 10 أمتار.

ويبين الشكل 8.6-3 مناطق تغطية المراقبة للمحطة ***S1***.

ويتم التعرف إلى المناطق بواسطة اللوحة الملونة في الجانب الأيمن من الشكل. وقيم الحدود للمساحات الملونة المختلفة المتعلقة بمناطق التغطية المختلفة مبينة على أنها تساوي 0 dB و12 dB و20 dB للإصغاء وقياس خصائص الإشارة وتحديد زوايا الاتجاه على الترتيب، كما هو مبين في الجدول 8.6-1.

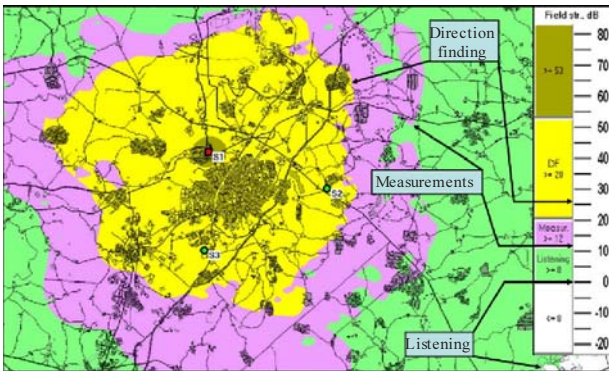
الجدول 8.6-1

معايير التخطيط لشبكات المراقبة واستمثالها في نطاقي التردد VHF/UHF

المعلمة	القيمة
ارتفاع هوائي المرسل الاختباري	الفئة الأولى: 1,5 متر الفئة الثانية: 20 متراً الفئة الثالثة: 40 متراً
قدرة المرسل الاختباري	الفئتان الأولى والثانية: 10 W الفئة الثالثة: 20 W
احتمال العثور على المرسل الاختباري داخل موقع القطع الناقص للارتياب (انظر الفقرة 4.3.7.4)	0,5
ارتفاع هوائي محطة المراقبة الثابتة	10-50 متراً (حسب موقع التركيب)
ارتفاع هوائي محطة المراقبة المتنقلة	2,5 متر (هوائي مركّب على سقف المركبة) 10 أمتار (هوائي يُنشر نصف ثابت)
الارتياب في نظام تحديد زوايا الاتجاه (انظر الفقرة 3.1.3.7.4)	1° r.m.s (المحطة الثابتة) 2° r.m.s (المحطة المتنقلة)
شدة المجال الصغرى عند حدود منطقة تغطية قياس الإصغاء	0 dB (μV/m)
شدة المجال الصغرى عند حدود منطقة تغطية قياس خصائص الإشارة	132 dB (μV/m)
شدة المجال الصغرى عند حدود منطقة تغطية قياس تحديد زوايا الاتجاه	20 dB (μV/m)

الشكل 3-8.6

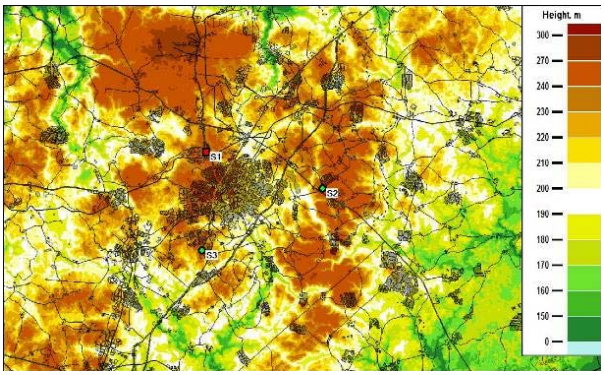
مناطق تغطية المراقبة للمحطة S1، يبين الحدود الخارجية لمناطق تغطية الإصغاء والقياس وتحديد الاتجاه



Spectrum-6.8-03

الشكل 2-8.6

طبوغرافيا المنطقة المدروسة ومواقع المحطات الثابتة الثلاث S3 – S1 في أرض مرتفعة (الخيار الأول)



Spectrum-6.8-02

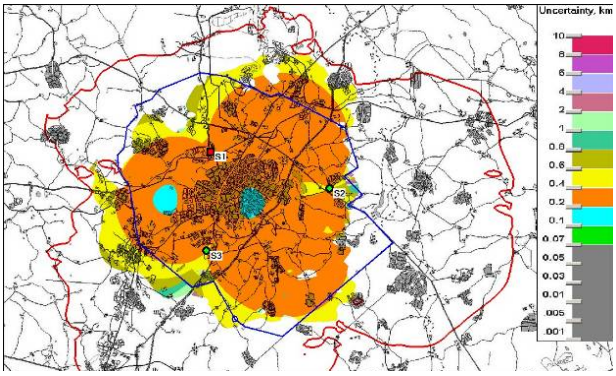
ويبين الشكل 4-8.6 جملة مناطق تغطية المراقبة للمحطات الثلاث. ويبين الكفاف الأحمر المستمر داخل منطقة المراقبة بكاملها الخاصة بتحديد زوايا الاتجاه حدود منطقة تغطية تحديد الموقع استناداً إلى التثليث، كما هو مشروح في الفقرة 3.7.4، وهي تقابل منطقتي التغطية لتحديد زوايا الاتجاه المتراكبتين من محطتين على الأقل. وكما يرى من الشكل 4-8.6 فإن منطقة تغطية تحديد الموقع في هذه الحالة هي بكل وضوح أصغر من منطقة تغطية تحديد زوايا الاتجاه بكاملها، بما يتفق تماماً مع النظرية العامة الواردة أعلاه.

ونموذج التغطية المعياري لتحديد الموقع المشروح في الفقرة 4.1.3.7.4، ممثل في الشكل 5-8.6 في حالة احتمال 50% للعثور على المرسل المقصود داخل حدود القطع الناقص لارتياب تحديد الموقع. وهنا يبين الكفاف الأحمر حدود منطقة تحديد زوايا الاتجاه الكلية التابعة للمحطات الثلاث. والمدخل إلى قيم الحدود لمختلف المناطق الفرعية لارتياب تحديد الموقع، والمبينة بألوان مختلفة، موجود في المساحة على الجانب الأيمن من الشكل.

وكما يرى في الشكل 5-8.6، فالمحطات موضوعة في مواقع تمكّن من تحديد مواقع مرسلات الفئة الأولى عبر المدينة وفي ضواحيها المباشرة. ويخدم قسم كبير من المدينة مع ضواحيها المباشرة بارتياب تحديد الموقع في المدى من 0,2 إلى 0,4 كيلومتر (المناطق الفرعية الملونة باللون البني)، ومع ذلك توجد "بقعتان" يقع ارتياب تحديد الموقع فيهما من 0,1 إلى 0,2 كيلومتر (المناطق الفرعية الملونة باللون الفيروزي). وبالتوافق الكامل مع النظرية (انظر الفقرة 4.1.3.7.4) فإن هذه "البقع" تحدث حيث تتقاطع خطوط قياس الزوايا من المحطتين ***S1*** و***S3*** بزوايا قريبة من 90°. ونحو محيط منطقة التغطية الكلية لتحديد الموقع، ترتفع قيم الارتياب لتحديد الموقع إلى ما بين 0,6 و0,8 كيلومتر (المناطق الفرعية الملونة باللون الأصفر الغامق). وداخل حدود المساحة، يوجد عدد من "البقع" الصغيرة ملونة باللون الأبيض، دالّة على مناطق ذات تضاريس معينة ومعلمات مختارة ليست مخدومة لا بتحديد الموقع ولا بتحديد زوايا الاتجاه، كما هو مبين أيضاً في الشكل 4-8.6.

الشكل 5-8.6

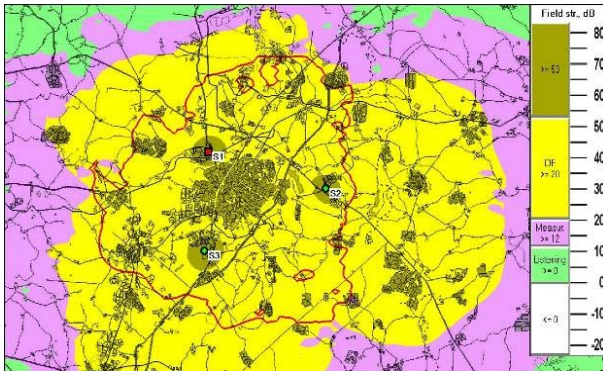
نموذج تغطية تحديد الموقع للمحطات الثلاث S1 – S3



Spectrum-6.8-05

الشكل 4-8.6

مناطق تغطية المراقبة الكلية للمحطات الثلاث S1 – S3



Spectrum-6.8-04

لنفترض أن الكفاف الأزرق في الشكل 5-8.6 يمثل حدود مقاطعة إدارية واقعة ضمن المدينة المقصودة. وباستخدام برمجية مناسبة يمكن حساب قيم عددية لتغطية تحديد الموقع لهذه المقاطعة في المناطق الفرعية ذات الأمداء المختلفة من ارتياب تحديد الموقع. وهذه البيانات مبيّنة في الجدول 2-8.6، حيث يمكن التأكيد على أن مرسلاً من الفئة الأولى يمكن وضعه في 87% من مساحة المقاطعة المعرفة الحدود. ويمكن تقسيم هذه المنطقة أيضاً إلى 4 فئات، طبقاً للارتياب المحسوب لتحديد الموقع، مما يسمح بالحصول على ارتياب ينحصر بين 0,2 و0,4 كيلومتر في 74% من المنطقة المعتبرة.

بمقارنة الشكلين 3-8.6 و5-8.6، يرى أن المحطة ***S1*** وحدها تؤمن الإصغاء وقياس خصائص الإشارة داخل حدود منطقة تغطية تحديد الموقع الكلية التي تشكلها المحطات الثلاث ***S1*** – ***S3***. وبالتالي تكون هذه المحطة مجهزة بالكامل ومزودة بالعاملين، مع المحطتين الأخريين غير المزودتين بالعاملين لتحديد زوايا الاتجاه أوتوماتياً. ومع ذلك وبقصد التوصل إلى اعتمادية أكبر، يمكن تجهيز إحدى هاتين المحطتين بالكامل على الرغم من تركها دون عاملين.

الجدول 2-8.6

إحصائيات تخص المناطق الفرعية للارتياب في تحديد الموقع

أمداء الارتياب في تحديد الموقع (كيلومترات)	النسبة المئوية للمساحات في المقاطعة المعينة الحدود	التوزيع المتراكم لقيم النسبة المئوية
0,1–0,07	–	–
0,2–0,1	2	2
0,4–0,2	74	76
0,6–0,4	9	85
0,8–0,6	2	87
10–0,8	–	87
المجموع		87

وليس من المستبعد، في الواقع العملي، أن تكون قمم الهضاب التي كان من المرغوب فيه أن تنصب فيها هوائيات المحطات الثابتة للمراقبة، مشغولة بالفعل بهوائيات مرسلات قوية، مثل المرسلات الإذاعية، مما يجعل من الضروري التفتيش عن خيارات بديلة لمواقع المحطات، تلبي المتطلبات الواردة سابقاً في الفقرة 4.1.6.2 من حيث حماية هذه المحطات من الإرسالات القوية. ويمكن تحقيق ذلك بكل سهولة عن طريق إعادة حسابات خطط المواقع لغيرها من المواقع المحتملة للمحطات. وبعد توفر الحسابات لعدد من خطط المواقع، يصبح من الممكن اختيار أفضل تشكيلة من المحطات تلبي مجموعة المتطلبات المرغوبة.

وعندما يخطط للحصول على تغطية شاملة للمراقبة على مساحات واسعة نوعاً ما، واستخدام عدد كبير من المحطات، يمكن تخطيط الشبكة على أساس نظرية الشبكات النظامية، كما هو مشروح في التقرير ITU-R BS.944. ويسمح هذا النهج بإقامة شبكة فيها مسافات كبيرة بين المحطات في المناطق الريفية، ومسافات صغيرة بين المحطات في المدن أو في المناطق الصناعية الكثيفة حيث يوجد كثافة أكبر من مرسلات المراقبة وحيث يكون الارتياب في قياس الزوايا أكبر بكثير بسبب الانعكاسات على الأبنية والبنى المعدنية. وعندما يكون في المنطقة المعنية شيء يشبه الشبكة النظامية من المحطات الثابتة للمراقبة، يفضل "إدراج" المحطات القائمة في الشبكة التي يخطط لها حديثاً.

وتقوم مثل هذه الشبكة المؤلفة من كثافات مختلفة من محطات المراقبة على أساس خلايا بشكل مسدسات متساوية الأضلاع، يتألف كل منها بدوره من ستة مثلثات أولية متساوية الأضلاع، كما هو مشروح في التقرير ITU-R BS.944، مع وضع المحطات في جميع عقد الشبكة، كما يبيّن الشكل 6-8.6. ويظهر هذا الشكل بكل وضوح كيف يمكن للمثلثات الأولية في الشبكة الأصلية أن تقسّم على التتابع إلى أربع مثلثات متساوية الأضلاع أصغر، بمسافات بين المحطات تساوي $L/2$ و$L/4$ و$L/8$ وهكذا. ومن الواضح أن المسافات بين محطات المراقبة الثابتة في المدن الكبيرة والمناطق الصناعية الكثيفة يمكن أن تكون أصغر مثل $L/8$ = 7,5 كيلومترات، أو حتى $L/16$ = 3,75 كيلومترات.

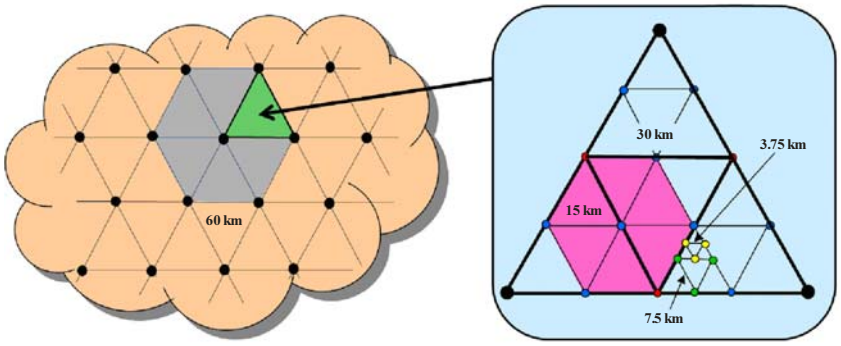
وفي مثل هذه الشبكة ذات محطات المراقبة المختلفة الكثافة، يمكن اعتبار أي محطة ثابتة واقعة في نقطة معينة أنها تنتمي إلى شبكة مراقبة شاملة نظامية مختلفة الكثافة حالية أو مستقبلية مع ارتياب لا يتجاوز 2,17 كيلومتر. وهذا يسهل "إدراج" المحطات القائمة في الشبكة الجديدة الواسعة.

وتبين الحسابات في نطاقي الموجات المترية والديسمترية (VHF/UHF) الجارية وفق النهج المشروح في [Krutova *et al.*, 2009]، أنه في ظروف الأرض العادية، يمكن أن تكون المسافة العظمى L بين المحطات الثابتة في الشبكة الأولية مساوية L_m = 60 km حيث يتعلق الأمر بالمرسلات المراقبة من الفئة الثالثة. وانطلاقاً من هذه الشبكة الأولية، يمكن حساب معلماتها بخصوص المرسلات المراقبة من الفئات الثلاث، وكذلك معلمات المساحات المتداخلة من الشبكة مع مسافات ما بين المحطات تبلغ 30 و15 و7,5 كيلومترات لجميع الفئات الثلاث من المرسلات. وشروط إجراء الحسابات معطاة في [Krutova *et al.*, 2009]. ونتائج هذه الحسابات ملخصة في الجدول 3-8.6.

ويرى من الجدول 3-8.6، أن تغطية تحديد الموقع في الشبكة الأولية حيث L_m = 60 km لا يمكن تحقيقها إلاّ لمرسلات الفئة الثالثة.

الشكل 6-8.6

شبكة نظامية نظرية



Spectrum-6.8-06

الجدول 3-8.6

بيانات محسوبة بشأن شبكات المراقبة المتجانسة عند التردد 450 MHz

L (km)	الفئة	إحصائيات منطقة التغطية (%)				إحصائيات الارتياب في تحديد الموقع
		الإصغاء	القياس	تحديد الاتجاه	الموقع	
60	الأولى	100-94	69-50	36-26	0	-
	الثانية	100	100	100-98	88-64	%34-20 :km 1,0-0,8 %2-0 :km 0,8-0,6 %21-15 :km 2,0 < %33-22:km 2,0-1,0
	الثالثة	100	100	100	100-98	%50-33 :km 1,0-0,8 %3-1 :km 0,8-0,6 %2-0 :km 2,0 < %62-47:km 2,0-1,0
30	الأولى	100	100-97	88-77	15-8	%6-2 :km 0,6-0,4 %3-0 :km 0,4-0,2 %7-4 :km 0,8 < %4-2:km 0,8-0,6
	الثانية	100	100	100	100	%88-82 :km 0,6-0,4 %6-3 :km 0,4-0,2 %1-0 :km 0,8 < %13-8:km 0,8-0,6
15	الأولى	100	100	100	96-95	%85-80 :km 0,4-0,2 %1-0 :km 0,2-0,1 %7-6 :km 0,6 < %7-4:km 0,6-0,4
	الثانية	100	100	100	100	%100-99 :km 0,4-0,2 %1-0 :km 0,2-0,1 %1-0 :km 0,4 >
7.5	الأولى	100	100	100	100	%98-97 :km 0,2-0,1 %2-1 :km 0,1-0,07 %0 :km 0,4 %1-0 :km 0,4-0,2

والقيم السائدة للارتياب في تحديد الموقع هي 1,0-0,8 كيلومتر (33-50% من المساحة البرية) و1-2 كيلومتر (47-62% من المساحة البرية). وفي حالة مرسلات من الفئة الثانية، تتحقق تغطية في تحديد زوايا الاتجاه تصل إلى 98-100% مما يسهّل استعمال مرسلات تستخدم محطات مراقبة متنقلة. ومع ذلك فتحديد الموقع باستخدام محطات ثابتة لا يغطي إلاّ 64-88% من المساحة البرية. وفي حالة مرسلات من الفئة الأولى، فإن تحديد زوايا الاتجاه لا يغطي إلاّ 26-36% من المساحة ولا يتوفر تحديد موقع في أي نقطة من الشبكة. وهكذا لا تؤمن شبكة أولية من المحطات الثابتة حيث L_m = 60 كيلومتراً عملياً أي مراقبة على المرسلات المنخفضة القدرة من الفئة الأولى، مع هوائيات منخفضة، وهي تنطوي على تقييدات كبيرة عندما يتعلق الأمر بتحديد الموقع للمرسلات من الفئة الثانية.

ويمكن إدخال تحسينات كبيرة على الخصائص التقنية للشبكة أو للجزء ذي الصلة منها، عن طريق خفض المسافة ما بين المحطات من 60 إلى 30 كيلومتراً، على الرغم من أن ذلك يستدعي زيادة مضاعفة في تكلفة إنشاء الشبكة أو الجزء ذي الصلة. والتغطية الكاملة لتحديد الموقع في المساحة البرية مؤمنة بالفعل لمرسلات الفئة الثانية مع القيم السائدة للارتياب في تحديد الموقع ضمن المدى 0,4-0,6 كيلومتر (82-88% من المساحة البرية). ومع ذلك، وفيما يخص مرسلات الفئة الأولى، لم تتأمن بَعْد تغطية قدرها 100% لتحديد زوايا الاتجاه في المساحة البرية، بينما لا يتعدى معدل التغطية لتحديد الموقع بواسطة المحطات الثابتة للمراقبة أكثر من 8-15% من المساحة.

نستنتج مما تقدم أنه لا يمكن حتى في الشبكات التي تبلغ فيها المسافة $L = L_m/2$ = 30 كيلومتراً، تأمين فعالية تحديد زوايا الاتجاه ولا تحديد الموقع لمرسلات الفئة الأولى.

ويتأمن 1% من تغطية تحديد زوايا الاتجاه لمرسلات الفئة الأولى في الشبكات أو أجزاء الشبكات التي تبلغ فيها المسافة $L = L_m/4$ = 15 كيلومتراً، عندما يكون 95-96% من المنطقة البرية متمتعاً بتغطية تحديد الموقع مع قيم سائدة للارتياب في تحديد الموقع ضمن المدى 0,2-0,4 كيلومتر (80-85% من المنطقة البرية).

وتتأمن خصائص تقنية أحسن في الشبكات أو أجزاء الشبكات التي تبلغ المسافة فيها $L = L_m/8 = 7{,}5$ كيلومترات، وهي الحالة التي تحصل فيها تغطية قدرها 100% لتحديد الموقع لمرسلات الفئة الأولى مع قيم سائدة للارتياب في تحديد الموقع ضمن المدى 0,1-0,2 كيلومتر (97-98% من المنطقة البرية).

غير أن من الممكن تحقيق هذا الأمر عن طريق زيادة كبيرة في عدد محطات المراقبة الثابتة، وبالتالي في حجم المصاريف اللازمة لتنفيذ الشبكة، ولكن المتطلبات تكون أخفض من حيث عدد محطات المراقبة المتنقلة.

ويمكن استعمال البيانات الواردة في الجدول 3-8.6 لاستمثال تشكيلة الشبكة التي يجري نشرها، على ألاّ تغيب عن الذهن المهمات المطلوب أداؤها وتيسر الموارد الموجودة أو المخطط لها.

المراجـــع

BONDARENKO K.V., KRUTOVA O.E., PAVLYUK A.P. [2008] Experience in planning of local spectrum monitoring networks of the Republic of Tajikistan based on advanced planning tools. – Proceedings of the Nineteenth International Wroclaw Symposium on EMC, Wroclaw, Poland (see a copy at the website: www.pavlyuk.com).

ITU-R HANDBOOK [2005] Computer-Aided Techniques for Spectrum Management (CAT), Geneva.

KOGAN V.V., PAVLIOUK A.P. [2004] Methodology of spectrum monitoring networks planning – Proceedings of the Seventeenth International Wroclaw Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility, EMC-2004. Wroclaw, Poland (see a copy at the website: www.pavlyuk.com).

KRUTOVA O.E., KOGAN V.V., PAVLIOUK A.P. [2005] Advanced software for planning and optimization of spectrum monitoring networks. – Proceedings of the Sixth International Symposium on Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology, Saint-Petersburg, Russia (see a copy at the website: www.pavlyuk.com).

KRUTOVA O.E., LUTHER W., PAVLYUK A.P. [2006] Location characteristics of the USA HF international spectrum monitoring network using new software. – Proceedings of the Eighteenth International Wroclaw Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility, EMC-2006. Wroclaw, Poland (see a copy at the website: www.pavlyuk.com).

KRUTOVA O.E., PAVLYUK A.P., PLOSSKY A.Y. [2008] Improvement of performance of the Russian spectrum monitoring network in the HF frequency band. Elektrosvyaz, No. 9, Moscow, Russia (in Russian, see translation into English at the website: www.pavlyuk.com).

KRUTOVA O.E., PAVLYUK A.P., PLOSSKY A.Y. [2009] Planning and optimization of VHF/UHF spectrum monitoring networks. Elektrosvyaz, No 5, Moscow, Russia (in Russian, see translation into English at the website: www.pavlyuk.com).

9.6 الارتياب في القياس

1.9.6 مقدمة

كثيراً ما تستعمل مصطلحات "الارتياب" و"الخطأ" و"الدقة"، ولكنها لا تستعمل دائماً بالمعنى الصحيح. ففي كل قياس نحصل على قيمة مقيسة قد تكون مختلفة عن القيمة الحقيقية. وإذا أمكن معرفة القيمة الحقيقية لأمكن التعبير عن الخطأ بالفرق بين القيمة المقيسة والقيمة الحقيقية. ونتائج القياس الحاصلة ليست إلا تقديراً للقيمة الحقيقية المطلوب قياسها، وهو يتوقف على العملية والتجهيزات المستعملة في القياس.

ولما كانت القيمة الحقيقية مجهولة، فلا يسعنا سوى الحديث عن ارتياب يصحب القيمة المقيسة. فالارتياب المطلق هو مقدار يعبر عنه بنفس وحدة القيمة المقيسة ويصف مجالاً تقع فيه القيمة الحقيقية ضمن احتمال محدد.

أما الارتياب النسبي فهو حاصل قسمة الارتياب المطلق على أفضل تقدير ممكن للقيمة الحقيقية.

وكلما كان الارتياب أصغر، كانت الدقة أعلى، ومع ذلك هذا مقدار يصعب تقديره كمياً.

2.9.6 نظرة شاملة على الارتياب في القياس وتعريفه

إن تطبيق إجراءات قياس بمجموعة من التجهيزات في بيئةٍ مراقبة، لا يعطي نفس النتيجة لكل عينة من القياس.

وهذا يميز التغيرية في القياس. وقد تعزى التغيرية إلى الارتياب في اختبار التجهيز أو المشغّل أو بيئة القياس أو إلى جوانب أخرى. ولتقدير النتيجة الحقيقية يلزم تحديد هذه التغيرية.

من حيث الأساس، يمكن أن تتميز النتيجة بقيمة وسطى وبمجال للانحراف المعياري. وهذا ما يميز الارتياب. ويستعمل عادة نهجان مختلفان للتعبير عن الارتياب. ويعبّر عن هذين النمطين بالنمط A والنمط B. وهما لا يعودان إلى طبيعة الإسهام في الارتياب، بل إلى طريقة تقدير ما يقود إلى تخمين الارتياب.

تقدير الارتياب من **النمط A** هو تقدير مشتق من تحليل إحصائي للبيانات التجريبية. ويجب ألاّ يؤخذ هذا التقدير على أنه مكوّنات "عشوائية" للارتياب. إذ يؤخذ عادة في الحسبان عدد n من العيّنات، وتتميز متغيرية النتيجة بالانحراف المعياري. وتوزيعات الاحتمال العامة مفصلة في الفقرة 3.9.6. ويكرّس النمط A لتقييم الارتياب المعياري.

ويستخدم تقدير الارتياب من **النمط B** عندما لا يمكن تقدير الارتياب إحصائياً. إذ يبنى التقدير على التجربة الماضية أو على البيانات المتيسرة في الكتيبات أو يستخرج من تقارير المعايرة. ويستعمل النمط B لتخمين **الارتياب المعياري والارتياب المعياري المدمج والارتياب الموسّع**.

وفي الواقع يستعمل النمط A في تقييم النتائج الخام، ويبنى النمط B على تحليل النتائج والعوامل المؤثرة في القياس.

والارتياب المعياري المدمج هو الارتياب المعياري لنتيجة قياس، عندما تكون هذه النتيجة حاصلة من قيم عدد من كميات أخرى، تساوي جذر متوسط التربيع الموجب لمجموع حدود، هي التغايرات أو التغايرات المصاحبة لهذه الكميات الأخرى الموزونة وفقاً لكيفية تغير نتيجة القياس مع تغيرات هذه الكميات.

والارتياب الموسّع هو كمية تحدد مجالاً حول قيمة القياس يتوقع لها أن تشمل جزءاً كبيراً من توزيع القيم التي قد يكون من المعقول أن تعزى إلى المقدار المقيس.

والفقرة 4.9.6 تفصّل الجانب العلمي لهذه التعاريف.

والخلاصة يعبّر عن الارتياب في القياس وفقاً لمعلمتين هما:

- القيمة الوسطى،
- الانحراف المعياري.

