

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R SM.2039-0
(2013/08)

تطور مراقبة الطيف

السلسلة SM

إدارة الطيف

الاتحاد الدولي للاتصالات



تمهيد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يمثّل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد المدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها. ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهروتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في القرار ITU-R 1. وترد الاستثمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en> حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>)

العنوان	السلسلة
البث الساتلي	BO
التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية	BR
الخدمة الإذاعية (الصوتية)	BS
الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)	BT
الخدمة الثابتة	F
الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة	M
انتشار الموجات الراديوية	P
علم الفلك الراديوي	RA
أنظمة الاستشعار عن بعد	RS
الخدمة الثابتة الساتلية	S
التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية	SA
تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة	SF
إدارة الطيف	SM
التجميع الساتلي للأخبار	SNG
إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت	TF
المفردات والمواضيع ذات الصلة	V

ملاحظة: تمت الموافقة على النسخة الإنكليزية لهذه التوصية الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.

النشر الإلكتروني

جنيف، 2020

© ITU 2020

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التوصية ITU-R SM.2039-0*

تطور مراقبة الطيف

(المسألة ITU-R 235/1)

(2013)

مجال التطبيق

تعطي هذه التوصية لمحة مختصرة عن تطور مراقبة الطيف وتوصي بالمتطلبات والتكنولوجيات التي يتعين مراعاتها لدعم تطور مراقبة الطيف.

كلمات أساسية

تطور مراقبة الطيف، متطلبات الأنظمة

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

(أ) أن مراقبة الطيف عنصر أساسي لإدارة الطيف؛

(ب) أن تكنولوجيات الاتصالات الراديوية وأنظمتها تشهد تطوراً مستمراً وسريعاً؛

(ج) أنه يلزم دراسة، فيما يتم دراسته من تكنولوجيات، تأثير الأنظمة الراديوية المعرفة برمجياً والأنظمة الراديوية الإدراكية على مراقبة الطيف؛

(د) أن استعمال الطيف في نطاقات الترددات الأعلى لا يزال آخذاً في الازدياد؛

(هـ) أن توصيات وتقارير قطاع الاتصالات الراديوية في السلسلة SM، وكذلك كتيب الاتحاد عن مراقبة الطيف (طبعة 2011)، تعطي معلومات مستفيضة عن مراقبة الطيف لتكنولوجيات الاتصالات الراديوية الحالية وأنظمتها؛

(و) أن أنظمة و/أو أساليب مراقبة الطيف الحالية (بما فيها المحطات الثابتة والمتنقلة والمحمولة) قد تحتاج إلى التقييم من حيث قدرتها على مراقبة تكنولوجيات الاتصالات الراديوية وأنظمتها الجديدة؛

(ز) أن تحسين أجهزة مراقبة الطيف يعزز كفاءة عملية إدارة الطيف وفعاليتها؛

(ح) أن الكمية المتزايدة لنتائج قياسات الطيف المجمعة قد تتطلب تكييف تنظيم ومعالجة البيانات وتقنيات مراقبة الطيف المستعملة،

وإذ تقر

(أ) بأن استعمال تعدد الإرسال في التردد نفسه، والتقنيات المتقدمة لتقاسم الطيف، وغير ذلك من الطرائق، يمكن أن يحسن شغل الترددات وكفاءة الطيف؛

* أدخلت لجنة الدراسات 1 للاتصالات الراديوية في عامي 2019 تعديلات صياغية على هذه التوصية وفقاً للقرار ITU-R 1.

(ب) بأن الأنظمة الراديوية ذات النطاق الواسع يمكن أن تزيد من سرعة الاتصالات وأن التكنولوجيا تتطور بسرعة كبيرة لا سيما في شبكات البيانات المستقبلية؛

(ج) بأنه يتعذر على بعض أنظمة مراقبة الطيف اكتشاف وتحديد مواقع الأجهزة الراديوية المنخفضة القدرة التي تستعمل تقنيات تشكيل حديثة،

توصي

1 بأن يستفيد تطور مراقبة الطيف من الأنظمة التي يمكنها توسيع تغطية المراقبة، وتؤدي وظائف متعددة، وتشمل تشغيلاً سهل الاستعمال على النحو المبين في الملحق 1؛

2 بأن يستعمل تطور مراقبة الطيف تقنيات من قبيل اكتشاف الإشارات الضعيفة، وفصل الإشارات في نفس التردد، وتحديد الموقع المتعدد الأساليب على أساس توليفة من التقنيات، على النحو المبين في الملحق 2.

