الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصيـــة ITU-R SM.1600-1

(2012/09)

تعرف الهوية التقني للإشارات الرقمية

السلسلة SM

إدارة الطيف

الاتحاد الدولي للاتصالات

تمهيـــد

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 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 الكهرتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد الاستمارات 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)

السلسلة	العنـــوان
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

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

النشر الإلكتروني
جنيف، 2013

© ITU 2013

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).

التوصيـــة ITU-R SM.1600-1

تعرف الهوية التقني للإشارات الرقمية

(2012-2002)

مجال التطبيق

تصف هذه التوصية العملية والطرائق والأدوات الخاصة بتعرف الهوية التقني للإشارات الرقمية. وهي تقارن بين الطرائق والأدوات وتوصي بتطبيق لحالات استعمال مختلفة. وهي لا تقدم شرحاً متعمقاً للخوارزميات أو لخواص التصميم لأدوات العتاد أو الأدوات البرمجية.

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 عدد متزايد 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 يعصب 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 والمعلمات 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،

2 بأن تتبع العمليات الموصوفة في الملحق 1.

الملحق 1

مقدمة

يشرح هذا الملحق الخطوات المصممة لكي تستعمل إما كل خطوة فيها على حدة أو معاً في تتابع لتعرف هوية إشارة رقمية معنية. ومن المزمع أن توفر المعلومات مشورة أساسية وعملية ومنطقية بشأن التعامل مع الإشارات الرقمية الحديثة القياسية. ويتناول النص استعمال المعلمات الخارجية للإشارة ويقدم المشورة بشأن تحليل المعلمات الداخلية للإشارة لتصنيف الإشارة بشكل أشمل؛ ويشرح استعمال أدوات وتقنيات البرمجيات من أجل التعرف الإيجابي على هوية أي إشارة رقمية حديثة قياسية.

وفي حين أن هناك بعض المحللات 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 للمعلمات الداخلية للإشارة. وفي حين ينصب تركيز هذا الملحق على محللات إشارات المتجهات ومستقبلات المراقبة، فإنه يمكن أيضاً في بعض الحالات استعمال المحللات الطيفية التي تتسم بخواص لتحليل الإشارات.

التعاريف

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

- الإبراق بزحزحة الاتساع والطور والتردد (ASK وPSK وFSK) بما في ذلك الإبراق بالزحزحة 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).

أنظمة وبرمجيات تعرف هوية الإشارات: هذا صنف من الأنظمة أو البرمجيات يمكنه توفير تعرف إيجابي لهوية أي إشارة رقمية حديثة بربط 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).

محللات إشارات المتجهات (VSA) وبرمجياتها: تجمع أجهزة محللات إشارات المتجهات بين العتاد إما بتكنولوجيا التغيير الفوقي أو التحويل المباشر ومحولات عالية السرعة من تماثلي إلى رقمي (ADC) ومعالج إشارات رقمية (DSP) وصفيف بوابات مبرمج المجال (FPGA) أو معالجات مبرمجة عامة مدمجة (GPP) لإجراء قياسات للطيف سريعة وعالية الاستبانة وإزالة التشكيل والتحليل المتقدم للميدان الزمني والميدان الزمني الطيفي. والمحللات VSA مفيدة على نحو خاص في تحديد خصائص الإشارات المركبة مثل الإشارات الرشقية 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 كتلك 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.

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

مقدار متجه الخطأ: متجه الخطأ هو الفارق المتجهي عند زمن معين بين الإشارة المرجعية النموذجية والإشارة المقاسة. بمعنى آخر، هي الضوضاء والتشوه المتبقيين 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).

خطوات تعرف هوية إشارة رقمية

1 تقييم المعلمات الخارجية للإشارة

تتمثل الخطوة الأولى في تعرف هوية إشارة رقمية في استعمال أبسط نهج. ويشمل ذلك مقارنة المعلمات "الخارجة" للإشارة بقاعدة بيانات الإشارات وخطة الترددات المرخصة لدى هيئة التنظيم. وتشمل المعلمات الخارجية للإشارة:

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

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

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

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

الجـــدول 1

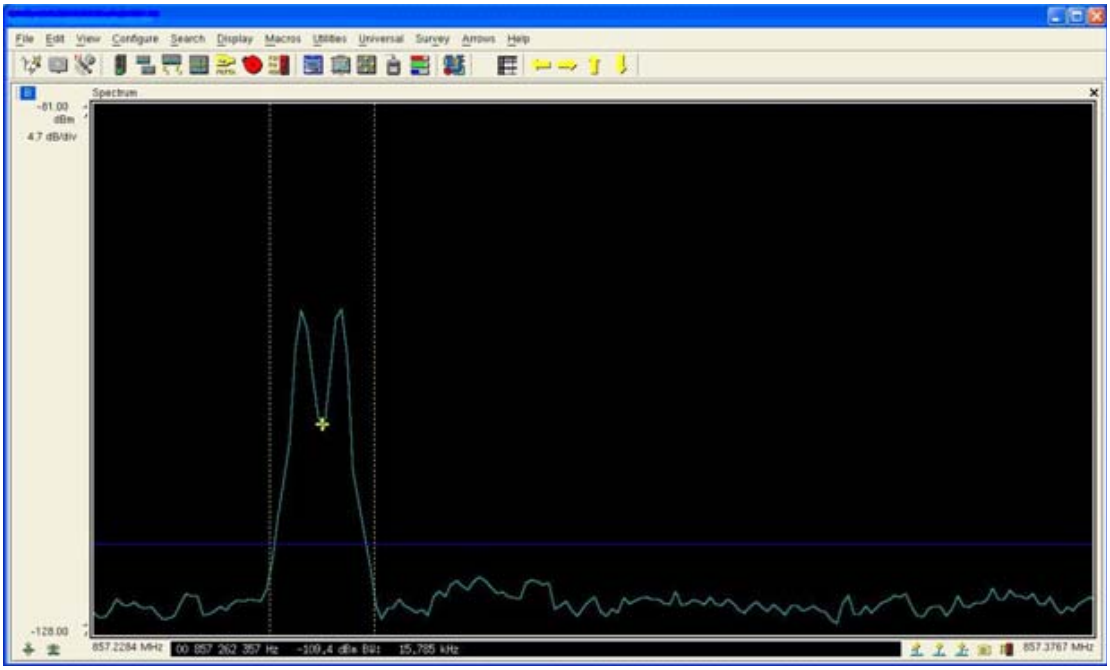
مثال لجدول توزيع نطاقات التردد

Table of Frequency Allocations	698-941 MHz (UHF)				Page 29
International Table			United States Table		FCC Rule Part(s)
Region 1 Table	Region 2 Table	Region 3 Table	Federal Table	Non-Federal Table	
(See previous page)	698-806 FIXED MOBILE 5.313B 5.317A BROADCASTING	(See previous page)	698-763	698-763 FIXED MOBILE BROADCASTING NG159	Wireless Communications (27) LPTV and TV Translator (74G)
			763-775	763-775 FIXED MOBILE NG158 NG159	Public Safety Land Mobile (90R)
			775-793	775-793 FIXED MOBILE BROADCASTING NG159	Wireless Communications (27) LPTV and TV Translator (74G)
790-862 FIXED MOBILE except aeronautical mobile 5.316B 5.317A BROADCASTING			793-805	793-805 FIXED MOBILE NG158 NG159	Public Safety Land Mobile (90R)
			805-806	805-806 FIXED MOBILE BROADCASTING NG159	Wireless Communications (27) LPTV and TV Translator (74G)
	5.293 5.309 5.311A				

يمكن لهيئة التنظيم عن طريق استعمال المحلل الطيفي أو محلل الإشارة المتجهية أو مستقبل المراقبة 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.

الشـــكل 1

عينة لشاشة طيفية مع علامات الوسم



SM.1600-01

ويقدم الجدول 2 مجموعة شاملة لطرائق التحليل التي يمكن لهيئة التنظيم 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.