وإضافة إلى ذلك يجب أن يتوفر مستوى من الثقة (مثلاً يكون المجال والقيمة حقيقيين باحتمال قدره 95%).

وعندما تؤخذ في الحسبان جميع معلمات كل عنصر في عملية القياس وتقيّم الارتيابات يؤدي ذلك إلى توفير قيمة ومجال يتضمنان القيمة الحقيقية بمستوى معين من الثقة. والغاية هي الحصول على قياس قابل للمقارنة وقابل للتكرار. وتكرارية قياس ما ضرورية لتحسين الثقة في القياس.

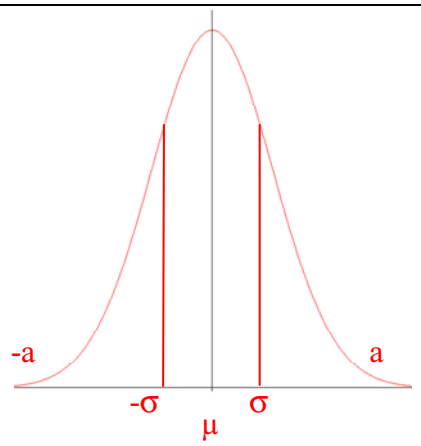
وإيلاء تمام الاعتبار لجميع مصادر الارتياب القابلة للتعرف يسهم في التوصل إلى نتائج صالحة، مقارنة بدراسة نظرية. فالارتياب يشرح ويبرّر الفروقات التي تلاحظ في النتائج. ولا بد من اتخاذ كل حذر أثناء القياس، خشية الوقوع في انحياز منهجي. وإحدى الطرائق التي تتحاشى الوقوع في هذه الحالة هي إجراء القياس مع المقارنة بفريق قياس آخر و/أو سلسلة قياسات أخرى بغية إجراء المقارنة والتحسين والضبط و/أو تصحيح تركيبة الإجراء والقياس.

3.9.6 دوالّ التوزيع الشائعة للتعبير عن الارتياب

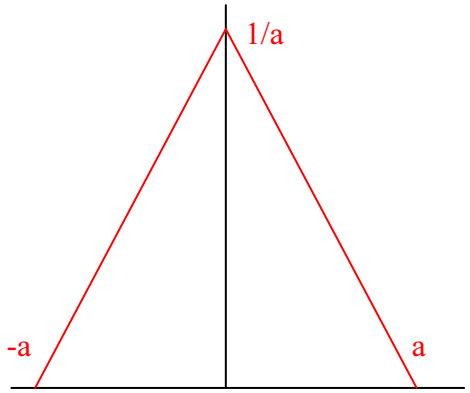
يمكن شرح تغيرية مجموعة من القيم بتوزيعات الاحتمال. وأكثر الدوالّ الرياضية شيوعاً للتعبير عن الارتياب في القياس، ملخصة في الجدول 1-9.6

الجدول 1-9.6

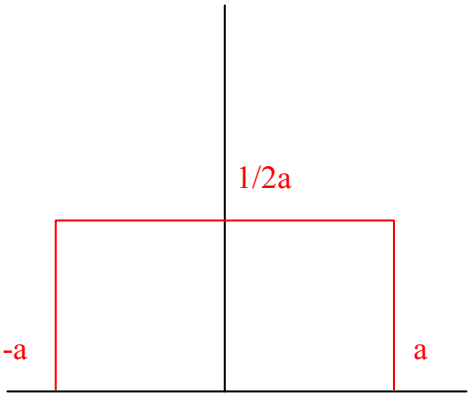
موجز توزيعات الاحتمال

التوزيع العادي		
	الدالّة الرياضية $f(x;\mu,\sigma)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\left[\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]}$ μ القيمة الوسطى σ الانحراف المعياري	الانحراف المعياري من أجل مجال ثقة 68% $\sigma = a$ من أجل مجال ثقة 95% $\sigma = \frac{a}{2}$ من أجل مجال ثقة 99,7% $\sigma = \frac{a}{3}$
في مجموعة من القراءات، هذا التوزيع العادي أو الغوسي هو الأكثر استعمالاً للمشاهدات المكررة التي تتغير حول قيمة وسطى.		

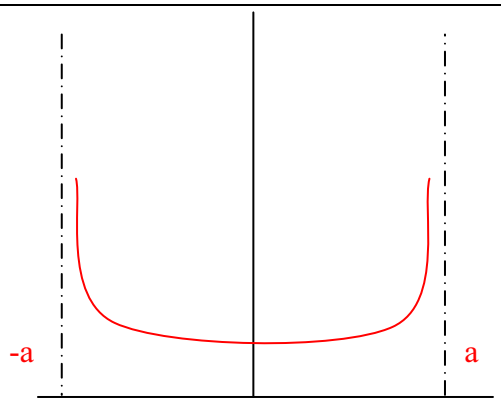
الجدول 9.6-1 (*نهاية*)

التوزيع المثلثي		
	الدالة الرياضية $f(x)=\begin{cases}\frac{(x+a)}{a^2} & for -a \le x \le 0\\ \frac{(a-x)}{a^2} & for\ 0 \le x \le a\end{cases}$	الانحراف المعياري $\sigma=\frac{a}{\sqrt{6}}$

القيمتان الصغرى والكبرى لهذا التوزيع معروفتان.

التوزيع المنتظم أو المستطيلي		
	الدالّة الرياضية $f(x)=\frac{1}{2a}$	الانحراف المعياري $\sigma=\frac{a}{\sqrt{3}}$

خصوصية هذه الدالّة أن احتمال الحصول على أي قيمة بين [–a؛ a] هو 1. وجميع القيم متساوية الاحتمال.

التوزيع بشكل الحرف U		
	الدالّة الرياضية $f(x)=\frac{1}{\pi\sqrt{a^2-x^2}}$ for $-a<x<a$	الانحراف المعياري $\sigma=\frac{a}{\sqrt{2}}$

4.9.6 تطبيق

ينبغي تقييم الارتياب في القياس بالنسبة لمحطة مراقبة من أجل القياسات المتطرق إليها في الفقرات الفرعية التالية، مع مراعاة كل من الكميات المدرجة هناك. ويجري تقييم الارتياب المعياري $u(x_i)$ مقدراً بالديسبل ومعامل الحساسية c_i من أجل القيمة المقدرة x_i لكل مقدار.

ويحسب الارتياب المعياري المدمج $u_c(y)$ في القيمة المقدرة y للمقدار المقيس بواسطة الجذر التربيعي لمجموع مربعات موزون (r.s.s.):

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_i c_i^2 \; u^2(x_i)} \tag{1-9.6}$$

ويحسب الارتياب الموسّع في القياس لمحطة مراقبة U_{ms} من:

$$U_{ms} = 2\, u_c(y) \tag{2-9.6}$$

وينبغي أن يذكر في تقرير القياس.

الملاحظة 1– يفضي عامل التغطية $k = 2$ تقريباً إلى ثقة بنسبة 95% في حالة توزيع نموذجي قريب من العادي من أجل أغلب نتائج القياس.

ويستعمل عامل التغطية هذا للتعبير عن سوية الثقة المفترضة في الفقرة 3.9.6 التي تصف التوزيع العادي.

ويمكن عامة تحديد التقيد أو عدم التقيد بواحد من الحدود التنظيمية بسلوك سبيل أحد النهجين التاليين:

– *النهج الأول*:

الارتياب في القياس U_{ms} صغير ما أمكن (V_{meas} هي القيمة المقيسة):

من منظور مشغل خدمة راديوية: يحدث التقيد بالحدّ عندما يتقيد المجموع $V_{meas} + U_{ms}$ بالحدّ.

من منظور المنظم الضابط: يحدث عدم التقيد بالحد عندما لا يتقيد التفاضل $V_{meas} – U_{ms}$ بالحدّ.

– *النهج الثاني*:

ينبغي ألا يتجاوز الارتياب في القياس U_{ms} قيمة عظمى موصى بها للارتياب U_{rec}:

فإذا كان U_{ms} أصغر أو يساوي U_{rec} عندئذٍ:

– يحدث تقيّد بالحدّ إذا لم تتجاوز الحدّ أي قيمة مقيسة.

– لا يحدث تقيدّ بالحد إذا تجاوزت الحدّ أي قيمة مقيسة.

من منظور المشغل: إذا كان U_{ms} أكبر من U_{rec} عندئذٍ:

– يحدث تقيد بالحدّ إذا لم تتجاوز الحدّ أي قيمة مقيسة مزيدة بالقدر $(U_{ms} – U_{rec})$.

– لا يحدث تقيد بالحدّ إذا تجاوزت الحدّ أي قيمة مقيسة مزيدة بالقدر $(U_{ms} – U_{rec})$.

من أجل المنظم الضابط: إذا كان U_{ms} أكبر من U_{rec} يكون:

– يحدث تقيد بالحدّ إذا لم تتجاوز الحدّ أي قيمة مقيسة منقوصة بالقدر $(U_{ms} – U_{rec})$.

– لا يحدث تقيد بالحدّ إذا تجاوزت الحدّ أي قيمة مقيسة منقوصة بالقدر $(U_{ms} – U_{rec})$.

5.9.6 مثال على حساب الارتياب

قياس شدة المجال (E) هو واحدة من مهام محطة مراقبة ثابتة أو متنقلة في نطاق الترددات من 30 MHz إلى 3 000 MHz.

وتحسب القيمة المقيسة للمجال E من:

$$\begin{aligned} E = {} & V_r + L_c + AF + \\ & + \delta V_{sw} + \delta V_{sel} + \delta V_{nf} + \delta M + \delta AF_f + \delta AF_h + \delta A_{dir} + \delta A_{cp} + \delta A_{bal} + \delta SR \end{aligned} \tag{3-9.6}$$

ويحسب الارتياب في المجال E من حساب الارتيابات في الحدود الموجودة في الطرف الأيمن من المعادلة، ثم جمع مربعات هذه الارتيابات، وأخذ الجذر التربيعي لمجموع المربعات (انظر الجدول 9.6-2)

الجدول 9.6-2

قيم مقادير الدخل في الترددات من حوالي 30 MHz إلى 3 000 MHz

(تحسب لكل هوائي وكل استقطاب وكل مدى فرعي للتردد)

المقدار الداخل	الملاحظة	X_i	الارتياب في x_i		$u(x_i)$ (dB)	c_i	$(c_i\, u(x_i))^2$ (dB)
			(dB)	Pr Dist; k			
القراءات على المستقبل	(1)	V_r	0,1±	$k = 1$	0,10	1	0,01
التوهين: هوائي – مستقبل	(2)	L_c	0,1±	$k = 2$	0,05	1	0,0025
عامل هوائي	(3)	AF	2,0±	$k = 2$	1,00	1	1,00
تصحيحات المستقبل:							
– فلطية الموجة الجيبية	(4)	δV_{sw}	1,0±	$k = 2$	0,5	1	0,25
– انتقائية المستقبل	(5)	δV_{sel}	0,5–	مستطيلي	0,28	1	0,0784
– جوار ضوضاء الخلفية	(6)	δV_{nf}	0,5±	$k = 2$	0,25	1	0,0625
عدم تكيّف: هوائي – مستقبل	(7)	δM	0,9+/1,0–	شكل الحرف U	0,67	1	0,4489
تصحيحات عامل الهوائي (AF):							
– استكمال داخلي في تردد عامل الهوائي	(8)	δAF_f	0,3±	مستطيلي	0,17	1	0,0289
– انحرافات عامل الهوائي بسبب الارتفاع	(9)	δAF_h	0,5±	مستطيلي	0,29	1	0,0841
– فرق الاتجاهية	(10)	δA_{dir}	0,5±	مستطيلي	0,29	1	0,0841
– استقطاب تقاطعي	(11)	δA_{cp}	0,9±	مستطيلي	0,52	1	0,2704
– توازن	(12)	δA_{bal}	0,3±	مستطيلي	0,17	1	0,0289
المجموع الجزئي							2,3487
الحجب والانعكاسات:							
للحجب	(13)	δSR_1	1,0±	مستطيلي	0,56	1	0,3136
الانعكاسات	(14)	δSR_2	4,0±	مثلثي	1,63	1	2,6569
المجموع الكلي							5,3192
الارتياب المدمج $u_c(y) = \sqrt{\sum_i c_i^2\ u^2(x_i)}$							2,3063
الارتياب المدمج الموسّع (k = 2)							4,6126

تعليقات بشأن التقديرات الخاصة بمقادير الدخل (العمود الأول في الجدول 9.6-2)

إن الارتياب المرتبط بقيمة تقديرية x_i لأحد مقادير الدخل الواردة في الجدول 9.6-2 هو أكبر قيمة ارتياب تعتبر داخل المدى الترددي الذي يغطيه هذا الجدول، شريطة أن تكون هذه القيمة متسقة مع دقة القياس المحددة في التوصية ITU-R SM.378. وتشير أرقام الحواشي جوار مقادير الدخل إلى التعليقات المرقّمة أدناه. ويجب مقارنة الارتيابات الموسّعة بقيم الارتياب U_{rec}.

والافتراضات التي أدّت إلى القيم الواردة في الجدول 9.6-2 قد لا تكون مناسبة لواحدة خاصة من محطات المراقبة. وعندما تقيّم إحدى محطات المراقبة ارتياب القياس الموسّع الخاص بها U_{ms}، يجب عليها أن تأخذ في الاعتبار المعلومات المتوفرة في نظام القياس الخاص بها، بما في ذلك خصائص التجهيزات، ونوعية رواج بيانات المعايرة، وتوزيعات الاحتمال المعروفة أو المحتملة وإجراءات القياس.

وقد تجد إحدى محطات المراقبة من مصلحتها أن تقيّم ارتياباتها بتجزئة مدى التردد، لا سيما إذا كان أحد مقادير الدخل السائدة يتغير تغيراً محسوساً في هذا المدى الترددي.

ملاحظات العمود الثاني في الجدول 9.6-2:

ترمي الملاحظات التالية إلى توفير بعض الإرشاد لمحطات المراقبة التي تواجه بيانات أو حالات تختلف عما هو مفترض هنا.

(1) تتغير قراءات المستقبل لأسباب، منها عدم استقرار نظام القياس، وضوضاء المستقبل والأخطاء الناجمة عن الاستكمال الداخلي لسلّم القياس. والقيمة المقدرة للغلطية V_r هي متوسط عدة قراءات مع ارتياب معياري يعطيه الانحراف المعياري التجريبي للمتوسط.

(2) من المفترض أن يتيسر تقدير لارتياب التوهين L_c في التوصيل بين المستقبل والهوائي من تقرير معايرة، مع ارتياب موسّع وعامل تغطية.

(3) من المفترض أن يتيسر تقدير عامل الهوائي في الفضاء الحر AF تقرير معايرة، مع ارتياب موسّع وعامل تغطية.

(4) كان من المفترض أن يتيسر تقدير للتصحيح δV_{sw} اللازم لدقة التوتر الجيبي في المستقبل، عبر تقرير معايرة مع ارتياب موسّع وعامل تغطية.

تعليق: إذا أفاد تقرير المعايرة بأن دقة فلطية الموجة الجيبية في المستقبل، تقع ضمن تسامح معين (±2 dB)، عندئذ ينبغي أن يؤخذ تقدير التصحيح δV_{sw} مساوياً للصفر مع توزيع احتمال مستطيلي الشكل، يساوي نصف عرضه 2 dB.

(5) تأخذ قيمة δV_{sel} في الحسبان الارتياب الناجم عن عرض نطاق الاستبانة المحدد لمستقبل القياس أو لمحلل الطيف، شاملاً ارتياب أي عامل تصحيح للتعويض عن أثر عرض نطاق الاستبانة المحدود. مثال ذلك كاشف القيم التربيعية المتوسطة المستخدم لقياس إشارة في النفاذ المتعدد بتقسيم شفري CDMA مع عرض نطاق للقياس يبلغ 10% من عرضي النطاق المشغول. ويكون عامل التصحيح في هذه الحالة يساوي 10 dB، ويكون الارتياب في عامل التصحيح هذا من رتبة 0,5 dB في حالة كون التسامح في عرض النطاق يساوي ±10%.

(6) حسب البعد عن هوائي الإرسال، يمكن أن تكون ضوضاء الخلفية لمستقبل القياس أو لا تكون منخفضة بالقدر الكافي تحت فلطية الدخل بحيث يكون أثرها مهملاً على نتائج القياس.

(7) يكون الهوائي بصورة عامة موصولاً إلى المنفذ 1 من شبكة ثنائية المنافذ، بينما يكون منفذها الثاني موصولاً بمستقبل معامل انعكاسه Γr. ويمكن تمثيل الشبكة الثنائية المنافذ التي يمكن أن تكون كبلاً أو موهّناً، أو موهّناً وكبلاً على الترادف أو أي توليفة أخرى من المكوّنات، بواسطة معلماتها S، فيكون عامل التصحيح لغياب التكيّف معطى بالعلاقة:

$$\delta M = 20 \log_{10} \left| (1 - \Gamma_e S_{11})1 - \Gamma_r S_{22}) - S_{21}^2 \Gamma_e \Gamma_r \right| \qquad (4\text{-}9.6)$$

حيث Γe هو عامل الانعكاس الذي يرى من منفذ الخرج للهوائي حين يكون معدّاً لقياس شدة المجال، وتكون جميع المعلمات نسبة إلى 50 Ω.

وعندما لا يكون معلوماً إلا قيم المعاملات، أو قيمها العظمى، لا يمكن حساب δM، بل قيمها العظمى $\delta M\pm$ التي لا تكون أكبر من:

$$\delta M^{\pm} = 20 \log_{10}\left[(1 \pm \left(|\Gamma_e||S_{11}| + |\Gamma_r||S_{22}| + |\Gamma_e||\Gamma_r||S_{11}||S_{22}| + |\Gamma_e||\Gamma_r||S_{21}|^2\right)\right] \quad (5\text{-}9.6)$$

وتوزيع الاحتمال لعامل التصحيح δM يكون تقريباً بشكل U، مع عرض لا يزيد على $(\delta M^{+} - \delta M^{-})$ وانحراف معياري ليس أكبر من نصف العرض مقسوماً على √2.

وبشأن قياسات شدة المجال، افترضت مواصفة هوائي لنسبة فلطية الموجات المستقرة (VSWR) أصغر أو تساوي 2,0:1 وهذا يقتضي $|\Gamma e| \leq 0.33$. وافترض في نفس الوقت أيضاً أن التوصيل إلى المستقبل يؤمنه كبل جيد التكيّف ($|S_{11}|<<1$, $|S_{22}|<<1$) توهينة مهمل ($|S21| \approx 1$) وإن التوهين الراديوي عند المستقبل يساوي 0 dB، وهذا تكون فيه نسبة فلطية الموجات المستقرة أصغر أو تساوي 2,0:1 وتقتضي $|\Gamma r| \leq 0{,}33$.

وتقدير قيمة عامل التصحيح *(δM)* هو أصغر مع توزيع احتمال بشكل U، عرضه يساوي الفرق $(\delta M^{+} - \delta M^{-})$.

تعليق: يبين التعبيران عن δM و$\delta M\pm$ أن زيادة التوهين من الشبكة الثنائية المنافذ جيدة التكيّف التي تسبق المستقبل يمكنها خفض الخطأ في عدم التكيّف، على حساب تخفيض حساسية القياس.

ومن أجل بعض الهوائيات عند بعض الترددات، يمكن لنسبة فلطية الموجات المستقرة (VSWR) أن تكون أكبر بكثير من 2,0:1.

ويجب الحرص على أن تفي الممانعة المرئية من المستقبل بالمواصفة التي تقول أن نسبة فلطية الموجات المستقرة أصغر أو تساوي 2,0:1 عند استعمال هوائي معقّد.

(8) عندما يحسب عامل الهوائي بالاستكمال الرياضي بين الترددات حيث تكون بيانات المعايرة متيسرة، فإن الارتياب المرتبط بعامل الهوائي هذا يتوقف على الفاصل الترددي بين نقاط المعايرة وعلى تغيرية عامل الهوائي مع التردد. ويساعد رسم عامل الهوائي المعاير بدلالة التردد على تجسيد رؤية الحالة.

والقيمة المقدّرة للتصحيح δAF_f في خطأ الاستكمال الداخلي لعامل الهوائي تساوي الصفر مع توزيع احتمال مستطيلي الشكل نصف عرضه يساوي 0,3 dB.

تعليق: عند أي تردد بتوفير له عامل هوائي معاير، لا يحتاج الأمر إلى اعتبار عامل التصحيح δAF_f.

(9) يختلف توقف عامل الهوائي على الارتفاع في الهوائيات المعقدة عما هو في الهوائيات الثنائية الأقطاب التي اعتمد عليها في تحديد سوية الارتياب. والقيمة المقدرة للتصحيح δAF_h صغيرة، مع توزيع احتمال مستطيلي الشكل، يقيّم نصف عرضه انطلاقاً من تغير عامل الهوائي مع الارتفاع الهوائي ثنائي المخروط أو هوائي دوري لوغاريتمي.

(10) يجب أن تعتبر استجابات هوائي معقد في أي تجاه بالنسبة إلى اتجاه الفص الرئيسي الذي قيس عامل الهوائي بالنسبة إليه.

وقيمة التصحيح δA_{dir} تساوي صفر مع توزيع احتمال مستطيلي الشكل له عرض مناسب.

تعليق: يمكن تقييم القيمة المقدرة للتصحيح δA_{dir} التي لا تساوي الصفر مع ارتياب مخّفض من المخطط المعروف لهوائي القياس، بدلالة التردد وزاوية الورود.

(11) يمكن اعتبار استجابة الاستقطاب المتقاطع من هوائي ثنائي الأقطاب مهملة في العادة. والقيمة المقدرة للتصحيح δA_{cp} لاستجابة الاستقطاب المتقاطع من هوائي دوري لوغاريتمي تساوي الصفر، مع توزيع احتمال مستطيلي الشكل نصف عرضه يساوي 0,9 dB، وهذا يقابل تسامحاً في استجابة الاستقطاب المتقاطع CISPR16-1 يساوي 20 dB.

تعليق: إذا استعمل الهوائي الثنائي الأقطاب كهوائي قياس، يكون التصحيح δA_{cp} مهملاً.

(12) يكون أثر هوائي غير متناظر أكبر، عندما يكون الكبل المتحد المحور الداخل متراصفاً على التوازي مع عناصر الهوائي. والقيمة المقدرة للتصحيح δA_{bal} لهوائي غير متناظر تساوي صفراً مع توزيع احتمالي مستطيلي الشكل، له نصف عرض يقدر من أداء الهوائيات المتوفرة تجارياً.

(13) يمكن أن تكون آثار الحجب كبيرة في حال محطات مراقبة ثابتة.

والقيمة المقدرة للتصحيح δSR_1 تساوي صفراً مع توزيع احتمالي مستطيلي الشكل، نصف عرضه يساوي 1 dB كمثال. ومن الصعب تقدير أثر الحجب في حال بناء مثلاً.

(14) يمكن تخفيض آثار الانعكاسات، بحساب القيمة الوسطى لشدة المجال مع تغيرات ارتفاع الهوائي وتغير موقع المركبة في حال محطات مراقبة متنقلة.

المراجـــع

European Cooperation for Accreditation of Laboratories [April, 1997] Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, EAL-R2; and Supplement 1 to EAL-R2, EAL-R2-S1, November, 1997.

ISO [1993] *International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology*. 2nd Edition, ISBN 92-67-01075-1.

ISO [1993] *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. ISBN 92-67-10188-9.

ISO/IEC Guide 98-1:1995 – Guide for the expression of uncertainty in measurement (GUM).

TAYLOR, B. N. and KUYATT, C. E. [September, 1994] Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results. United States Department of Commerce Technology Administration, National Institute of Standards and Technology, NIST Technical Note 1297.

10.6 معالجة الهوائيات والتنوع المكاني

1.10.6 مقدمة

على الرغم من استعمال معالجة الهوائيات والتنوع المكاني طوال ثلاثة إلى أربعة عقود مضت، فقد جرى تطبيق التكنولوجيا في البداية على أجهزة الاتصالات. وقد طورت تعزيزات الترددات الراديوية والمعالجة المخفضة على نطاق واسع هذه التقنيات في السنوات القليلة الأخيرة، مما أدخل تحسيناً على مقدار البيانات التي يمكن إرسالها، وخفّض مشاكل الخبو والتداخل في نفس التردد إلى أقصى حدّ.

وتستطيع مراقبة الطيف أن تستفيد أيضاً من استعمال هذ التقينات لتكيف أنظمة المراقبة مع التقينات الجديدة ومخططات الإرسال الجديدة. ويؤدي تطوير الأنظمة الخلوية اللاسلكية العريضة النطاق وتطبيقات الطيف المرن إلى تعقيد أكثر فأكثر في البيئة الكهربائية الراديوية، وفي هذه التكنولوجيات في بعض الأحيان.

وتستطيع معالجة الهوائيات تحسين أداء وظائف المراقبة التقنية، مثل تشخيص التداخل والفصل بين الإشارات. ويمكن استمثال تميز المرسلات وتعرفها، وكشف مسببات التداخل وتعرفها، وتحديد المسيرات المتعددة، وتحديد زوايا الاتجاه وتحديد الموقع (تحديد زاوية الوصول (AOA) و/أو تحديد زمن الوصول (TOA)/تفاضل زمن الوصول) وعوامل أخرى.

وتستطيع مراقبة الطيف في بيئة مراقبة صعبة أو معقدة أن تستفيد من تطبيق هذه التقنيات في الحالات التالية:

1 المناطق الحضرية والمواقع الجبلية. ففي هذه الحالات يكثر جداً الحجب بالعوائق والخبو الواضح والانتقائي والانعكاسات بتعدد المسيرات؛

2 إعادة استخدام الترددات من أجل:

- التلفزيون الرقمي مع شبكة وحيدة التردد (SFN) مثلاً؛
- الشبكات الخلوية مثلاً؛

3 تنفيذ توزيع الطيف الدينامي والتقارب حيث يؤدي الاستعمال المتآون لعدة شبكات اتصالات راديوية إلى مرسلات راديوية تتقاسم نفس نطاقات التردد.

وفي هذا السياق، تتسم معالجة الهوائيات بأهمية خاصة بفضل مقدرتها على فصل المرسلات ومسيرات الانتشار.

2.10.6 معالجة الهوائيات ومراقبة الطيف

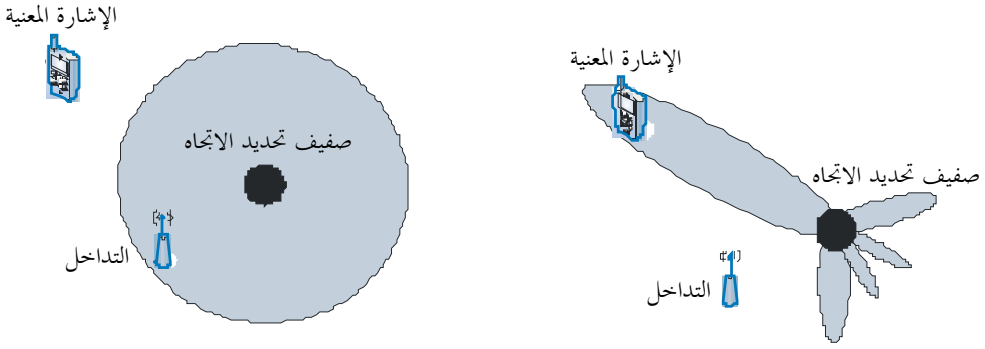
إن الأغراض الرئيسية لمعالجة الهوائيات هي إلغاء التداخل وفصل المرسلات واستمثال الحساسية وإلغاء آثار تعدد المسيرات (وخاصة حالة خبو التردد).