الملحق 1

متطلبات أنظمة دعم تطور مراقبة الطيف

1 توسيع تغطية المراقبة

يزداد تقلص مسافات الانتشار الراديوي في ظل التطور المستمر والسريع في التكنولوجيات الراديوية، وما يصاحب ذلك من ترددات أعلى وعروض نطاقات أوسع. ويفرض ذلك تحدياً جديداً أمام إدارة الطيف ومراقبته. ومن الضروري لتعزيز إدارة ومراقبة الطيف الترددي توسيع تغطية مراقبة الطيف أو تحسين حساسية نظام المراقبة لاكتشاف الإشارات الضعيفة في ظروف انخفاض نسبة الإشارة إلى الضوضاء. ولاكتشاف الإشارات الضعيفة، يتعين استعمال التقنيات التالية:

- زيادة كسب الهوائي (مثل الهوائيات الثنائية الاتجاه، والهوائيات التي يمكن إعادة تشكيلها).
- تقليل خسارة الإرسال (مثل تركيب المعدات في الهواء الطلق للتقليل إلى أدنى حد من الخسارة الكبلية للترددات الراديوية).
- تخفيض عامل ضوضاء المستقبل.
- خفض الضوضاء عن طريق معالجة الإشارات (مثل طرح الضوضاء، والارتباط).

ومع ذلك، لا يكفي التعاطي مع النقص في مسافة الانتشار الراديوي. فأى زيادة في أعداد محطات المراقبة تنبغي مراعاتها، غير أنه لا يكون من الممكن عادة من الناحية العملية نشر شبكات مراقبة ثابتة كبيرة. وعند النظر في الشروط العملية، سيكون من الضروري توفير التشغيل المرن والنشر السلس مع مختلف أنظمة المراقبة:

- أنظمة المراقبة ذات الأداء العالي (مثل أنظمة المراقبة الثابتة).
- أنظمة المراقبة منخفضة الكلفة المخصصة لنطاقات/إشارات خاصة (مثل نظام مراقبة لنطاق 2,4 GHz الخاص بالأنظمة الصناعية والعلمية والطبية (ISM)).
- أنظمة مراقبة لأغراض/مناطق معينة (مثل أنظمة مراقبة المطارات وأنظمة المراقبة القابلة للنقل من أجل الأحداث الرئيسية).
- أنظمة المراقبة المتنقلة والمحمولة.

2 أداء المهام المتعددة

1.2 الميادين المتعددة

ينبغي أن يُجري نظام المراقبة تحليلاً مختلفة في ميادين متعددة كما هو مبين في الجدول 1. ويساعد تحليل ميادين متعددة المشغلين على تحديد الإشارات واستخلاص معلمات الإشارات. وتحديدًا، يمكن لتحليل بروتوكول اتصالات البيانات المعيارية المعروفة أن يوفر المزيد من المعلومات، بما في ذلك معلومات عن تحديد هوية المرسل. وأما التحليل الحالي، مثل تحليل ميدان الزمن/الطيف وميدان الاتساع/الطور فهو أساسي وضروري. وفي ظل ازدياد شيوع عروض نطاقات الإشارات الأوسع وزيادة قصر آماذ الإشارات، قد يلزم هذا التحليل لتحديد الاتجاهات المتعددة القنوات، بالإضافة إلى تحديد اتجاه عام وحيد القناة. ويتيح تطوير تكنولوجيا معالجة الإشارات تحديد الاتجاهات المتعددة القنوات في آن واحد، وهو ما يمكن من الحصول على المعلومات المكانية لكل قناة. ومن الممكن أيضاً تحديد اتجاه الإشارات القصيرة الأمد، مثل إشارات القفز، ويمكن لنتائج تحديد الاتجاه في النظم المتعددة القنوات أن تساعد على معرفة ما إذا كانت إشارة معلومة ذات نطاق واسع تستعمل نفس القناة. وعلاوة على ذلك، يمكن عند إجراء تحديد لاتجاه وحيد القناة واتجاه متعدد القنوات في الوقت نفسه توقع أن تكون نتائج تحديد الاتجاه أكثر موثوقية.