الجـــدول 2

الطرائق اليدوية للكشف عن الإشارات واستخراج معلماتها الخارجية

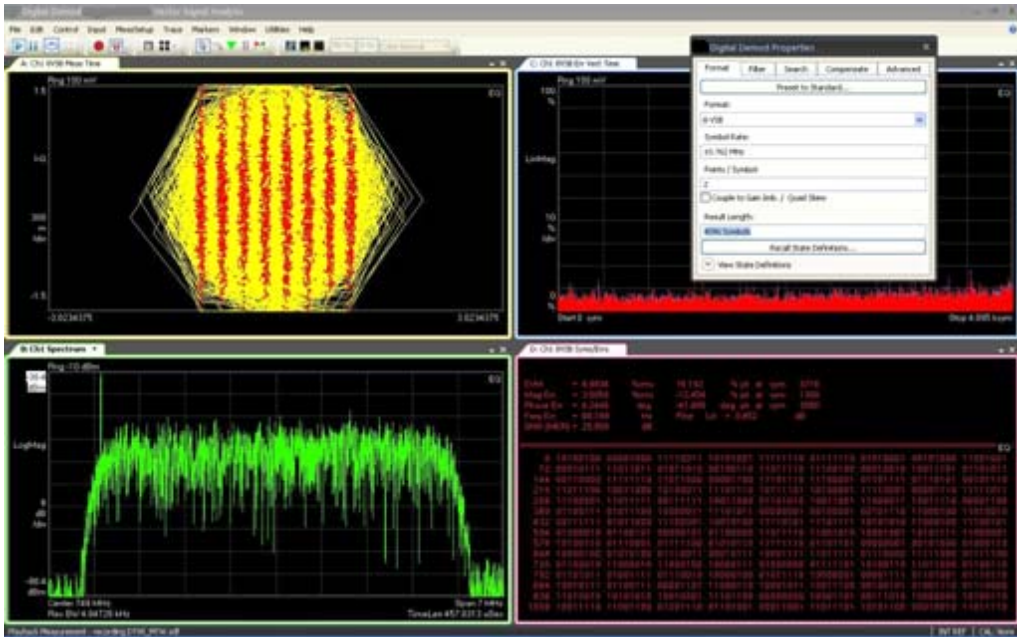
المعلمة المقرر قياسها	أدوات التحليل	نوع التشكيل	البيئة الراديوية
وجودة إشارة اتصالات راديوية	ترابط متبادل الإشارة I-Q أو الاتساع اللحظي، A_i مع إشارة مرجعية	أي تشكيل على أن يكون بوجه خاص لإشارات TDMA وCDMA وDSSS معروفة	أي بيئة
	كثافة القدرة الطيفية	أي نوع من أنواع التشكيل	قيمة متوسطة وعالية للنسبة إشارة إلى ضوضاء
	ترابط أوتوماتي وترابط أوتوماتي دوري	OFDM وSC-FDMA وSC-FDE	أي بيئة
	تحليل الترابط الطيفي	إشارات DSSS غير معروفة وإشارات ضعيفة	أي بيئة
معدل تكرار النبضة (PRF) أو طول الرشقة	تحليل الاتساع مقابل الزمن للإشارة	OOK ورادار وIFF وغيرها من الإشارات الرشقية	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 =M(MPSK) أو (QAM) 4 أو (1/h من أجل CPM)	PSK وQAM وCPM	قيمة موجبة للنسبة إشارة إلى ضوضاء
	تحليل الترابط الطيفي	أي تشكيل خطي، خاصةً ASK وBPSK وQPSK	أي بيئة
	طيف جزء الإشارة مرفوعاً للأس 2 أو 4 مع ترشح كبير	Pi/2DBPSK وpi/4DQPSK وSQPSK	قيمة موجبة للنسبة إشارة إلى ضوضاء وأي بيئة
عرض نطاق الإرسال وترتيب القنوات	كثافة القدرة الطيفية مقارنةً بقناع أو دالة خط جدي	أي نوع من أنواع التشكيل	قيمة متوسطة وعالية للنسبة إشارة إلى ضوضاء
المباعدة الترددية بين الموجات الحاملة الفرعية (التخالف بالنسبة للإبراق FSK)	كثافة القدرة الطيفية بحث توافقي و/أو علامات رسم توافقية	FSK وOFDM وCOFDM	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 المعلمات الخارجية للإشارة تتمثل في تقييم الشكل الطيفي أو البصمة. ولمعظم برامج برمجيات المحللات VSA مكتبة إيضاحية لإشارات رقمية حديثة قياسية. وتمكن هذه الأمثلة التوضيحية هيئة التنظيم من الاطلاع على المعلمات 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 المرسلة). لاحظ الجزء الأيسر الأسفل والشكل الفريد للطيف في وجود النغمة الإرشادية. ويعطي هذا الشكل إلى جانب التردد المركزي وعرض النطاق مؤشراً قوياً لنوع الإرسال.

