

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R SM.1600-3
(2017/09)

تعرف الهوية التقني للإشارات الرقمية

السلسلة SM
إدارة الطيف

تمهيد

يُضطلع 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 مدى 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)

يُرد 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 الملحق 1 بالقرار 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 الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة	M
انتشار الموجات الراديوية	P
علم الفلك الراديوي	RA
أنظمة الاستشعار عن بُعد	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، 2018

ITU-R SM.1600-3 التوصية

تعرف الهوية التقني للإشارات الرقمية

(2017-2015-2012-2002)

مجال التطبيق

تصف هذه التوصية مختلف العمليات والطرائق والأدوات الخاصة بتعرف الهوية التقني للإشارات الرقمية. وهي تقارن بين الطرائق والأدوات من مصادر عديدة وتوصي بتطبيق لحالات استعمال مختلفة. ولا يلزم استعمال جميع الأدوات الموصوفة ليتحقق الالتزام بهذه التوصية. وهي لا تقدم شرحاً متعمقاً للخوارزميات أو لخواص التصميم لأدوات العتاد أو الأدوات البرمجية.

مصطلحات أساسية

تعرف هوية الإشارات، تحليل الإشارات، الإشارات الرقمية

المختصرات/الأسماء المختصرة

ADC	محول تماثلي إلى رقمي (Analogue to digital converter)
AM	تشكيل الاتساع (Amplitude modulation)
ASK	تشكيل بزحزة الاتساع (Amplitude shift keying)
CAF	دالة الترابط الأوتوماتي الدوري (Cyclic autocorrelation function)
CDMA	نفاذ متعدد بتقسيم شفري (Code division multiple access)
EVM	شدة متجه الأخطاء (Error vector magnitude)
FDE	التسوية في مجال التردد (Frequency domain equalization)
FDMA	النفاذ المتعدد بتقسيم التردد (Frequency division multiple access)
FM	تشكيل التردد (Frequency modulation)
FSK	إبراق بزحزة التردد (Frequency shift keying)
GMSK	التشكيل الغوسي بزحزة دنيا (Gaussian minimum shift keying)
GSM	النظام العالمي للاتصالات المتنقلة (Global system for mobiles)
I/Q	المكونات المتحدة في المحور والمتعامدة (In-phase and quadrature)
OFDM	تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (Orthogonal frequency division multiplexed)
PRF	تردد تكرار النبضة (Pulse repetition frequency)
PSK	إبراق بزحزة الطور (Phase shift keying)
QAM	التشكيل بتربيع الاتساع (Quadrature amplitude modulation)
QPSK	الإبراق بزحزة الطور التربياعي (Quadrature phase shift keying)
SC	موجة حاملة وحيدة (Single carrier)

SCF	دالة الترابط الطيفي (Spectral correlation function)
SNR	نسبة الإشارة إلى الضوضاء (Signal-to-noise ratio)
TDMA	نفاذ متعدد بتقسيم زمني (Time division multiple access)
UWB	نطاق واسع جداً (Ultra wide band)
VSA	محلل إشارات متجهي (Vector signal analyser)

تقارير الاتحاد الدولي للاتصالات ذات الصلة

التقرير ITU-R SM.2304

ملاحظة - ينبغي في كل الأحوال استعمال أحدث طبعة سارية من التقرير.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

- أ) أن استعمال الراديو يتزايد باطراد؛
- ب) أن الإشارات الرقمية تستعمل على نطاق واسع؛
- ج) أن هناك عدداً متزايداً من الأجهزة التي يمكن استعمالها بدون ترخيص أو عمليات توثيق مما يجعل من الصعب على الإدارات تحديد مصدر أي إرسال؛
- د) أن تقاسم نفس الطيف من جانب العديد من تكنولوجيات الاتصالات الراديوية من الاتجاهات الناشئة؛
- هـ) أنه يصعب عادةً معالجة شكاوي التداخلات التي تتضمن إرسالات رقمية؛
- و) أن تعرف الهوية التقني يكون شرطاً ضرورياً مسبقاً في الغالب لأي قياس بشأن إشارات رقمية ذات أشكال موجة معقدة كتلك المستعملة في الكثير من أنظمة الاتصالات الرقمية؛
- ز) أن قواعد بيانات الإشارات متوافرة بحيث يمكن ربط الإشارات الرقمية الحديثة بمعلماتها الخاصة بها الخارجية والداخلية؛
- ح) أن هناك أدوات وتقنيات جديدة للتحليل وتعرف الهوية يمكن أن تساعد على التعرف على طبيعة أي إشارة مجهولة أو تكمل عملية التعرف بواسطة المعايير الرقمية الحديثة،

توصي

- 1 بأن يتم تعرف هوية الإشارات الرقمية حسب الترتيب التالي:
 - عملية عامة لتعرف الهوية على أساس الخصائص الخارجية للإشارة؛
 - تعرف هوية على أساس الخصائص الداخلية للإشارة (نمط التشكيل والمعلومات الداخلية الأخرى لشكل الموجة) عندما تتاح معرفة مسبقة طفيفة/جزئية عن الإشارة؛
 - تعرف هوية على أساس ارتباط بخصائص شكل موجة معروف عندما تتاح معرفة مسبقة قوية عن الإشارة؛
 - تأكيد تعرف الهوية من خلال إزالة التشكيل وفك التشفير والمقارنة بخصائص شكل موجة معروف (إن لم يسبق استعمالها في عملية تعرف الهوية)؛

2 بأن يُنظر في استخدام العمليات والطرائق والأدوات الموضحة في الملحق 1.

الملحق 1

1 مقدمة

يشرح هذا الملحق الخطوات المصممة لكي تستعمل إما كل خطوة فيها على حدة أو معاً في تتابع لتعرف هوية إشارة رقمية معينة. ومن المزمع أن توفر المعلومات مشورة أساسية وعملية ومنطقية بشأن التعامل مع الإشارات الرقمية الحديثة القياسية. ويتناول النص استعمال المعلومات الخارجية للإشارة ويقدم المشورة بشأن تحليل المعلومات الداخلية للإشارة بغية تحليل الإشارة بشكل أشمل؛ ويشرح استعمال أدوات وتقنيات البرمجيات من أجل التعرف الإيجابي على هوية أي إشارة رقمية حديثة قياسية. وتشكل مجموعة الأدوات التي نوقشت في هذا الملحق أمثلة يمكن استعمالها لتحديد هوية الإشارات الرقمية، ولكن لا يلزم استعمالها كلها ليتحقق الالتزام بهذه التوصية، وفي الواقع قد لا تتضمن المعدات المتاحة لخدمة مراقبة معينة كل هذه الأدوات. وتتضمن الأدوات والتقنيات التي يرد بحثها في هذا الملحق بشكل عام التفاعل بين المشغل والنظام لأن معظم الأنظمة لا تؤدي تلقائياً عملية التعرف على الإشارات الرقمية.

وفي حين أن هناك بعض المحلات الطيفية الحديثة التي لديها القدرة على تحديد خصائص الإشارات، فإن الكثير منها لا يملك القدرة على حفظ وتقديم بيانات المركبات المتحدة في الطور والمركبات المتعامدة (I/Q) للإشارة التي تعتبر مفيدة لإجراء تحليل أكثر تقدماً للمعلومات الداخلية للإشارة. وفي حين ينصب تركيز هذا الملحق على محلات إشارات المتجهات ومستقبلات المراقبة، فإنه يمكن أيضاً في بعض الحالات استعمال المحلات الطيفية وأنظمة مراقبة الطيف التي تتسم بخواص لتحليل الإشارات.

2 تعاريف الإشارات الرقمية وأساليب تحليل الإشارة والتعرف عليها

إشارات رقمية حديثة قياسية: تشمل هذه الإشارات عادةً مخططات التشكيل وأنساق النفاذ المتعدد التالية:

- الإبراق بزحزة الاتساع والطور والتردد (ASK و PSK و FSK) بما في ذلك الإبراق بالزحزة الأدنى (MSK).
- التشكيل بتربيع الاتساع (QAM).
- تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM).
- النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن (TDMA).
- النفاذ المتعدد بتقسيم الشفرة (CDMA).
- (نفاذ) بتعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (مشفر) (C)OFDM(A).
- نفاذ متعدد بتقسيم تردد موجة حاملة وحيدة (SC-FDMA).
- معادلة ميدان تردد موجة حاملة وحيدة (SC-FDE).

تصنيف الإشارات: يشير تصنيف الإشارات إلى عملية فرز الإشارات حسب السمات المعلمية مثل خطة الترددات وعرض النطاق والشكل الطيفي والمدة والإشغال (أمثلة الإشارات الخارجية)، فضلاً عن نسق التشكيل ومعدل الرموز أو معدل البود (baud) (أمثلة الإشارات الداخلية). ولا تتضمن عملية التصنيف تحديد المحتوى الأصلي للإشارة، بل تهدف إلى مساعدة المشغل على تحديد نوع الجهاز الذي يث الإشارة. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تقدم العملية معلومات لتحديد ما إذا كان المرسل وصلة صاعدة أو وصلة هابطة أو قناة تحكم أو قناة حركة. وبينما يمكن عادةً قياس الإشارات الخارجية بمحلل طيف، فإن تصنيف التشكيل يتطلب عادةً بيانات السلاسل الزمنية I/Q وخوارزميات برمجيات خاصة. وبالإعداد الصحيح والظروف المناسبة (ما يكفي من نسبة SNR ووقت الاستحواذ، وما إلى ذلك)، قد تعمل برمجيات تصنيف التشكيل تلقائياً للإبلاغ عن النسق الصحيح ومعدل الرموز الصحيح. ولكن في كثير من الحالات، يتطلب تصنيف التشكيل تدخل المشغل على النحو الموضح في الخطوات المبينة في هذا الملحق.

أنظمة وبرمجيات تعرف هوية الإشارة وتحليل الإشارة: هذا صنف من الأنظمة أو البرمجيات يمكنه توفير تعرف إيجابي لهوية أي إشارة رقمية حديثة يربط شكل موجة الإشارة بمكتبة تضم نماذج معروفة مثل التمهيد ومصدر التزامن والفترة الحارسة وكلمة التزامن ونغمات التزامن وتتابعات التدريب والرموز والشفرات الإرشادية وشفرات التخليط ومن خلال ربط الإشارة بعد إزالة تشكيلها وفك تشفيرها بمكتبة تضم نماذج معروفة مثل بيانات التشوير في قنوات الإذاعة.

بيانات الإشارة I/Q: يشير I/Q إلى بيانات المكونات المتحدة في المحور والمتعامدة للإشارة. البيانات I/Q الناتجة من اعتيان إشارة تسمح بحفظ كافة معلومات الاتساع والتردد والطور المتضمنة في الإشارة. ويسمح ذلك بالتحليل الدقيق للإشارة أو إزالة تشكيلها بأساليب مختلفة، وهي طريقة شائعة للتحليل المفصل للإشارات.