الجدول 1

مثال للتحليل المختلفة في الميادين المتعددة

السوية مقابل الزمن	السوية مقابل التردد	التردد مقابل الزمن	الطور نفسه مقابل الطور التريبيعي	الفضاء مقابل التردد
- الاتساع	- الطيف	- انحراف التردد	- مخطط كوكبية	- تحديد اتجاه متعدد القنوات
- النبض	- الشغل	- تحالف التردد	- مقدار متجه الخطأ	
- مخطط العين	- هامشي	- قفز التردد	- تحالف الطور	
	- قناع التردد			
	- الضوضاء			

2.2 القياسات المتعددة

باستعمال أنظمة القياس العالية الأداء يستغرق القياس وقتاً أقل نتيجة لتخفيض المعلومات الخدمية المطلوبة للمعالجة، مثل المدة التي يستغرقها ضبط المستقبل ومدة معالجة الإشارات. ونتيجة لذلك، يمكن إجراء القياسات المتعددة عن طريق التقاسم الزمني كما هو مبين في الأمثلة التالية:

- قياس شغل القناة وتحليل تردد معين في وقت واحد عن طريق التقاسم الزمني.
- عندما يطلب مستعملان قياس وتحليل نطاقات ترددية مميزة في آن واحد تكون نتائج الحساب والإرسال ممكنة عن طريق التقاسم الزمني.

3.2 المستقبلات المتعددة

يمكن عند استعمال مستقبلات متعددة توقع تحسن السرعة والأداء نتيجة لتزامن القياسات، ويمكن إجراء المهام التالية:

- البحث والاستماع عن طريق التمرير
- يمكن للمشغلين البحث في الإشارات المكتشفة والاستماع إليها عن طريق التمرير.

- تحديد الاتجاه والموقع
- يمكن الرجوع إلى تفاصيل تحديد اتجاه وموقع المرسلات في الفصل 7.4 من كتيب مراقبة الطيف الصادر عن الاتحاد (طبعة 2011). وهناك طريقتان في حالة استعمال محطات متعددة لتحديد الموقع، هما طريقة التثليث باستعمال زاوية وصول (AOA) الأنظمة ذات المستقبلات المتعددة، وطريقة تفاضل زمن الوصول (TDOA) باستعمال الفارق الزمني في كل نظام مؤنوع. ويمكن تحديد الموقع بدقة أكبر عن طريق الجمع بين الطريقتين نظراً لما لكل منهما من مزايا وقيود يكمل كل منها الآخر.
- التنوع المكاني
- ترسل الإشارة عبر العديد من مسارات الانتشار المختلفة التي تسبب تحولات في الطور، وتأخيرات زمنية، وتوهينات، وتشوهات يمكن أن تتداخل مع بعضها البعض بصورة مدمرة عند فتحة هوائي الاستقبال. ويتم في العادة إجراء التنوع المكاني عن طريق اختيار أفضل نسبة للإشارة إلى الضوضاء (SNR) بين الإشارات و/أو بالتوليف بين الإشارات من خلال إضافة مباشرة أو متسقة، ويمكنه تحسين جودة الإشارة وموثوقية الوصلة اللاسلكية.
- اكتشاف الارتباط
- يمكن للنظام متعدد المستقبلات أن يستعمل طرائق الارتباط. ويمكن اكتشاف الإشارات الضعيفة عن طريق الحد من مصادر الضوضاء العشوائية، مثل الضوضاء البيضاء الصادرة عن المستقبلات.