الشـــكل 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 المعلمات الداخلية للإشارة.

2 تقييم المعلمات الداخلية للإشارة

بعد تقييم المعلمات الخارجية للإشارة على النحو الموضح في الفقرة 1، تتمثل الخطوة التالية في التعرف على هوية الإشارة الرقمية في تحليل خصائص الميدان الزمني (المعلمات الداخلية) للإشارة المعنية. ستكون هناك حاجة إلى محلل VSA أو مستقبل مراقبة (أو محلل طيفي مناسب) بمقدوره إجراء تسجيل للبيانات I/Q. وتشمل المعلمات 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: تنبغي مركزة المحلل VSA أو مستقبل المراقبة على تردد من المعروف أن الإشارة تحدث فيه؛
- ضبط عرض النطاق: ينبغي ضبط عرض نطاق الالتقاط بحيث يحتوي الإشارة بالكامل - بيد أنه لا ينبغي الإفراط في عرض النطاق لكي لا يلتقط القناة المجاورة. ويمكن استعمال المحلل VSA أو شاشة مستقبل المراقبة لقياس التردد المركزي للإشارة وعرض نطاقها. وعروض نطاقات الالتقاط المتاحة بالنسبة للمحللات VSA ومستقبلات المراقبة الحديثة تتراوح بين 1 kHz و160 MHz.

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 (لإرسالات عرض نطاق البرق أو الهاتف)

B = 15-45 kHz (إرسالات عرض النطاق المتوسط)

ومن شأن استعمال عرض نطاق نموذجي للقناة (B) كما هو مبين في الجدول 3 مع هامش مناسب (من 10 إلى 50%) أن يسمح لمعالجة لاحقة باستخدام الترشيح الرقمي وخوارزميات تكييف الإشارة.

ويحتاج التقاط 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 بتة أو أكثر؛
  - معدلات اعتيان توفر أكثر من 4 عينات لكل رمز تشكيل رقمي؛
  - عمق تخزين يوفر مدة للإشارة المسجلة في حدود عدد قليل من الميللي ثواني للإشارات عريضة النطاق وعدد قليل من الثواني للإشارات ضيقة النطاق.

ولمعظم إشارات الاتصالات الرقمية الحديثة عروض نطاقات تقل عن 20 MHz على الرغم من وجود بعض الاستثناءات[2].

[2] على سبيل المثال، تحتاج معايير الاتصالات للشبكات WLAN (802.11ac و802.11ad) من أجل تطبيقات المدى القريب إلى عروض نطاقات تتراوح بين 160 MHz وأكبر من 2 GHz.

الجـــدول 3

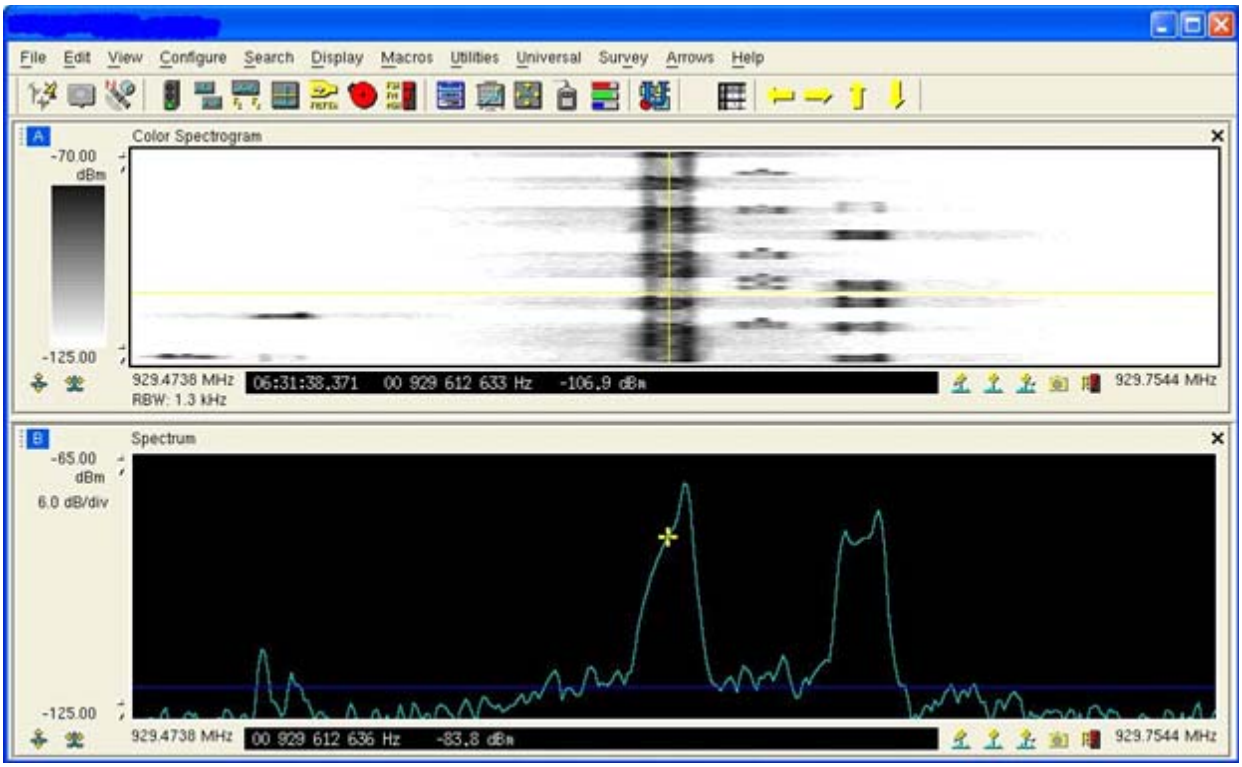
مثال لعرض نطاق القناة لإشارات رقمية شائعة