برمجيات التعرف على التشكيل: يمكن لهذه البرمجيات العمل على بيانات I/Q خام أو تسجيلات سمعية مزال تشكيلها سعياً إلى تقدير خصائص الإشارة التي تشمل:

- التردد المركزي والمباعدة الترددية بين الموجات الحاملة؛
- عرض نطاق الإشارة؛
- مدة الإشارة أو الفترة بين النبضات (في الإشارات النبضية)؛
- صنف التشكيل: موجة حاملة وحيدة أم موجات حاملة متعددة، وخطي أم غير خطي؛
- نسق التشكيل؛
- معدل الرموز؛
- النسبة إشارة إلى ضوضاء (SNR)¹؛
- النماذج المحددة للإشارة (مثل نغمات التزامن/الإرشاد والأزمنة الحارسة والفواصل الحارسة وبنية الرتل).

محلات إشارات المتجهات (VSA) وبرمجياتها: تجمع أجهزة محلات إشارات المتجهات بين العتاد إما بتكنولوجيا التغير الفوقي أو التحويل المباشر ومحولات عالية السرعة من تماثلي إلى رقمي (ADC) ومعالج إشارات رقمية (DSP) وصيف بوابات مبرمج المجال (FPGA) أو معالجات مبرمجة عامة مدجة (GPP) لإجراء قياسات لطيف سريعة وعالية الاستبانة وإزالة التشكيل والتحليل المتقدم للميدان الزمني والميدان الزمني الطيفي. والمحلات VSA مفيدة على نحو خاص في تحديد خصائص الإشارات المركبة مثل الإشارات الرشيقة أو الانتقالية أو المشكلة رقمياً المستعملة في الاتصالات والفيديو والإذاعة. ويمكنها أن تزود المستعملين بالقدرة على جمع بيانات I/Q خام عن الإشارات المعنية وقدرات التعرف على التشكيل وقدرات التعرف على هوية الإشارات كذلك المحددة أعلاه. وقد تتحكم برمجيات VSA أو لا تتحكم في مستقبل مادي غير أنها تسمح في كل الأحوال للمستعمل بتحليل البيانات I/Q الخام إما من المستقبل أو من الملفات.

وفضلاً عن ذلك فإن برمجيات VSA توفر عادة تشكيلات مسبقة التحديد أو نماذج إشارات لإزالة تشكيل أو تفكيك ترميز أنساق الاتصالات الرقمية القياسية (المعروضة في القسم 6). وبإمكان المستعملين استخدام هذه النماذج للتحقق من نسق أنواع الإشارات الجاري تحليلها بما يؤكد أنها تناظر خصائص إشارات النوع المرخص لنطاق الترددات. وبمقدور المستعملين أيضاً إضافة أنساق إشارات جديدة أو تعديل ما هو قائم منها.

مستقبل المراقبة: يختار مستقبل المراقبة إحدى الإشارات الراديوية من جميع الإشارات التي يعترضها الهوائي الموصول به المستقبل ويستنسخ عند خرج المستقبل المعلومات المرسلة بواسطة الإشارة الراديوية، ويوفر في نفس الوقت وسيلة لقياس الخصائص التفصيلية للإشارة. ويتحقق ذلك عادةً:

- إما بالدخول إلى الخطوات الوسيطة في سلسلة الإشارة؛

¹ على الرغم من أن هذه المعلمة ليست من معلمات التشكيل الشائعة، فإنها تقدم في أغلب الأحيان بواسطة برمجيات التعرف على التشكيل.

- أو، في أحدث المستقبلات، بتسجيل الخصائص الكاملة للاتساع والطور أو تقديمها كمنحرجات (عادةً من خلال اعتيان البيانات I/Q وتخزينها).

مقدار متجه الخطأ (EVM): متجه الخطأ هو الفارق المتجهي عند زمن معين بين الإشارة المرجعية النموذجية والإشارة المقاسة. بمعنى آخر، هي الضوضاء والتشوه المتبقين بعد فصل عينة نموذجية للإشارة. وقيمة متجه الخطأ عبارة عن قيمة جذر متوسط التربيع (RMS) لمتجه الخطأ مقابل الزمن عند تنقلات نقائية الرمز (أو النبضة).

3 خطوات تعرف هوية إشارة رقمية

1.3 تقييم المعلومات الخارجية للإشارة

تتمثل الخطوة الأولى في تعرف هوية إشارة رقمية في استعمال أبسط نذج. ويشمل ذلك مقارنة المعلومات "الخارجية" للإشارة بقاعدة بيانات الإشارات وخطة الترددات المرخصة لدى خدمة المراقبة. وتشمل المعلومات الخارجية للإشارة:

- التردد المركزي والمباعدة الترددية بين الموجات الحاملة؛
- عرض نطاق الإشارة؛
- الشكل الطيفي؛
- مدة الإشارة (عندما تكون نبضية أو متقطعة)؛
- تخالف التردد.

وتوفر المعاينة البصرية ومقارنة الإشارة المعنية بقاعدة بيانات تراخيص خدمة المراقبة بداية جيدة لتعرف هوية الإشارة الرقمية المقصودة. فإذا تطابقت الإشارة مع كافة المعلومات الخارجية، تكون الفرصة كبيرة لتعرف هوية سليم دون الحاجة لتحليل آخر.

يعرض الجدول 1 مثلاً لتوزيع نطاقات التردد. يقدم الجدول وصفاً عاماً للخدمات المرخص لها بالعمل في النطاق والمعلومات التشغيلية وعروض نطاقات الإشارات والترتيبات المتعلقة بالقنوات. ويمكن استخدام كل هذه البيانات لمواءمة معلومات الإشارات الخارجية وإجراء تقييم أولي لهوية الإشارة المعنية.

الجدول 1

مثال لجدول توزيع نطاقات التردد

الصفحة 29

(UHF) MHz 941-698

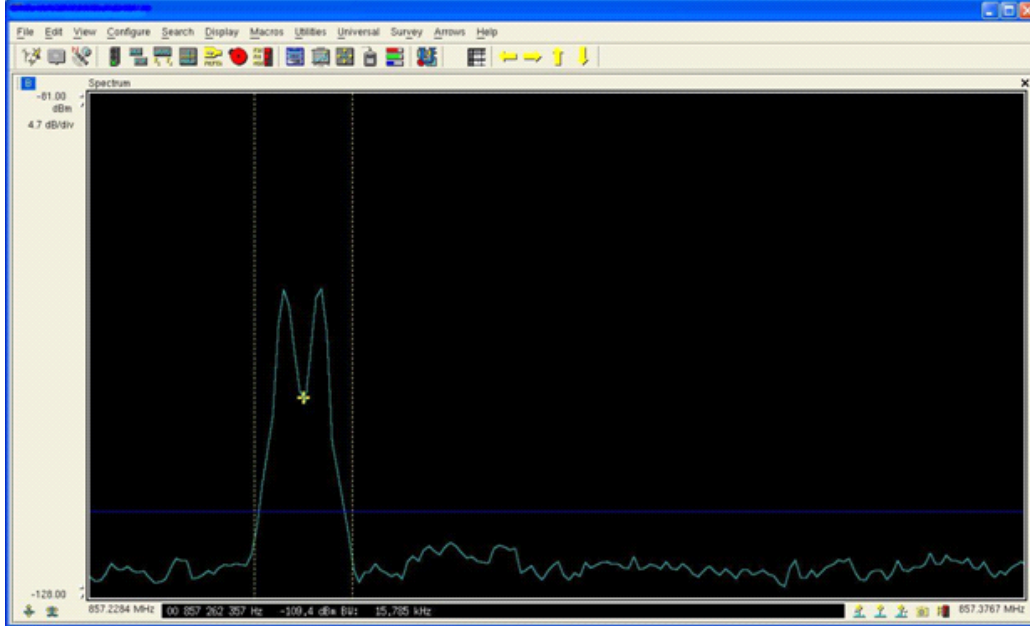
جدول توزيع نطاقات التردد

جزء (أجزاء) قاعدة اللجنة FCC	جدول الولايات المتحدة		الجدول الدولي		
	الجدول غير الفيدرالي	الجدول الفيدرالي	جدول الإقليم 3	جدول الإقليم 2	جدول الإقليم 1
اتصالات لاسلكية (27) التلفزيون منخفض القدرة ومحطات إعادة الإرسال التلفزيوني (74G)	763-698 ثابتة متنقلة إذاعية NG159	763-698	(انظر الصفحة السابقة)	806-698 ثابتة متنقلة 317A.5 313B.5 إذاعية	(انظر الصفحة السابقة)
الخدمة المتنقلة البرية (90R) للسلامة العامة	775-763 ثابتة متنقلة NG159 NG158	775-763			
اتصالات لاسلكية (27) التلفزيون منخفض القدرة ومحطات إعادة الإرسال التلفزيوني (74G)	793-775 ثابتة متنقلة إذاعية NG159	793-775			
الخدمة المتنقلة البرية (90R) للسلامة العامة	805-793 ثابتة متنقلة NG159 NG158	805-793			862-790 ثابتة متنقلة باستثناء المتنقلة للطيران 317A.5 316B.5 إذاعية
اتصالات لاسلكية (27) التلفزيون منخفض القدرة ومحطات إعادة الإرسال التلفزيوني (74G)	806-805 ثابتة متنقلة إذاعية NG159	806-805		311A.5 309.5 293.5	

يمكن لخدمة المراقبة عن طريق استعمال المحلل الطيفي أو محلل الإشارة المتجهية أو مستقبل المراقبة أو نظام مراقبة طيف يحتوي على هذه الخاصية الوظيفية، تحديد التردد المركزي للإشارة والمباعدة الترددية بين موجتين حاملتين متجاورتين وعرض نطاق الإشارة. وينبغي تفحص التردد إزاء خطة التردد للتأكد من تمركز الإشارة على قناة من القنوات الموزعة. وينبغي كذلك تفحص عرض النطاق بالنسبة للامتثال لمعايير تحديد القنوات لنطاق التردد المعني. ويعرض الشكل 1 كيفية استعمال علامات الوسم بالشاشة لتحديد التردد المركزي وعرض نطاق الإشارة والقدرة المقاسة عند دخل المستقبل.

الشكل 1

عينة لشاشة طيفية مع علامات الوسم



SM.1600-01

ويقدم الجدول 2 مجموعة شاملة لطرائق التحليل التي يمكن لخدمة المراقبة استخدامها للكشف عن الإشارات وتقدير المعلمات الخارجية للإشارة. ولكثير من حزم برمجيات تحليل الإشارات القدرة على إجراء عمليات رياضية على بيانات زمنية أو بيانات طيفية أو على سلسلة من البيانات الطيفية. ويمكن استعمال هذه الحزم لإجراء هذه الأنواع من التقديرات للمعلمات الخارجة للإشارة.