4.2 تعدد المستخدمين

ينبغي تغيير طرائق التوصيل المستعملة بين المحطات والمشغلين. وعند التحكم في محطات المراقبة عند أي مطراف فإن نمط التوصيل سيتحول من نقطة إلى نقطة (1:1) ليصبح من نقطة إلى عدة نقاط (N:1) أو من عدة نقاط إلى عدة نقاط (N:N) بنفس طريقة تحويل شبكات الاتصالات من تبديل بالدارات إلى تبديل بالرمز. وعندما يطلب مستعملون متعددون قياسات من محطات اعتباطية في آن واحد، فإن المحطة تحلل وتجدول الموارد الخاصة بها، ثم تجري بعد ذلك القياس وترسل النتائج في الموعد المحدد. وفي حالة استعمال عدة محطات (مثل تفاضل زمن الوصول واكتشاف الارتباط المتبادل)، يمكن للمحطة الرئيسية (أو جهاز التحكم المركزي) جدولته القياسات والتحكم فيها.

3 سهولة التشغيل

في ظل تقدم التكنولوجيا وظهور العديد من أنواع الإشارات الجديدة، يزداد عرض نطاق الإشارات ويزداد تعقد إعدادات المعلمات لأغراض تحليل الإشارات. وتحول استعمال التشكيل التماثلي للصوت والصورة إلى اتصالات البيانات الرقمية التي تستعمل في العادة أساليب تشكيل أكثر تعقيداً وتقنيات تشفير متنوعة. من ذلك مثلاً أنه في حالة استعمال التشكيل التماثلي، من الممكن تحليل الإشارات عن طريق ضبط التردد، وعرض النطاق، ونوع التشكيل. غير أنه عند تحليل طرائق التشكيل الرقمي، ينبغي ألا يقتصر التحليل على التردد وعرض النطاق وطرائق التشكيل، بل ينبغي أن يشمل أيضاً المعلمات المعيارية، مثل نوع المراسيح المتوائمة، ومعدل الرموز، وبنية الرتل، ومختلف الشفرات.

ومع تغير الميدان البسيط، مثل الطيف وسوية الإشارات، إلى ميادين متعددة كما هو مبين في الجدول 1، قد يحتاج المشغلون إلى شاشة تحكم سهلة الاستعمال (تسمى في كثير من الأحيان واجهة المستعمل البيانية، أو GUI) تمكن من ضبط إعدادات المعلمات والأشكال البيانية أوتوماتياً من أجل إجراء تحليل فعال وسهل. ويمكن أن تكون شاشة المراقبة المفيدة والسهلة الاستعمال مزودة بوظائف، مثل إعدادات المعلمات أوتوماتياً، تبعاً لأنواع الإشارات ومختلف معايير الاتصالات الرقمية. وينبغي أن تحتوي أيضاً على تحكم في الكسب تبعاً لسوية الإشارة المستقبلية، وتشخيص سهل للشبكة وللعناد. وعند إجراء المراقبة والقياسات لمدة طويلة، تتراكم مقادير كبيرة من البيانات في قاعدة البيانات. ولذلك يمكن تقدير التغييرات الزمنية والمكانية للإشارات بفعالية عن طريق المقارنة مع البيانات القائمة من خلال النفاذ بسهولة إلى قاعدة البيانات.

الملحق 2

تقنيات دعم تطور مراقبة الطيف

1 اكتشاف الإشارات الضعيفة

شهد استعمال أجهزة النطاق العريض والأجهزة القصيرة المدى زيادة سريعة في السنوات الأخيرة، ويسبب ذلك صعوبات لبعض أنظمة المراقبة غير المزودة بمعالجة متقدمة والتي يتعين عليها التعامل مع هذه الإشارات ذات الكثافة المنخفضة القدرة، وخاصة لتحديد موقع المرسلات غير القانونية أو البث الهامشي، وما إلى ذلك. وسوف يساعد نشر المزيد من أنظمة المراقبة على حل هذه المشكلة، ولكن هذا الحل يمكن أن يكون باهظ التكلفة.

ويمكن في كثير من الحالات تحسين اكتشاف الإشارات الضعيفة باستعمال شبكة مراقبة دينامية يمكن أن تتكون من أنظمة متنقلة تدعم المحطات الثابتة وتعمل على تكميلها.