نوع الإشارة	عرض نطاق القناة
GSM	kHz 200
CDMA (IS-95)	MHz 1,25
CDMA2000	(channel bonding @ 1xEx-DO Rev. B, C) MHz 1,25
3GPP WCDMA	MHz 5
3GPP TD-CDMA	MHz 5
3GPP LTE	1,4 و3 و5 و10 و15 و20 MHz
WIMAX IEEE 802.16xxx	3,5 و5 و7 و8,75 و10 و20 MHz
TETRA	25 kHz و50 kHz و100 kHz و150 kHz
WLAN & WIFI	(IEEE 802.11b) MHz 22 (IEEE 802.11a,g) MHz 20 (IEEE 802.11n) MHz 20 و MHz 40 (IEEE 802.11ac) MHz 20 و MHz 40 و MHz 80
DECT	MHz 1,728
ZigBee	MHz 5
ATSC	MHz 6
DVB-H	5 و6 و7 و8 MHz
T-DMB	MHz 1,536

- ضبط مدة التسجيل: يحتاج الأمر إلى مدة قصيرة جداً للتسجيل (أقل من ثانية واحدة) لتحديد نسق التشكيل ومعدل ترميز الإشارة. وللمحللات 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.

الشـــكل 3

عينة لمخطط طيفي بشاشة عرض للطيف

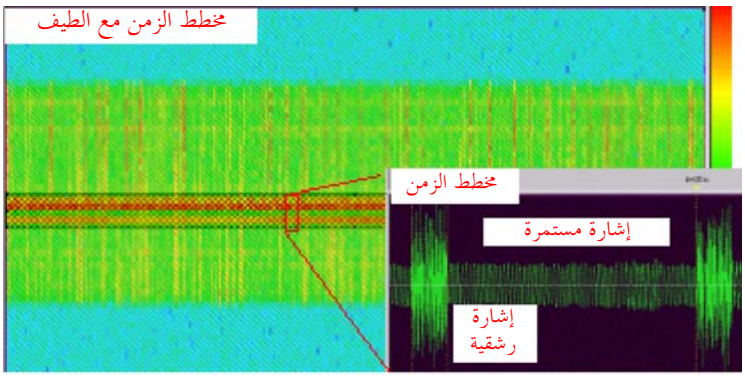


SM.1600-03

ويمكن استعمال برمجية تحليل الإشارات المتجهية لاستحداث مخطط بياني للزمن والطيف يساعد هيئة التنظيم 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 للمعلمات الداخلية للإشارة.