الجدول 2

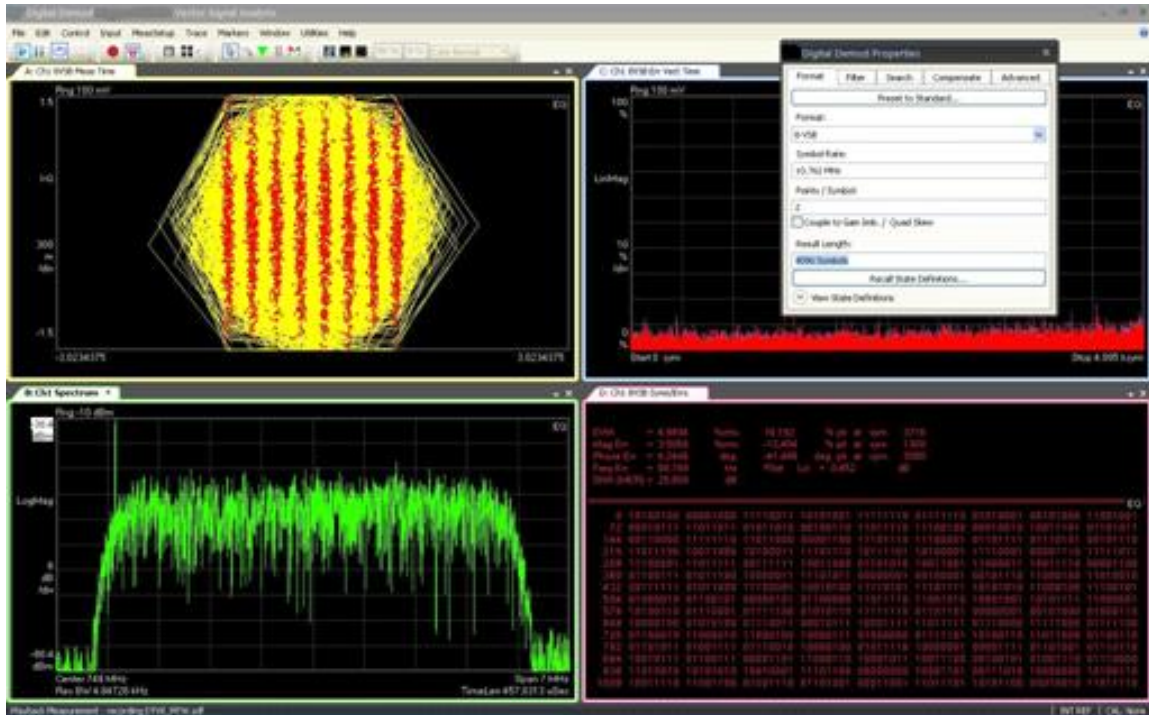
الطرائق اليدوية للكشف عن الإشارات واستخراج معلماتها الخارجية

المعلمة المقرر قياسها	أدوات التحليل	نوع التشكيل	البيئة الراديوية
وجود إشارة اتصالات راديوية	ترابط متبادل الإشارة I-Q أو الاتساع اللحظي، A_i مع إشارة مرجعية	أي تشكيل على أن يكون بوجه خاص لإشارات TDMA و CDMA و DSSS معروفة	أي بيئة
	كثافة القدرة الطيفية	أي نوع من أنواع التشكيل	قيمة متوسطة وعالية للنسبة إشارة إلى ضوضاء
	ترابط أوتوماتي وترابط أوتوماتي دوري	OFDM و SC-FDMA و SC-FDE	أي بيئة
	تحليل الترابط الطيفي	إشارات DSSS غير معروفة وإشارات ضعيفة	أي بيئة
معدل تكرار النبضة (PRF) أو طول الرشفة	تحليل الاتساع مقابل الزمن للإشارة	OOK و IFF وغيرها من الإشارات الرشفية	قيمة متوسطة وعالية للنسبة إشارة إلى ضوضاء
تردد الموجة الحاملة تردد الموجات الحاملة الفرعية	كثافة القدرة الطيفية	أي نوع من أنواع التشكيل	قيمة متوسطة وعالية للنسبة إشارة إلى ضوضاء
	مخطط تدريجي للتردد اللحظي، F_i	FSK	قيمة متوسطة وعالية للنسبة إشارة إلى ضوضاء
	متوسط التردد اللحظي، F_i	FSK	قيمة متوسطة وعالية للنسبة إشارة إلى ضوضاء
	طيف الإشارة I-Q مرفوعاً لأس N (MPSK) أو 4 (QAM) أو 1/h من أجل CPM	PSK و QAM و CPM	قيمة موجبة للنسبة إشارة إلى ضوضاء
	تحليل الترابط الطيفي	أي تشكيل خطي، خاصةً ASK و BPSK و QPSK	أي بيئة
	طيف جزء الإشارة مرفوعاً للأس 2 أو 4 مع ترشح كبير	Pi/2DBPSK و pi/4DQPSK و SQPSK	قيمة موجبة للنسبة إشارة إلى ضوضاء وأي بيئة
	كثافة القدرة الطيفية مقارنةً بقناة أو دالة خط جدي	أي نوع من أنواع التشكيل	قيمة متوسطة وعالية للنسبة إشارة إلى ضوضاء
عرض نطاق الإرسال وترتيب القنوات	كثافة القدرة الطيفية	FSK و OFDM و COFDM	قيمة متوسطة وعالية للنسبة إشارة إلى ضوضاء
	مخطط تدريجي للتردد اللحظي، F_i	FSK	قيمة متوسطة وعالية للنسبة إشارة إلى ضوضاء

الشكل الطيفي: هناك طريقة أخرى للتعرف على هوية الإشارة باستعمال المعلومات الخارجية للإشارة تتمثل في تقييم الشكل الطيفي أو البصمة. ولمعظم برامج برمجيات المحلات VSA مكتبة إيضاحية لإشارات رقمية حديثة قياسية. ويمكن هذه الأمثلة التوضيحية خدمة المراقبة من الاطلاع على المعلومات الخارجية للإشارة (والداخلية في بعض الحالات)، بما في ذلك الشكل الطيفي والمدة وغيرها. لبعض الإرسالات خاصية تكون متفردة بالنسبة لنوع الإرسال، نغمة إرشادية، مثلاً. وقد تكون لبعض إرسالات التلفزيون الرقمي عالي الوضوح نغمة إرشادية على جانب التردد المنخفض للإشارة. وتصور الشاشة في الشكل 2 إرسالاً تلفزيونياً (الولايات المتحدة، القناة 60، التردد 749 MHz) يستعمل نظام ATSC (التحكم الأوتوماتي في الإشارة المرسل). لاحظ الجزء الأسفل والشكل الفريد للطيف في وجود النغمة الإرشادية. ويعطي هذا الشكل إلى جانب التردد المركزي وعرض نطاق الإشارات مؤشراً قوياً لنوع الإرسال.

الشكل 2

عرض محلل VSA يوضح شكل طيفي فريد



SM.1600-02

إذا احتاج الأمر لمزيد من المعلومات عن الإشارة لإجراء تعرف إيجابي للهوية، سيكون من الضروري دراسة المعلومات الداخلية للإشارة.

2.3 تقييم المعلومات الداخلية للإشارة

بعد تقييم المعلومات الخارجية للإشارة على النحو الموضح في الفقرة 1، تتمثل الخطوة التالية في التعرف على هوية الإشارة الرقمية في تحليل خصائص الميدان الزمني (المعلومات الداخلية) للإشارة المعنية. ستكون هناك حاجة إلى محلل VSA أو مستقبل مراقبة (أو محلل طيفي مناسب) بمقدوره إجراء تسجيل للبيانات I/Q. وتشمل المعلومات الداخلية للإشارة:

- نسق التشكيل (أي QPSK أو QAM أو GMSK أو FSK أو PSK).
- معدل الترميز. يطلق على معدل الترميز في بعض الأوقات معدل الإرسال.

أ) إجراء تسجيل للبيانات I/Q:

- ضبط التردد المركزي: ينبغي مركزة المحلل VSA أو مستقبل المراقبة على تردد من المعروف أن الإشارة تحدث فيه.
- ضبط مدى التردد للتسجيل: ينبغي ضبط مدى تردد الالتقاط للتسجيل بحيث يحتوي الإشارة بالكامل - بيد أنه لا ينبغي الإفراط في المدى لكي لا يلتقط القناة المجاورة. ويمكن استعمال المحلل VSA أو شاشة مستقبل المراقبة لقياس التردد المركزي للإشارة وعرض نطاقها. وتوجد اليوم، أجهزة VSA، ومستقبلات مراقبة، ورسمات ذبذبات قادرة على تسجيل حتى أعرض إشارات الاتصالات (باستثناء بعض أنظمة UWB).

وبالنسبة للإشارات ضيقة النطاق، ينبغي للمشغل أن يستعمل قيمة ضبط مناسبة لعرض النطاق، B. ومقادير قيم B المناسبة هي:

B = 100 Hz إلى 4 kHz (لرسالات عرض نطاق البرق أو الهاتف)

B = 15 إلى 45 kHz (لرسالات عرض النطاق المتوسط)

وتحتاج تسجيلات الإشارات ذات عروض النطاقات الأكبر إلى محولات من تماثلي إلى رقمي أكثر تعقيداً أو كاشفات ذبذبات رقمية بمعالجات للإشارات. ويوصى باستعمال نظام يشمل المكونات التالية:

- مستقبل تماثلي أو رقمي بتردد مركزي يسهل ضبطه ومدى دينامي عالي وتحكم في الكسب قابل للضبط (من 50 إلى 60 dB)؛
- مرشحات ومحولات النطاق الأساسي ومحولات من تماثلي إلى رقمي ومسجل توفر ما يلي:
 - مقدار 14 بته أو أكثر؛
 - معدلات اعتيان توفر أكثر من 4 عينات لكل رمز تشكيل رقمي؛
 - عمق تخزين يوفر مدة للإشارة المسجلة في حدود عدد قليل من الميلي ثواني للإشارات عريضة النطاق وعدد قليل من الثواني للإشارات ضيقة النطاق.

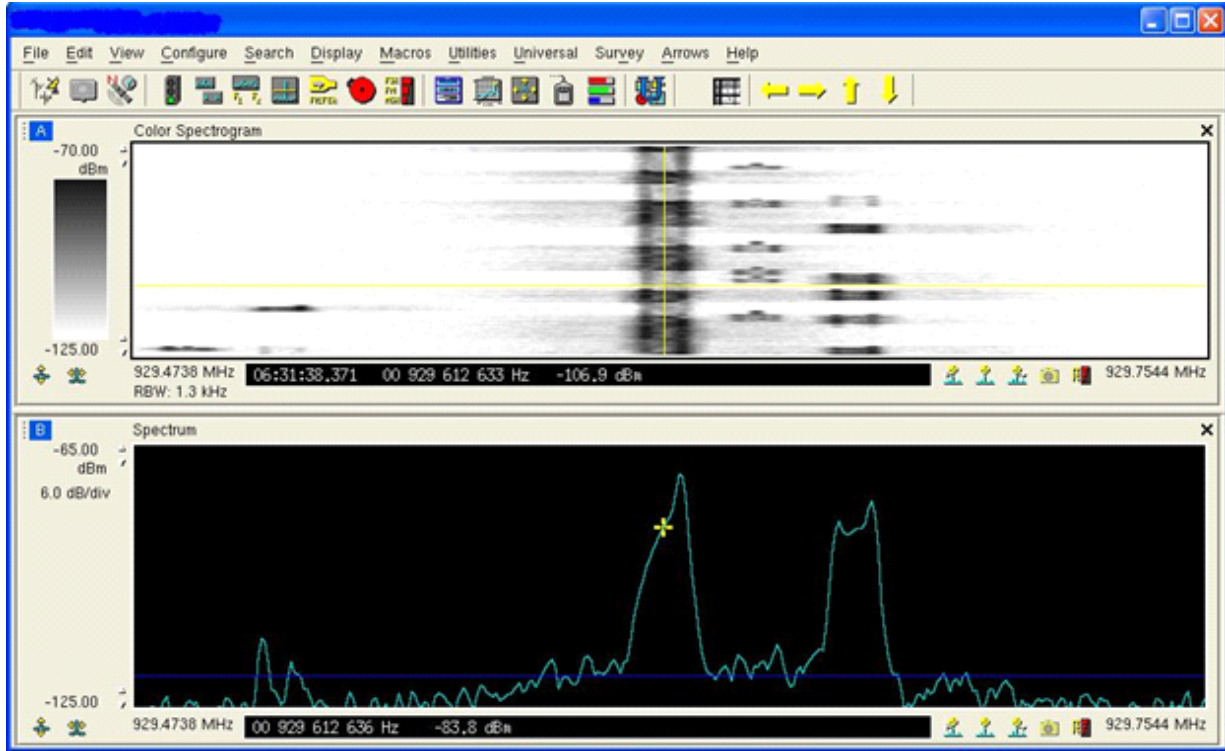
ولمعظم إشارات الاتصالات الرقمية الحديثة عروض نطاقات إشارات تقل عن 20 MHz على الرغم من وجود بعض الاستثناءات².