إلغاء التداخل: يحبذ ترشيح الهوائي أحد اتجاهات المرسل ويرفض إشارة التداخل. وبعدئذ يمكن إزالة تشكيل المرسل المعني وقياسه في شروط مثلى.

فصل المرسلات: يفصل ترشيح الهوائي عدة إشارات على نفس التردد، وبعدئذ يمكن إزالة تشكيل المرسلات وتعرفها.

الشكل 1-10.6

مثال عن معالجة الهوائي: تتحسن الحساسية باستحداث حزمة ويلغى التداخل



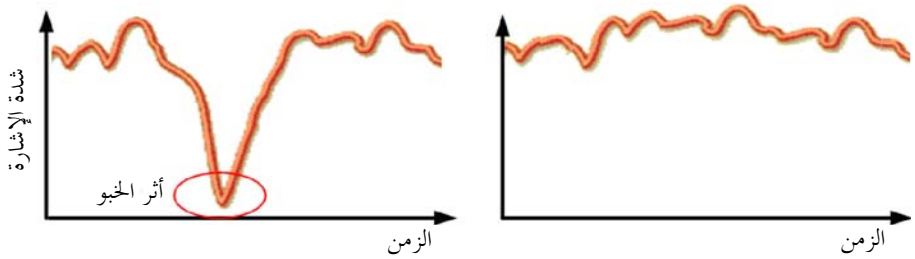
Spectrum-6.10-01

استمثال الحساسية: يمكّن ترشيح الهوائي من تشكيل حزمة رقمية موجهة نحو الإشارة المطلوبة، مما يحسّن الحساسية.

إلغاء الخبو: نتيجة آثار تعدد المسيرات هي إشارة عشوائية تخبو مثل الانعكاسات الهدّامة (أو البنّاءة) التي يتراكب واحدها فوق الآخر، مما يلغي فعلاً جزءاً من طاقة الإشارة لفترة زمنية قصيرة. والهدف من ترشيح الهوائي هو تخفيض هذه الآثار باستعمال التنوع المكاني الذي تقدمه معالجة الهوائيات المتعددة.

الشكل 2-10.6

مثال على إشارة دون معالجة هوائيات: الخبو العميق يمنع إزالة تشكيل المستقبل في الشكل الأيمن، ينخفض أثر الخبو بفعل معالجة الهوائيات والتنوع المكاني



Spectrum-6.10-02

وجميع هذه الوظائفي مهمة لتحسين مهمات المراقبة، مثل تحليل الطيف أو تعّرف المرسل في بيئة معقدة.

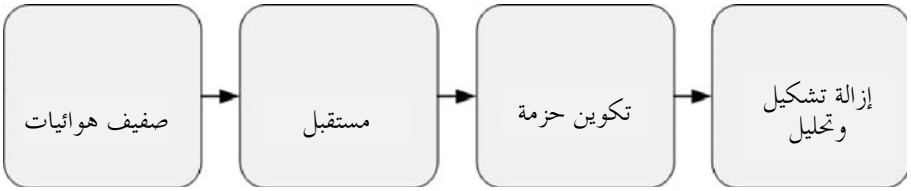
وتقوم معالجة الهوائيات والتنوع المكاني على استعمال أصفة هوائيات متعددة مصاحبة لمستقبلات متماسكة. ويصبح بعدئذ من السهل تنفيذ هذه الوظائف المطلوب استعمالها على التآون في قياس تداخل مترابط متعدد القنوات أو في محددات زوايا الاتجاه باستبانة متقدمة دون أي ارتقاء بالعتاديات ولكن مع برمجية إضافية فقط.

3.10.6 مبادئ معالجة الهوائيات

تكيف معالجة الهوائيات المستقبل مع البيئة المحلية للتردد الراديوي، وذلك باستعمال تعديل لمخطط إشعاع الهوائي في الوقت الفعلي مع فص رئيسي مركّز نحو المرسل المقصود.

الشكل 3-10.6

مخطط لنظام معالجة الهوائيات



Spectrum-6.10-03

وتتألف أنظمة معالجة الهوائيات عموماً من:

– عناصر هوائي متعددة (صفيف هوائي واحد)؛

– مستقبلات متعددة تتضمن معالجة متماسكة؛

– خوارزميات معالجة الإشارة تغير الطريقة التي تستعمل فيها هذه العناصر بحسب السيناريو التشغيلي؛

– معالجة خرج كل واحدة من إشارات الدخل المنتقاة، مثل إزالة التشكيل أو التحليل الطيفي أو التعرف.

1.3.10.6 صفيف هوائيات ومستقبل

إن لاستعمال هوائيات متعددة حسنات عدّة بالمقارنة مع استخدام هوائي وحيد. أولاها استغلال التنوع المكاني الذي يوفر اعتمادية معزّزة في النظام بتخفيض خبو الإشارات إلى أدنى حدّ. وثانيتها تكوين الحزم الذي يركّز الطاقة وبالتالي يقدم إشارة أفضل إلى مستعمل مقصود.

2.3.10.6 تكوين الحزمة

يمكن تعريف نمطين من تقنيات معالجة الهوائي: تكوين الحزمة التقليدي وتكوين الحزمة التكيفي. ويطبق تكوين الحزمة التقليدي عدة مخططات حزمة ثابتة، ويترك انتقاء الحزمة المناسبة لقرار يتخذ. أما تكوين الحزمة التكيفي فيسمح للهوائي بتوجيه الحزمة إلى أي اتجاه مقصود ويعمل في نفس الوقت على إزالة الإشارات المسببة للتداخل.

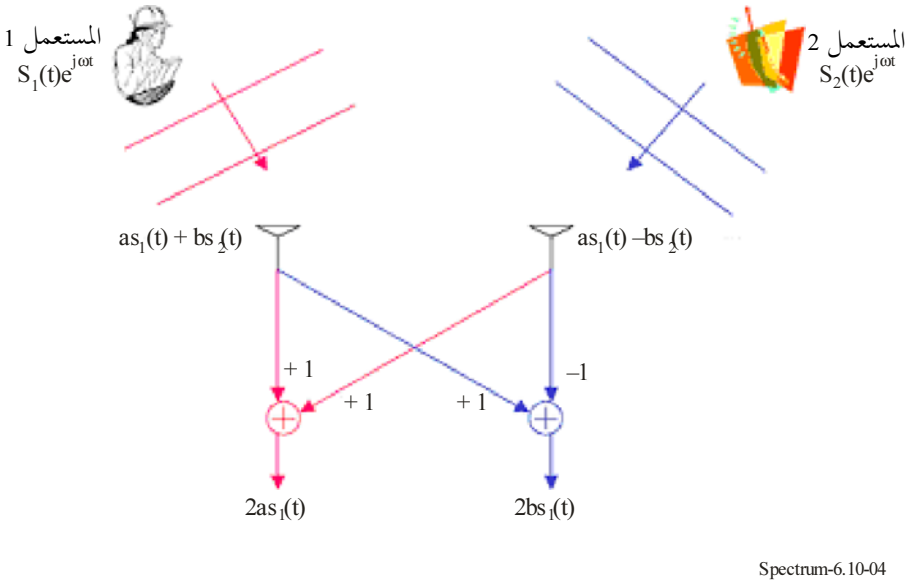
1.2.3.10.6 ترشيح الهوائي أو تكوين الحزمة التقليدي

يولد صفيف من مكوّنات الحزمة إشارة وحيدة القناة من إشارات هوائيات متعددة عن طريق ترشيح الإشارات الإفرادية (مرشحات متكيفة) ثم إضافتها معاً، أي دمج الإشارات خطياً في أوزان تابعة للتردد في الاتساع وفي الطور. ففي وظيفة توزين معينة، يمكن توصيف الاستجابة المكانية لأحد مكوّنات الحزمة بمخطط هوائي يبيّن توقّف كسب الصفيف على الاتجاه.

ويبين الشكل الوارد أدناه سيناريو بسيطاً لتكوين الحزمة التقليدي: من صفيف هوائيات تستقبل إشارة "المستعمل 1" وإشارة "المستعمل 2" وتنتج الخوارزمية نتيجتين بتطبيق وزنين مختلفين على الإشارتين الواردتين.

الشكل 4-10.6

مثال على سيناريو بسيط مع صفيفي هوائيات



2.2.3.10.6 الهوائي التكيفي أو تكوين الحزمة التكيفي

يستفيد تكوين الحزمة التكيفي من التداخل (أو أي إشارات أخرى موجودة عند مستوى صفيف الهوائيات) لتغيير اتجاهية الصفيف بدمج أطوار واتساعات الإشارات القادمة من مختلف الهوائيات بحيث يستمثل مخطط الإشعاع للإشارة المطلوبة.

ويمكن تصنيف طرائق الأصفة التكيفية وفقاً للمعيار المستعمل لانتقاء الأوزان في التغلب على بنية تداخل معين، والخوارزميات المستعملة في تغيير الأوزان في حينها. ومن بين أكثر معايير انتقاء الوزن فائدة إلغاء الضوضاء، وتحليل المتجه الخاص، وتكوين الحزمة المقيّد الوثيق الارتباط بالاتجاه المعروف بالتغيرية الصغرى والأرجحية العظمى للمعيار. وتستخدم إزالة الضوضاء إشارة تداخل فقط لإزالة التداخل المرتبط من إشارة هدف زائد تداخل. ويمكن استعمال تحليل المتجه الخاص لتقدير اتجاهات وصول الإشارات وإلغاء جميع الإشارات ماعدا واحدة منها.

3.3.10.6 إزالة تشكيل والتحليل

عندما تطبق خوارزميات الهوائي التكيفي على إشارة دخل من الصفيف، يمكن إزالة تشكيل الإشارة وتحليلها بغية التعرّف إلى المرسل.

وبفضل استعمال الهوائيات المتكيفة، تتحسن نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) أو نسبة الإشارة إلى مجموع التداخل والضوضاء (SINR)، ويكون الكسب الكلي أعلى لأن القدرة في كل هوائي استقبال قد جرى دمجها دمجاً متماسكاً.

وينتج كسب التنوع عندما توجد قنوات مستقلة ما بين المرسل والمستقبل، بحيث ينخفض احتمال أن تعاني جميع القنوات خبواً عميقاً في نفس الوقت انخفاضاً كبيراً.

11.6 الوثائق المطلوبة

من أجل فعالية العمل في محطات المراقبة، يجب أن تتوفر في كل محطة مجموعة من الوثائق والبرمجيات ذات الصلة.

والوثائقي مطلوبة أيضاً للتعمق في فهم وتطبيق هذا الكتيّب عن مراقبة الطيف.

ويمكن خزن الوثائق بنسق رقمي لتوفير المكان وتسهيل مطالعتها. وتتضمن الفقرات التالية مجموعة من هذا النوع من الوثائق والبرمجيات.

1.11.6 الوثائق الدولية الأساسية والعامة

الوثيقة الأساسية التي تغطي استخدام طيف الترددات الراديوية هي لوائح الراديو الصادرة عن الاتحاد الدولي للاتصالات.

ولوائح الراديو، باعتبارها الصك الأساسي لترتيبات التنظيمات الراديوية الدولية، مبنية على استخدام مفهومين أساسيين:

- توزيعات التردد على خدمات الاتصالات الراديوية المتوائمة فيما بينها والعاملة في أجزاء محددة من الطيف؛
- إجراءات تنظيمية طوعية أو إلزامية (للتنسيق والتبليغ والتسجيل) جرى تكييفها مع بنية التوزيع.

ويجري تطوير لوائح الراديو ومراجعتها واعتمادها في المؤتمرات العالمية للاتصالات الراديوية (WRC)، وينشرها الاتحاد الدولي للاتصالات. ووفقاً للمادة 20 من لوائح الراديو (منشورات الخدمة وأنظمة المعلومات على الخّط) (WRC-07)، يصدر الاتحاد المنشورات التالية التي يمكن إدراجها في وثائق محطات مراقبة الإرسال:

- *القائمة I* – *القائمة الدولية للترددات.*
- *القائمة IV* – *قائمة المحطات الساحلية ومحطات الخدمات الخاصة.*
- *القائمة V* – *قائمة محطات السفن وتخصيصات الهوية في الخدمة المتنقلة البحرية.*
- *القائمة VIII* – *قائمة محطات المراقبة الدولية للإرسالات.*
- *القائمة VIII A* – *قائمة محطات خدمات الاتصالات الراديوية الساتلية وخدمة علم الفلك الراديوي.*

كتّيب تستعمله الخدمتان المتنقلة البحرية والمتنقلة البحرية الساتلية.

ومع ذلك فإن لوائح الراديو تتوجه بشكل أساسي إلى تلك القضايا ذات الصبغة العالمية أو الإقليمية، كما أن هناك مجال في مناطق عديدة لإمكانية وضع ترتيبات خاصة على أساس وطني أو ثنائي الجوانب أو متعدد الأطراف.

2.11.6 الوثائق الدنيا التي ينبغي تيسرها في محطات المراقبة

يحتوي الجدول 6-1.11 على الوثائق الدنيا التي ينبغي أن تتيسر في محطات المراقبة.

ويجب أن تكيف مع المهمات الفردية لكل محطة مراقبة ومع بنية نظام المراقبة بتمامه.

الجدول 1-11.6

الوثائقيات الدنيا التي ينبغي تيسرها في محطات المراقبة

الوثائق الدولية	الوثائق الوطنية
النشرة الإعلامية الدولية للترددات (IFIC) الصادرة عن مكتب الاتصالات الراديوية في الاتحاد في شكل DVD-ROM[1]	جدول توزيعات الترددات الوطنية
خطط الترددات الإقليمية	تخصيصات الترددات الوطنية (قاعدة بيانات)
لوائح الراديو[1]	القوانين الوطنية والصكوك المحلية
الاتفاقات الثنائية والإقليمية	الخرائط (أو الخرائط الرقمية) بمختلف المقاييس[2]
القائمة VIII الصادرة عن الاتحاد (قائمة محطات المراقبة الدولية للإرسالات)[1]	خرائط الطرق وخرائط المدن[2]
القائمة IV الصادرة عن الاتحاد ITU (قائمة محطات الساحلية ومحطات الخدمات الخاصة)[1]	كتيّبات المستعمل وكتيبات الخدمة لجميع التجهيزات
القائمة V الصادرة عن الاتحاد (محطات السفن وتخصيصات الهوية في الخدمة المتنقلة البحرية)[1]، [3]	دليل الهاتف للمنظمة المعنية مع أرقام مهمة أخرى
توصيات القطاع ITU-R[4]	دليل الهاتف العمومي أو وسائل نفاذ أخرى
كتيّب عن مراقبة الطيف[1]	تعليمات العمل
كتيّب عن إدارة الطيف الوطنية	توثيق الحالات[5]

[1] ينبغي أن تتيسر هذه الوثائق على الأقل في محطات المراقبة الراديوية للترددات الديكامترية (HF).

[2] الخرائط مطلوبة في المحطة وفي كل مَرْكبة.

[3] يمكن الحصول على المعلومات الواردة في هذه القائمة من الموقع ITU-MARS (نفاذ متنقل بحري ونظام استرجاع) في الانترنت، (http://www.itu.int/ITU-R/go/mars).

[4] تستعمل توصيات القطاع ITU-R كمرجع. ومع ذلك يمكن تحويل الأساسيات إلى تعليمات قياس.

[5] كما هو مبين في الفقرة 5.2.2، فإن توثيق الحالات الماضية يمكن اعتبارها كمرجع.

3.11.6 توصيات قطاع الاتصالات الراديوية ITU-R

تشكل توصيات القطاع ITU-R مجموعة من المعايير التقنية والتشغيلية الموصى بها للاتصالات الراديوية. وهي نتيجة دراسات قامت بها لجان دراسات الاتصالات الراديوية.

ويصادق على توصيات القطاع ITU-R الدول الأعضاء في الاتحاد. وتنفيذها ليس إلزامياً، فيما عدا التوصيات المدرجة بالإحالة في لوائح الراديو (المجلد الرابع)؛ ولما كانت التوصيات يضعها خبراء من الإدارات ومشغّلون ومزوّدو خدمة ومنظمات أخرى تتعامل مع قضايا الاتصالات الراديوية من شتى بقاع العالم، فإنها تتمتع بشهرة واسعة وتنفذ في العالم أجمع.

وتقسم توصيات القطاع ITU-R إلى سلاسل وفقاً للموضوعات التي تغطيها كما يلي:

BO البث الساتلي

BR التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية

BS الخدمة الإذاعية (الصوتية)

BT الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)

F الخدمة الثابتة

M الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة

P انتشار الموجات الراديوية

RA علم الفلك الراديوي

RS أنظمة الاستشعار عن بعد

S الخدمة الثابتة الساتلية

SA التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية

SF تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة

SM إدارة الطيف

SNG التجميع الساتلي للأخبار

TF إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت

V المفردات والمواضيع ذات الصلة

توصيات القطاع ITU-R وتقاريره منشورة ومتيسرة على صفحتي الاتحاد ITU على شبكة الويب: (http://www.itu.int/rec/R-REC) و(http://www.itu.int/pub/R-REP). كما أنها تنشر مرتين في السنة على أقراص مدمجة.

4.11.6 توصيات وتقارير لجنة الدراسات الأولى (SG 1) للاتصالات الراديوية

هذه هي التوصيات والتقارير التي يضعها القطاع ITU-R والمتعلقة بإدارة الطيف. وهي تتضمن المعلومات الأساسية لمحطات المراقبة.

انظر الموقع (http://www.itu.int/rec/R-REC-SM) بشأن التوصيات والموقع (http://www.itu.int/publ/R-REP-SM) بشأن التقارير.

ملاحظة – ينبغي استعمال أحدث صيغة من التوصيات والتقارير.

5.11.6 كتيّبات القطاع ITU-R

كتيّبات القطاع ITU-R، على غرار توصيات القطاع ITU-R، مجموعة من النصوص التقنية والتشغيلية، مبنيّة على توصيات وتقارير القطاع ITU-R، بشأن الاتصالات الراديوية مع مزيد من الملامح العملية. وهي نتيجة دراسات قامت بها لجان دراسات الاتصالات الراديوية. وهي تراجع وتنشر كل عدة سنوات حسبما وأينما تقتضي الضرورة. وكتيبات القطاع ITU-R ذات الصلة بمهمات المراقبة هي التالية:

لجنة الدراسات الأولى (SG 01) إدارة الطيف

- تقنيات إدارة الطيف بالاستعانة بالحاسوب (CAT)، (http://www.itu.int/pub/R-HDB-01).
- الإدارة الوطنية للطيف، (http://www.itu.int/publ/R-HDB-21).
- كتيب مراقبة الطيف (انظر الملاحظة 1).
- كتيب مراقبة الطيف – إضافة (انظر الملاحظة 1).

الملاحظة 1 – يستعاض عنها بالصيغة الحالية للكتيب الخاص بمراقبة الطيف.

لجنة الدراسات الثالثة (SG 03) انتشار الموجات الراديوية

- Curves for Radiowave Propagation over the Surface of the Earth, (http://www.itu.int/pub/R-HDB-13).
- Ionosphere and its Effects on Radiowave Propagation, (http://www.itu.int/publ/R-HDB-32).
- Radiometeorology, (http://www.itu.int/publ/R-HDB-26).
- معلومات عن انتشار الموجات الراديوية من أجل التنبؤ فيما يتعلق بالاتصالات على المسير أرض - فضاء (http://www.itu.int/publ/R-HDB-27).
- Terrestrial land mobile radiowave propagation in the VHF/UHF bands, (http://www.itu.int/publ/R-HDB-44).
- معلومات انتشار الموجات الراديوية المعدة لتصميم وصلات الأرض من نقطة إلى نقاط، (http://www.itu.int/pub/R-HDB-54).

لجنة الدراسات الرابعة (SG 04) الخدمات الساتلية

- Satellite Communications – Fixed Satellite Service (FSS), (http://www.itu.int/publ/R-HDB-42).

لجنة الدراسات الخامسة (SG 05)الخدمات الأرضية

- Compatibility between the Broadcasting Service in the Band of about 87-108 MHz and the Aeronautical Services in the Band 108-137 MHz, (http://www.itu.int/publ/R-HDB-12).
- أنظمة الرحلات الراديوية الرقمية، (http://www.itu.int/publ/R-HDB-24).
- Land Mobile (including Wireless Access) Volume 1: Fixed Wireless Access, (http://www.itu.int/pub/R-HDB-25).
- Land Mobile (including Wireless Access) Volume 2: Principles and Approaches on Evolution to IMT-2000/FPLMTS, (http://www.itu.int/publ/R-HDB-30).
- كتيب الاتصالات المتنقلة البرية (بما في ذلك اللاسلكي) – المجلد 3: أنظمة الإرسال والمراسلة المتقدمة، (http://www.itu.int/publ/R-HDB-47)
- دليل الاتصالات المتنقلة البرية (بما فيها النفاذ اللاسلكي) – المجلد 4: أنظمة النقل الذكية، (http://www.itu.int/publ/R-HDB-49)
- الانتقال إلى أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية-2000 – الإضافة 1 لكتيب انتشار أنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية-2000، (http://www.itu.int/publ/R-HDB-46)

لجنة الدراسات السادسة (SG 06) الخدمة الإذاعية

- DTTB Handbook – Digital terrestrial television broadcasting in the VHF/UHF bands, (http://www.itu.int/publ/R-HDB-39).
- HF Broadcasting System Design, (http://www.itu.int/publ/R-HDB-33).
- LF/MF system design, (http://www.itu.int/publ/R-HDB-38).

لجنة الدراسات السابعة (SG 07) الخدمات العلمية

- Selection and Use of Precise Frequency and Time Systems, (http://www.itu.int/publ/R-HDB-31).
- انتقاء أنظمة التردد والتوقيت المحكمة واستعمالها، (http://www.itu.int/pub/R-HDB-55).

6.11.6 برمجيات القطاع ITU-R ذات الصلة

خلال السنوات القليلة الماضية طالب عدد متزايد من الإدارات ببرمجيات هندسية لدعم أنشطتها الوطنية والدولية في إدارة الترددات. وقد قدم هذه البرمجيات المشاركون في أعمال لجان الدراسات للاتصالات الراديوية أو مكتب الاتصالات الراديوية.

ويمكن النفاذ إلكترونياً إلى توصيف مفصل للبرامج الحاسوبية المتيسرة التي يمكن أن تكون مفيدة في إدارة الطيف الراديوي، عبر موقع الاتحاد على شبكة (http://www.itu.int/).

ومن أمثلة هذه البرامج:

1. ACP: Antenna Coverage Program.
2. IDWM: ITU Digitized World Map (IDWM) and Subroutine Library.
3. MSAM: Microcomputer spectrum analysis models, (http://ntiacsd.ntia.doc.gov/msam/).
4. Calculation of Ground Waves, (http://www.itu.int/ITU-R/go/rsg3-software-ionospheric).
5. نظام SMS4DC إدارة الطيف للدول النامية.
6. MARS Maritime Mobile Access and Retrieval System the most up-to-date data registered in the ITU master Ship station database, (http://www.itu.int/ITU-R/go/mars).
7. GLAD GLobal Administration Data System: an online data retrieval-system and a central repository of ITU-R common information concerning administrations and geographical areas, (http://www.itu.int/ITU-R/go/glad).

وثمة المزيد من مصارف البيانات والبرمجيات الحاسوبية بخصوص انتشار الموجات الراديوية يمكن الاطلاع عليها في الموقع: http://www.itu.int/ITU-R/go/sg3-dtbank-dbsg3.

7.11.6 مواقع شبكة الويب على الإنترنت

تمثل عناوين الشبكة العالمية العنكبوتية WWW على الإنترنت مواقع على شبكة الويب، فيها معلومات تتعلق بالجوانب المختلفة من مراقبة الطيف وإدارة الطيف.

وينبغي اعتبار شبكة الويب مصدراً مهماً لمعلومات المراقبة والإدارة، مع برمجيات مفيدة يمكن تنزيلها، واعتبارها وسيلة للتفاعل داخل المنظمات الوطنية لإدارة الطيف ومع غيرها من منظمات المراقبة عبر البريد الإلكتروني ووثائق أخرى.

ويعدّد الجدول 2-11.6 مواقع الشبكة العالمية العنكبوتية على الإنترنت التي تخص قراءً يهتمون بالمراقبة الراديوية.