الشـــكل 4

مخطط بياني للزمن والطيف (التردد/الاتساع 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 المستقبلة المكتشفة سلفاً التي سيبدأ عندها التسجيل I/Q. ومن المهم ضبط مستوى النبضة بشكل سليم وهو أمر يحتاج إلى معرفة بسلوك الإشارة والضوضاء عند التردد المعني. وضبط مستوى النبضة على قيمة منخفضة جداً يمكن أن يؤدي إلى بدء التسجيل بنبضة ضوضاء تقع داخل عرض نطاق 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 بالمشاهدة الفورية للإشارة المسجلة للتأكد من استعمال القيم الصحيحة للتردد المركزي وعرض النطاق والمدة ونبضية البدء.

ب) تصنيف الإشارات بواسطة برمجية تمييز التشكيل

بعد إجراء التسجيل I/Q بنجاح، يمكن للمستعمل "تشغيل" الإشارة عن طريق تشكيلة من حزم البرمجيات لتكوين رؤية حول المعلمات 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 وعرض نطاق التسجيل ومعدل الاعتيان والتاريخ والتوقيت وما إلى ذلك. وتنشر بنية البيانات في كتيبات تقنية عادةً وقد تكون مفيدة عند تثبيت عملية لتعرف على هوية إشارة أو برمجية لتمييز التشكيل.

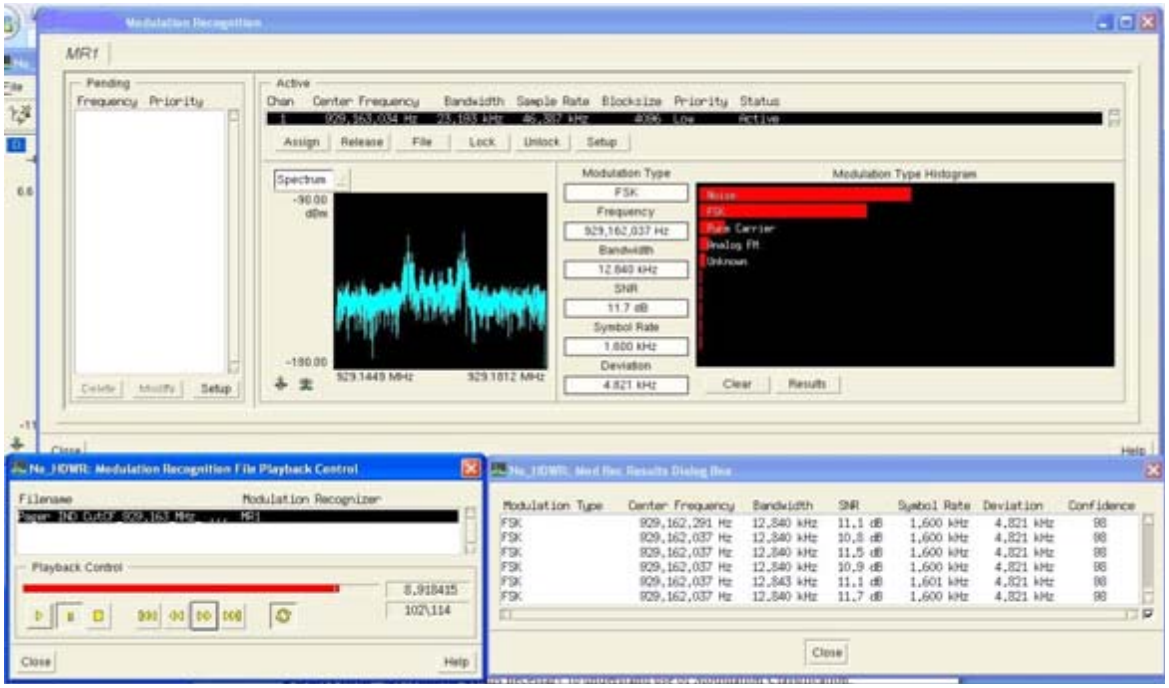
ولإجراء قياس ناجح لصنف التشكيل، يجب تثبيت البرمجية بحيث تعالج التسجيل بشكل سليم. وتشمل عمليات الضبط الضرورية في البرمجية عادةً:

- التردد المركزي؛
- معدل الاعتيان أو عرض نطاق الإشارة؛
- ترشيح القناة المجاورة؛
- الكشف عن الرشقات؛
- حجم الفدرة: 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 الفدرة على كيلوبايتتين اثنتين، ستقوم برمجية تمييز التشكيل بتقدير نوع التشكيل ومعدل الترميز ثماني (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 تشكيلاً غير خطي FSK. وحجم الفدرة المستعمل لكل قياس يساوي 4 k (أو 4,096) وهناك عدد إجمالي من الفدرات يساوي 114 فدرة في التسجيل I/Q هذا (كما يظهر في النافذة اليسرى السفلية). واستعملت ذاكرة تأخير لكي يبدأ التسجيل قبل بث الإشارة. ونتيجة لذلك، صنفت القياسات الأولى البالغ عددها 61 قياساً إما ضوضاء أو موجات حاملة خالصة. وتم وقف العملية عند الظهور الأول للإشارة التي صنفت كتشكيل FSK بسرعة 600 1 بود.