- ضبط مدة التسجيل: يحتاج الأمر إلى مدة قصيرة جداً للتسجيل (أقل من ثانية واحدة) لتحديد نسق التشكيل ومعدل ترميز الإشارة. وللمحلات VSA ومستقبلات المراقبة ذاكرة تسجيل ثابتة للإشارات، لذا تؤدي عمليات الالتقاط الأوسع إلى ملء ذاكرة الالتقاط في فترة زمنية أقصر من التقاط الإشارات الضيقة. وعند الضرورة، يمكن للمستعمل رصد مدة الإشارة من محلل VSA لضمان المدة المثلى للتسجيل والاستفادة القصوى من ذاكرة الالتقاط.
- يمكن رصد فترات الإشارات باستعمال مخطط طيف أو شاشة عرض شلالية. ويعرض هذا النوع من شاشات العرض الطيفية خصائص التردد والقدرة والزمن في شاشة واحدة (انظر الشكلين 3 و4 أدناه). وتمثل قدرة الإشارة بتغيير اللون أو مقياس رمادي كما هو مبين بشرط الألوان على الجانب الأيسر من الشاشة. وبمرور الوقت يقفز المخطط المعروض على الشاشة من أسفل إلى أعلى ويُعرض المنحنى الطيفي الحالي أسفل مخطط الطيف.

² على سبيل المثال، تحتاج معايير الاتصالات للشبكات WLAN (802.11ac و 802.11ad) من أجل تطبيقات المدى القريب إلى عروض نطاقات تتراوح بين 160 MHz وأكبر من 2 GHz.

الشكل 3

عينة لمخطط طيفي بشاشة عرض للطيف

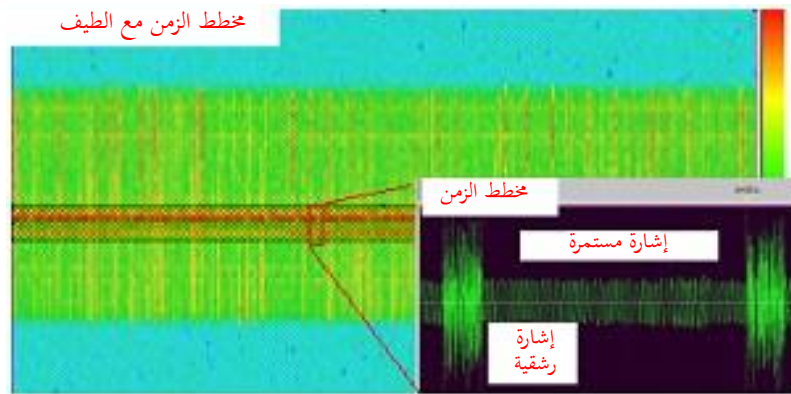


SM.1600-03

ويمكن استعمال برمجية تحليل الإشارات المتجهية لاستحداث مخطط بياني للزمن والطيف يساعد خدمة المراقبة في فهم بيئة الإشارة عند التردد المعني وفي تحديد القيمة المثلى لضبط مدة الإشارة عند إجراء تسجيلات للبيانات I/Q. ويجب اتباع التقنيات المناسبة لفصل الإشارات المشتركة في التردد لضمان التحليل الفعال للمعلومات الداخلية للإشارة.

الشكل 4

مخطط بياني للزمن والطيف (التردد/الامتداد على المحور الرأسي والزمن على المحور الأفقي)



SM.1600-04

- بدء التسجيل: إذا كان للإشارة دورة خدمة منخفضة، يمكن استعمال نبضة بمقدار IF لبدء التسجيل. وهذه النبضة عبارة عن سمة نمطية من المحللات VSA ومستقبلات المراقبة. فهي تسمح للمستعمل بتوريد مستوى القدرة RF المستقبلية المكتشفة سلفاً التي سيبدأ عندها التسجيل I/Q. ومن المهم ضبط مستوى النبضة بشكل سليم وهو أمر يحتاج إلى معرفة بسلوك مستوى الإشارة والضوضاء عند التردد المعني. وضبط مستوى النبضة على قيمة منخفضة جداً يمكن أن يؤدي إلى بدء التسجيل بنبضة ضوضاء تقع داخل مدى تردد التسجيل. وضبط مستوى النبضة على قيمة عالية جداً يؤدي إلى فقدان الإشارة المطلوبة. إذا كانت الإشارة المعنية رشقية أو ذات مدة قصيرة جداً، ينبغي استعمال ذاكرة محول من تماثلي إلى رقمي أو ذاكرة تأخير للبدء الفعلي للتسجيل قبل زمن النبضة ولإنهائه بعد اختفاء الإشارة أو بعد مرور مدة تسجيل كافية.

- فحص شكل الموجة المسجلة: تسمح برمجية التحليل VSA للمستعمل بالملاحظة الفورية للإشارة المسجلة للتأكد من استعمال القيم الصحيحة للتردد المركزي ومدى تردد التسجيل والمدة ونبضية البدء.

(ب) نظرة فاحصة في دوائر الإشارة

بعد إجراء التسجيل I/Q بنجاح، يمكن للمستعمل "تشغيل" الإشارة عن طريق تشكيلة من حزم البرمجيات لتكوين رؤية حول المعلومات الداخلية للإشارة. وتقوم المحللات VSA ومستقبلات المراقبة المصنعة في جهات مختلفة بتسجيل البيانات I/Q الخام مع الرأسية الخاصة بها والتي تحتوي على معلومات عن الإشارة مثل التردد المركزي ومدى تردد التسجيل ومعدل الاعتيان والتاريخ والتوقيت وما إلى ذلك. وتنتشر بنية البيانات في كتيبات تقنية عادةً وقد تكون مفيدة عند تثبيت عملية لتعرف على هوية إشارة أو برمجية لتمييز التشكيل.

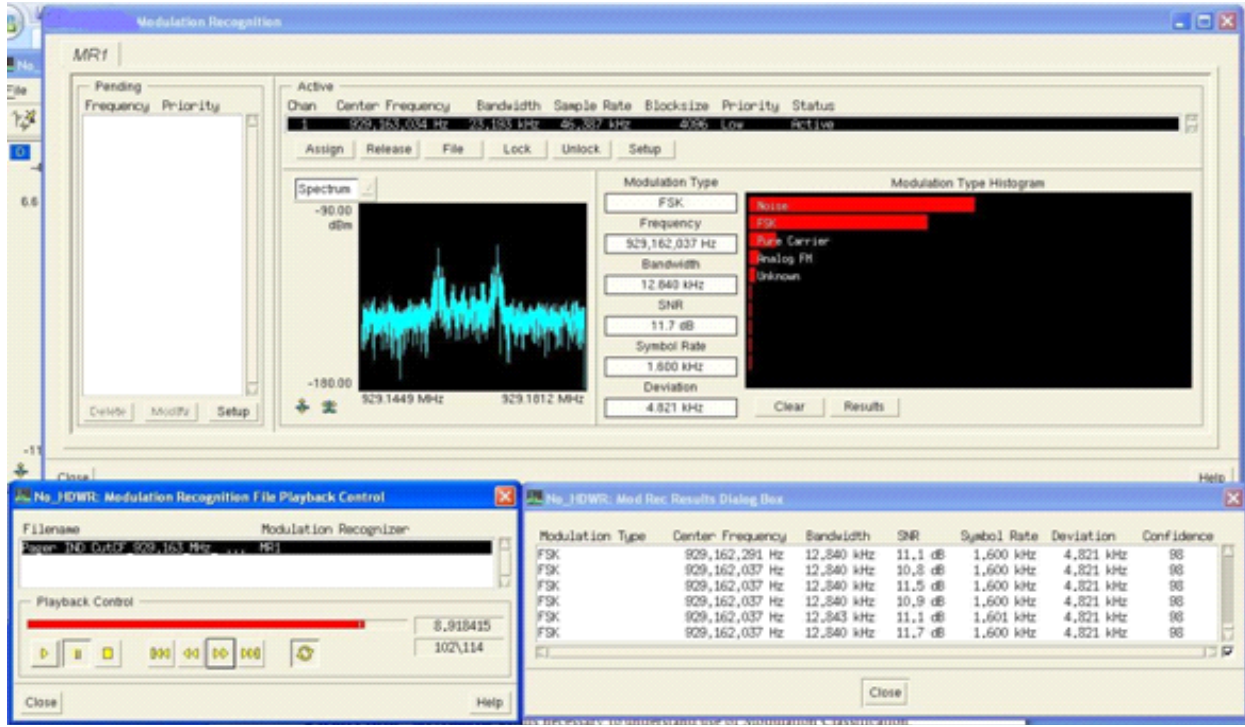
ولإجراء قياس ناجح لدوائر الإشارة، يجب تثبيت البرمجية بحيث تعالج التسجيل بشكل سليم. وتشمل عمليات الضبط الضرورية في البرمجية عادةً:

- التردد المركزي؛
- معدل الاعتيان أو عرض نطاق الإشارة؛
- ترشيح القناة المجاورة؛
- الكشف عن الرشقات؛
- حجم القدرة: يحدد ذلك إلى أي مدى سيتم تحليل البيانات I/Q من أجل نتائج تتعلق بالتشكيل. فعلى سبيل المثال، إذا كانت عينة البيانات I/Q تساوي 16 كيلوبايتة وتم ضبط حجم القدرة على كيلوبايتتين اثنتين، ستقوم برمجية تمييز التشكيل بتقدير نوع التشكيل ومعدل الترميز ثنائي (8) مرات خلال عملها في الملف. أما إذا ظهرت الإشارة في جزء ضئيل من الملف، فمن الممكن ألا يحتوي على معلومات مفيدة إلا قياساً واحداً أو اثنين.

وفي الشكل 5، أجري تسجيل I/Q ويجري تشغيله على حزمة برمجيات لتمييز التشكيل تظهر تشكياً غير خطي FSK. وحجم القدرة المستعمل لكل قياس يساوي 4 k (أو 4,096) وهناك عدد إجمالي من الفدرات يساوي 114 فدرية في التسجيل I/Q هذا (كما يظهر في النافذة اليسرى السفلية). واستعملت ذاكرة تأخير لكي يبدأ التسجيل قبل بث الإشارة. ونتيجة لذلك، صنف القياسات الأولى البالغ عددها 61 قياساً إما ضوضاء أو موجات حاملة خالصة. وتم وقف العملية عند الظهور الأول للإشارة التي صنف كتشكيل FSK بسرعة 1 600 بود.