الجدول 2-11.6

مواقع الشبكة العالمية العنكبوتية (WWW) على الإنترنت ذات الصلة بالمراقبة الراديوية

الموضوع	الوصف/عناوين WWW
الدليل العالمي لدى الاتحاد	Administration's Contact Information: www.itu.int/GlobalDirectory/
مكتب الاتصالات الراديوية في الاتحاد	Homepage: www.itu.int/ITU-R/go/rhome
قاعدة بيانات المراقبة في الاتحاد	Monitoring database: www.itu.int/ITU-R/go/terrestrial-monitoring
مراقبة/إدارة الطيف في الاتحاد	Study Group documents: www.itu.int/ITU-R/go/rsg1
توصيات القطاع ITU-R	www.itu.int/publ/R-REC

الجدول 2-11.6 (نهاية)

الموضوع	الوصف/عناوين WWW
كتيبات القطاع ITU-R	www.itu.int/publ/R-HDB
هندسة الاتصالات	International Engineering Consortium (IEC): www.iec.org/
	Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE): www.ieee.org/
	IEEE Antennas and Propagation Society: www.ieeeaps.org/
	IEEE Instrumentation & Measurement Society: www.ieee-ims.org
	IEEE Broadcast Technology Society: www.ieee.org/organizations/society/bt/index.html
	Fraunhofer Institute, Germany: www.iis.fraunhofer.de/en/index.jsp
	Dutch Electronics and Radio Society: www.nerg.nl
	International Amateur Radio Union: www.iaru.org
منظمات إقليمية	Asian-Pacific Telecommunity (A*PT*): www.a*Pt*sec.org
	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CE*PT*): www.ce*Pt*.org
	European Communications Office: www.ero.dk
	Inter-American Telecommunications Commission (CITEL): http://portal.oas.org/Portal/Topic/CITEL/AcercanbspdenbsplanbspCITEL/tabid/379/language/en-US/default.aspx
	Arab Spectrum Management Group (ASMG): www.asmg.ae
	African Telecommunication Union (ATU): www.atu-uat.org/
	Regional Commonwealth in the Field of Communications (RCC): www.rcc.org.ru
منظمات وطنية	Agence Nationale des Fréquences, France: www.anfr.fr
	Federal Communications Commission, USA: www.fcc.gov
	Federal Network Agency, Germany: www.bundesnetzagentur.de
	Industry Canada: www.strategis.gc.ca/spectrum
	Ministry of Communications, Israel: www.moc.gov.il/140-en/MOC.aspx
	Monitoring Earth Station, Leeheim, Germany: http://www.bundesnetzagentur.de/cln_1932/EN/Areas/Telecommunications/TechnicalTelecomsRegulation/SpaceRadioMonitoringStadion/SpaceRadioMonitoringStation_Basepage.html
	National Communications Authority, Hungary: www.nhh.hu
	National Telecommunication Agency, Brazil: www.anatel.gov.br
	U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration radio user's page: www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/globe.html
	Communications Research Centre (CRC), Canada: www.crc.ca
	National Research Council, Canada: www.nrc.ca
	Ukrainian State Centre of Radio Frequencies and Supervision for Telecommunications: www.ucrf.gov.ua
	Solar terrestrial activity report (solar Flux/A index chart): www.solen.info/solar/
	Central Radio Management Office (CRMO), Republic of Korea: www.crmo.go.kr/en
وكالات علمية	U.S. National Science Foundation: www.nsf.gov
	Committee on Radio Astronomy Frequencies: www.craf.eu/
	Institute for Telecommunication Sciences: www.its.bldrdoc.gov

الملحـــق 1
لهذا الكتيب
تخطيط أنظمة المراقبة وعطاءاتها

الصفحة

1A موضوعات يتعين أن تنظر فيها الهيئات التنظيمية قبل إصدار عطاءات 687
2A نظرة عامة لعملية خاصة بعطاء 688
3A مرحلة التحضير: التخطيط 689
1.3A مفهوم لنظام مراقبة راديوي 689
2.3A دراسة الجدوى 690
1.2.3A الهدف من دراسة الجدوى 690
2.2.3A محتوى دراسة الجدوى وهيكلها 691
3.3A خطة العمل 692
4.3A تخطيط النظام وتصميمه 692
1.4.3A استعراض القوانين الحالية والجوانب القانونية 693
2.4.3A استعراض الإجراءات والمنهجيات الحالية 693
3.4.3A استعراض إمكانيات القياس الحالية 693
4.4.3A تقييم السوق 694
5.4.3A قاعدة بيانات إدارة الطيف 694
6.4.3A تحليل هندسة البرامج 694
7.4.3A تقييم نظام الإدارة الوطنية للطيف وتحديد نظام المراقبة 694
8.4.3A تقييم العتاد والبرمجيات 695
9.4.3A الإدارة الوطنية للمشروع 695
5.3A وضع مواصفات النظام 695
1.5.3A المراكز الوطنية والإقليمية ومحطات المراقبة 695
1.1.5.3A تنظيم محطة المراقبة وعدد مواقع المشغلين والتجهيزات 696
2.1.5.3A مهام القياس 697
2.5.3A المواصفات العامة للتجهيزات 699
3.5.3A مركبات وأجهزة المراقبة 700
4.5.3A البرمجيات 700
5.5.3A المتطلبات العامة لوحدات نظام المراقبة 701
6.5.3A مواصفات من أجل الخدمات 701
1.6.5.3A مسح الموقع 701
2.6.5.3A وصلات وشبكة الاتصالات 701

الصفحة

6.3A التدريب 702
7.3A الصيانة والإصلاح 702
8.3A الوثائق 702
4A مرحلة التنفيذ: عملية العطاءات 703
1.4A نموذج للدعوة الخاصة بعطاءات المراقبة 703
1.1.4A ينبغي لوثيقة الدعوة الخاصة بعطاء للمراقبة أن تشتمل على ما يلي: 703
1.1.1.4A الجزء الإرشادي 703
2.1.1.4A المواد الرئيسية في العقد 706
3.1.1.4A المتطلبات التقنية 706
2.4A النموذج الخاص بالعروض المقدمة من مقدِّم العطاء 706
1.2.4A مقدمة 706
2.2.4A الخصائص التقنية العامة 706
3.2.4A وظائف النظام 707
4.2.4A طريقة تنفيذ النظام 707
5.2.4A الضمانات التقنية 707
6.2.4A وصف تفصيلي لما يلي: 707
7.2.4A تقديم الأسانيد 707
8.2.4A المخططات الوظيفية للنظام 708
9.2.4A السعر 708
3.4A نموذج خاص بنسق العقد 708
4.4A تقييم العروض ومقارنتها ومنح العقد 710
1.4.4A الإجراءات التي يحددها الاتحاد الدولي للاتصالات 711
2.4.4A الإجراءات التي يحددها البنك الدولي 711
3.4.4A الإجراءات المتبعة عندما لا تخضع الإدارة المشترية لإجراءات الاتحاد الدولي للاتصالات أو لإجراءات البنك الدولي 714
5A المرحلة النهائية: إجراء القبول 715
1.5A القبول بالمصنع 715
2.5A إجراء اختبار القبول في الموقع 715
1.2.5A القبول (أو القبول المؤقت في حالة القبول المشروط والنهائي) 715
2.2.5A القبول النهائي 716
التذييل 1 للملحق 1 717
التذييل 2 للملحق 1 723
قائمة بأسماء المختصرات الواردة في هذا الكتيب 726

1A موضوعات يتعين أن تنظر فيها الهيئات التنظيمية قبل إصدار عطاءات

يجب على كل هيئة تنظيمية وطنية للاتصالات الراديوية تفسير وتنفيذ أحكام لوائح الراديو الصادرة عن الاتحاد الدولي للاتصالات والتي لها قوة معاهدة دولية. كما أن عليها أن تنفذ الأحكام الت

شريعية الوطنية للقوانين والقواعد المستمدة منها المتعلقة بالاتصالات. كما يجب إلزام مختلف مستعملي الاتصالات اللاسلكية، المنتشرين في جميع أنحاء البلاد، بالامتثال للأحكام الخاصة بالتخويلات/التراخيص. وهيئة المراقبة هي بمثابة الهيئة الميدانية للهيئة التنظيمية التي توفر بيانات عملية تتعلق بإدارة الطيف الترددي، بما في ذلك مراقبة وتنظيم الشبكات اللاسلكية بهدف ضمان عمليات تشغيل خالية من التداخل لكل الشبكات.

وتُكلف هيئة المراقبة بجميع المسؤوليات اللازمة من أجل ضمان الاستعمال المتماسك والمكثف للاتصالات الراديوية في البلاد. وتتعلق الجوانب التالية بتخطيط الطيف الترددي وتنسيقه وتنظيمه في السياق الوطني:

أ) الوصول إلى الحد الأمثل في استخدام الطيف الراديوي باتباع أحدث المعايير والممارسات الدولية في إدارة الطيف ووظائف مراقبة الاتصالات اللاسلكية؛

ب) الاستفادة من موارد المدارات/الترددات وحمايتها من أجل الأنظمة الساتلية الوطنية والأنظمة الفضائية الأخرى من خلال نشر الأنظمة الوطنية والإبلاغ عنها وتسجيلها مع الاتحاد الدولي للاتصالات وضمان الحماية المستمرة من الأنظمة الجديدة لدى البلدان الأخرى؛

ج) تحديد الاحتياجات من الطيف للشبكات اللاسلكية الجديدة وتخصيص التردد المناسب (الترددات المناسبة) والقدرة وعرض النطاق والبث وساعات التشغيل، وغيرها من المعلمات التقنية، إلى جانب الأحكام التشغيلية والتنظيمية والإدارية الملائمة لها؛

د) التصريح بتركيب وتشغيل المحطات اللاسلكية بتحديد جميع المعلمات التقنية والتشغيلية اللازمة، مثل تردد التشغيل والقدرة والبث وساعات التشغيل، وما إلى ذلك؛

ه) وضع اللوائح والمعلمات التقنية والمعايير التي تحكم استعمال كل نطاق ترددي أو تردد محدد من جانب محطات الخدمات الراديوية المختلفة مع مراعاة اللوائح والاتفاقات الدولية السارية؛

و) الاضطلاع بعمل تنسيقي خاص من أجل استعمال الأنظمة/التجهيزات الراديوية في الحالات الخاصة، مثل الكوارث الطبيعية وما شابهها؛

ز) الحفاظ على جميع المعلومات الخاصة بأنظمة الاتصالات الراديوية المرخصة، مثل الترددات ومواقع المحطات والقدرة والرموز الدليلية للنداءات، وغيرها مع مداومة تحديثها.

وتدعم المراقبة الراديوية كل هذه الوظائف حيث إنها جزء هام من عملية إدارة الطيف. وتؤدي المراقبة الراديوية دوراً هاماً في التخطيط والهندسة والتوافق الكهرمغنطيسي وفي ضمان الامتثال للمعلمات المرخصة/المصرح بها. وفي حقيقة الأمر، تُعرف المراقبة بأنها عين وأذن إدارة الطيف.

وتقدم الفصول الأخرى من هذا الكتيب الخاص بمراقبة الطيف الكثير من المواصفات التفصيلية لجميع أنماط محطات المراقبة وتجهيزاتها وإجراءاتها. ويقدم هذا الملحق استعراضاً شاملاً لنوع التخطيط والدراسات والإجراءات المطلوبة عند إنشاء نظام مراقبة يغطي البلد بأكمله أو محطة مراقبة ثابتة أو متنقلة.

فإذا كان يتعين استعمال طيف الترددات الراديوية بشكل منصف واقتصادي وفعّال وبأسلوب رشيد، فإنه يتعين ضمان قدر مناسب من قابلية التكرار الراديوي، فضلاً عن اعتماد التجهيزات وأنظمة المراقبة الملائمة.

2A نظرة عامة لعملية خاصة بعطاء

عندما تقرر إدارة وطنية ما استحداث نظام مراقبة خاص بها يغطي البلد بأكمله، أو محطة مراقبة محلية جديدة أو مجرد نظام قياس وحيد متنقل، فإن العمل الخاص بأي مشروع منها من أجل تنفيذ الهدف المحدد ينقسم إلى ثلاث مراحل (انظر الشكل A1-1).

مرحلة الإعداد: التخطيط

- مفهوم نظام المراقبة الراديوي.
- دراسة الجدوى.
- خطة العمل.
- تخطيط النظام.
- مواصفات الأنظمة.

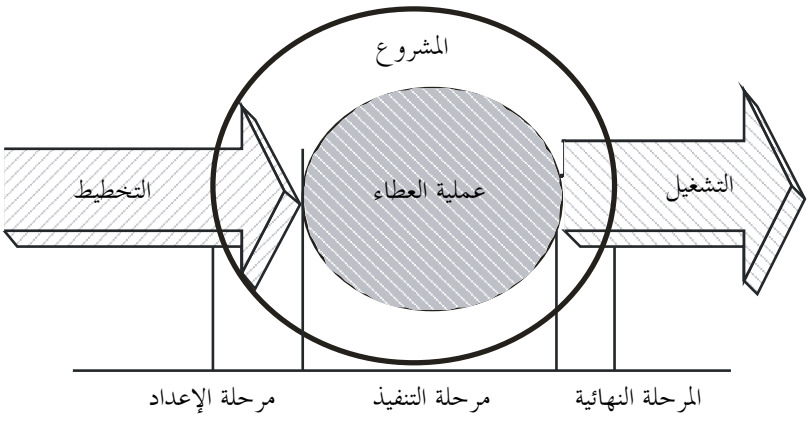
مرحلة التنفيذ: عملية العطاء

- دعوة للبدء في عطاءات الشراء العمومية (النظر في أهلية المناقصين، تحديد دواعي سحب الأهلية فيما يتعلق بتنفيذ العقد).
- دعوة للمناقصات (بما في ذلك توضيح مواصفات المناقصين).
- تقديم المناقصين للعروض.
- تقييم العروض المستلمة (بما في ذلك طلب توضيحات).
- قرار منح العقد.
- توقيع العقد ودخوله حيز النفاذ.

المرحلة النهائية: إجراءات القبول، التشغيل

- إجراءات القبول من المصنع وإجراءات القبول المؤقت والنهائي.
- التدريب والصيانة والإمداد بقطع الغيار.
- بدء التشغيل.

الشكل A1-1



Spectrum-A1-01

3A مرحلة الإعداد: التخطيط

يصف هذا القسم المراحل المختلفة التي يمكن أن تؤدي إلى إعلان التماس عطاءات بشأن نظام مراقبة جديد كامل أو جزء (أجزاء) منه، بما يؤدي في النهاية إلى الحصول على التجهيزات.

وفي حال ما إذا كان المطلوب تغيير جزء واحد فقط من نظام مراقبة قائم أو جزء من التجهيزات، لا تكون هناك حاجة إلى بعض هذه المراحل.

وعند الحاجة إلى نظام مراقبة جديد كامل، يجب استيفاء عدد من الشروط الأساسية من أجل الوصول إلى نظام مراقبة يلبي احتياجات المراقبة لدى الهيئة التنظيمية والميزانية المتاحة، وما إلى ذلك.

ويرد شرح المراحل التالية أدناه:

- مفهوم نظام المراقبة الراديوي.
- دراسة الجدوى.
- خطة العمل.
- تخطيط النظام وتصميمه.
- وضع مواصفات النظام.

1.3A مفهوم نظام المراقبة الراديوي

على نحو ما تم شرحه في الفصل 1 من هذا الكتيب، تعرَّف إدارة الطيف بأنها العملية الإجمالية التي تنظم وتدير استعمال طيف الترددات الراديوية. ويتمثل الهدف من إدارة الطيف في تعظيم كفاءة استعمال الطيف وتخفيض التداخلات إلى الحد الأدنى. وتشكل القواعد واللوائح القائمة على التشريعات ذات الصلة الأساس التنظيمي والقانوني لعملية إدارة الطيف. وتوفر قواعد البيانات والمعلومات، التي تتضمن التفاصيل الخاصة بجميع المستعملين المخولين للطيف الترددي، الأساس الإداري والتقني للعملية. ومن شأن تحليل المعلومات التي تضمها قواعد البيانات المذكورة أن يسهّل من عملية إدارة الطيف مما يؤدي إلى الخروج بقرارات بشأن توزيع الطيف وتخصيص الترددات ومنح التراخيص. وتوفر مراقبة الطيف عدة أمور من بينها الوسائل اللازمة للحفاظ على سلامة عملية إدارة الطيف ويمكن تعريفها بأنها العملية الخاصة برصد طيف الترددات الراديوية والإبلاغ عن استعماله.

وعند تعريف المفهوم التشغيلي، يتعين تناول العناصر التالية:

- أتمتة إدارة البيانات وعملية مراقبة الطيف باستعمال البرمجيات الحاسوبية الملائمة. وتعتبر البرمجيات والتجهيزات الحاسوبية الخاصة بأنشطة مراقبة الطيف ذات طبيعة متخصصة. وبناء على ذلك، يعد توفير ما يكفي من مواد من الأمور الضرورية لهذه الأنشطة.
- تعزيز إقامة المرافق المؤتمتة لمراقبة الطيف وعمليات مسح الضوضاء الراديوية وتحديد الاتجاه، وذلك في الأسلوبين الثابت والمتنقل على السواء (بمقدرات تصل حتى 3 GHz).
- توفير تسهيلات مراقبة متخصصة لنطاق الموجات الصغرية والنطاقات الترددية الأعلى الأخرى وللخدمات المتخصصة حتى 50 GHz وما فوقها.
- تعزيز إقامة مرافق المراقبة الساتلية للأنظمة الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض (GSO) وغير المستقرة (non-GSO) بالنسبة إلى الأرض.
- بنية الهيئة (قوام الموظفين) وتعاملها مع الهيئات الأخرى، خاصة من خلال إدارة الطيف.
- البنى التحتية القائمة والمطلوبة.
- تدريب الأفراد بشأن الاختصاصات المؤسسية وبناء القدرات، وما إلى ذلك.

ويتم تناول هذه العناصر في الأقسام التالية.

وحالما يتم تحديد المفهوم التشغيلي، ينبغي تحليل نسبة العائد إلى التكلفة لتقييم مدى تلبية متطلبات الإدارة بأسلوب فعّال من حيث التكلفة. وهذا الأمر ضروري دوماً، سواء كان التخطيط لنظام جديد أم لتحديث أو تعديل نظام قائم.

2.3A دراسة الجدوى

1.2.3A الهدف من دراسة الجدوى

دراسة الجدوى عنصر أساسي عند البدء في عملية العطاء. وتعد الدراسة مطلوبة لتحليل البدائل ودراسة تأثير التطورات على احتمالات القياس المستقبلية والوصول إلى أفضل الحلول، بما في ذلك تصور التأثير الذي يطول مسؤوليات إدارة الطيف إذا تقرر عدم شراء تجهيزات جديدة.

وينبغي للدراسة أن تجيب كذلك على السؤال التالي: ما هي المزايا المتحققة من التطور التكنولوجي بالنسبة للهيئة وبالنسبة لمجتمع المعلومات ومستعملي الطيف الترددي؟

وينبغي أن يؤخذ في الاعتبار عند وضع التخطيط التقني لأجهزة أو أنظمة القياس والمراقبة المقدرات التقنية والعمر الافتراضي للأجهزة أو الأنظمة المتاحة ومعدل استهلاكها.

وفي معرض التخطيط لأجهزة أو أنظمة القياس وتطويرها، ينبغي توصيف البنود التالية وأخذها في الاعتبار:

- مناطق التغطية للمراقبة بناء على:
  - ’1‘ مسؤوليات الهيئة التنظيمية؛
  - ’2‘ مساحة البلد؛
  - ’3‘ كثافة استعمال الطيف في أنحاء البلد؛
  - ’4‘ الحاجة إلى عناصر وظيفية أخرى من عملية إدارة الطيف، مثل أقسام تخطيط الترددات ومنح التراخيص والإنفاذ؛
  - ’5‘ مسؤولية خدمة المراقبة؛
  - ’6‘ الاستعمال المخطط له في المستقبل للاتصالات الراديوية في البلد.
- مهام القياس المستقاة من البيئة التنظيمية.
- المواصفة (المواصفات) التقنية للتجهيزات والتي لها صلة بمهام القياس.
- الحاجة إلى نظام قياس شامل أو إلى نظام قياس مصمم خصيصاً لإجراء أنواع معينة من القياسات.
- عدد المحطات (النائية) الثابتة ومواقعها.
- وظائف وحدات المراقبة المتنقلة.
- عدد الوحدات المتنقلة وأنماطها.
- شراء نظام جاهز أو تكوين نظام من المكونات الفردية.
- الدمج ضمن نظام قائم أو شراء نظام قائم بذاته.
- ضرورة النفاذ عن بعد إلى قواعد بيانات القياس و/أو إدارة الترددات.
- مدى الاعتماد على مُوَرِّد وحيد.
- الأسعار وتكلفة المتابعة.

وينبغي أن يتناسب عمق دراسات الجدوى وتكاليف المساهمين الخارجيين مع قيمة الاستثمارات.

2.2.3A محتوى دراسة الجدوى وهيكلها

تحقيقاً للهدف من الدراسة، يجب أن يحدد في الدراسة بدقة الغرض التقني المبتغى والهيكل وإجراءات التنفيذ والموارد اللازمة (المالية والبشرية) والبدائل المحتملة والتاريخ المتوقع للانتهاء من العمل.

وينبغي أن تحدد الدراسة بالتفصيل الموضوعات الواردة أدناه:

- تعريف موضوع الدراسة.
- البيئة القانونية والتنظيمية وتحليل لأسواق الاتصالات.
- تحديد سبب الدراسة والهدف منها:
  - '1' معلومات أساسية ومبررات إقامة نظام مراقبة جديد؛
  - '2' هيكل نظام المراقبة المقرر تنفيذه؛
  - '3' مهام (جديدة) لخدمة المراقبة، بما في ذلك أمداء الترددات المقرر تغطيتها، وما إلى ذلك؛
  - '4' التجهيزات القائمة تقادمت ولا تقوم بالقياسات المطلوبة؛
  - '5' مدى قابلية تجهيزات القياس القائمة للاستعمال وتكاملها؛
  - '6' تزويد خدمة المراقبة بأحدث نظام أو أنظمة تقنية؛
  - '7' تحسين فعالية وكفاءة أسلوب العمل المتبع من قبَل موظفي المراقبة؛
  - '8' عدد الموظفين المطلوبين لتشغيل نظام جديد؛
  - '9' الكفاءة التقنية المطلوبة للموظفين؛
  - '10' نظام معلومات وإدارة للبيانات؛
  - '11' حسابات اقتصادية.
- بدائل تنفيذ المشروع.
- عمليات التطوير الأخرى المتوقعة.
- الجدول الزمني للدراسة.
- تخطيط الموارد:
  - '1' الموارد البشرية (لمراحل الإعداد والتنفيذ والتشغيل)؛
  - '2' الموارد المالية (لمراحل الإعداد والتنفيذ والتشغيل).
- إدارة المخاطر:
  - '1' تحديد عوامل المخاطر؛
  - '2' تصنيف المخاطر؛
  - '3' تحليل آثار المخاطر؛
  - '4' بناء على التحليل، صياغة سياسة مناسبة لإدارة المخاطر.

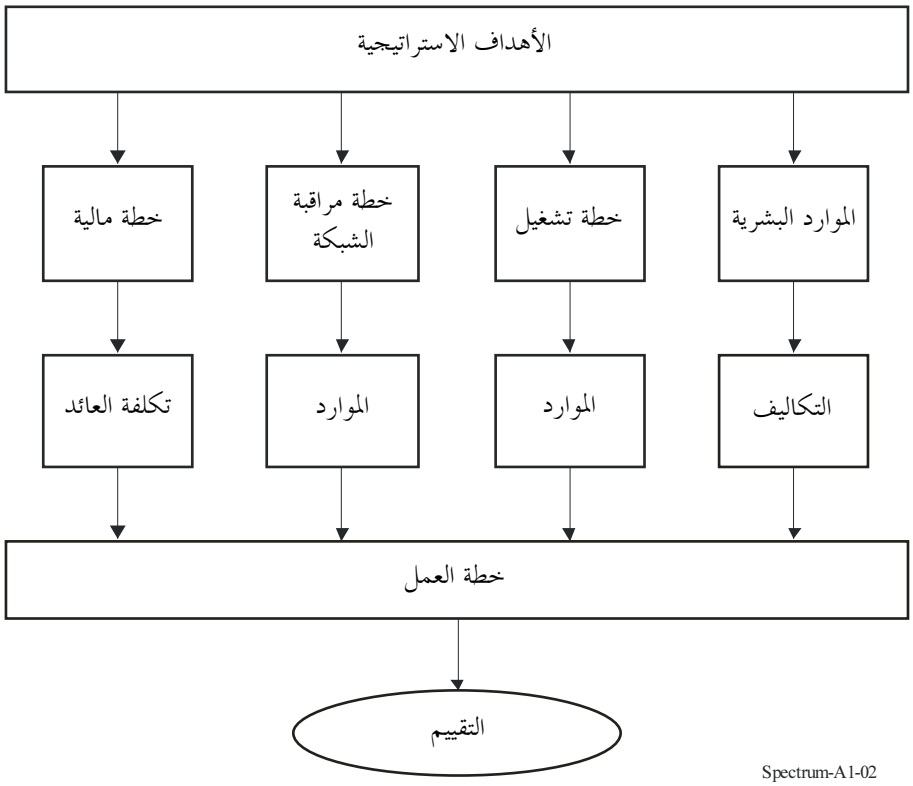
3.3A خطة العمل

يقوم بإعداد الدراسة الخاصة بمتطلبات أي نظام هيئة الإدارة و/أو استشاريون.

وقد يكون العطاء ضرورياً في حالة استبدال تجهيزات وفي الحالة التي يتعين فيها تعديل بعض أجزاء العملية (انظر الشكل A1-2).

الشكل A1-2

خطة عمل وطنية لإدارة المراقبة



4.3A تخطيط النظام وتصميمه

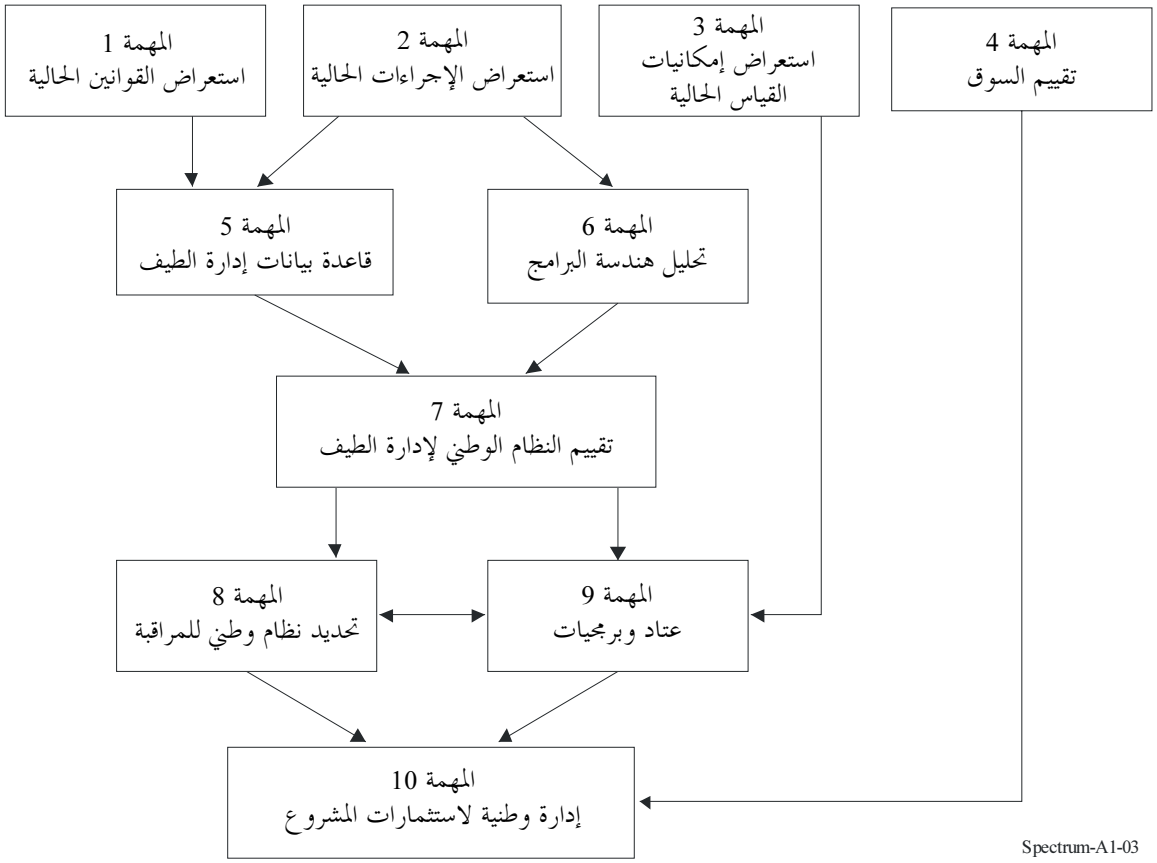
يعرض هذا القسم نهجاً تقنياً ومنهجية لوضع جدول بالشروط الخاصة بإنشاء نظام وطني لإدارة الطيف ومراقبته تراعى فيها الأهداف المذكورة في الفصول السابقة. وعلى هذا النحو، تتيح المبادئ المشروحة وضع هيكل لإدارة الطيف يقوم على وظائف أساسية بحيث يتم تحقيق ما تم شرحه في كتيب قطاع الاتصالات الراديوية بشأن الإدارة الوطنية للطيف.

ويتم تجميع بعض وظائف النظام أو على العكس تقسيمها إلى وظائف فرعية، وذلك حسب التقاليد المرعية في البلد المعني وموارده، الأمر الذي ينعكس على حجم الهيئة المعنية.

وتقوم المنهجية الموضحة في الشكل A1-3 على 10 مهام مختلفة، حيث يؤخذ في الاعتبار جميع الجوانب القانونية والتقنية الناشئة عن إدارة الطيف في بيئة عالمية.