وسوف تكتشف أنظمة مراقبة الطيف باستعمال تكنولوجيا اكتشاف الإشارات الضعيفة في المستقبل الإشارات ذات الكثافة المنخفضة القدرة بدون تكلفة كبيرة. ويمكن عموماً للارتباط المتبادل أن يحسن حساسية أنظمة مراقبة الطيف بما يتراوح بين 20 و30 dB. ويمكن استعمال التكنولوجيات المتقدمة، مثل المضخمات الطورية، وتكامل العينات، والارتباط الأوتوماتي، والإلغاء التكيفي للضوضاء، لاكتشاف الإشارات الضعيفة ذات الكثافة المنخفضة القدرة.

2 فصل الإشارات في التردد نفسه

تستعمل الترددات الراديوية في مختلف الميادين، بما فيها ميدان الترددات، وميدان الزمن، وميدان الاتساع، وميدان التشكيل، وميدان الفضاء، وغيرها من الميادين لتحسين شغل الترددات وكفاءة الطيف. ويمكن لأجهزة المراقبة التقليدية أن تفصل بسهولة مختلف إشارات تقسيم التردد بمنافذ متعددة (FDMA)، وإن كان من الصعب مراقبة الإشارات على نفس التردد، مثل التداخل في نفس التردد، وإشارات المنافذ المتعددة بتقسيم زمني (TDMA)، والنفاذ المتعدد بتقسيم شفري (CDMA)، والنفاذ المتعدد العالي السعة بتقسيم مكاني (SDMA).

ويمكن لأنظمة مراقبة الطيف باستعمال تكنولوجيا فصل الإشارات في نفس التردد في المستقبل أن تراقب الإشارات العاملة في مختلف الميادين بسهولة. وعلى غرار المرشاح الذي يمكنه فصل الإشارات العاملة في ترددات غير متراكبة، يمكن لهوائيات تشكيل الحزم أن تفصل الإشارات القادمة من اتجاهات مختلفة. ويمكن استعمال التكنولوجيات المتقدمة، مثل استعادة الإشارات القوية، والتحليل المستقل للمكونات، وتشكيل الحزمة على أساس الطيف المكاني، والترشيح المتطابق مكانياً، لفصل الإشارات العاملة في ميادين مختلفة تبعاً لخواصها المختلفة.

3 تحديد الموقع المتعدد الأساليب (على أساس توليفة من تكنولوجيات تحديد الموقع)

تحمل الإشارات في مختلف الميادين المعلومات ذات الصلة بالموقع. ويمكن في المقابل استخلاص هذه المعلومات المتعلقة بالموقع باستعمال التكنولوجيا ذات الصلة أو عن طريق خوارزميات المعالجة الحاسوبية المستعملة في تحديد موقع الإشارة. وتزداد باطراد قوة معالجة الإشارات الرقمية (DSP) والقدرة على التواصل. ويتيسر بشكل متزايد الحصول على الأجهزة القائمة على معالجة الإشارات الرقمية والتواصل بتكلفة معقولة. ويمكن لأنظمة مراقبة الطيف على أساس خوارزميات معالجة الإشارات الرقمية وتكنولوجيا الشبكات أن تعرف بسهولة أكبر على هويات المرسلات ذات الخصائص المختلفة والعاملة في ميادين مختلفة.

وسوف تحسن أنظمة مراقبة الطيف باستعمال تكنولوجيا تحديد الموقع المتعدد الأساليب القائمة على معالجة الإشارات الرقمية والتواصل في المستقبل كفاءة ودقة عند مراقبة الإشارات ذات الخصائص المختلفة. ومن الأمثلة الجيدة على ذلك تفاضل زمن الوصول للنظام على أساس معالجة الإشارات الرقمية والتواصل لتحديد الرسائل باستعمال أزمنة الوصول النسبية لإشارة ما في رسائل متعددة. وتوفر أنظمة TDOA المرنة في اختيار الهوائي ونصبه، إذ تتأثر دقة TDOA قليلاً جداً بالعاكسات القريبة، ولا تشكل عموماً الهوائيات والكبلات جزءاً من مستقبلات TDOA. ويمكن استعمال التكنولوجيات المتقدمة المتاحة، مثل زاوية الوصول (AOA) وتفاضل زمن الوصول (TDOA)، واختلاف تردد الوصول (FDOA)، وقدرة الوصول (POA)، والتقنيات التي تستعين ببيانات تعرف الهوية لتحديد موقع الرسائل في مختلف الظروف.