الشكل 5

مثال البرمجية لتمييز التشكيل



SM.1600-05

وبعد معالجة معظم التسجيل I/Q، فإن عدد نتائج قياس التشكيل FSK بمعدل الترميز 1 600 يزيد بنسبة مئوية كبيرة. ويظهر ذلك عن طريق مخطط تدريجي لنتائج التشكيل (الشريط الأحمر) الظاهر في الجانب العلوي الأيمن. كما يلاحظ أنه تمت معالجة 102 فدرتين من التسجيل.

وفي نهاية التسجيل، تكون قد تمت معالجة جميع الفدرات البالغ عددها 114 فدرية ولم تعد الإشارة مرئية في نافذة الشاشة. وتحول نتيجة القياس إلى ضوضاء ولكن بعد توفر معلومات كافية للتوصل إلى أن الإشارة بتشكيل FSK بسرعة 1 600 بود وانحراف 4,821 kHz بقيمة للنسبة إشارة إلى ضوضاء في حدود 11 dB. وعولج هذا الملف فدرية فدرية بالتدرج عبر التسجيل يدوياً. وتوفر هذه التقنية التحكم الأقصى خلال عملية التحليل وتحسن من احتمال التعرف على تشكيل إشارة قصيرة المدة.

ويقدم الجدول 3 توجيهات إضافية بشأن طرائق استخلاص المعلومات الداخلية للإشارة باستعمال عمليات رياضية عندما لا تتوفر برمجيات متاحة تجارياً لتحليل الإشارة أو تكون هذه البرمجيات المتاحة تجارياً غير مناسبة للتعامل مع الإشارة المعنية.

الجدول 3

الطرائق اليدوية لاستخلاص المعلومات الداخلية للإشارة

المعلومات المقرر قياسها	أدوات التحليل	نوع التشكيل	نوع البيئة الراديوية
التشكيل - معدل التشكيل غير المتزامن أو المتزامن (معدل الرموز)	طيف الاتساع اللحظي، A_i	PSK (مرشح أو غير مرشح) CPM غير مرشح أو بعد ترشيح كثيف QAM (مرشح أو غير مرشح)	قيمة متوسطة أو مرتفعة للنسبة إشارة إلى ضوضاء (SNR)
	طيف التردد اللحظي، F_i ، مرفوعاً لأس N $2 = N$ (2FSK) و 4 (4FSK)	FSK (غير مرشح)	نموذجية فقط: قيمة SNR مرتفعة لا تعدد للمسيرات
	طيف قطع محور السينات للتردد اللحظي، F_i	FSK (مرشح أو غير مرشح) MSK و QAM و PSK	نموذجية فقط: قيمة SNR مرتفعة لا تعدد للمسيرات
	طيف وحدة الإشارة مرفوعاً لأس N ($= 2$ أو 4 أو $\dots$) بعد ترشيح مكثف في التردد	PSK و QAM (مرشح أو غير مرشح) FSK (مرشح أو غير مرشح)	قيمة SNR موجبة
	طيف الإشارة مرفوعاً لأس N ($1/h = N$)	CPM (مرشح أو غير مرشح)	قيمة SNR موجبة
	طيف الإشارة مرفوعاً لأس N	SQPSK و $\pi/4$ DQPSK و $\pi/2$ DBPSK	قيمة SNR موجبة
	ترابط أوتوماتي وترابط أوتوماتي دوري	SC-FDE و SC-FDMA و OFDM	أي بيئة
	تحليل الترابط الطيفي	PSK و QAM و ASK و SQPSK و $\pi/4$ DQPSK و $\pi/2$ DBPSK	أي بيئة
	طيف تحويل هار ويفليت (Harr wavelet)	FSK	أي بيئة لا سيما قنوات المسيرات المتعددة المركبة

المعلومات المقرر قياسها	أدوات التحليل	نوع التشكيل	نوع البيئة الراديوية
عدد الحالات (نوع التشكيل)	مخطط الكوكبة/المخطط المتجهي مصحوباً بمعادلة صماء (أي خوارزمية المعامل الثابت (CMA)، بينيفيست غورسات)	أي تشكيل خطي وتحديداً PSK و QAM و ASK	قيمة متوسطة أو مرتفعة للنسبة إشارة إلى ضوضاء (SNR) قنوات مسيرات متعددة مركبة
	الطيف مرفوع الأس N ($N=2$) و SQPSK و $\pi/2$ DBPSK و $N=4$ و $\pi/4$ DQPSK	SQPSK و $\pi/2$ DBPSK و $\pi/4$ DQPSK	قيمة SNR موجبة
	كثافة القدرة الطيفية ذات الاستبانة الجيدة	OFDM و COFDM وتعدد إرسال	قيمة متوسطة أو مرتفعة للنسبة إشارة إلى ضوضاء (SNR)
	مخطط تدريجي للتردد اللحظي، F_i	FSK	قيمة متوسطة أو مرتفعة للنسبة إشارة إلى ضوضاء (SNR)
عدد الموجات الحاملة الفرعية أو النغمات	كثافة القدرة الطيفية	أي تشكيل	قيمة متوسطة أو مرتفعة للنسبة إشارة إلى ضوضاء (SNR)
	مخطط تدريجي للتردد اللحظي، F_i	FSK	قيمة متوسطة أو مرتفعة للنسبة إشارة إلى ضوضاء (SNR)
تزامن الرموز	مخطط عيني I/Q ومخطط متجهي $A_i F_i \Phi_i$	PSK و QAM مرشح أو غير مرشح	قيمة متوسطة أو مرتفعة للنسبة إشارة إلى ضوضاء (SNR)
	مخطط عيني $A_i F_i \Phi_i$ وعرض مخطط تدريجي للتردد، F_i	FSK مرشح أو غير مرشح	قيمة متوسطة أو مرتفعة للنسبة إشارة إلى ضوضاء (SNR)
	مخطط كوكبة وعرض مخطط تدريجي للتردد، F_i والطور Φ_i	CPM مرشح أو غير مرشح	قيمة متوسطة أو مرتفعة للنسبة إشارة إلى ضوضاء (SNR)
	ترابط أوتوماتي دوري	OFDM و SC-FDMA و SC-FDE	أي بيئة
	ترابط متبادل مع إشارات معروفة	CDMA و TDMA العديد من عمليات التشكيل OFDM و SC-FDMA و SC-FDE	أي بيئة

ويجب أن يصاحب هذه الطرائق تمثيل مناسب للإشارة بعد ما تتعرض له من تحويلات مختلفة وذلك لاستخلاص خصائص الإشارة والتحقق منها.

(ج) استخدام نماذج الإشارات في تحليل الإشارة وبرمجيات VSA

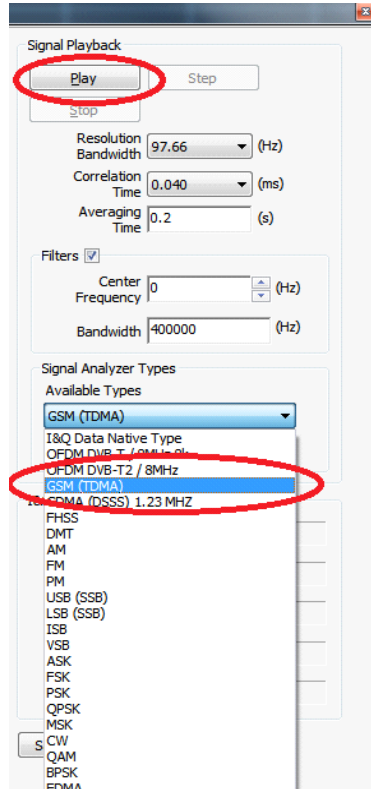
إن نموذج الإشارة هو قائمة أو مجموعة من القياسات التي يجب إجراؤها (مثل الموصوفة في القسم السابق) مع النتائج المتوقعة لإشارة معينة. واستخدام نموذج الإشارات هو طريقة أخرى في عملية تعرف هوية الإشارات.

وتستخدم VSA وغيرها من أدوات برمجيات الإشارة النموذج لإجراء مجموعة القياسات وإبراز الحصيلة المتوقعة على المخططات الناتجة. وبالإمكان استعمال هذه المخططات لمقابلة النتائج المتوقعة مع نتائج القياسات الفعلية لتشكيل الإشارات المختار. وإذا كانت نتائج القياسات مشابهة فإن المستطاع الإعلان عن مطابقة. أما إذا لم يكن كذلك فإنه يمكن استخدام نوع إشارات مختلف من المكتبة.

ويوضح المثال التالي ذلك (استناداً إلى النظام العالمي للاتصالات المتنقلة في الإقليم 2). وفي هذا المثال فإن الإشارة هي في نطاق قاعدة إلى متنقل خلوي (وصلة هابطة) عند 879,6 MHz والهدف هو التحقق من أنها إشارة للنظام العالمي للاتصالات المتنقلة بعرض نطاق إشارة قدره 200 kHz. وفي ضوابط VSA يختار المشغل نوع إشارة النظام العالمي للاتصالات المتنقلة من قائمة النماذج في المكتبة. ويتم تشكيل عروض VSA أوتوماتيكياً لتحليل النظام العالمي للاتصالات المتنقلة بواسمات معلّمة عند قيم التحليل المتوقعة لإشارة للنظام العالمي للاتصالات المتنقلة، وهي معدل الترميز البالغ 270,833 ksps (كيلو رمز في الثانية) ومدة رتل قدرها 577 µs، على النحو المبين في الشكل 6. وتستخدم مدة حساب المتوسط لتعزيز رؤية الخصائص المتوقعة.

الشكل 6

تشكيل VSA لتحليل النظام العالمي للاتصالات المتنقلة

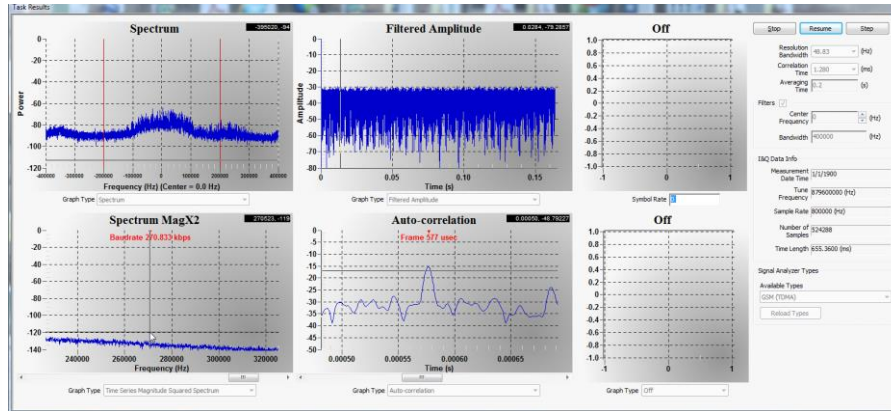


SM.1600- 06

وحال ضغط زر Play فإن قياسات الإشارات تُعرض على النحو المبين في الشكل 7.