الشكل A1-3

خطة وطنية لإدارة ومراقبة الطيف



ويفترض هذا النموذج للعطاءات أن تكاليف الأراضي وإقامة المباني وخدمات المرافق العامة (المياه والمجاري والهاتف والكهرباء والوقود، وما إلى ذلك) تتحملها الهيئة القائمة بالتماس العطاء.

1.4.3A استعراض القوانين الحالية والجوانب القانونية

تتيح المهمة 1 للإدارة فرصة الإلمام بالقوانين الجديدة والقائمة، على الصعيدين الإقليمي والعالمي، والتي تنظم استعمال الطيف. ومن تآلف هذه الدراسات المرتبطة بمعرفة القانون الوطني للبلد، يمكن وضع إطار قانوني وطني ملائم.

2.4.3A استعراض الإجراءات والمنهجيات الحالية

يتعين مراعاة هذه المهمة من جانب الأشخاص المسؤولين عن إدارة الطيف ومراقبته. إذ يتعين استعراض وتقييم التنظيم المخطط له للهيئة المعنية بعمليات التنظيم والإدارة على السواء. ويتعين أن يؤخذ في الحسبان كل من الإطار وعمليات الإدارة. كما يتعين وضع إطار ينسق بصورة مناسبة طلبات الحصول على التراخيص وتخصيص ومنح الترددات، فضلاً عن المدفوعات المتصلة بذلك. وستستخدم هذه المعلومات لإنشاء نظام عام لمعالجة البيانات يلائم احتياجات إدارة الطيف ومراقبته.

3.4.3A استعراض إمكانيات القياس الحالية

لا بد، في أثناء مرحلة التخطيط، من استعراض مقدرة أجهزة القياس الحالية وملاءمتها. ويجب تحديد ما هي إمكانات القياس الكافية للحفاظ على المستوى الحالي وما هي الإمكانات التي يجب تحسينها بفضل المشروع لتلبية متطلبات القياس في المستقبل.

كما يجب كذلك استعراض إمكانية دمج التجهيزات المشتراة حديثاً ضمن النظام أو الأنظمة القائمة.

وإضافة إلى ذلك، يجب استعراض الاحتياجات من العمالة في المستقبل في ضوء مهام القياس الجديدة.

4.4.3A تقييم السوق

إن استعمال الطيف الراديوي ومدى قابلية استعماله من الشروط الأساسية اللازمة لعمل سوق الاتصالات على ما يرام. ونظراً إلى أن الطيف الراديوي مورد طبيعي محدود، فإن السبيل الوحيد لتلبية الطلبات المتزايدة من سوق الاتصالات على هذا المورد هو استنباط تكنولوجيات تشكيل جديدة (مثل التحول الرقمي) وفتح نطاقات ترددية جديدة. وعند التخطيط لإنشاء نظام مراقبة للطيف، يجب على القائمين على هذا الأمر أن يدركوا تماماً ما هي الطلبات الطويلة الأمد على الطيف في سوق الاتصالات وما هي خصائص تكنولوجيات التشكيل الجديدة والنطاقات الترددية الجديدة المنتظر فتحها. ونظراً للتطور السريع في أنظمة القياس، ينبغي بذل مزيد من الحرص لتحاشي تقادم أي نظام جديد، حتى بعد فترة قصيرة من بدء تشغيله.

5.4.3A قاعدة بيانات إدارة الطيف

تسمح قاعدة بيانات إدارة الطيف بتحليل عناصر البيانات من حيث الكم والكيف. ويعد هذا الأمر ضرورياً من أجل إدارة فعالة للطيف في البلد. وينطوي ذلك على تحليل البيانات وكذلك متوسط ما يتوفر منها ورقياً أو إلكترونياً ودمجها في النظام الجديد لمعالجة المعلومات الذي سيعمل على ترشيد تدفق المعلومات ويضمن تخزينها. (انظر التوصية ITU-R SM.1413 – قاموس معطيات الاتصالات الراديوية لأغراض التبليغ والتنسيق).

6.4.3A تحليل هندسة البرامج

ينبغي تحديد الجوانب الوظيفية والوحدات النموذجية للتطبيقات الهندسية اللازمة وينبغي أن تضم بالدرجة الأولى ما يلي:

- هوامش الترددات؛
- تحليل الأنظمة الهندسية؛
- التداخلات والتوافق الكهرمغنطيسي؛
- حساب فوترة العائدات؛
- التفتيش؛
- التصديق – الموافقة؛
- التقارير/النسب.

ويجب أن توصَّل هذه الوحدات البرمجية للتطبيقات مباشرة بقاعدة بيانات إدارة الشؤون الإدارية. ويضم الفصل 8 من كتيب قطاع الاتصالات الراديوية – الإدارة الوطنية للطيف، قائمة بالوحدات الأساسية والخيارية المطلوبة.

7.4.3A تقييم نظام الإدارة الوطنية للطيف وتحديد نظام المراقبة

يتم في هذه المهام تحديد مقدرات ومتطلبات مراقبة الترددات من أجل نظام مراقبة يتسم بالكفاءة على مستوى البلد بأكمله. وتتطلب الحاجة إلى نظام تنظيمي، مثالياً، إقامة مكاتب إدارية وطنية وإقليمية على السواء وأنماط مختلفة من محطات المراقبة. ويمكن في بعض الحالات إقامة المكاتب الإدارية ومحطات المراقبة في نفس المباني ولكن محطات المراقبة لا تحتوي جميعها على مرافق متماثلة.

فبعض محطات المراقبة يتعين عليها أن تراقب طيف الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF) فقط، في حين يتعين على محطات أخرى مراقبة الترددات تحت الموجات المترية و/أو فوق الموجات الديسيمترية. وسيكون تحديد موقع المرسلات ومصادر التداخلات المجهولة واحداً من الأنشطة الرئيسية التي تحتاج إلى إمكانيات مناسبة لتحديد الاتجاه وتضم محطات متنقلة.

والأهداف الرئيسية لنظام المراقبة الراديوية هي دعم الأنشطة الأولية المطلوبة في الإدارة الوطنية للطيف، فضلاً عن التحقق من مدى الامتثال لتوزيعات الترددات الإقليمية والعالمية للاتحاد الدولي للاتصالات وكذلك الامتثال للترددات الموزعة بموجب

اتفاقات ثنائية. ولكي يكون نظام المراقبة الراديوية فعالاً، يجب أن تغطي جميع المراكز الرئيسية للسكان في البلد بأكمله بصفة مستمرة. ويرد في هذا الكتيب وصف المهام والأنشطة التي يتعين لأنظمة المراقبة الراديوية الاضطلاع بها وكذلك التجهيزات اللازمة. ويتم توثيق عملية وضع المواصفات التقنية وخطوات التشغيل الخاصة بنظام مراقبة تنظيمي وطني. ويجب أن تراعي هذه المهام قواعد بيانات إدارة الترددات القائمة و/أو تطورها وكذلك رزم برمجيات التخطيط المصاحبة التي ستحتاج إليها السياسات الإدارية.

8.4.3A تقييم العتاديات والبرمجيات

طبقاً للاحتياجات من معالجة البيانات (عتاديات وبرمجيات) إضافة إلى تجهيزات مَركبات التفتيش المذكورة في خلاصات المهام 5 و7 و8، يجب على الخبراء المخصصين لهذه المهمة استمثال و/أو توجيه الحلول المستنتجة استناداً إلى معايير التكلفة من حيث الصيانة/التكوين.

9.4.3A الإدارة الوطنية للمشروع

عند الانتهاء من تصميم الشبكة، يقوم مدير المشروع ومهندس البيانات والمحلل المالي بتحديد متطلبات التكاليف الرأسمالية والاستثمارات بالنسبة لشبكة مراقبة الطيف. ويفترض أن جزءاً من الشبكة الوطنية يمكن توفيره باستخدام المرافق القائمة أو تعزيز البنى التحتية القائمة. وسيكون من الضروري تقييم قيود الميزانية التي قد يفرضها البلد على مشروع برنامج الطيف، بحيث يمكن وضع مفهوم النظام ومواصفاته في إطار هذه القيود. وفي حالة الميزانية المحدودة، تقوم اللجنة بوضع توصيات بشأن برنامج بالمراحل الزمنية يفي بمتطلبات الميزانية ويلبي في الوقت ذاته المتطلبات العاجلة لمراقبة الطيف. وإلى جانب هذه الدراسة - الملخص الاستثماري للمشروع – تقوم اللجنة بإعداد تقرير عن المشروع يضم وثائق العطاء لتقديمها للسلطات الوطنية.

5.3A وضع مواصفات النظام

1.5.3A المراكز الوطنية والإقليمية ومحطات المراقبة

تميل إدارات البلدان الصغيرة إلى أن يكون لديها مركز مراقبة وطني وعدد مناسب من محطات المراقبة الثابتة و/أو المتنقلة التي يتم التحكم فيها مباشرة عن طريق مركز المراقبة الوطني. وقد تجد الإدارات في البلدان الأكبر أن من الأفضل أن يكون لديها مراكز مراقبة إقليمية إضافة إلى المركز الوطني. وفي الحالتين، يمكن لمركز المراقبة الوطني أن يضم أيضاً مركزاً وطنياً لإدارة الطيف لتوفير إدارة ومراقبة للطيف الراديوي على نحو متكامل مؤتمت.

وتكمل محطات المراقبة المتنقلة شبكة المحطات الثابتة. وعملياً تتمتع المحطات المتنقلة بنفس إمكانيات القياس التي تتمتع بها محطات المراقبة الثابتة، ولكن بالإمكان تركيبها بسهولة في أي مكان في البلد بحيث تتمكن من مراقبة مناطق مختلفة.

وتتمتع بعض محطات المراقبة المتنقلة (مركبات التحقق من التداخلات وقياس التغطية وقياس شبكات الموجات الصغرية)، طبقاً لوظائفها، بإمكانيات قياس متخصصة.

ورغبة في تحديد أنماطها والعدد اللازم منها، ينبغي السعي لتحقيق التجميع الأمثل وسعة القياس المثلى خلال مرحلة التخطيط.

وفي حالة المحطات المتنقلة، ينبغي أن يراعى التواتر المطلوب لمهام القياس وأن يوضع في طليعة المعايير عند تحديد العدد اللازم من هذه المحطات.

وأثناء تخطيط سعة القياس للنظام، يتوقف العدد اللازم من المحطات الثابتة على حجم وظروف الأرض في المنطقة، فضلاً عن مدى الترددات المقرر مراقبته.

وعند تصميم محطة مراقبة متنقلة، يجب الوصول إلى حل وسط بين كامل طاقم التجهيزات والميزانية والقيود المفروضة على وزن المركبة والفراغ المتاح فيها. وبالتالي، يجب تقرير ما إذا كان ينبغي تدبير مركبة للأغراض العامة أم مركبة متخصصة للمهمة المحددة.

ومن الاعتبارات الهامة أيضاً بالنسبة للمركبات المستخدمة هي شبكة الخدمات المتاحة في البلد والإمدادات من قطع الغيار.

1.1.5.3A تنظيم محطة المراقبة وعدد مواقع المشغلين والتجهيزات

يجب تحديد النقاط التالية:

مركز التحكم/محطة المراقبة	المنظمة/المهام/الوسائل/التعاملات
الوضع التراتبي	وطني/إقليمي/محلي/غير ذلك
توزيع المسؤوليات	مدى الترددات (مثلاً، نطاق الموجات الميريامترية (VLF) حتى الموجات الديكامترية (HF) و/أو الموجات المترية/ الديسيمترية (VHF/UHF) و/أو الموجات السنتيمترية (SHF)) الخدمات المقرر مراقبتها ومناطق الخدمات قائمة بمحطات المراقبة الواجب التحكم فيها مباشرة وقائمة بالمحطات المتنقلة قائمة بمراكز التحكم التابعة الأدنى مستوى
تنظيم العمل	المعمارية (المعماريات) الحاسوبية أو الشبكية القائمة، برمجيات لأغراض الأتمتة ويحدد ما يلي بالنسبة لعدد مواقع المشغلين: – ساعات التشغيل/عدد المناوبات – التسلسل الهرمي وتقاسم المسؤوليات بين المشغلين – إجراءات متابعة المهام/التقارير/الوثائق (تُحدد) أرشفة الطرائق والوسائل (بيانات، مواد سمعية، الفاصل الزمني...) وسائل الإبلاغ الشواغل والإجراءات الأمنية
وصف مواقع العمل	التحكم في جميع وظائف المحطات البعيدة أم بعضها مهام برنامج أمْ مهام مؤتمتة محددة للإدارة خارج الخط في المحطات النائية إجراء حسابات الموقع وعرض النتائج النفاذ (التفاعلي) إلى قاعدة البيانات للاطلاع على الملفات التقنية لإدارة الترددات عرض المعلومات الجغرافية إصدار التقارير المؤتمتة الوقت المتوقع للاستجابة (يُحدد لكل مهمة) العدد الأقصى من التوصيلات المتآونة مع المحطات النائية ونمط هذه التوصيلات (بيانات، رتبة صوتية أم مواد صوتية بدرجة صوتية إذاعية ...) العدد الأقصى من التسجيلات المتآونة (إذا تمت في مركز التحكم) الواجهة بين الإنسان والآلة: اللغة (اللغات) ونظام التشغيل وقاعدة البيانات
التفاعل مع نظام إدارة الترددات	هل يوجد نظام محوسب لإدارة الترددات؟ وما هو هذا النظام، إن وجد؟ هل التفاعل مع نظام إدارة الترددات مطلوب؟ مدى توفر قاعدة بيانات محلية لإدارة الترددات؟
نظام المعلومات الجغرافية (GIS)	ما هو نظام المعلومات الجغرافية المتاح وما هو نسق دمجه؟ ثنائي الأبعاد (خرائط طرق، خرائط إدارية، خرائط طوبوغرافية) ومتجهات و/أو خطوط مسح ثلاثي الأبعاد (نموذج رقمي للتضاريس الأرضية) الإحداثيات المستخدمة (نظام ميركاتو، UTM، جغرافية،...) ومقاييس الرسم والاستبانات والمساحات المطلوبة
الاتصالات	أ) وسائل من أجل المشغلين: – فاكس/هاتف/إنترنت (فردي أو متقاسم) – بريد إلكتروني (مع مواقع العمل ومركز (مراكز) التحكم والمحطة (المحطات) وهيئة إدارة الترددات، وما إلى ذلك) – وسائل اتصالات راديوية (عمومية، خاصة، بالموجات الديكامترية (HF) والموجات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF) والموجات السنتيمترية (SHF)) ب) وسائل للمحطات النائية أو لمراكز التحكم الأخرى: – شبكات خاصة – خدمة خاصة من نقطة إلى عدة نقاط (راديوية/موجات صغرية/شبكة هاتفية عمومية تبديلية (PSTN)/شبكة رقمية متكاملة الخدمات ISDN/خطوط مؤجرة تماثلية أو رقمية/X25/مطاريف ذات فتحة صغيرة جداً، إنترنت، وما إلى ذلك) – السرعة وعرض النطاق

2.1.5.3A مهام القياس

تجدر الإشارة إلى أن تقرير مهام القياس ومدى الترددات المطلوب تغطيتهما أمر يقع في إطار مسؤولية كل بلد.

ولتحديد خصائص تجهيزات القياس الأساسية لكل موقع مشغل من المشغلين، ينبغي تحديد النقاط التالية:

قياس الترددات

- مدى الترددات.
- الدقة المطلوبة؛ هل هناك معيار متاح لتردد مركزي.
- أصناف البث (طريقة القياس).

قياس شدة المجال وسوية وكثافة تدفق القدرة

- كمية القياسات وطرائقها في المحطات الثابتة والمحطات المتنقلة.
- الدقة المطلوبة.
- مدى الترددات.
- قياسات خاصة:
  - قياسات التغطية (القياس بمحاذاة طريق)، وقياس مخططات الهوائيات (باستخدام طائرة هليكوبتر، مثلاً).

قياس شغل الطيف، بما في ذلك شغل القنوات

- إرسالات بالموجات الديكامترية (HF) والموجات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF).
- المواصفات التقنية للقنوات: عرض النطاق، المباعدة، نمط التشكيل.
- مدة الشغل المسجلة: مستمرة، فترة زمنية من ... إلى ...، أيام معينة، توزيع عمليات المسح.
- سرعة المسح المطلوبة (برمجيات).
- معلومات إضافية يجب تسجيلها (مثل الرمز الدليلي للنداء، تعرف الهوية المؤتمت/فك التشفير).

قياس عرض النطاق المشغول

- طريقة القياس $\beta/2$ أو طريقة القياس x-db باستعمال محلل طيفي أو برمجيات.
- طرائق أخرى.

قياس التشكيل

- عمق التشكيل.
- انحراف التردد.
- معدل الخطأ في البتات (BER).
- معلمات الجودة الأخرى.
- الرسم البياني للكوكبة.

تحديد الاتجاه وقياس الموقع

- مفهوم النظام.
- نمط المحطة: ثابتة، متنقلة، قابلة للنقل، محمولة؛ والدقة المطلوبة.
- مدى الترددات.
- الموقع (باستخدام طريقة المثلثات أو التحديد باستخدام موقع واحد/محطة واحدة) والخرائط الرقمية للتضاريس الأرضية مطلوبة.
- زمن الاستجابة.
- المساحة المطلوبة لهوائي تحديد الاتجاه.
- عرض الاتجاهات على خرائط رقمية.

قياسات تعرف الهوية

- أصناف البث.
- تعرف هوية الإرسالات المختلفة (فك التشفير، مثلاً).
- "البصمة"/"خصائص غلاف كل مرسل على حدة".

مراقبة إرسالات المركبات الفضائية، مثال ذلك

- قياس التردد وعرض النطاق وكثافة تدفق القدرة.
- تحديد المواقع المدارية.
- شغل النطاقات الترددية على المواقع المدارية.

إذاعة الوسائط المتعددة، مثال ذلك

- النمط للأرض أم ساتلي.
- جودة الإشارة المستقبَلة (يحتاج الأمر إلى تجهيزات خاصة)/فك التشفير.

الشبكات الخلوية التي يتعين مراقبتها

- معلمات النظام لتحديد نمط الشبكة.
- شدة المجال.
- معلمات الجودة (من قبيل جودة المستقبِل/طلب هوية الخط الطالب (CIR)/معدل الخطأ في البتات).
- معلومات إضافية (مثل التمرير بالنسبة للاتصالات الراديوية الخلوية).
- عدد القنوات.
- المسافة القصوى المسموح بها بين نقاط القياس.
- المسافة القصوى بين نقاط قياس نفس التردد/القناة (صالحة لجميع السرعات المسموح بها).
- هل يحتاج الأمر إلى أداة خاصة لتقييم البيانات لدمج هذا النظام مع نظام المراقبة المتنقل (التقابل)؟

وصلات الموجات الصغرية، بما في ذلك الوصلات الساتلية

تجهيزات استقبال وقياس في المدى من 1 إلى 50 GHz ولأي الخدمات؟ (التجهيزات).

2.5.3A المواصفات العامة للتجهيزات

فيما يتعلق بالقياسات المختارة: اختيار التجهيزات التي تسمح بإجراء هذه القياسات بالنسبة لجميع مراكز المراقبة ومحطات المراقبة الثابتة (النائية) و/أو المتنقلة.

أ) مفهوم النظام ومركز المعمارية والمحطة ووسائل الاتصالات والبرمجيات

يعتمد أداء محطة المراقبة بشكل مباشر على جودة الهوائيات والمستقبِلات أو أجهزة القياس الميدانية وأجهزة تحديد الاتجاه الراديوية.

ب) الهوائيات

لتحديد أنماط وعدد الهوائيات بالنسبة لكل محطة فيما يتعلق بالقياسات المختارة، يتعين الإلمام بالمعلومات التالية.

- مسائل أساسية:
  - أ) الاستقطاب (التنوع) ومدى الترددات (الأمداء الفرعية).
  - ب) المسافات التقريبية من المنطقة المقرر مراقبتها (نصف قطر).
  - ج) التوجيه الجغرافي للهوائيات (بالدرجات).
  - د) المسافة بين الهوائيات ونظام توزيع الإشارة.
- نظام توزيع الإشارة:
  - أ) مدى الترددات.
  - ب) عدد وصلات المستقبِل لكل هوائي.
  - ج) عدد الهوائيات إذا كانت هناك الحاجة لتنوع الهوائيات.
  - د) تشغيل نظام توزيع الإشارة: يدوي أم شبه آلي أم آلي.
- الهوائيات شاملة الاتجاهات وثنائية الأقطاب:
  - أ) هوائيات الاستقبال النشطة.
  - ب) هوائيات الإرسال/الاستقبال.
  - ج) هوائيات مراقبة الحركة الجوية.
- الهوائيات الاتجاهية:
  - أ) الهوائيات الدورية اللوغاريتمية ذات الاستقطاب الخطي.
  - ب) الهوائيات الدورية اللوغاريتمية ذات الاستقطاب الثنائي.
  - ج) الهوائيات المكافئية وهوائيات التغذية.

وبالنسبة لجميع الهوائيات: مدى الترددات (من 10 kHz إلى 50 GHz أو أكثر)؛ تحديد أنماط الهوائيات بالتعاون مع مورّد النظام.

ج) **المستقبِلات، أجهزة تحديد الاتجاه**

- نطاقات الترددات.
- رقم قناة الاستقبال.
- النمط تماثلي أم رقمي.
- التحكم يدوي أم أوتوماتي (حواسيب وبرمجيات).

د) **تجهيزات إضافية**

تسمح بعض التجهيزات الإضافية بتشغيل محطة المراقبة بمزيد من الفعالية. ومن الأمثلة على ذلك تجهيزات الإبلاغ: آلات الاستنساخ وكاشفات التذبذب والمسجلات السمعية الفيديوية والطابعات وغيرها؛ أو:

- التردد (10 MHz) والمعيار الزمني (الروبيديوم، أو النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS) أو النظام العالمي للملاحة المدارية الساتلية (GLONASS)).
- أجهزة تكييف الهواء.

وبالنسبة للمراقبة المتنقلة:

- نظام للملاحة وتحديد الموقع (نظام تقدير الموقع، نظام GPS، نظام GLONASS (أو غيرها)، أو نظام ملاحي مركب).
- بوصلة لتحديد اتجاه السمت.

3.5.3A مركبات وأجهزة المراقبة

يجب أن تُصمم محطات المراقبة المتنقلة لنطاقي الموجات المترية والديسيمترية (VHF/UHF) وتُركب على مركَبة ويجب أن تجهز بالكامل بجميع تجهيزات المراقبة اللازمة وهوائيات المراقبة والمودم (المودمات) وهوائيات الاتصالات والنظام GPS والهوائي الخاص به وكبلات التوصيل البيني ومصادر الإمداد بالطاقة الكهربائية والخزائن والرفوف وعتاد التحميل وأجهزة السطوح البينية والوحدات المطرافية لتشكيل نظام عامل ومكتمل قائم بذاته، إضافةً إلى مكون يعوّل عليه بحيث يكون جزءاً مكملاً في النظام الوطني لمراقبة الطيف. ويمكن تزويد المركبة أيضاً بأجهزة قياس محمولة لإجراء 'مراقبة عشوائية' أو تحديد موقع مصدر تداخل بدقة.

وعند شراء مركبة لهذا الغرض، يجب مراعاة الخيارات التالية:

- نمط المركبة (شاحنة، جيب، عربة ركاب).
- نمط المحرك (بنزين، ديزل).
- دفع العجلات (ثنائي أم رباعي).
- الحجم والوزن.

4.5.3A البرمجيات

يجب أن يشتمل نظام الإدارة ونظام المراقبة على قدر كبير من البرمجيات بحيث يتسنى أتمتة جميع البيانات ومعالجتها وتقييمها والقيام بمهام تحليل التداخلات.

ومن شأن استعمال برمجيات لحفظ نتائج مراقبة الطيف في قواعد بيانات مترابطة، وربط هذه المعلومات بقاعدة البيانات المركزية للمستعملين المخولين، أن يوفر الكثير من الوقت في البحث وأن يزيد من الدقة.

ويجب أن توضع برمجية نظام التطبيق والتحكم في نظام المراقبة طبقاً لتوصيات قطاع الاتصالات الراديوية، خاصة التوصية ITU-R SM.1537، وكتيب "الإدارة الوطنية للطيف" [2005] ، والتوصيات ذات الصلة بالكتيب الخاص بمراقبة الطيف.

عناصر برمجية التطبيق الخاص بالمراقبة:

- برمجية للتقابل الرقمي.
- برمجية لتحديد الاتجاه (تدمج مع برمجية التقابل).
- برمجية لإدارة قاعدة البيانات.
- برمجية نظام أرشفة ذكية.
- برمجية واجهة بين قاعدة بيانات منح التراخيص ونتائج قياسات المراقبة.
- برمجية لتقييم نتائج القياسات (مرشحات بيانات، معالجات لاحقة وعروض تصويرية للبيانات، وقيم مرجعية أوتوماتية، والتحقق من امتثال قاعدة بيانات التراخيص).

ويجب أن يتسم تصميم برنامج التطبيق الخاص بالمراقبة بسهولة الاستعمال وسيتم وصفه بالتفصيل في الكتيبات والمبادئ التوجيهية ذات الصلة.

5.5.3A المتطلبات العامة لوحدات نظم المراقبة

يتم، في الملحق التقني في وثيقة التماس العطاءات، تحديد ونشر مهام القياس والتجهيزات المطلوبة والحد الأدنى المتوقع من المتطلبات التقنية.

ويجب أن يتقرر، أثناء القيام بالتخطيط للمشروع، العدد الأمثل من أنظمة القياس الثابتة أو المتنقلة أو المحمولة أو اليدوية التشغيل وتقسيم مهام القياس فيما بينها.

وللحصول على معلومات تفصيلية بشأن المتطلبات التقنية لوحدات أنظمة المراقبة، راجع الفصل 3 من هذا الكتيب.

6.5.3A مواصفات من أجل الخدمات

1.6.5.3A مسح الموقع

لموقع نظام المراقبة الراديوية الثابت تأثير مهم على كفاءة النظام وعلى التكلفة المترتبة. ويحكم اختيار الموقع ظروف جغرافية وطبوغرافية ومناخية، بما في ذلك الضوضاء المحلية، ويجب اختيار المواقع بعناية كبيرة لأنها ستضمن الأداء المطلوب للنظام ككل.

وعموماً، يعتبر المستعمل هو المسؤول عن الدراسات الخاصة بالموقع. ويجب فيما بعد توفير الوثائق ونتائج القياسات والخرائط الطبوغرافية وما شابهها.

وعند وضع المفهوم التشغيلي للأنظمة، يتم تحديد عدد المحطات الإفرادية ومهامها ويمكن اختيار المواقع بعد ذلك طبقاً لتوصيات قطاع الاتصالات الراديوية.

وفي مدى الترددات الخاص بالموجات الديكامترية (HF)، يمكن اختيار المواقع من خلال تقييم التنبؤات الحاسوبية للانتشار الراديوي، ومع ذلك ينبغي استكمالاً لذلك الاستمرار في إجراء القياسات في الموقع.