الشـــكل 5

مثال البرمجية لتمييز التشكيل



SM.1600-05

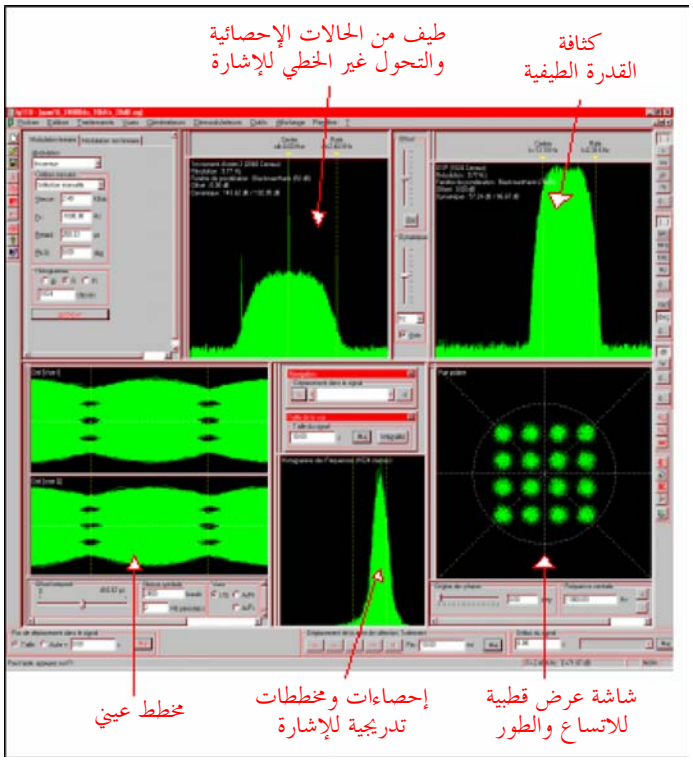
وبعد قيامنا بمعالجة معظم التسجيل I/Q، فإن عدد نتائج قياس التشكيل FSK بمعدل الترميز 600 1 يزيد بنسبة مئوية كبيرة. ويظهر ذلك عن طريق مخطط تدريجي لنتائج التشكيل (الشريط الأحمر) الظاهر في الجانب العلوي الأيمن. كما نلاحظ أنه تمت معالجة 102 فدرتين من التسجيل.

وفي نهاية المعالجة، تكون قد تمت معالجة جميع الفدرات البالغ عددها 114 فدرة ولم تعد الإشارة مرئية في نافذة الشاشة. وتتحول نتيجة القياس إلى ضوضاء ولكن بعد توفر معلومات كافية للتوصل إلى أن الإشارة بتشكيل FSK بسرعة 1600 بود وانحراف 4,821 kHz وقيمة للنسبة إشارة إلى ضوضاء في حدود 11 dB. وعولج هذا الملف فدرة فدرة بالتدرج عبر التسجيل يدوياً. وتوفر هذه التقنية التحكم الأقصى خلال عملية التحليل.

ويعرض في الشكل 6 بمثال آخر للمعالجة لتقدير معلمات التشكيل لإشارة مشكلة خطياً (16 QAM). وتظهر هذه المعالجة طيفاً من الحالات الإحصائية والتحول غير الخطي للإشارة في الجانب الأيسر العلوي من الشاشة وكثافة للقدرة الطيفية في الجانب الأيمن العلوي من الشاشة. وهذا النوع من البرمجيات مفيد جداً في تحديد المعلمات الداخلية للإشارة ويعد بمثابة خطوة جيدة نحو إزالة تشكيل المعلمة.