الشكل 7

نتائج تحليل الوصلة الهابطة للنظام العالمي للاتصالات المتنقلة



SM.1600- 07

وهناك ثلاث من نوافذ المخطط هي الأكثر أهمية بالنسبة للنظام العالمي للاتصالات المتنقلة:

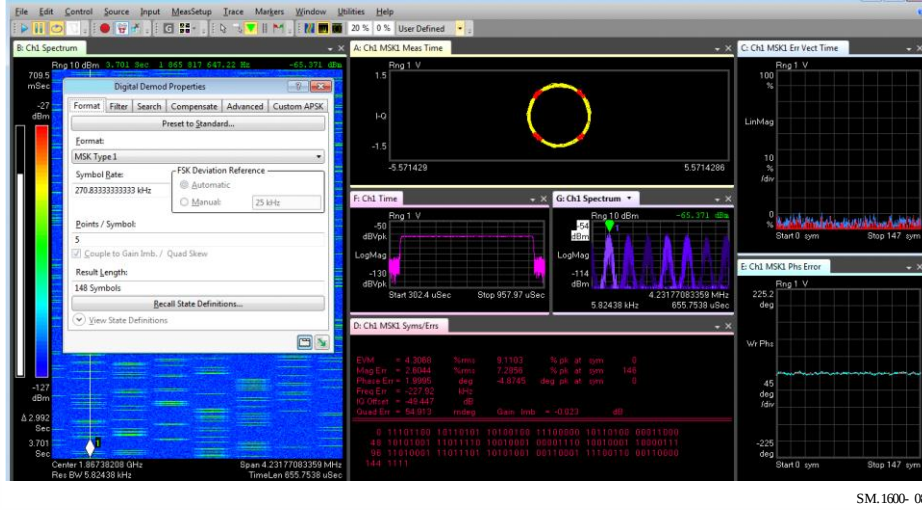
- الرسم البياني للطيف مربع المقدار (الطيف Mag X2): يمثل هذا الرسم البياني (المكبر ضمن مدى التردد الهام) تحويل فورييه السريع للسلاسل الزمنية I/Q مربعة المقدار (المعرضة أيضاً في الشكل 7 على أنها "العزم 2 من الطيف الثاني"). وهناك ذروة في الطيف مربع المقدار يعوضها نحو 270 kHz، وهو ما يناظر معدل ترميز للنظام العالمي للاتصالات المتنقلة قدره 270,833 kbps.
 - الاتساع المرشح: يعرض هذا الرسم البياني المقدار اللوغاريتمي المرشح لاتساع الإشارة مقابل الزمن والذي تظهر فيه الإشارة وهو تحتفي كل 600 ميكروثانية لمدة قصيرة. وينظر ذلك الفاصل الزمني للنظام العالمي للاتصالات المتنقلة البالغ 577 ميكروثانية. وسيتم إرساء ذلك بوضوح أكثر في الرسم البياني للارتباط الذاتي.
 - الارتباط الذاتي: يُستخدم الرسم البياني للارتباط الذاتي (المكبر أيضاً) للبحث عن الأنماط المتكررة في الزمن. وبالنسبة لهذه الإشارة فإن هناك ذروة قوية تبلغ نحو 577 ميكروثانية. كما أن هناك ذرى لاحقة في مضاعفات هذه القيمة، وهو ما يشكل إحدى خصائص تردد رتل النظام العالمي للاتصالات المتنقلة.
- وحيثما يُظهر كلا الرسمين البيانيين للطيف MagX2 وللارتباط الذاتي الذرى عند القيم المتوقعة فإن خصائص الإشارات تطابق خصائص النظام العالمي للاتصالات المتنقلة.

وتوفر الكثير من أدوات VSA طرقاً لتحميل نماذج الإشارات المعيارية التي تحسن إلى الحد الأمثل الإعدادات والعروض لنوع معين للإشارات. وفضلاً عن ذلك فإن هذه الأدوات تتيح مواءمة إعدادات القياسات لتتناسب مع الأنساق غير المعيارية وحفظها تحت اسم ملف جديد لاستدعائها لاحقاً. وغالباً ما تتيح أدوات VSA إنشاء مخططات وعروض حسب الطلب تستند إلى وظائف رياضية مثل ما هو وارد في الجدول 3.

ويعرض الشكل 8 تحليلاً آخر مسبق التشكيل للنظام العالمي للاتصالات المتنقلة. وفي هذه الحالة فإن تسجيل I/Q بلغ نحو 4 MHz وأجري في نطاق قاعدة إلى متنقل خلوي (وصلة صاعدة)، بحيث كانت هناك قنوات متعددة. وأزيل تشكيل كل إشارة في النطاق بنجاح على النحو المبين في مخططات عرض الكوكبة، والنسبة المئوية المنخفضة لمقدار متجه الخطأ، وطول الفاصل الزمني المناسب. وتم خلق هذا العرض بتحميل وتشغيل ملف I/Q في نموذج النظام العالمي للاتصالات المتنقلة. ولم يتطلب الأمر أي عمليات تشكيل، أو توسيط، أو اختيار إضافية. غير أن معظم أدوات VSA تتيح توسيط I/Q وإعادة استخلاص العينات لعزل إشارة واحدة من أجل التحليل.

الشكل 8

نتائج تحليل الوصلة الصاعدة للنظام العالمي للاتصالات المتنقلة



SM.1600- 08

وترد قائمة نماذج VSA النمطية لأنساق التشكيل، ومعايير الاتصالات التماثلية والرقمية في الفقرة 4 (الخلاصة) من هذه التوصية. ويحدد نموذج إشارات VSA التداير الملازمة للترشيح المسبق للبيانات وتحديد القيم المتوسطة، وتعين أنواع الرسوم البيانية لكل نافذة عرض، وضبط الواسمات للنوافذ لبيان الذرى والخصائص المتوقعة للإشارة. وتتيح هذه الطريقة للمشغل أسلوباً سهلاً وقابلاً للتكرار والتفسير لتعرف هوية الإشارات.

3.3 استعمال برمجيات تحليل الإشارة للحصول على رؤية إضافية

كشفت الخطوتان الأوليتان عن الخصائص الأساسية للإشارة المعنية:

- التردد المركزي؛
- عرض نطاق الإشارة؛
- قيمة النسبة إشارةً إلى ضوضاء؛
- المدة؛
- نسق التشكيل؛
- معدل الرموز.

وعادةً، تكون هذه المعلومات كافية لتعرف إيجابي على نوع الإشارة بمواءمتها مع الجداول المنشورة لتوزيع نطاقات التردد والمواصفات التقنية لأنظمة الاتصالات المستعملة في المنطقة المعنية. إذا ما احتاج الأمر إلى شواهد أخرى بشأن الإشارة المعنية، قد يحتاج الأمر إلى تحليل متعمق للإشارة أو فك تشفيرها.

ولبرمجيات تحليل الإشارات المتجهية مخططات لفك تشفير معظم أنساق الاتصالات الرقمية الحديثة. وخوارزميات إزالة التشبيك وفك التشفير هذه لا تعيد معالجة التسجيل I/Q إلى محتواه الأصلي، بل تقيس جودة الإشارة إزاء حالة نموذجية. ويمكن أن يوفر ذلك شواهد إضافية تساعد على تعرف هوية التسجيل I/Q بشكل سليم.

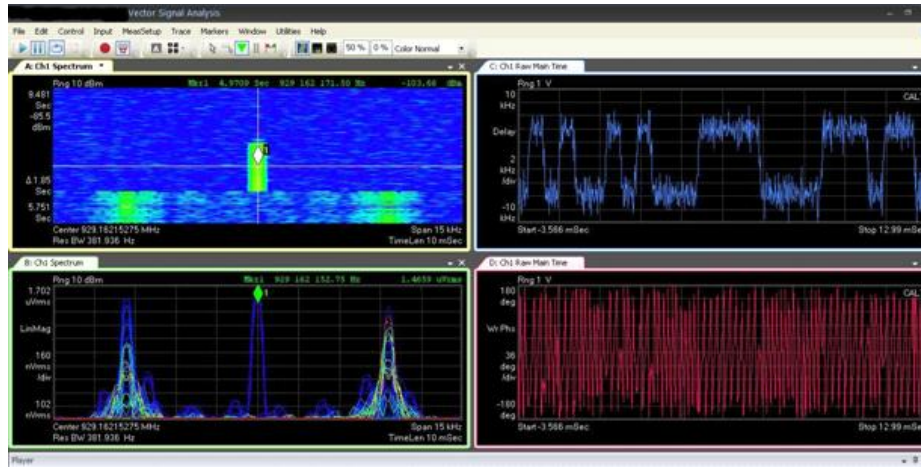
وفي حالة الحاجة للتعرف الإيجابي على هوية إرسال محدد، سيحتاج الأمر إلى حزمة برمجيات لفك تشفير الإشارة أو تقنيات للترابط البيني أو الأوتوماتي أو المتبادل. ويمكن الحصول على حزم برمجيات فك التشفير التجارية من السوق وهي مفيدة لبعض أنساق الإشارات الحديثة - ولكن ليس لجميعها.

(أ) مشاهدة التسجيل I/Q بواسطة برمجيات VSA

توفر برمجيات VSA للمستعمل مشاهدات مختلفة عديدة للإشارة. وفي الشكل 9، تعرض نفس الإشارة المستعملة بأعلى البرمجيات VSA. والمنظر في أعلى اليسار عبارة عن مخطط طيفي ويظهر بداية الإشارة - بما في ذلك الموجة الحاملة والجزء الأول من الإشارة المشككة. والمنظر في أسفل اليسار عبارة عن طيف معروض بشكل رقمي يمكن المستعمل من ملاحظة خصائص المدة القصيرة في سياق جوانب إرسال أكثر استمرارية. ويظهر المنظر أعلى اليمين تأخير الزمرة أو التردد مقابل الزمن. وحيث إن هذه الإشارة إشارة إبراق بتردد التردد، يمكن ملاحظة الرموز الفردية الجاري إرسالها. ويعرض الجزء السفلي الأيمن الطور مقابل الزمن - وهو مفيد على نحو خاص إذا كانت الإشارة محل الاهتمام مشككة بتشكيل الطور.

الشكل 9

برمجيات VSA - مجموعة نوافذ منتقاة لتحليل إشارة



SM.1600- 09

وينبغي للقارئ أن يلاحظ أن هذه الإشارة استقبلت بمستوى قدرة منخفض جداً. وقيست الموجة الحاملة عند مستوى -103,7 dBm عند دخل المستقبل. ونتيجة لذلك، تظهر ضوضاء كثيفة على الجانب العلوي الأيمن (الذي يعرض شكل الموجة FM). ولما كانت البرمجيات VSA تعمل على تسجيل البيانات I/Q، فإنه يمكن القياس باستخدام معلومات قدرة الإشارة وتردداتها وطورها.

(ب) التحقق من التمييز والتعرف على الهوية بإزالة تشكيل تسجيل I/Q باستخدام برمجيات VSA

يوصى بأن يكون ضمن أداة التحليل الواردة خيارات واسعة من مميزات التشكيل الرقمي المخصصة لنوعي التشكيل الخطي وغير الخطي تصاحب مختلف خوارزميات معادلة القنوات مع مخططات بيانية وشاشات عرض تسمح بتقييم تقارب إزالة التشكيل.

واستمراراً مع التسجيل I/Q السابق، يمكننا استعمال إمكانات التشغيل الرقمي للبرمجيات VSA للتحقق من نسق التشكيل ومعدل رموز الإشارة المعنية. ويضبط البرمجيات VSA على أسلوب إزالة التشكيل الرقمي، بوسعنا إدخال نسق التشكيل المحدد (مستويان FSK) ومعدل الرموز (1600) اللذين تم تحديدهما في الخطوة السابقة للتحقق من المعلومات الداخلية للإشارة.