2.6.5.3A وصلات وشبكة الاتصالات

- هل وصلات الاتصالات بين المحطات الإفرادية مدرجة؟ وإذا كانت مدرجة، فمن أي نوع هي (خطوط مادية أم وصلات راديوية أم موجات صغرية)؟ وهل الإدارة هي التي توفرها؟ وهل هناك خطوط اتصالات متوفرة؟
- وما هو المقرر إرساله (صوت، موسيقى، بيانات)؟

- تفاصيل الخطوط: النمط (شبكة مراقمة عمومية، شبكة مخصصة، خط اتصالات مخصص مع سطوح بينية طبقاً لتوصيات قطاع تقييس الاتصالات (التوصية V.24 مثلاً))، والجودة (معدل الإرسال بوحدة البود وعدد البتات في الثانية) والطول والنظام (سلكان، أربعة أسلاك).
- تفاصيل الوصلات الراديوية أو وصلات الموجات الصغرية: التردد، الأسلوب، عرض نطاق القناة وأنظمة الإرسال/الاستقبال. وفي حال توفرها، يجب أن تكون أجهزة الحاسوب مدمجة في النظام، ومن ثم يتعين الحصول على التفاصيل الخاصة بها، النمط وسعة الذاكرة وشروط السطوح البينية والأجهزة المحيطية والبرمجيات. ويجب تشغيل المرسل (المرسلات) عادة عن بعد لتحاشي التداخل على محطة المراقبة.
- تفاصيل الهيكل: من نقطة إلى نقطة، نقطة إلى عدة نقاط، حلقة، نجمة.
- هل هناك حاجة إلى قناع أو تجفير؟

6.3A التدريب

للاستفادة الفعالة من مرافق المراقبة، من الضروري وجود برنامج تدريب شامل إلى جانب مرافق المراقبة. ويجب على الجهة المناقصة توفير تدريب مناسب للعاملين في شكل تدريب دراسي وتدريب أثناء العمل سواء في البلد أو خارجه. وهناك مكونان لبرنامج التدريب هذا، على النحو المدرج أدناه:

يُقدم تدريب المصنع في مصنع المورد على تجهيزات مماثلة لتلك التي اشترتها الإدارة. ويجب أن يشتمل التدريب الدراسي على دورة بشأن أساسيات مراقبة الطيف (وإدارة الطيف) يقوم بتدريسها مدرسون مؤهلون بشكل مناسب بخبرات عملية.

ويُقدم التدريب في الموقع في مرافق المراقبة الخاصة بالإدارة بمجرد تركيب التجهيزات. ويجب استغلال أغلب الوقت المتبقي في تعلم الإدارة مهام المراقبة الأكثر تعقيداً أثناء العمل. ويجب توفير دورة معلومات ختامية لبيان الكيفية التي تستعمل بها معلومات المراقبة للتحقق من صلاحية المراقبة الوطنية للطيف.

ويجب مناقشة عدد الأفراد القائمين بالتدريب ومؤهلاتهم ومكان التدريب ومدته. ويتطلب ذلك دورات تدريبية منفصلة على مختلف المستويات.

7.3A الصيانة والإصلاح

ينبغي تحقيق مفهوم للصيانة والإصلاح في جميع الأحوال (مثلاً، ما هي الأجزاء التي يتعين إصلاحها محلياً وتلك التي يتعين إصلاحها مركزياً وتلك التي يتعين على الجهة (الجهات) المصنعة إصلاحها؟).

عند تخزين قطع الغيار، يجب مراعاة الاعتبارات التالية:

أ) مكونات وحيدة؛

ب) تجميعات فرعية (مثل لوحات الدارات)؛

ج) جميع مكونات رف أو مدخلاته؛

د) تجهيزات حرجة (عدم إغفال متوسط الزمن بين الأعطال (MTBF)).

ومن الضروري أيضاً مراعاة الفاصل الزمني المقرر للتخزين (عدم إغفال اختلاف متوسط زمن الإصلاح (MTTR)).

8.3A الوثائق

ينبغي توفير وثائق التجهيزات/النظام باللغة (اللغات) اللازمة.

ويجب توفير الوثائق التفصيلية كجزء من المشروع.

4A مرحلة التنفيذ: عملية التماس العطاءات

1.4A نموذج للدعوة الخاصة بالتماس عطاءات المراقبة

تبعاً للنمط الخاص بإجراءات العطاء، فإن الدعوة الخاصة بالتماس عطاء المراقبة هي عبارة عن إعلان يدعو المناقصين لتنفيذ مشروع ما.

وعادةً، تحدد التشريعات الوطنية شكل هذه الدعوة والمحتويات اللازمة والقواعد المطبقة بشأن إجراءات العطاء.

وتقدم الدعوة الخاصة بالعطاء وصفاً مختصراً لخلفية المشروع ونطاق عمل كل من المناقصين والعميل وواجباتهم.

وقد يتضمن ذلك أيضاً معلومات عن عمليات التفتيش في الموقع والموعد النهائي لتقديم أي توضيحات بشأن مستندات المناقصة.

وتُقدم المتطلبات التقنية لنظام المراقبة ضمن المظروف الخاص بالدعوة إلى العطاء.

وتستند إجراءات العطاء، بما في ذلك المنشورات، إلى القوانين الوطنية.

1.1.4A ينبغي لوثيقة الدعوة الخاصة بالتماس عطاء للمراقبة أن تشتمل على ما يلي:

1.1.1.4A الجزء الإرشادي

يقدم هذا القسم من وثائق المناقصة المعلومات اللازمة للمناقصين كي يعدوا ويتقدموا بمناقصات مفيدة تفي بمتطلبات المشتري. ويصف الجزء الإرشادي الخطوات الحاسمة لتقديم المناقصة وفتحها وتقييمها والشروط الخاصة بإرساء التعاقد.

- توفر بيانات من الإدارة المشترية التي أصدرت الدعوة الخاصة بالتماس العطاء لتوريد نظام جديد وتركيبه.
- ملخص (للمشروع).
- توفر (وفي بعض الأحيان ثمن) المظروف التقني لوثيقة العطاء.
- إرشادات بشأن النسق والمحتوى المطلوبين لوثيقة العطاء.

(ملء استمارة التسجيل بشكل واضح وبخط مقروء من الأمور شديدة الأهمية فهي بذلك تضمن أن الجهات المتقدمة المسجلة قد تلقت معلومات بشأن أي تغييرات أو تعديلات أو توضيحات تتعلق بمحتويات وثيقة العطاء).

- اشتراطات بشأن المشاركة والمؤهلات الإلزامية المسبقة (للمناقصين) بأن لديهم القدرات المالية والتقنية والإنتاجية اللازمة لإبرام العقد والوفاء بمعايير المؤهلات المحددة:
  - ’1‘ مراجع معتمدة (خبرة في تنفيذ عقود مماثلة مع أسماء العملاء السابقين).
  - ’2‘ الكفاءة بالنسبة للعاملين، والتجهيزات، ومرافق التشييد أو التصنيع.
  - ’3‘ الاستقرار المالي والاقتصادي.
  - ’4‘ نظام ضمان الجودة.
- التراخيص الخاصة بجهات التصنيع (إذا كانت الجهة المصنعة تختلف عن المورّد).
- استفسارات.

على المناقصين الذين يحتاجون إلى أي استفسار بشأن الدعوة إلى العطاء التقدم باستفساراتهم بواسطة الفاكس أو البريد الإلكتروني:

- ’1‘ الاسم (الأسماء) والعنوان ووسائل الاتصال.
- ’2‘ الموعد النهائي لتقدم المناقصين باستفساراتهم كتابة (قبل الاجتماع التمهيدي للمناقصة).
- ’3‘ الموعد النهائي لإرسال الإدارة للردود على هذه الاستفسارات إلى جميع المناقصين المسجلين.

- الاجتماع التمهيدي للمناقصة (التاريخ والتوقيت ومكان اجتماع التوضيح، لا يقل عادة عن ثلاثة أسابيع من الموعد النهائي للتقدم بالعطاءات).

ويتحمل مقدم العطاء جميع التكاليف المرتبطة بإعداد العطاء وتقديمه، ولا تتحمل جهة الشراء أي مسؤولية أو التزام بالنسبة لهذه التكاليف في أي حال من الأحوال.

- زيارة تقنية إلى مواقع التركيب:

هناك خياران:

الخيار 1: قد يقوم المناقصون الذين يرغبون في ذلك بإجراء مسح للموقع للتأكد من أن التجهيزات المزمع عرضها تتفق مع المتطلبات الفعلية للعطاء. ويتحمل المناقصون تكاليف زيارة الموقع أو المواقع.

الخيار 2: بالنسبة لكثير من العطاءات، تلزم الإدارة المشترية المناقصين بزيارة المواقع. وبالنسبة لكل موقع مزار، تقدم الإدارة تقرير رسمي للموقع مُوقَّع من الطرفين. وتقدم هذه المستندات مع العرض. ويعتبر إحجام أي مناقص عن القيام بزيارة إلى الموقع مسوغاً لسحب الأهلية.

- إرشادات للمناقصين:

يجب أن تقدم مستندات المناقصة كل المعلومات اللازمة بحيث يتمكن المقدم المنتظر للعطاء من إعداد العطاء بالنسبة للتجهيزات والأعمال المقرر تقديمها. ويتوقع قيام المناقصين بدراسة جميع الإرشادات والاستمارات والشروط والمواصفات، وغيرها من المعلومات الواردة في مستندات المناقصة. والتقصير في تقديم كل المعلومات أو التقدم بعطاء لا يستجيب في جوهره لمستندات المناقصة في كل جوانبها يقع على عاتق المناقص وقد يؤدي إلى رفض العطاء المقدم منه:

'1' التقدم بالعروض:

أ) العنوان (لتقديم العطاء).

ب) عدد المستندات الأصلية والمصورة للعطاء.

ج) منح العطاء الصفة القانونية (بتوقيعه من شخص أو أشخاص مخولين حسب الأصول بالتوقيع نيابةً عن الجهة المقدمة للعطاء).

د) ختم العطاءات ووسمها.

هـ) الموعد النهائي لتقديم العطاءات (أي عطاء يتسلمه المشتري بعد الموعد النهائي يتم رفضه وإعادته إلى مقدم العطاء دون فتحه).

و) القضايا المتعلقة باللغة المقدم بها العطاء (لغة عمل، الوثائق التقنية التي يتكون منها العطاء، الكتيبات الإرشادية، السطوح البينية البرمجية، وغيرها).

'2' استمارات العطاء.

'3' السعر والعملة الخاصة بالعروض.

'4' الالتزام بالمعايير الدولية وتلبية متطلبات أحدث توصيات الاتحاد الدولي للاتصالات المتعلقة بالموضوع.

'5' أحدث تصميم واستعمال التقنيات الحديثة (معيار رفيع للأداء والاعتمادية).

'6' التسليم.

'7' الضمانات.

'8' معلومات محددة يجب تقديمها في العرض.

بالنسبة للقوانين الوطنية والمبادئ المطبقة من جانب الإدارات: "يجب أن تشتمل العروض على المعلومات التالية دون أن تقتصر عليها بالضرورة":

فعلى سبيل المثال:

'1' التنظيم المقترح للعمل (مخطط (مخططات) تنظيمية، خطة عمل، وما إلى ذلك).

'2' وصف مفصل لخطة العمل والمنتجات النهائية الواجب تسليمها.

'3' الاسم والسيرة الذاتية لكل فرد موكل إليه مهمة خاصة.

'4' بيان الامتثال/عدم الامتثال.

'5' الاختلافات عن المواصفات، لا سيما إذا كان بمقدور مقدم العطاء إثبات أن البديل المعروض سيكون مرضياً من جميع الجوانب ومؤهلاً لأقصى حد للوفاء باحتياجات الإدارة كما لو كان يتفق بالكامل مع المواصفات التقنية. ويجب شرح العرض البديل بصورة وافية.

'6' التدريب أثناء العمل. يجب أن يبين العرض: السير الذاتية للقائمين بالتدريب وأهدافه والمجموعات المستهدفة والمؤهلات المفضلة للمتدربين وأعدادهم.

'7' كفالة العطاء (ضمان العطاء أو تأمين العطاء).

في هذه الوثيقة يتكفل مصرف مقدم العطاء، في حالة ما إذا انسحب العميل من الشروط المعروضة في العطاء ضمن فترة السريان، بدفع مبلغ الضمان (يبلغ عادة 2% إلى 5% من السعر المعروض من مقدِّم العطاء) إلى الإدارة المشترية.

'8' كفالة الأداء (يطلب فقط من الفائز بالعطاء).

'9' صلاحية العروض (يجب أن تكون صالحة لفترة زمنية محددة بعد التاريخ النهائي للتقدم بالعطاءات والمحدد من قبَل جهة الشراء).

'10' يجب أن توقّع أصول العروض التقنية والتجارية من قبَل مسؤول مخول قانوناً بالتعاقد نيابةً عن مقدم العطاء، عادة يجب توقيع كل صفحة من أصل هذه الوثائق.

- تقييم العروض:

'1' موعد وتوقيت ومكان فتح العروض المختومة.

'2' التحديد المفصل لمعايير وأسلوب تقييم العطاءات.

- شروط سحب الأهلية:

'1' يُرفض العرض إذا كان غير مكتمل (مثل عدم وجود كفالة العطاء، صلاحية العرض).

ويجوز رفض العطاءات:

'2' إذا أظهر التقييم التقني أن واحدة أو أكثر من المعلمات التقنية الموصى بها أقل من المتطلبات الدنيا الواردة في وثيقة الإعلان للتقدم بعطاءات.

ويجب إبلاغ المناقصين بالقرار المتخذ، وذلك في غضون الموعد المبين في العطاء أو الموعد القانوني (بالفاكس، ويتبع الفاكس بخطاب).

2.1.1.4A البنود الرئيسية في العقد

- موضوع العقد.
- التزامات العميل.
- التزامات مقدم العطاء.
- شروط الدفع (المواعيد وأساليب الدفع).
- شروط الضمان.
- الإجراءات في حال مخالفة العقد.
- الإجراءات في حال ظروف قاهرة.
- الإجراءات في حالات النزاع.
- إدارة المعلومات السرية.
- تعديل العقد.
- توجيهات أخرى.

3.1.1.4A المتطلبات التقنية

- موضوع العطاء.
- وصف النظام.
- المضامين (ماذا يتضمن المشروع، مثل البرمجيات والبنى التحتية والخدمات).
- المضامين الأخرى (مثل الضمان وقطع الغيار ودعم البرمجيات والتحديث).
- المتطلبات التقنية الدنيا لكل معلمة من معلمات النظام وكل جهاز قياس.

2.4A النموذج الخاص بالعروض المقدمة من مقدِّم العطاء

1.2.4A مقدمة

- مقدمة عن مقدِّم العطاء وخبراته.
- مزايا النظام المعروض.
- كيفية مواءمة النظام المعروض مع الحاجات المستقبلية.
- قابلية دمج النظام المعروض ضمن النظام القائم للعميل.
- الاستعداد للمشاركة في تطورات أخرى.
- قائمة بالمقترح من المتعاقدين من الباطن.
- فترة صلاحية العطاءات.

2.2.4A الخصائص التقنية العامة

- مهام القياس القابلة للأداء (طبقاً للمعايير ذات الصلة، مثلاً).
- المدى الخاص بتردد التشغيل.
- دقة البيانات المقيسة.

3.2.4A وظائف النظام

- الخصائص المميزة للنظام.
- معلومات عن كيفية تواؤم النظام مع المطالب التقنية للعطاء.

4.2.4A طريقة تنفيذ النظام

- تعيين متعاقدي الباطن المحليين، التركيب وبدء التشغيل.

5.2.4A الضمانات التقنية

- فترة الضمانات (النظام، البرمجيات).
- الفترة الخاصة بتوفير قطع الغيار بعد انقضاء فترة الضمان.

6.2.4A وصف تفصيلي لما يلي:

- المهام المضطلع بها.
- عرض للمنتجات المقدمة.
- الخصائص العامة للنظام.
- المواصفات التقنية لكل جهاز قياس في النظام.
- التركيب طبقاً للمتطلبات.
- التحكم عن بعد ومحلياً.
- تخزين البيانات ونقلها.
- إمكانية إجراء تطويرات أخرى.
- خصائص البرمجيات والاندماج ضمن إدارة الطيف.
- الحلول الخاصة بالتزويد بالطاقة الكهربائية.
- أنماط الهوائيات وخصائصها.
- نمط (أنماط) المركبة (المركبات) وبياناتها التقنية.
- حلول الصحة والسلامة.
- المعايرة والاختبارات الذاتية.
- جداول التنفيذ والمواعيد النهائية للتسليم.
- المهام المتوقعة من العميل.
- التدريب.
- تسوية الأمور المثيرة للجدل.
- وغير ذلك (مثل عطاء بشأن عقود صيانة البرمجيات والنظام).

7.2.4A تقديم المراجع

- الاستقرار المالي والاقتصادي.
- مراجع معتمدة.
- نظام مراقبة الجودة.

- نسخة من السجل القانوني للشركة.
- التراخيص الخاصة بجهات التصنيع.
- قائمة بمتعاقدي الباطن المعتمدين.

8.2.4A المخططات البيانية الوظيفية للنظام

9.2.4A السعر

- الأسعار التفصيلية والسعر الإجمالي.
- شروط وأحكام الدفع.

3.4A نموذج خاص بنسق العقد

يعتبر العقد وثيقة ملزمة قانوناً للاتفاقات بين الأطراف يعمل القانون على إنفاذها. ونقض العقد واقع معترف به قانوناً وثمة تدابير علاجية في هذا الشأن.

ويجب أن تحدد وثائق العقد بوضوح نطاق العمل المقرر تنفيذه والسلع المقرر توريدها وحقوق وواجبات المشتري والمورِّد أو المتعاقد.

أحكام استهلالية

- تحديد الأطراف المتعاقدة وعناوينها.
- فقرات تمهيدية للعقد.
- نطاق العقد وطبيعته والغرض منه.
- المصطلحات المستعملة في العقد.
- لغة العمل.

الوضع القانوني للأطراف وحقوقهم وواجباتهم

- حقوق الموردين وواجباتهم:
  - '1' التعاقد من الباطن.
  - '2' شحن النظام وعناصره وتركيبها.
  - '3' الضمانات.
  - '4' إصلاح النظام وصيانته.
  - '5' إصلاح البرمجيات وصيانتها وتطويرها.
  - '6' الخدمات ذات الصلة.
  - '7' الإرشادات الخاصة بالتدريب.
- حقوق العملاء وواجباتهم:
  - '1' إرشادات عامة.
  - '2' حق العميل في الإشراف.
  - '3' التعاون الإجباري.

'4' الدفع الإجباري.

'5' الالتزام المتعلق بالتدريب.

- القوانين المطبقة وجهة فض النزاعات.

موضوع العقد

- موضوع العقد.
- البرمجيات والحقوق المتعلقة بها.
- أحكام تتعلق باستكمال العقد.
- الامتثال للتشريعات واللوائح والقوانين، وما إلى ذلك.

'1' مكان التركيب وتاريخ الانتهاء.

'2' طريقة التنفيذ.

'3' تاريخ استكمال العقد.

- إجراءات القبول:

'1' قبول المصنع قبل تطبيق إجراءات القبول.

'2' قواعد عامة لإجراءات قبول النظام.

'3' مكان تطبيق إجراءات القبول.

'4' المحاضر التي يجب إعدادها بشأن إجراءات القبول.

'5' إجراءات القبول الخاصة بالمحطات الثابتة والمحطات المتنقلة.

'6' قبول البرمجيات والنظام الكامل.

- التغليف والشحن والتأمين.
- تحديثات المنتجات.
- خدمات إضافية:

'1' التدريب.

'2' الخدمات التي تُقدم بموجب الضمان.

المسؤولية التعاقدية بالنسبة للأداء؛ والقواعد المطبقة عند استحالة الأداء

- مسؤولية المورد في حالة قصور الأداء:

أ) واجبات المورد.

ب) الالتزامات العقابية المفروضة على المورد.

ج) التزام المورد بعلاج مواطن القصور.

د) التزام المورد بالضمان.

- مسؤولية العميل في حالة قصور الأداء.
- استحالة التنفيذ.

الأسعار وشروط الدفع:

يجب أن تشمل جميع الأسعار ما تم اشتراطه في وثيقة العطاء.

الرسوم المقرر دفعها من أجل إنتاج النظام وتركيبه فضلاً عن الخدمات الإضافية ذات الصلة:

- السعر التعاقدي الإجمالي.
- أسلوب دفع السعر التعاقدي.
- التزامات دفع إضافية.

يجب تحديد الأسعار، مستثناة من الضرائب، طبقاً للوائح الوطنية.

متفرقات وأحكام نهائية

- التزام الأطراف بالتعاون، وتداول المعلومات السرية.
- فض النزاعات وإنفاذ القواعد القانونية والقوانين السائدة.
- الظروف القاهرة.
- تعديل العقد.
- صلاحية العقد وانتهاؤه.
- العقود الأخرى المبرمة بين الأطراف.
- جهات الاتصال المسؤولة والمخولة حسب الأصول من قبَل الأطراف.
- التعويضات المصفاة.
- التعويض.

ملحقات العقد

تستند ملحقات العقد إلى الإجراءات الصادرة عن الاتحاد الدولي للاتصالات أو البنك الدولي أو الإدارة المشترية.

وفي جميع الحالات يرفق العطاء بالعقد.

4.4A تقييم العروض ومقارنتها ومنح العقد

لتقييم العروض ومقارنتها، يتعين على الإدارة المشترية اتباع عملية تقييم محددة سلفاً مثل:

- إجراءات يحددها الاتحاد الدولي للاتصالات.
- إجراءات يحددها البنك الدولي.
- إجراءات في حالة عدم التزام الإدارة المشترية بإجراءات أي من الاتحاد الدولي للاتصالات أو البنك الدولي.

تقوم لجنة تقييم العطاءات المعينة من قبَل الإدارة المشترية بتقييم العطاءات من الجوانب المالية والقانونية والتقنية. وتحدد الإدارة المشترية منهجية التقييم وينبغي وصفها مع ذكر كل التفاصيل في تقرير التقييم المرفوع من اللجنة.

ويجوز فتح العروض المقدمة من المناقصين في حضور ممثليهم في الوقت والمكان المحددين في الدعوة الخاصة بالعطاء. ويجوز رفض العرض إن لم يكن مشفوعاً بكفالة العطاء.

ويجوز للإدارة المشترية، أثناء التقييم، طلب استفسارات من المناقصين بشأن عروضهم.

1.4.4A الإجراءات التي يحددها الاتحاد الدولي للاتصالات

تقييم العروض:

- يقوم بتشكيل فريق التقييم إما الاتحاد الدولي للاتصالات وحده أو الاتحاد بالاشتراك مع الإدارة المشترية.
- يتم إجراء التقييم التقني والتقييم التجاري كل على حدة (يُجرى التقييم التقني أولاً):

'1' يغطي التقييم التقني النقاط الرئيسية التالية:

أ) مستقبِل القياس، نظام الهوائيات، محطة التشغيل، البرمجيات، نظام اختياري لتحديد الاتجاه، اختبارَ القبول في المصنع (FAT)، التسليم، التدريب (انظر المرفق 1: مثال الاتحاد الدولي للاتصالات للتحليل التقني للعروض).

'2' يغطي التقييم التجاري النقطة الرئيسية التالية:

أ) السعر، شروط وأحكام الدفع والشروط التجارية والتقييم القانوني (انظر المرفق 2: مثال الاتحاد الدولي للاتصالات للتقييمين التجاري والقانوني).

'3' تقييم المشكلات التقنية.

'4' القدرات.

'5' تجارب الخبراء.

'6' السعر الإجمالي.

'7' رفض العروض غير الكاملة.

'8' السرية (يجب عدم اطلاع المناقصين أو أي أشخاص آخرين معنيين بأي معلومات تتعلق بالفحص أو الإيضاحات أو التقييم).

'9' يجب إبلاغ المناقصين بالقرار المتخذ في أقرب وقت ممكن (بالفاكس يتبعه خطاب بالبريد).

رفض العروض

- يحتفظ الاتحاد الدولي للاتصالات بالحق في رفض أي عرض وطلب تقديم عطاء ثان.
- الاتحاد غير ملزم بقبول العطاء الأدنى.

2.4.4A الإجراءات التي يحددها البنك الدولي

الملاحظة 1– المصطلحات المستخدمة تخص البنك الدولي.

عندما يمنح البنك الدولي، أو البنك الدولي للإنشاء والتعمير أو المؤسسة الإنمائية الدولية، اتفاق قرض لأحد أعضائه، يقوم البنك بتزويد الطرف المقترض بمجموعة من 'المبادئ التوجيهية' تعرف باسم "تقرير تقييم العروض". وتسهل هذه المبادئ التوجيهية تقييم العروض من جانب الطرف المقترض وفقاً *للتوجيهات: توقيع العقود المموَّلة بقروض من البنك الدولي للإنشاء والتعمير أو بضمانات من المؤسسة الإنمائية الدولية – يناير 1995 (روجعت في يناير 1996 وأغسطس 1996 وسبتمبر 1997)*، راجع الفقرات 53.2 و2 و4 من الملحق 1 على وجه التحديد، (انظر dbusiness@worldbank.org).

الملاحظة 2 – طبقاً للتوجيهات، في الفقرة 6.1 والحاشية في الصفحة 9، لا يحق لبعض البلدان الاستفادة بالعقود الممولة من البنك الدولي.

الملاحظة 3 – يمكن لدولة الطرف المقترض استبعاد بلدان أو أقاليم من العطاء إذا كان بمقدور الطرف المقترض تطبيق المعيار الوارد في الفقرة 8.1.

الملاحظة 4 – يمكن لمجلس الأمن في الأمم المتحدة أن يمنع بموجب الفصل السابع من ميثاق الأمم المتحدة قرضاً للبنك الدولي يخص بلداناً محددة.

ويشرح تقرير تقييم العروض (PER) الإجراء الذي يتبعه الطرف المقترض في تقييم العروض المستلمة. وعلاوة على ذلك، فإنه من المهم في كل الأحوال تطبيق إجراءات التقييم والطلب المبينة في القسم الخاص بالإرشادات في وثيقة العطاء. ويضم التقرير خطاب إشعار وملحقاته وتُرسل كلها إلى البنك الدولي.

ويجب على الطرف المقترض فحص جداول التقييم الواردة في المبادئ التوجيهية أثناء الإعداد للمشروع لتحديد احتياجاته من الموظفين المطلوبين لتقييم العروض. ويمكن للبنك الدولي أن يشرح بالتفصيل الإجراء الواجب اتباعه. ويشجع البنك الدولي الطرف المقترض على التعاقد مع استشاريين لديهم الخبرة اللازمة لتقييم العروض المتعلقة بمشروعات معقدة. ويمكن تمويل مساهمة الاستشاري في نهاية الأمر من القرض إذا سمح الاتفاق بذلك (التوجيهات، الملحق 1، الفقرة 2–جيم).

ويشتمل تقرير تقييم العروض على ما يلي:

- *الديباجة*
- *الاستمارات – استعمالها*
- *استمارات نمطية لتقييم العروض*

خطاب الإشعار:

أ) إذا كان المشروع يخضع لدراسة مسبقة من البنك الدولي (موافقة البنك قبل قرار منح المشروع)، يرسل الطرف المقترض (وزارة أو هيئة أو مصلحة) تقرير تقييم العروض إلى البنك الدولي ضمن غلاف خطاب إشعار. وينبغي أن يشير هذا الخطاب إلى نتائج التقييم مع تقديم كل المعلومات التكميلية التي من شأنها تسهيل عملية التقييم التي سيقوم بها البنك الدولي.

ب) بالنسبة للمشاريع التي تخضع لإجراء *فحص لاحق* من قبَل البنك الدولي (موافقة البنك ليست شرطاً لمنح المشروع)، يقدم تقرير التقييم ونسخة موقعة من العقد إلى البنك قبل (أو في نفس وقت) طلب أي مدفوعات (التوجيهات - الملحق 1 واتفاق القرض)

الجدول 1 – عملية الفرز

وصف لاتفاق القرض، لا سيما تقييم التكلفة وإجراءات التقييم الخاصة بالبنك الدولي (بيانات إدارية).

الجدول 2 – إجراءات التقييم

منشورات العطاء (بيانات إدارية).

الجدول 3 – تسليم العروض وفتحها

طبقاً للتوجيهات، الفقرة 44.2، يبين هذا الجدول التاريخ والتوقيت وعدد العروض وصلاحيتها. فإذا كان إجراء العطاء يتم على مرحلتين (تقنية واقتصادية)، يُقدم هذا الجدول لكل خطوة. وتُرسل محاضر اجتماع فتح العروض إلى البنك الدولي وإلى جميع المورّدين.

الجدول 4 – أسعار العروض (قراءة علنية)

تُقرأ جميع التعديلات التي تطول الأسعار علناً، بما في ذلك التخفيضات والخيارات والاختلافات وما إلى ذلك، وينبغي وصفها في الجدول 4.

الجدول 5 – فحص تمهيدي

التطابق مع التزامات العطاء، بما في ذلك المواصفات التقنية: ينبغي أن تبدأ عملية التقييم في أقرب وقت ممكن بعد فتح العروض. ويشكل الفحص التمهيدي موضوع عمليات الفرز والرفض للعروض غير المكتملة أو غير المقبولة أو التي لا تفي بالأحكام الأساسية للعطاء، ومن ثم ينبغي عدم تقييمها.

وينبغي أن يتناول هذا الفحص في النقاط التالية:

- التحقق: تحديد أوجه القصور في العرض.
- معيار المنشأ.
- ضمان العرض.
- التطابق مع الترتيبات والمواصفات التقنية للعطاء.

وفيما يلي مبادئ التقييم:

- يقوم الطرف المقترض بتقييم العروض فيما يتعلق فقط بالتزامات العطاء ومعلوماته.
- أثناء عملية التقييم، يجوز للطرف المقترض أن يطلب من الموردين تقديم مزيد من المعلومات بشأن النقاط التي تتسم باللبس أو أوجه التناقض الملاحظة في عروضهم. وتقدم هذه الطلبات كتابةً ومع ذلك لا يُسمح للموردين بتعديل الأسعار وأنماط التوريدات والأعمال أو الخدمات المقدمة إلا في حال وجود أخطاء في الحساب (التوجيهات، الملحق 4، الفقرة 10). ولا يسمح بتعديل أي أسعار أو أي اشتراطات للعرض.

الجدول 6 – تصويبات وتخفيضات غير مشروطة

لكل مورد من الموردين، يبين هذا الجدول أسعار العروض والتصويبات (بشأن أخطاء حسابية) والتخفيضات والمبلغ الإجمالي للعرض.

الجدول 7 – سعر الصرف

تبين أسعار الصرف المستعملة في التقييم.

الجدولان 8A و8B – صرف العملات

طبقاً للعملة التي يختارها الطرف المقترض والمبينة في العطاء، يقدم هذان الجدولان المبلغ الإجمالي للعرض بعملة الطرف المقترض.

الجدول 9 – إضافات تتناول حالات الإغفال والتسويات والاختلافات في أسعار العملات

يقدم الجدول 9 إجمالي أسعار العروض.

- ينبغي تدارك حالات الإغفال والأخطاء التي تكتشف في العروض بتحديد أسعار إضافية. (فالعناصر التي يغفلها عرض معين يمكن أن تكون مستوفاة في العروض الأخرى، متوسط أسعار). وفي الوقت نفسه، يمكن الإشارة إلى مصادر خارجية مثل قوائم الأسعار وجداول تكاليف النقل، وما إلى ذلك.
- التسويات: تحدد تعليمات العطاء معيار التنفيذ والتشغيل.

ويمكن اعتبار العروض، بما في ذلك بعض الاختلافات الطفيفة بالنسبة إلى تعليمات العطاء، مقبولة إذا كان بالإمكان بعد إجراء تحليل مفصل وضع قيمة نقدية تضاف إلى أسعار العروض، كغرامة، وذلك تيسيراً للمقارنات.

وينبغي شرح منهجية التقييم المتعلقة بهذه العوامل بكل تفاصيلها في تقرير التقييم وتكون مطابقة تماماً لتعليمات العطاء.

وفي بعض الأوقات، يسمح البنك الدولي باستعمال نظام النقاط من أجل التوريدات المشتراة. وفي هذه الحالة، يُعبر عن التسويات بنقاط (انظر التوجيهات، الفقرة 5.6.2).

وللحصول على التفاصيل بشأن تقييم العروض بواسطة نظام النقاط، يمكن للطرف المقترض الحصول على المشورة من البنك الدولي.

الجدولان 10A و10B – حقوق الأولوية للتوريدات والأعمال الوطنية

إذا كان العطاء يسمح بتفضيل وطني، يمكن أخذ رسوم الجمارك الوطنية في الاعتبار وكذلك هامش الأداء الوارد في أحكام العطاء.

الجدول 11 – التقييم النهائي للعروض والمقترح الخاص بمنح العقد

يقوم هذا الجدول بجمع كل البيانات المدرجة في الجداول أعلاه (الأسعار في جلسة الاستهلال وتصويب الأخطاء والتخفيضات والتسويات) وتتم تسمية الفائز بالعطاء.

الملحق I: توجيهات لتقييم العروض.

الملحق II: جلسة فتح العروض. معلومات عن العروض.

الملحق III: البلدان غير المؤهلة.

الملحق IV: مثال للفحص التمهيدي.

الملحق V: تقرير تقييم العروض. المحتويات.

3.4.4A الإجراءات المتبعة عندما لا تخضع الإدارة المشترية لإجراءات الاتحاد الدولي للاتصالات أو لإجراءات البنك الدولي

قبل بدء التقييم، تحدد لجنة التقييم المنهجية التي سوف تستخدم في تحديد الجهة التي ستمنحها العقد. ويمكن استعمال المنهجيات التالية:

- نهج النقاط المسجلة باستعمال الصيغ الرياضية.
- طريقة الترجيح.
- نعم/لا بالنسبة للامتثال.
- الجمع ما بين الامتثال والأسعار المقدمة.

5A المرحلة النهائية: إجراءات القبول

1.5A القبول في المصنع

يقوم المورّد (على نفقته الخاصة) في مكان الصنع بإجراء جميع الاختبارات و/أو الفحوص على التجهيزات وعلى أي جزء من التجهيزات، وذلك على النحو المحدد في العقد طبقاً لوثائق قبول المصنع المقدمة من المورّد سواء عدلتها أم لم تعدلها الإدارة (اتفاق متبادل).

2.5A إجراء اختبار القبول في الموقع

يقدم المورّد وثيقة (وثائق) القبول في الموقع إلى الإدارة وعليه أن يتقدم بإشعار مسبق بفترة معقولة بأي اختبار و/أو فحص ومكان وزمان القيام بذلك. وتنفذ الاختبارات لإثبات أن جميع عناصر التجهيزات موجودة؛ وأنها مجمعة وموصولة بصورة سليمة؛ وأنها تعمل بشكل سليم طبقاً للمواصفات التقنية (تفتيش عيني واختبارات تقنية). وينفذ اختبار نهائي للنظام ككل، بما في ذلك وصلات الاتصالات على أن تراعى المسؤوليات الخاصة بكل من الإدارة والجهة المتعاقدة إزاء التوريدات.

ويتبع قبول النظام عادة فترة ضمان مدتها سنة واحدة، قد يتعين على المورِّد خلالها الإبقاء على الضمان. وبديلاً من ذلك، يمكن بالنسبة لبعض الإدارات قبول النظام بصورة مؤقتة بعد الانتهاء من اختبار القبول بنجاح، وبعد ذلك وفي مرور فترة زمنية محددة (تكون فترة الضمان عادة)، يتم قبول النظام بصفة نهائية.

1.2.5A القبول (أو القبول المؤقت في حالة القبول المشروط والنهائي)

يتم القبول بالنسبة للتجهيزات أو لأي جزء منها عندما:

- يتم إنجاز اختبار القبول بنجاح مع استيفاء الضمانات الوظيفية؛
- لا يتم إنجاز اختبار القبول بنجاح أو لا ينفذ الاختبار لأسباب لا تتعلق بالمورّد.

ويجب عدم الإحجام عن القبول في حال وجود أوجه خلل أو مشكلات طفيفة. بل يجب القبول مع تسجيل أوجه الخلل والمشكلات على أن تُحل خلال فترة الضمان.

وتقدم القائمة التالية مثالاً لمحتوى تقرير إجراء اختبار القبول في الموقع بشأن محطة ثابتة في نطاق الموجات الديكامترية/المترية/السنتيمترية (HF/VHF/UHF):

أ) الموضوع

تصف الوثيقة إجراءات القبول الخاصة بمحطة مراقبة للطيف طبقاً للشروط الواردة في العقد.

ب) التفتيش العيني

العمليات التي يجب القيام بها للتأكد من وجود جميع العناصر المدرجة في بيان التشكيل التعاقدي ولملء التشكيلات والكتيبات:

- تبديل أنظمة الهوائيات، والكبلات، والحماية من الصواعق.
- الصواري والأبراج (الدعامات والطلاء والصواعق).
- التفتيش على المباني وأسلاك التوصيل والأجهزة الأمنية والهياكل والرفوف وأجهزة الحاسوب والمستقبِلات والطاقة.

- إدخال البرمجيات.
- الكتيبات الخاصة بالتجهيزات والبرمجيات والنظام.
- الوسم (إقرار التجهيزات).
- تُدقق الوثائق وترفق قائمة بالوثائق المسلمة بتقرير القبول.

ج) الاختبارات التقنية

- فحص مصادر الطاقة (المصدر الرئيسي وجهاز عدم الانقطاع UPS).
- وظائف تحديد الاتجاه لنطاقات الموجات الديكامترية/المترية/السنتيمترية (HF/VHF/UHF): الترددات الثابتة، المسح، الموقع.
- قياسات الاتحاد الدولي للاتصالات في نطاقات الموجات الديكامترية/المترية/السنتيمترية (HF/VHF/UHF): الترددات الثابتة، مسح الترددات، مسح الذاكرة.
- تحليل الإشارات.
- مهام يدوية ومهام مؤتمتة: مراقبة منهجية للمرسلات ومعدلات شغل الترددات والبحث عن المرسِلات المجهولة.
- تجهيزات اختبار متكاملة مدمجة (BITE).

وتُقصر نتائج الاختبارات التي تُجرى أثناء القبول على تقرير اختبار القبول الذي توقعه الإدارة والمورّد.

2.2.5A القبول النهائي

في حالة القبول الذي يتبعه فترة ضمان بموجب كفالة، لا ينطبق هذا القسم. وفي حالة قبول مؤقت يتبعه قبول نهائي، تُوقع شهادة القبول المؤقت من الطرفين، طبقاً للشروط الإدارية التي تحدد فترة الكفالة (سنة واحدة عموماً)، وبعد انتهاء هذه الفترة تصدر شهادة القبول النهائي.

التذييـــل 1
للملحـــق 1

مثال الاتحاد الدولي للاتصالات للتحليل التقني للعروض

الجدول A1-1

المعلمات الوظيفية	المواصفات	المتطلبات	الشركة Y أساسي	الشركة X
المراقبة	رصد الإشارات الراديوية ومراقبتها	وظائف تشغيلية لأغراض التدريب	**ممتثلة**	الخيار 1: البرمجيات فقط – **غير ممتثلة** الخيار 2: عتاديات وبرمجيات يُنظر أدناه في الخيار 2 فقط
1 مدى ترددات مستقبِل المراقبة:	مدى الترددات: 100 kHz – 3/2,5 GHz	يجب أن يشمل مدى الترددات جميع الخدمات الراديوية في النطاقات المدرجة	**ممتثلة**	**ممتثلة** مع بعض التحفظات (انظر الملاحظة في الصف الأخير)
2 هوائيات الاستقبال:	مدى الترددات: 100 kHz – 3/2,5 GHz	طبقاً لخصائص النظام	**ممتثلة**	**ممتثلة**
3 أساليب التشغيل:	يدوي وأوتوماتي	يجب أن يمكن النظام من التمييز بين المراقبة اليدوية والمراقبة الأوتوماتية	**ممتثلة**	**ممتثلة**

الجدول A1-1 (تابع)

المعلمات الوظيفية	المواصفات	المتطلبات	الشركة Y أساسي	الشركة X
4 قياس المعلمات التقنية للإشارات:	1) التردد 2) شدة المجال وكثافة تدفق القدرة 3) عرض النطاق 4) النسبة المئوية للتشكيل (التشكيل بالاتساع) 5) تخالف التردد (التشكيل بالتردد) 6) تحليل الطيف 7) قياسات شغل الطيف	– القياسات طبقاً لتوصيات قطاع الاتصالات الراديوية ولوائح الراديو – قياسات في الوقت الفعلي وقياسات تفاضيلية – التقاط الإشارات وإزالة تشكيلها وتسجيلها وتحليلها – تحديد حر للعتبة الخاصة باستقبال الإشارة	**ممتثلة**	**ممتثلة**
5 إزالة التشكيل:	الموجة المستمرة (CW) والتشكيل بالاتساع (AM) والتشكيل بالتردد (FM) والنطاق الجانبي الوحيد (SSB) والتشكيل بالتردد ضيق النطاق (NFM) والتشكيل بالتردد عريض النطاق (WFM)		**ممتثلة**	**ممتثلة**
6 وظائف التتبع:	1) تتبع منفصل للترددات 2) تتبع الترددات حسب النطاق 3) انتقاء تمييزي للقفزات الترددية	انتقاء يدوي وأوتوماتي للترددات	**ممتثلة**	**ممتثلة**

الجدول A1-1 (*تتمة*)

المعلمات الوظيفية	المواصفات	المتطلبات	الشركة Y أساسي	الشركة X
7 جمع البيانات:	تخزين نتائج القياسات وتوليد التقارير	سطح بيني لتوصيل التجهيزات المحيطية كالطابعات والحواسيب الشخصية	**ممتثلة**	**ممتثلة**
8 برمجية التطبيق:	1) السطح البيني بين الإنسان والآلة: – سهل الاستعمال – وظائف محددة بوضوح – الطيف الترددي – سهولة قراءة النتائج – تحويل الوحدات – التصوير النظري لجداول الإشغال الإحصائية 2) محاكاة عملية التحديد الراديوي للاتجاه 3) النمو المحتمل للنظام: – إمكانية تركيب تجهيزات التحديد الراديوي للاتجاه بسهولة – سهولة الصيانة – اختبارات أوتوماتية – سهولة الاستعمال – متعدد الأغراض		**ممتثلة**	**ممتثلة**

الجدول A1-2

المعلمات الوظيفية	المواصفات	المتطلبات	الشركة Y (الأساسي)	الشركة X
التدريب	1 دورة تدريبية على التجميع والتركيب 2 دورة تدريبية على التشغيل والصيانة 3 مواد إرشادية للتدريب (مطبوعة أو في صورة إلكترونية)	خمسة أيام لمهندسين اثنين. تُجرى الدورة رقم 1 في المصنع تشتمل الدورة رقم 2 على الصيانة الوقائية والتصحيحية	**ممتثلة**	**غير ممتثلة**
معجم المصطلحات والمختصرات	باللغتين الإنكليزية والفرنسية	خيارياً: باللغة الإسبانية	**ممتثلة**	**ممتثلة**
مصدر الطاقة الكهربائية	220 V ± 5%، و50 Hz		**ممتثلة**	غير مبين
الوثائق	1 خطط التركيب 2 كتيبات التشغيل والصيانة لكل من النظام ومكوناته	مخطط مفاهيمي للنظام وصف للأنظمة والتجهيزات خطط التجميع والتركيب اختبار القبول التشغيلي للمحطة إجراءات القيام بالكشف عن عيوب النظام وتصويبها إجراءات تشغيلية للصيانات التصحيحية والوقائية الدورية إجراءات تتبع أعطال النظام وإصلاحها	**ممتثلة**	**ممتثلة**
الإمداد بالسلع والخدمات	الجهة المتعاقدة مسؤولة عن توفير السلع والخدمات حسبما هو محدد في العقود الخاصة بذلك		*	

الجدول A1-2 (*تتمة*)

المعلمات الوظيفية	المواصفات	المتطلبات	الشركة Y (الأساسي)	الشركة X
الدعم وقطع الغيار	الإمداد بالأجزاء وقطع الغيار (القابل منها وغير القابل للاستبدال) واللازمة لخدمات صيانة النظام لفترة مدتها سنتين بعد القبول النهائي للعقد		*	10 سنوات بعد القبول النهائي
اختبار القبول في المصنع	التحقق من المواصفات التقنية للتجهيزات		واحد من المتخصصين في الاتحاد الدولي للاتصالات ولمدة ثلاثة أيام عمل	لا يوجد أي إشارة تتعلق باختبار القبول في المصنع
النقل والتسليم	حد أقصى [180] يوماً في الموقع، بما في ذلك المسؤولية عن التغليف والنقل والتركيب		*	أربعة أشهر بعد أمر التوريد. التسليم في جنيف
التركيب	الجهة المتعاقدة مسؤولة عن تركيب التجهيزات وإجراء كل الاختبارات اللازمة لضمان الحالة المثلى للنظام وتشغيله	التركيب والاختبار والإدماج والتشغيل	*	
إجراء اختبارات مؤقتة قبل القبول	اختبار الاعتمادية في تركيب وتشغيل النظام والتجهيزات		*	
إجراء اختبارات نهائية قبل القبول	بروتوكول القبول		*	**ممتثلة**
الضمان	ضمان الجودة يشمل الأداء السلس والمواد والبرمجيات لمدة 12 شهراً من تاريخ القبول النهائي		*	**ممتثلة**

* **الملاحظة 1** – ممتثلة طبقاً لبيانات من **الشركة** Y في "قائمة الامتثال".

الجدول A1-3

المعلمات الوظيفية	المواصفات	المتطلبات	الشركة Y أساسي	الشركة X
مسؤولية التأمين	تقوم الجهة المتعاقدة بالتوقيع على بوليصة تأمين تغطي أي مخاطر قد تنشأ قبل إصدار شهادة القبول المؤقت (تغطي فترة تبدأ من لحظة خروج التجهيزات من المصنع إلى أن يتم تركيبها بصورة مؤقتة في مكان التسليم)			
1) عرض مجمل للجزء التقني 2) محطة تشغيل حاسوبية (البند 2 من الاختصاصات)			1) جيد جداً 2) حسن **قائمة بالخيارات:** ...	1 تقديم هزيل للعرض وصعوبة في التوصل إلى المعلومات الملائمة/المطلوبة 2 محطة التشغيل: الحد الأدنى من التشكيل 3 لا يوجد اختبار قبول في المصنع 4 التدريب: العرض غير ممتثل للاختصاصات

التذييـــل 2
للملحـــق 1

مثال الاتحاد الدولي للاتصالات للتقييمين التجاري والقانوني

1 التقييم التجاري – فتح العروض التجارية

1.1 يكون سعر الفتح الإجمالي لكل عرض كما حدده فريق التقييم، كما يلي:

المناقصون (بالترتيب الأبجدي)	سعر الفتح الإجمالي بالدولار الأمريكي
الشركة X	العرض الأول – [999 999,00] العرض الثاني – [999 999,00]
الشركة Y	العرض الأساسي – [999 999,00] العرض الخياري – [999 999,00]

2.1 قدمت **الشركة X** العرض التجاري الأكثر شمولاً. وقدمت **الشركة Y** معظم المعلومات المطلوبة في عرضيها. ومع ذلك، لم يكن مستوى التفصيل مرضياً (تفصيل الأسعار مثلاً)، ومن ثم احتاج الأمر إلى مزيد من الإيضاحات.

3.1 السعر الإجمالي المقدر (TEP) لكل عرض من العرضين كما هو محدد من قبَل لجنة التقييم التجاري هو كالتالي:

مقدم العطاء	العرض الأساسي	العرض الخياري 1	العرض الخياري 2
الشركة X	[999 999,00] دولار	[999 999,00] دولار	[999 999,00] دولار
الشركة Y	[999 999,00] دولار	[999 999,00] دولار	–

4.1 لم تقدم **الشركة Y** تفصيلات للأسعار. وبالتالي، كان من الضروري أن يُطلب منها شرح مفصل لسعرها الإجمالي لاستكمال التقييم التجاري لعرضها. و لم تقدم **الشركة X** المعلومات المطلوبة الكاملة (قائمة تفصيلية بأسعار البنود في الخيارين 1 و2).

5.1 وهناك اختلاف كبير بين **الشركتين X** و**Y** في أسعار الفتح لكل منهما. فبالنسبة **للشركة X**، ينبع الاختلاف الأكبر من أن العرض الأساسي يضم التدريب فقط. وبالتالي، وطبقاً لتوصية لجنة التقييم التقني، لمزيد من التفصيل يرجى الرجوع إلى تقرير التقييم التقني للجنة.

6.1 تحتوي الأسعار المقدمة من ... على تخفيض قدره 10% من السعر الإجمالي.

7.1 السعر بدولارات الولايات المتحدة الأمريكية شاملاً النقل والتأمين (CIP) تسليم جنيف (نظراً إلى أن الاتحاد لم يحدد نقطة المقصد). ويحتاج الاتحاد أن تكون الأسعار بالتسليم معفاة من الرسوم (DDU) – وذلك طبقاً للمصطلحات التجارية الدولية 2000، بما في ذلك التغليف المعتاد (على أن تُحدد نقطة المقصد). ويجب توضيح هذه النقطة أثناء مفاوضات العقد.

8.1 ***شروط وأحكام الدفع***. عرضت الشركتان شروطاً للدفع. ومن ثم، ***يتعين التفاوض*** بشأن شروط وأحكام الدفع للعقد المزمع مع الشركة المختارة.

9.1 يشمل كلا العرضين ***شروطاً تجارية***. وفي حال إجراء مفاوضات تعاقدية مع كلتا الشركتين، يجوز للاتحاد مناقشة جميع التعديلات وشروط الدفع الإضافية المقترحة للعقد طبقاً لقواعد الاتحاد ولوائحه (انظر الصفحات من ii إلى jj في الفصل N من العرض التجاري **للشركة X**، والصفحتين kk وll في الفصل M من عرض **الشركة Y**).

2 التقييم القانوني – الامتثال للنموذج الخاص بنسق العقد (الجزء II من الدعوة إلى تقديم العطاء)

	الشركة X			الشركة Y	
معلومات عامة	**العرض الأول**	**العرض الثاني**	**العرض الثالث**	**العرض الأول (الأساسي)**	**العرض الثاني**
صلاحية العرض					
الامتثال للعقد	نعم (α)	نعم	نعم	نعم	نعم
الامتثال للمتطلبات التقنية	نعم	نعم	بالإضافة	لا	نعم
إجمالي رجل/يوم	5	5	–	–	15
الوقت الإجمالي للعمل	7,5 ساعة/يوم 3-5 أيام	7,5 ساعة/يوم 3-5 أيام	–	9 ساعة/يوم يومان	9 ساعة/يوم 6 أيام/4 أسابيع
السعر لكل رجل/يوم	9 999,00	9 999,00	–	–	9 999,00
إجمالي رجل/يوم	6	6		10	10
الوقت الإجمالي للعمل	7,5 ساعة/يوم 5 أيام (37,5 ساعة)	7,5 ساعة/يوم 5 أيام (37,5 ساعة)		6 ساعة/يوم يوم واحد (6 ساعات)	6 ساعة/يوم 5 أيام/3 أسابيع (90 ساعة)
السعر لكل رجل/يوم	9 999,00	9 999,00		9 999,00	9 999,00
العناصر التي يمكن أن تزيد من السعر الإجمالي الثابت النهائي	لا يوجد، إذا كانت البنود مقيدة في جداول أسعار البنود من I إلى III المقدمة مع العرض	لا يوجد، إذا كانت البنود مقيدة في جداول أسعار البنود من I إلى III المقدمة مع العرض		فصول وتجهيزات التدريب غير متوفرة	فصول وتجهيزات التدريب غير متوفرة
يقوم الاتحاد الدولي للاتصالات بتوفير الخدمات النظيرة التي تتوقعها الجهة مقدمة العطاء	يجب توفير موقع التركيب المناسب	يجب توفير موقع التركيب المناسب		إنشاء قاعة فصل والتأكد من توفير تجهيزات التدريب اللازمة	إنشاء قاعة فصل والتأكد من توفير تجهيزات التدريب اللازمة
التزام ببدء العمل وإنجازه	التاريخ الفعلي للعقد	التاريخ الفعلي للعقد		التاريخ الفعلي للعقد	التاريخ الفعلي للعقد
وقت التسليم/الشروط	عدد *N* من الشهور	عدد *N* من الشهور		عدد *M* من الأسابيع	عدد *L* من الأسابيع
السعر الإجمالي الثابت النهائي بالدولار الأمريكي					

1.2 α – تتعلق بالامتثال للمتطلبات:

ملاحظات **الشركة X** كالتالي:

'1' ترجمة برمجية النظام إلى اللغة الفرنسية تُقدم بشكل منفصل، وذلك لأن جميع عملاء الشركة في كل أنحاء العالم يقبلون البرمجية باللغة الإنكليزية.

'2' ترجمة البرمجية إلى اللغة الفرنسية مقابل رسوم لمرة واحدة.

'3' سيتم توفير كتيبات التجهيزات والتدريب باللغة الفرنسية.

'4' سيُقدم تدريب بشأن الصيانة الوقائية والتصحيحية، إذا كان المتدربون يحملون درجات وخبرات هندسية.

ويفي العرض الثاني **للشركة Y** (الخياري) بالمتطلبات بشكل تام.

2.2 وبالنسبة ***لنموذج نسق العقد*** المقترح. في حالة التفاوض على العقد مع كلتا الشركتين، يجوز للاتحاد مناقشة جميع التعديلات والإضافات المقترحة على النموذج الخاص بنسق العقد وشروط الدفع. وتتناول أهم الأمور الموضوعات التالية:

أ) **القانون الموضوعي** (الامتثال للتشريعات والقوانين واللوائح):

ترى **الشركة X** أن "تسوى جميع النزاعات طبقاً لشروط العقد والاتفاقات التكميلية، أو طبقاً للقانون الموضوعي الساري في البلد XYZ دون الرجوع إلى أي قوانين موضوعية أخرى".

هذا الشرط غير مطابق لقواعد الاتحاد الدولي للاتصالات ولوائحه.

الملاحظة 1 – يُعلن "الامتثال" بالنموذج الخاص بنسق العقد.

ب) التحكيم:

ترى **الشركة X** أن "المحاولة تعتبر فاشلة إذا أبلغ واحد من الطرفين الطرف الآخر بهذه الحقيقة كتابة". وإذا فشلت محاولة التسوية، تسوى النزاعات في إطار قواعد التوفيق والتحكيم لغرفة التجارة والصناعة في [اسم المدينة] على يد ثلاثة محكمين... (انظر الصفحة *k/k*، الفصل *N* من الجزء التجاري) – هذه المادة قابلة للتفاوض.