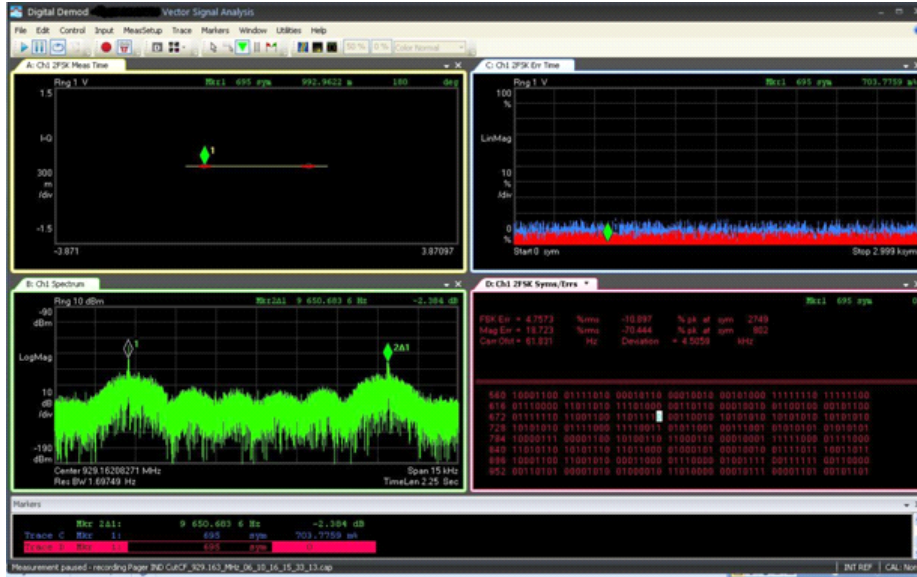
وفي الشكل 10 الذي يعرض مثلاً لإشارة بتشكيل FSK غير خطي، يظهر الجانب العلوي الأيسر مخطط بياني I/Q (أو قطبي) بحالتي تردد للإشارة - الحالة اليسرى (النقطة الحمراء) تمثل الرمز "0" والحالة اليمنى تمثل الرمز "1". فإذا ما تمكنت من التحديد

الصحيح لنسق التشكيل ومعدل الرموز، ينبغي لهذا المخطط I/Q أن يكون مستقرًا جداً وأن تستقر النقاط الحمراء (أو الحالات) في الحقول سليمة. ويستوجب هذا التقارب أن نختار قيمة سليمة لإزالة التشكيل مع تطبيق الترشيح والمعادلة على النحو الأمثل. والجانب السفلي الأسير عبارة عن مخطط طيفي للإشارة من خلال عملية تكامل عبر عدد من الرموز التي تم إزالة تشكيلها - عدد الرموز التي أزيل تشكيلها في هذه الحالة 3 000 رمز. وينبغي لهذا المخطط الطيفي أن ينسجم إلى حد كبير مع الإشارة المرصودة بداية. ويظهر الجانب العلوي الأيمن مقدار متجه الخطأ (EVM) لكل رمز أزيل تشكيله. ويمكن اعتبار المقدار EVM كمتوسط إجمالي أو كرمز على أساس رمزي. وجميع قيم الأخطاء المصاحبة لعملية إزالة التشكيل هذه تقل عن 1%، لذا، فإن لدينا ثقة كبيرة بأن البتات المرتبطة بهذه الإشارة جيدة.

والجانب الأيمن السفلي عبارة عن شاشة نهائية للبتات الفعلية المزال تشكيلها وللأخطاء. ويلاحظ أن علامات الوسم في المخططات الأربعة مفيدة بحيث تعرض الرمز "0" المرتبط بالرمز رقم # 695 من بين الرموز البالغ عددها 3 000 رمز. وتتعبق هذه العلامات وفق حركتها عبر التسجيل I/Q بحيث توفر تغذية مرتدة للمستعمل بأن قيم ضبط إزالة التشكيل سليمة.

الشكل 10

برمجيات VSA - أدوات إزالة التشكيل الرقمي



SM.1600- 10

4.3 معالجة التسجيل I/Q

يجب أن تجرى الخطوة الأخيرة في التعرف التقني على هوية إشارة رقمية مجهولة وتحليلها طبقاً للقيود القانونية والأخلاقية المتعلقة باستعمال المعلومات. وبمختلف العتاد وأدوات برمجيات الإشارة، يمكن فك تشفير تسجيل I/Q لاستخراج جزء من المحتوى الأصلي أو كله. ففي هذا المثال، يمكن معالجة نفس التسجيل I/Q باستعمال برمجيات فك التشفير المتوفرة تجارياً من أجل التعرف الإيجابي على مصدر الإرسال.

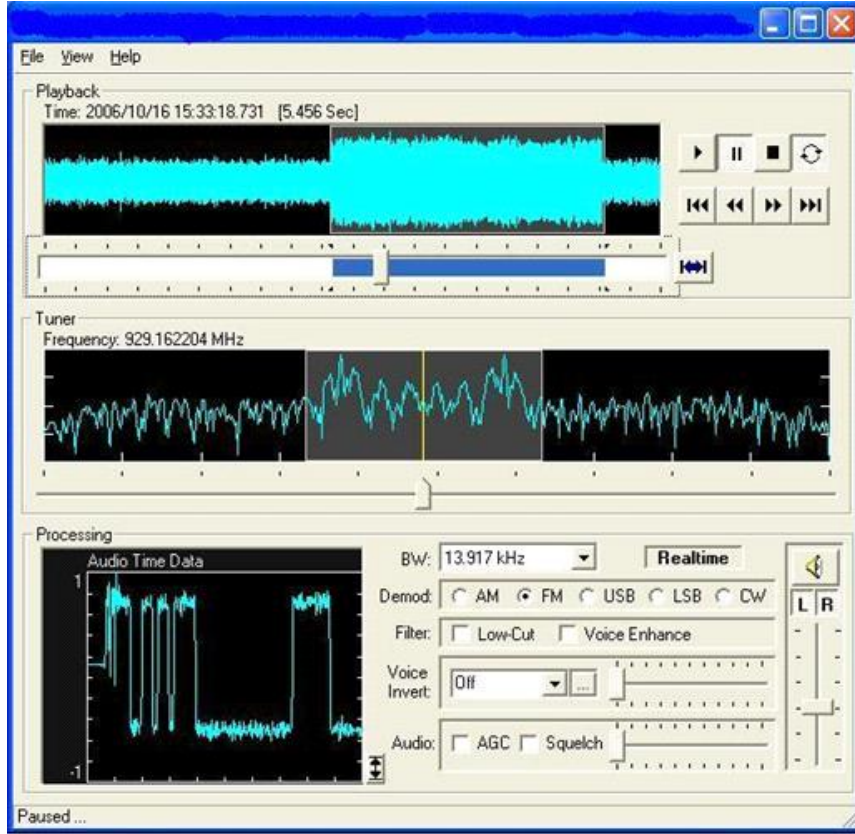
(أ) المعالجة باستخدام برمجيات إزالة التشكيل السمعي

تعمل بعض برمجيات فك التشفير بمعالجة الإشارة السمعية المتولدة من إزالة تشكيل لإشارة ذات الأنساق القياسية (AM أو FM أو U/LSB أو CW). وفي هذه الحالة، ستكون هناك حاجة إلى برمجية بإمكانها توليد الإشارة السمعية. والبرمجية المعروضة

في الشكل 11، مثال على ذلك. وتقوم هذه البرمجية بتشغيل تسجيل I/Q وخرج سمعي. وبما أن التسجيل لم "يكشف كتشكيل AM أو FM" من قبل، تسمح البرمجية للمستعمل بضبط التردد المركزي وعرض النطاق لعملية إزالة التشكيل. ويوفر ذلك المرونة عند العمل مع خوارزميات فك التشفير شديدة الحساسية للتردد المركزي وعرض نطاق الإشارة السمعية.

الشكل 11

مثال على برمجية لتشغيل إشارة سمعية I/Q



SM.1600-11

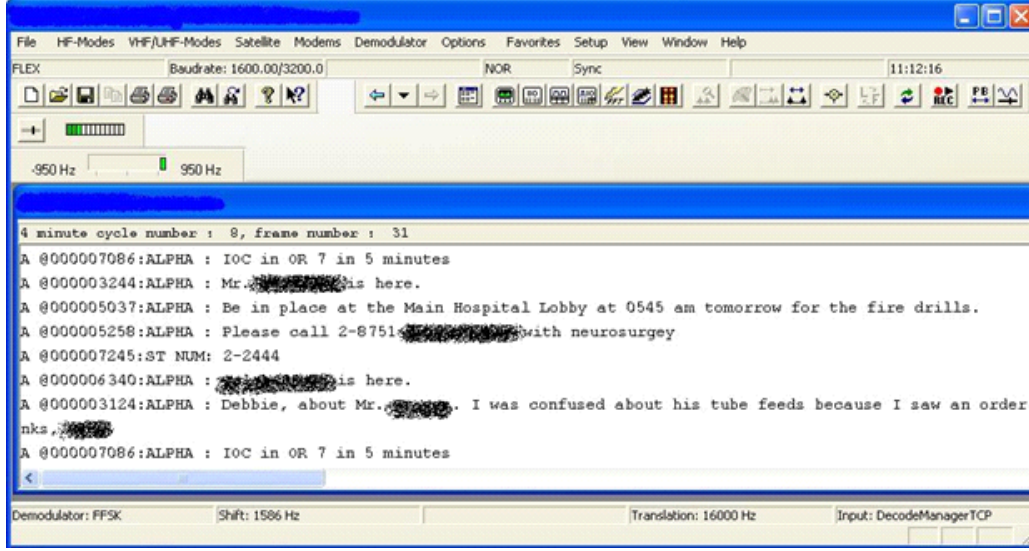
ومن الفوائد الأخرى للعمل مع التسجيلات I/Q أنه يمكن استخدام مخططات كشف مختلفة للحصول على أفضل إشارة سمعية من أجل فك التشفير. وتقلل هذه المرونة من هاجس ضرورة قيام المشغل بإجراء التسجيلات "في الميدان". فإذا كان التردد المركزي لشكل الموجة I/Q المسجلة خارج المركز، يمكن إعادة اعتيان التسجيل و/أو إعادة مركزته (كما يظهر أعلاه) للحصول على نتائج جيدة.

ب) المعالجة ببرمجيات فك تشفير الإشارة

تطبق برمجيات فك تشفير إشارة النسق المختار للتسجيل وخرج النتائج على نافذة أو تقوم بتخزين النتائج في ملف نصي. وتكون هناك عادةً عمليات ضبط عديدة لكل مخطط من مخططات فك التشفير. وتتضمن بعض هذه البرمجيات "معارف هوية للإشارة" لكنها تكون على الأغلب من أجل مخططات التشكيل بالغة البساطة مثل FSK أو PSK. وفي المثال أدناه، أدخل التسجيل Q I على مخطط فك تشفير وتم ضبط النسق على FLEX وPOCSAG ويستعمل الاثنان عادةً إشارات استدعاء. وتم اختيار هذين النسقين على أساس تردد مركزي (929,162 MHz) وعرض نطاق (12,5 kHz) - أو المعلومات الخارجية للإشارة ونسق التشكيل (FSK) ومعدل الرموز (1 600) - أو المعلومات الداخلية للإشارة. ولم ينتج النسق POCSAG أي نتائج لفك التشفير. وتعرض أدناه نتائج فك التشفير للنسق FLEX.