ج) قبول التفتيش في المصنع والتسليم:

انظر التعليقات/عرض **الشركة X**، الفقرة *n*، الصفحة *m* من الفصل *N* في العرض الخياري.

د) الضمانات:

تقدم كلتا الشركتين الشروط التفصيلية للضمان وتطلب إدخال تعديلات. وبعض التعديلات المقترحة لا تتفق مع العقد القياسي للاتحاد الدولي للاتصالات ولكن يمكن التفاوض بشأنها.

هـ) *الظروف القاهرة*:

تقترح **الشركة X** تعديل هذه المادة. انظر الفصل *N*، الصفحة *i/k* "... حالة *الظروف القاهرة* تؤكدها غرفة التجارة، ...". ولا يتفق بعض من التعديلات المقترحة مع العقد القياسي للاتحاد الدولي للاتصالات ولكن يمكن التفاوض بشأنها.

قائمة بأسماء المختصرات الواردة في هذا الكتيب

2G	الجيل الثاني (النظام العالمي للاتصالات المتنقلة)	*(2nd generation (GSM)*
3G	الجيل الثالث (نظام الاتصالات المتنقلة العالمية)	*(3rd generation (UMTS)*
3GPP	مشروع شراكة الجيل الثالث	*(3rd generation partnership project)*
3GPP2	المشروع الثاني لشراكة الجيل الثالث	*(3rd generation partnership project 2)*
A/D	من تماثلي إلى رقمي	*(Analog to digital)*
ACU	وحدة التحكم في الهوائي	*(Antenna control unit)*
ADC	محوال من تماثلي إلى رقمي	*(Analogue to digital converter)*
ADSL	خط مشترك رقمي لا تناظري	*(Asymmetric digital subscriber line)*
AF	تردد سمعي	*(Audio frequency)*
AGC	تحكم أوتوماتي في كسب الهوائي	*(Automatic gain control)*
AM	تشكيل الاتساع	*(Amplitude modulation)*
AMDS	نظام بيانات تشكيل تماثلي	*(Analogue modulation data system)*
AMSL	فوق متوسط سوية البحر	*(Above mean sea level)*
AOA	زاوية الوصول	*(Angle of arrival)*
APD	توزع احتمالات الاتساع	*(Amplitude probability distribution)*
API	السطح البيني لبرمجة التطبيق	*(Application programming interface)*
APT	مجموعة الاتصالات لآسيا والمحيط الهادئ	*(Asian-Pacific Telecommunity)*
ASIC	دارة متكاملة محددة التطبيق	*(Application-specific integrated circuit)*
ASK	إبراق بزحزحة الاتساع	*(Amplitude shift keying)*
ATM	أسلوب نقل غير متزامن	*(Asynchronous transfer mode)*
ATSC	لجنة أنظمة التلفزيون المتقدمة	*(Advanced television systems committee)*
AWGN	ضوضاء غوسية بيضاء مضافة	*(Additive White Gaussian Noise)*
BCCH	قناة تحكم إذاعي	*(Broadcast control channel)*
BER	نسبة/معدل الخطأ في البتات	*(Bit error rate/ratio)*
BIT	اختبار مبيّت	*(Built in test)*
BITE	تجهيزات اختبار مبيّتة	*(Built-in test equipment)*
BLER	نسبة/معدل الخطأ في الفدرات	*(BLock error rate/ratio)*
BPSK	إبراق اثنيني بزحزحة الطور	*(Binary phase shift keying)*
BR	مكتب الاتصالات الراديوية في الاتحاد	*(ITU Radiocommunication Bureau)*
BR IFIC	النشرة الإعلامية الدولية للترددات الصادرة عن مكتب الاتصالات الراديوية في الاتحاد	*(ITU BR International Frequency Information Circular)*
BSS	خدمة إذاعية ساتلية	*(Broadcasting-satellite service)*
BW	عرض نطاق	*(BANDWIDTH)*
BWA	نفاذ لا سلكي عريض النطاق	*(Broadband wireless access)*

C/I	نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل	*(Carrier-to-interference ratio)*
CAF	وظيفة الغموض المتصالب	*(Cross ambiguity function)*
CB	نطاق المواطن	*(Citizen band)*
CCDF	وظيفة التوزيع المتراكم التكميلية	*(Complementary cumulative distribution function)*
CDMA	نفاذ متعدد بتقسيم شفري	*(Code-division multiple acess)*
CEPT	المؤتمر الأوروبي لإدارات البريد والاتصالات	*(European Conference of Postal and Telecommunications Administrations)*
CIF	نسق وسيط مشترك	*(Common intermediate format)*
CIR	استجابة نبضة القناة	*(Channel impulse response)*
CISPR	اللجنة الدولية الخاصة بالتداخل الراديوي	*(International Special Committee on Radio Interference)*
CITEL	لجنة البلدان الأمريكية للاتصالات	*(Inter-American Telecommunications Commission)*
COFDM	تعدد إرسال تعامدي ومشفر بتقسيم التردد	*(Coded orthogonal frequency-division multiplex)*
COSPAS/SARSAT	النظام الساتلي الدولي للبحث والإنقاذ	*(International Satellite System for Search and Rescue)*
CPICH	قناة رائدة مشتركة	*(Common pilot channel)*
CPLPA	هوائي لوغاريتمي دوري مستقطب دائرياً	*(Circularly-polarized log-periodic antenna)*
CPM	تشكيل طوري مستمر	*(Continuous phase modulation)*
CRMO	مكتب الإدارة الراديوية المركزي	*(Central Radio Management Office)*
CRT	أنبوب الشعاع الكاثودي	*(Cathode ray tube)*
CSV	قيمة مفصولة بفاصلة	*(Comma-separated value)*
CTCSS	كابت تحكمه نغمة مستمرة	*(Continuous tone-coded squelch system)*
CW	موجة مستمرة	*(Continuous wave)*
DAB	إذاعة سمعية رقمية	*(Digital audio broadcasting)*
DAM	تشكيل اتساع دينامي	*(Dynamic amplitude modulation)*
DANL	متوسط سوية الضوضاء في لوحة العرض	*(Display average noise level)*
DDC	محوال رقمي خافض	*(Digital down-converter)*
DECT	اتصالات لا سلكية أوروبية رقمية	*(Digital european cordless telecommunications)*
DEM	نموذج ارتفاع رقمي	*(Digital elevation model)*
DF	تحديد/محدد الاتجاه	*(Direction finding/finder)*
DFT	تحويل فورييه منفصل	*(Discrete fourier transform)*
DGPS	نظام عالمي لتحديد المواقع تفاضلي	*(Differential GPS)*
DMB-T/H	إذاعة رقمية متعددة الوسائط – للأرض/محمولة باليد	*(Digital multimedia broadcasting-terrestrial/handheld)*
DME	تجهيزات قياس المسافة	*(Distance measuring equipment)*
DQPSK	إبراق بزحزحة الطور تربيعي تفاضلي	*(Differential quadrature phase shift keying)*

DRM	الراديو الرقمي العالمي	*(Digital Radio Mondiale)*
DSB	إذاعة صوتية رقمية	*(Digital sound broadcasting)*
DSL	خط مشترك رقمي	*(Digital subscriber line)*
DSP	معالج/معالجة إشارة رقمية	*(Digital signal processor/processing)*
DSSS	انتشار طيف بتتابع مباشر	*(Direct sequence spread spectrum)*
DTM	نموذج طوبوغرافي رقمي	*(Digital terrain model)*
DTMB	بث رقمي متعدد الوسائط للأرض	*(Digital terrestrial multimedia broadcast)*
DTMF	تردد متعدد بنغمة مزدوجة	*(Dual tone multiple frequency)*
DVB-T	إذاعة فيديوية رقمية للأرض	*(Digital video broadcasting – terrestrial)*
EDGE	معدلات بيانات معززة لتطور النظام العالمي للاتصالات المتنقلة	*(Enhanced data rates for GSM evolution)*
EHF	ترددات عالية جداً (ميلليمترية) (30 إلى 300 GHz)	*(Extremely high frequency (30 to 300 GHz)*
e.i.r.p.	قدرة مشعة مكافئة متناحية	*(Equivalent isotropically radiated power)*
ELF	ترددات منخفضة جداً (3 إلى 30 Hz)	*(Extremely low frequency (3 to 30 Hz)*
EMC	مواءمة كهرمغنطيسية	*(Electromagnetic compatibility)*
EMF	مجال كهرمغنطيسي	*(Electromagnetic field)*
e.r.p.	طاقة مشعة فعالة	*(Effective radiated power)*
ETSI	المعهد الأوروبي لمعايير الاتصالات	*(European Telecommunications Standards Institute)*
EUT	تجهيزات قيد الاختبار	*(Equipment under test)*
EVM	مقدار متجه الخطأ	*(Error vector magnitude)*
FAT	اختبار القبول في المصنع	*(Factory acceptance test)*
FBO	إشغال نطاق التردد	*(Frequency band occupancy)*
FCO	إشغال قناة التردد	*(Frequency channel occupancy)*
FDD	إرسال مزدوج بتقسيم التردد	*(Frequency-division duplex)*
FDDI	شبكة منطقة محلية للبيانات موزعة بألياف بصرية	*(Fiber data distributed interface)*
FDMA	نفاذ متعدد بتقسيم التردد	*(Frequency-division multiple access)*
FDOA	تفاضل تردد الوصول	*(Frequency difference of arrival)*
FER	معدل الخطأ في الأرتال	*(Frame error rate)*
FET	ترانزيستور تأثير ميداني	*(Field effect transistor)*
FFT	تحويل فورييه السريع	*(Fast fourier transform)*
FHSS	طيف انتشار قفزات التردد	*(Frequency hopping spread spectrum)*
FM	تشكيل التردد	*(Frequency modulation)*
FMCW	موجة مستمرة مشكّلة التردد	*(Frequency-modulated continuous wave)*
FPGA	صفيف بوابات قابلة للبرمجة ميدانياً	*(Field-programmable gate array)*
FSK	إبراق بزحزحة التردد	*(Frequency-shift keying)*
FSPL	خسارة مسير الفضاء الحر	*(Free space path loss)*
FSS	خدمة ساتلية ثابتة	*(Fixed-satellite service)*

GFSK	إبراق غوسي بزحزحة التردد	*(Gaussian frequency shift keying)*
GIS	أنظمة المعلومات الجغرافية	*(Geographic information systems)*
GLONASS	النظام الساتلي العالمي للملاحة	*(Global navigation satellite system)*
GMSK	إبراق غوسي بزحزحة دنيا	*(Gaussian minimum shift keying)*
GPIB	حافلة سطح بيني عامة الغرض	*(General-purpose interface bus)*
GPRS	خدمة عامة للاتصالات الراديوية بأسلوب الرزم	*(Global packet radio service)*
GPS	نظام عالمي لتحديد المواقع	*(Global positioning system)*
GSM	النظام العالمي للاتصالات المتنقلة	*(Global system for mobile communications)*
GSO	مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض	*(Geo-stationary orbit)*
GUI	واجهة بيانية مع المستعمل	*(Graphical user interface)*
HF	ترددات عالية (3 إلى 30 MHz)	*(High frequency (3 to 30 MHz))*
HSDPA	نفاذ رزم عالي السرعة في الوصلة الهابطة	*(High speed downlink packet access)*
HSPA	نفاذ رزم عالي السرعة	*(High speed packet access)*
HSUPA	نفاذ رزم عالي السرعة في الوصلة الصاعدة	*(High speed uplink packet access)*
I/Q	في الطور وفي التربيع	*(In-phase and quadrature)*
IBOC DSB	إذاعة صوتية رقمية في النطاق على القناة	*(On channel digital sound broadcast)*
IBRD	البنك الدولي للإنشاء والتعمير	*(International Bank for Reconstruction and Development)*
ICAO	منظمة الطيران المدني الدولي	*(International Civil Aviation Organization)*
ICNIRP	اللجنة الدولية للحماية من الإشعاع غير المؤيّن	*(International Commission on non-ionizing radiation protection)*
IDA	المؤسسة الدولية للتنمية	*(International Development Association)*
IDWM	خارطة العالم المرقمنة من وضع الاتحاد	*(ITU Digitized World Map)*
IEC	اللجنة الكهرتقنية الدولية	*(International Electrotechnical Commission)*
IEEE	معهد المهندسين الكهربائيين والإلكترونيين	*(Institute of Electrical and Electronics Engineers)*
IF	تردد متوسط	*(Intermediate frequency)*
IFIC	النشرة الإعلامية الدولية للترددات	*(International Frequency Information Circular)*
IFL	القائمة الدولية للترددات	*(International Frequency List)*
IFM	القياس الآني للتردد	*(Instantaneous frequency measurement)*
ILS	نظام الهبوط بالأجهزة	*(Instrument landing system)*
IMP	ناتج التشكيل البيني	*(Intermodulation product)*
IN	ضوضاء النبضة	*(Impulse noise)*
IP3	ناتج التشكيل البيني من المرتبة الثالثة	*(Third order intermodulation product)*
IRPA/INIRC	الرابطة الدولية للحماية من الإشعاع/اللجنة الدولية للإشعاع غير المؤين	*(International Radiation Protection Association/International non-ionizing Radiation Committee)*
IS95	المعيار المؤقت 95 (المعيار الخلوي الرقمي الأول القائم على CDMA)	*(Interim Standard 95 (first CDMA-based digital cellular standard))*

ISB	نطاق جانبي مستقل	*(Independent sideband)*
ISDB-T	خدمات إذاعة رقمية متكاملة – للأرض	*(Integrated services digital broadcasting-terrestrial)*
ISDN	شبكة رقمية متكاملة الخدمات	*(Integrated services digital network)*
ISM	صناعي وعلمي وطبي	*(Industrial, scientific and medical)*
ISO	منظمة التقييس الدولية	*(International Organization for Standardization)*
IT	تكنولوجيا المعلومات	*(Information technology)*
ITS	معهد علوم الاتصالات	*(Institute for Telecommunication Sciences)*
ITU	الاتحاد الدولي للاتصالات	*(International Telecommunication Union)*
ITU-R	قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد	*(ITU Radiocommunication Sector)*
ITU-T	قطاع تقييس الاتصالات في الاتحاد	*(ITU Telecommunications Standardization Sector)*
KCC	هيئة الاتصالات الكورية	*(Korea Communications Commission)*
KISA	الوكالة الكورية للإنترنت والأمن	*(Korea Internet & Security Agency)*
LAN	شبكة منطقة محلية	*(Local area network)*
LED	مسرى ثنائي باعث للضوء	*(Light-emitting diode)*
LF	تردد منخفض (موجات كيلومترية) (30 إلى 300 kHz)	*(Low frequency (30 to 300 kHz))*
LHCP	استقطاب دائري مياسر	*(Left-hand circular polarisation)*
LMDS	خدمة توزيع محلية متعددة النقاط	*(Local multipoint distribution service)*
LNA	مضخم منخفض الضوضاء	*(Low-noise amplifier)*
LO	مذبذب محلي	*(Local oscillator)*
LoB	خط الاتجاه الزاوي	*(Line of bearing)*
LoS	خط البصر	*(Line-of-sight)*
LPA	هوائي لوغاريتمي دوري	*(Log periodic antenna)*
LPZ	منطقة حماية من الصواعق	*(Lightning protection zone)*
LSB	نطاق جانبي أدنى	*(Lower side band)*
LTE	تطور في المدى البعيد	*(Long term evolution)*
MARS	نظام النفاذ إلى قاعدة بيانات الخدمات البحرية المتنقلة واسترجاعها	*(Maritime Mobile Access and Retrieval System)*
MER	معدل/نسبة الخطأ في التشكيل	*(Modulation error rate/ratio)*
MF	تردد متوسط (موجات هكتومترية) (300 إلى 3 000 kHz)	*(Medium frequency (300 to 3 000 kHz))*
MIFR	السجل الأساسي الدولي للترددات	*(Master International Frequency Register)*
MIMO	تعدد دخل، تعدد خرج	*(Multiple input, multiple output)*
MMDS	خدمة توزيع متعدد الوسائط	*(Multimedia distribution service)*
MMI	سطح بيني إنسان – آلة	*(Man-machine interface)*
MMN	ضوضاء اصطناعية	*(Man-made noise)*
MoM	طريقة العزوم	*(Method of moments)*

MPEG	معايير للانضغاط السمعي والفيديوي من وضع فريق خبراء الصور المتحركة	*(Standards for audio and video compression developed by the Moving Picture 0Experts Group)*
MPHPT	وزارة الإدارة العمومية والشؤون الداخلية والبريد والاتصالات (اليابان)	*(Ministry of Public Management, Home Affairs, Posts and Telecommunications (Japan))*
MPX power	قدرة إشارة تعدد الإرسال	*(power of the Multiplex signal)*
MSK	إبراق بزحزحة دنيا	*(Minimum shift keying)*
MSS	خدمة متنقلة ساتلية	*(Mobile-satellite service)*
MTBF	متوسط الزمن بين الأعطال	*(Mean time between failures)*
MTI	دلالة الهدف المتحرك	*(Moving target indication)*
MTTR	الزمن الأقصى اللازم للتصليح	*(Maximum time to repair)*
MUF	أقصى تردد قابل للاستعمال	*(Maximum usable frequency)*
MUSIC	تصنيف إشارات متعددة	*(Multiple signal classification)*
NASA	الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (الولايات المتحدة الأمريكية)	*(National Aeronautics and Space Administration (USA))*
NIR	إشعاع غير مؤيِّن	*(Non-ionizing radiation)*
NMR	نسبة الضوضاء إلى الحجب	*(Noise-to-mask ratio)*
NOAA	الإدارة الوطنية لدراسة المحيطات والغلاف الجوي (الولايات المتحدة الأمريكية)	*(National Oceanic and Atmospheric Administration (USA))*
NSMS	النظام الوطني لإدارة الطيف	*(National spectrum management system)*
NTIA	الإدارة الوطنية للاتصالات والمعلومات (الولايات المتحدة الأمريكية)	*(National Telecommunications and Information Administration (USA))*
NTSC	اللجنة الوطنية لأنظمة التلفزيون	*(National Television System Committee)*
ODA	المساعدة الإنمائية الرسمية (اليابان)	*(Official Development Assistance (Japan))*
OFDM	تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد	*(Orthogonal frequency division multiplexing)*
OFDMA	نفاذ تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد	*(Orthogonal frequency division multiple access)*
OoB	خارج النطاق	*(Out of band)*
OQPSK	إبراق تربيعي تعامدي بزحزحة الطور	*(Orthogonal quadrature phase shift keying)*
PABX	بدالة خاصة أوتوماتية ذات فروع	*(Private automatic branch exchange)*
PAL	خط تناوب الطور	*(Phase alternate line)*
PC	حاسوب شخصي	*(Personal computer)*
PCA	موضع النهج الأقرب	*(Position of closest approach)*
P-CPICH	قناة دليلة مشتركة أولية	*(Primary common pilot channel)*
PCS	أنظمة اتصالات شخصية	*(Personal communication systems)*
PDA	مساعد رقمي شخصي	*(Personal digital assistant)*
PEP	قدرة ذروة الغلاف	*(Peak envelope power)*
pfd	كثافة تدفق القدرة	*(Power flux-density)*
PHS	نظام هاتف شخصي	*(Personal handyphone system)*

PM	تشكيل الطور	*(Phase modulation)*
PMR	راديو متنقل خاص	*(Private mobile radio)*
Ppm	أجزاء في المليون	*(Parts per million)*
PRF	تواتر تكرار النبضات	*(Pulse repetition frequency)*
PRN	رقم شبه عشوائي	*(Pseudo-random number)*
PSD	كثافة طيفية للقدرة	*(Power spectral density)*
PSK	إبراق بزحزحة الطور	*(Phase-shift keying)*
PSNR	ذروة نسبة الإشارة إلى الضوضاء	*(Peak signal-to-noise ratio)*
PSTN	شبكة هاتفية عمومية تبديلية	*(Public switched telephone network)*
QAM	تشكيل اتساع تربيعي	*(Quadrature amplitude modulation)*
QCIF	ربع نسق متوسط مشترك	*(Quarter common intermediate format)*
QoS	جودة الخدمة	*(Quality of service)*
QP	شبه ذروة	*(Quasi-peak)*
QPSK	تشكيل تربيعي بزحزحة الطور	*(Quadrature phase shift keying)*
RBDS	نظام بيانات إذاعة راديوية	*(Radio broadcast data system)*
RBW	عرض نطاق الاستبانة	*(Resolution bandwidth)*
RCR	مركز تطوير لأنظمة الراديو	*(Development center for radio systems)*
RDS	نظام بيانات راديوية	*(Radio data system)*
RF	تردد راديوي	*(Radio frequency)*
RHCP	استقطاب دائري مُيامن	*(Right-hand circular polarisation)*
RLAN	شبكة منطقة محلية راديوية	*(Radio local area network)*
RMTP	بروتوكول نقل المراقبة عن بعد	*(Remote monitoring transfer protocol)*
r.m.s.	جذر متوسط التربيع	*(root mean square (RMS))*
RNSS	خدمة الملاحة الراديوية الساتلية	*(Radionavigation-Satellite Service)*
ROM	ذاكرة قراءة فقط	*(Read only memory)*
RR	لوائح الراديو	*(Radio Regulations)*
RRC	جيب التمام مرفوع الجذر	*(Root raised cosine)*
RSCP	قدرة شفرة الإشارة الواردة	*(Received signal code power)*
RTTY	طابعة راديوية عن بعد	*(RADIOTELETYPE)*
S/N	نسبة الإشارة إلى الضوضاء	*(Signal-to-noise ratio)*
SA	تيسرية انتقائية	*(Selective availability)*
SAR	معدل امتصاص القدرة النوعية	*(Specific energy absorption rate)*
SCA	هيئة اتصالات فرعية	*(Subsidiary communication authority)*
SCN	ضوضاء موجة حاملة وحيدة	*(Single carrier noise)*
SCPC	قناة وحيدة لكل موجة حاملة	*(Single channel per carrier)*
SDG	درجة فارق ذاتي	*(Subjective difference grade)*
SDH	تراتب رقمي متزامن	*(Synchronous digital hierarchy)*
SDMA	نفاذ متعدّد بتقسيم مكاني	*(Spatial-division multiple access)*
SECAM	تعاقب لوني مع ذاكرة	*(Sequential colour with memory)*

SFN	شبكة وحيدة التردد	*(Single frequency networks)*
SHF	تردد عالي للغاية (موجات سنتمترية) (3 إلى 30 GHz)	*(Super high frequency (3 to 30 GHz))*
SIM	زجلة تعرّف هوية المشترك	*(Subscriber identity modules)*
SINAD	تشوه نسبة الإشارة إلى الضوضاء	*(Signal-to-noise and distortion)*
SINR	نسبة الإشارة إلى التداخل زائد الضوضاء	*(Signal-to-interference-plus-noise ratio)*
SIR	نسبة الإشارة إلى التداخل	*(Signal to interference ratio)*
SM	إدارة الطيف	*(Spectrum management)*
SMS4DC	نظام إدارة الطيف للبلدان النامية	*(Spectrum management system for developing countries)*
SNR (*S*/*N*)	نسبة الإشارة إلى الضوضاء	*(Signal-to-noise ratio)*
SPD	كثافة القدرة الطيفية	*(Spectral power density)*
SPS	خدمة قياسية لتحديد الموقع	*(Standard positioning service)*
SSB	نطاق جانبي وحيد	*(Single side band)*
SSL	موقع محطة وحيدة	*(Single station location)*
SVD	تفكيك قيمة مفرد	*(Singular value decomposition)*
TCA	زمن أقرب اقتراب	*(Time of closest approach)*
TCP/IP	بروتوكول التحكم في الإرسال/بروتوكول الإنترنت	*(Transmission control protocol/internet protocol)*
T-DAB	إذاعة سمعية رقمية للأرض	*(Terrestrial digital audio broadcasting)*
TDD	إرسال مزدوج بتقسيم الزمن	*(Time-division duplex)*
TDMA	تعدد نفاذ بتقسيم الزمن	*(Time-division multiple access)*
T-DMB	إذاعة رقمية متعددة الوسائط للأرض	*(Terrestrial digital multimedia broadcasting)*
TDOA	تفاضل زمن الوصول	*(Time difference of arrival)*
TETRA	نظام راديوي للأرض متعدد القنوات	*(Terrestrial trunked radio)*
THD	مجموع تشوه التوافقية	*(Total harmonic distortion)*
TLE	عناصر من خطين	*(Two line elements)*
TOA	زمن الوصول	*(Time of arrival)*
TV	تلفزيون	*(Television)*
UHF	تردد عال للغاية (موجات ديسيمترية) (*300* إلى *3 000 MHz*)	*(Ultra high frequency (300 to 3 000 MHz))*
UMTS	نظام الاتصالات المتنقلة العالمية	*(Universal Mobile Telecommunications System)*
UPS	إمداد بالطاقة غير قابل للانقطاع	*(Uninterruptible power supply)*
USB	نطاق جانبي أعلى	*(Upper side band)*
USNO	مرصد البحرية في الولايات المتحدة	*(United States Naval Observatory)*
USTTI	معهد التدريب على الاتصالات في الولايات المتحدة	*(United States Telecommunications Training Institute)*
UTC	التوقيت العالمي المنسق	*(Universal Coordinated Time)*
UTM	نظام ميركاتور العالمي المستعرض	*(Universal Transverse Mercator)*
UWB	نطاق واسع للغاية	*(Ultra wide band)*

VDSL	خط مشترك رقمي عالي السرعة جداً	*(Very high speed digital subscriber line)*
VHF	تردد عال جداً (موجات مترية) (30 إلى 300 MHz)	*(Very high frequency (30 to 300 MHz))*
VLF	تردد منخفض جداً (موجات ميريامترية) (3 إلى 30 kHz)	*(Very low frequency (3 to 30 kHz))*
VOR	منار VHF شامل الاتجاهات (نظام ملاحة راديوية للطيران)	*(VHF omnidirectional range (radio navigation system for aircraft))*
VPN	شبكة خاصة افتراضية	*(Virtual private network)*
VQM	قياسات جودة فيديوية	*(Video quality metrics)*
VSA	محلل إشارة متجهية	*(Vector signal analyzer)*
VSAT	مطراف ذو فتحة صغيرة جداً	*(Very small aperture terminal)*
VSB	نطاق جانبي متبق	*(Vestigial sideband)*
VSWR	نسبة فلطية الموجات المستقرة	*(Voltage standing wave ratio)*
WAN	شبكة منطقة واسعة	*(Wide area network)*
WGN	ضوضاء غوسية بيضاء	*(White gaussian noise)*
WHO	منظمة الصحة العالمية	*(World health organization)*
WiMAX	قابلية التشغيل البيني العالمي لنفاذ الموجات الصغرية (واي ماكس)	*(Worldwide interoperability for microwave access)*
WLAN	شبكة منطقة محلية لا سلكية	*(Wireless local area network)*
WRC	المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية	*(World Radiocommunication Conference)*
XOR	"أو" حصراً	*(Exclusive Or)*
YIG	عقيق حديد إيتريوم	*(Yttrium iron garnet)*



طبع في سويسرا
جنيف، 2013
ISBN 92-61-13506-4
إصدار الصور: PhotoDisc