الشكل 12

مثال على برمجية فك تشفير متوفرة تجارياً



SM.1600-12

ويمكن محتوى المعلومات المستخلص من الإرسال الأصلي المستعمل من التعرف الإيجابي على هوية المصدر واتخاذ الإجراءات التنظيمية المناسبة مع الإثباتات الكافية.

5.3 طرائق الترابط وغيرها من الطرائق الحديثة

هذا القسم مخصص لشرح الخوارزميات المتقدمة التي يمكن لخدمة المراقبة استخدامها في تعرف هوية الإشارات الرقمية.

أ (طرائق الترابط

الترابط المتبادل: هو قياس التشابه بين شكلي موجتين بدلالة تأخير زمني يطبق على أحدهما. ويعرف ذلك أيضاً بتدرج الضرب القياسي أو تدرج الضرب الداخلي.

الترابط الأوتوماتي: هو الترابط المتبادل للإشارة مع نفسها. وبمعنى عام، هو التشابه بين الرصدات بدلالة الفارق الزمني بينها. وهي أداة رياضية للحصول على النماذج المتكررة، مثل وجود إشارة دورية مدفونة تحت الضوضاء أو تحديد التردد الأساسي المفقود في إشارة ما من جراء تردداتها التوافقية. وهو يستعمل عادةً في معالجة الإشارة من أجل تحليل الوظائف أو سلسلة من القيم مثل إشارات الميدان الزمني.

ويتيح استعمال هذه الخوارزميات الكشف عن التتابعات الدولية المدججة وتمييزها والتي يمكن استخدامها كإشارة مرجعية معروفة في معالجات أخرى.

ويشيع استخدام هذه الخوارزميات في البحث عن الإشارات ذات المدد الطويلة من أجل سمة معروفة أقصر (مثل التمهيد أو مصدر التزامن أو كلمة التزامن أو الشفرة الإرشادية). وعملياً تشكل هذه السمات المعروفة داخل أشكال موجات رقمية قياسية وتقدم نموذجاً يمكن أن يستعمل في إجراء تحليل متفرد للإشارة المعنية:

- توجد كلمات التزامن في الكثير من أشكال الموجة المستمرة القياسية (مثل تعدد الإرسال بتقسيم التردد (FDM) والنفاذ المتعدد بتقسيم التردد (FDMA) التي تستعمل في كثير من أجهزة الراديو وأجهزة الاستدعاء والاتصالات الراديوية المتنقلة الخاصة (PMR) (NMT و TETRAPOL وغيرها).

- توجد تتابعات التدريب في أشكال الموجة القياسية TDMA، مثل شكل الموجة المستعمل في العديد من أنظمة الجيل الثاني من الاتصالات الخلوية والاتصالات PMR (GSM و D-AMPS و TETRA و PHS).
 - وتوجد شفرات الإرشاد (PILOT) أو كلمات التزامن في أشكال الموجة القياسية CDMA أو TDMA/CDMA وغيرها التي تستعمل عادةً في أنظمة الجيل الثالث من الاتصالات الخلوية (3GPP/UMTS و 3GPP2/CDMA2000).
 - وتوجد رموز الإرشاد (PILOT) أو الموجات الحاملة الفرعية المتناثرة للإرشاد (PILOT) في الإشارات المشكلة بالمخططات OFDM و OFDM و COFDM و SC-FDMA/SC-FDE التي تستعمل عادةً في أنظمة الإذاعة الراديوية (DAB و DVB-T/H) وفي أنظمة الجيل الرابع للاتصالات الخلوية (3GPP/LTE).
- وتستعمل في تنفيذ هذه التقنيات عملياً نوافذ متدرجة للميدان الزمني لتحديد زمن وصول الإشارة وتقنيات تعويض التأثيرات الدوبلرية لتعويض حركة مصدر الإشارة. وتستعمل هذه الطرائق عامةً خطوتين:
- الخطوة 1: تقدير خطأ التردد الدوبلري وحالة التزامن الزمني.
- الخطوة 2: تصحيح خطأ التردد الدوبلري، واستمثال عملية الكشف وفصل المصدر.

(ب) طرائق أخرى متقدمة

تحويل هار ويفليت: "قد يمكن بمساعدة هذا المخطط إجراء التصنيف الآلي للتشكيل والتمييز لإشارات الاتصالات اللاسلكية ذات المعلومات المجهولة سلفاً. وتمثل السمات الخاصة للعملية في إمكانية مواءمتها دينامياً لجميع أنواع التشكيل تقريباً مع القدرة على التعرف. والمخطط المطور على أساس تحويل هار ويفليت والمعلومات الإحصائية المستعمل في التعرف على مخططات التشكيل M-ary PSK و M-ary QAM و GMSK و M-ary FSK. وتظهر النتائج المحاكاة أن بالإمكان التعرف على التشكيل السليم لحد أدنى يصل إلى 5 dB. وتم تحليل النسبة المئوية للتعرف على أساس مصفوفة الالتباس³. وعندما تزيد قيمة النسبة إشارة إلى ضوضاء عن 5 dB، يزيد احتمال الكشف عن النظام المقترح عن 0,968. وتمت مقارنة المخطط المقترح بطرائق قائمة وتبين أن بإمكانه التعرف على كافة مخططات التشكيل الرقمي ذات القيم المنخفضة للنسبة إشارة إلى ضوضاء." (انظر المرجع [1]).

تحليل الترابط الطيفي: تظهر إشارات كثيرة مستعملة في أنظمة الاتصالات الصبغة الدورية لمعلوماتها الإحصائية من الدرجة الثانية نتيجةً لعمليات مثل الاعتيان والتشكيل وتعدد الإرسال والتشفير. وهذه الخواص الدورية التي يطلق عليها سمات الترابط الطيفي، يمكن استعمالها في الكشف عن الإشارة وتمييزها. ومن أجل تحليل السمات الدورية للإشارة، تستخدم عادةً دالتان أساسيتان:

(1) دالة الترابط الأوتوماتي الدوري (CAF)، وتستعمل لتحليل الميدان الزمني؛

(2) دالة الترابط الطيفي (SCF) والتي تبين الترابط الطيفي ويتحصل عليها من تحويل فورييه للدالة CAF.

ويمكن التمييز بين الأنواع المختلفة للإرشادات (أي AM و ASK و FSK و PSK و MSK و QPSK) على أساس معلومات مميزة عديدة لكل من SCF و SCC. وهذه الخوارزمية فعالة أيضاً في حالة الإشارات الضعيفة ويمكن استعمالها في تحليل وإمكانية تصنيف الإشارات المجهولة (انظر المرجع [2]).

4 الخلاصة

تستعمل الأمثلة المقدمة في هذه التوصية لتوضيح عملية تعرف الهوية واستعمال أدوات وتقنيات البرمجيات المتوفرة تجارياً لتكوين رؤية عن الإشارات الرقمية الحديثة. وتقدم أمثلة الترابط لتوضيح تقنيات المعالجة المتقدمة التي يمكن استخدامها للتعرف على هوية الإشارات المعقدة.

³ في مجال الذكاء الاصطناعي تعرف مصفوفة الالتباس بأنها شكل جدولي محدد يسمح بمعاينة أداء أي خوارزمية، عادةً خوارزميات التعلم الموجه (في حالة التعلم غير الموجه يطلق عليها عادةً مصفوفة المواءمة). ويمثل كل عمود في المصفوفة المجالات من الصنف المتنبأ به في حين يمثل كل صف الحالات الفعلية. والاسم مشتق من حقيقة أن المصفوفة تجعل من السهل تحديد ما إذا كان النظام ملتبساً في صنفين (أي الخطأ في الوسم بين الصنفين). وفي غير مجال الذكاء الصناعي، يطلق على هذه المصفوفة جدول الاحتمال أو مصفوفة الخطأ.

وأصبحت القدرة على إجراء تسجيلات I/Q في محلات الإشارات المتجهية وأدوات تحليل الإشارة المتجهية ومستقبلات المراقبة أكثر شيوعاً في السنوات الأخيرة. وأضحت أدوات تحليل الإشارة وتمييز التشكيل والتعرف على هوية الإشارة في متناول اليد وبأسعار معقولة أكثر من ذي قبل. وتسمح هذه الأدوات لخدمة المراقبة بزيادة الأتمتة في الكشف عن الإرسالات الرقمية المعنية وتسجيلها وتحليلها والتعرف على هويتها وزيادة فعالية تحديد المشكلات الناتجة عن التداخلات ومعالجتها.

5 المراجع

1.5 مراجع حول أدوات البرمجيات

تدعم البرمجيات VSA عادةً مخططات إزالة التشكيل التالية:

- FSK: المستويات 2 و 4 و 8 و 16 (بما في ذلك GFSK)؛
 - MSK: (بما في ذلك GMSK) النوع 1 والنوع 2؛
 - CPMBPSK؛
 - QPSK و OQPSK و DQPSK و D8PSK و $\pi/4$ DQPSK؛
 - 8PSK و $3\pi/8$ 8PSK (EDGE) و $\pi/8$ D8PSK؛
 - QAM (تشفير مطلق): 16 و 32 و 64 و 128 و 256 و 512 و 1024؛
 - QAM (تشفير تفاضلي لكل معيار DVB): 16 و 32 و 64 و 128 و 256؛
 - Star QAM: 16 و 32؛
 - APSK: 16 و w/DVB و 32 و w/DVB و 32 و VSB: 64 و 8 و 16 و APSK مكيف.
- أنساق الاتصالات الرقمية القياسية التي تدعمها عادةً البرمجيات VSA:
- الاتصالات الخلوية: CDMA (قاعدة) و CDMA (متنقلة) و GSM و EDGE و NADC و PDC و PHP (PHS) و W-CDMA و LTE و LTE Advanced؛
 - الربط الشبكي اللاسلكي: TM بلوتوث و HiperLAN1 (HBR) و HiperLAN1 (LBR) و IEEE 802.11b و ZigBee 868 MHz و ZigBee 915 MHz و ZigBee 2 450 MHz؛
 - الفيديو الرقمي: DTV8 و DTV16 و DVB16 و DVB32 و DVB64 و DVB128 و DVB256 و DVB 16APSK و DVB 32APSK؛
 - أنساق أخرى: APCO 25 و APCO-25 P2 (HCPM) و APCO-25 P2 (HDQPSK) و DECT و TETRA و VDL mode 3 و MIL-STD 188-181C: CPM (Option 21).

2.5 المراجع

- [1] PRAKASAM P. and MADHESWARAN M., Digital modulation identification model using wavelet transform and statistical parameters, Journal of Computer Systems, Networks, and Communications Volume 2008 (2008), Article ID 175236, 8 pagesdoi:10.1155/2008/175236
- [2] HAO Hu, JUNDE Song, Signal Classification based on Spectral Correlation Analysis and SVM in Cognitive Radio, 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications, Dept. of Electronic Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunication and Yujing Wang, Dept. of Telecommunication Engineering, Xidian University