الشـــكل 6

مثال لمعالجة إشارة من أجل تقدير معلمات التشكيل

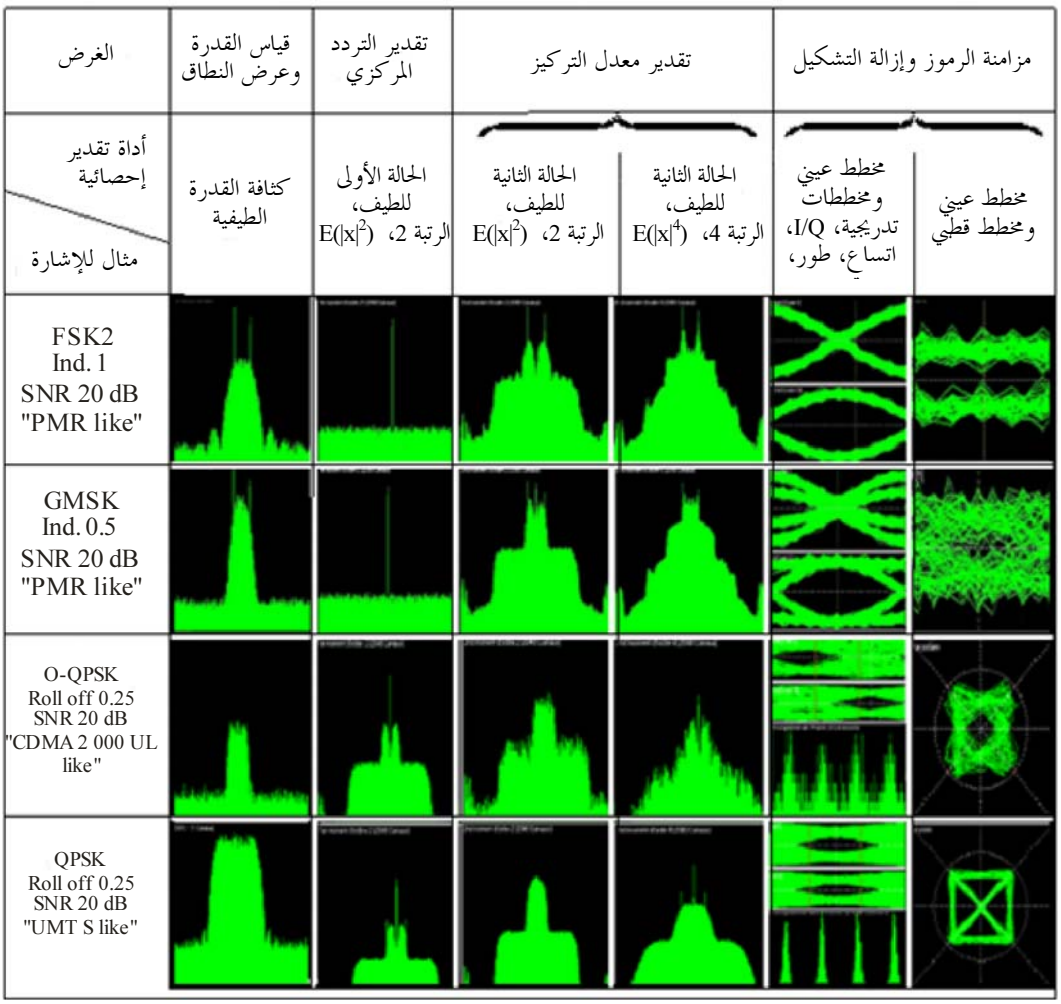


SM.1600-06

ويوضح الشكل 7 أدوات تقدير إحصائية طبقت على إشارات رقمية ذات موجة حاملة وحيدة مثل PMR وGSM وUMTS يمكن استعمالها في قياس المعلمات الداخلية للإشارة.

الشـــكل 7

استعمال أدوات تقدير إحصائية لتقدير معلمات التشكيل



SM.1600-07

ويقدم الجدول 4 توجيهات إضافية بشأن طرائق استخلاص المعلمات 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.

الجـــدول 4

الطرائق اليدوية لاستخلاص المعلمات الداخلية للإشارة

المعلمات 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 ($N = 2$ (2FSK) 2) و4 (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) PSK وQAM وMSK	نموذجية فقط: قيمة SNR مرتفعة لا تعدد للمسيرات
	طيف وحدة الإشارة مرفوعاً لأس N (= 2 أو 4 أو ...) بعد ترشيح مكثف في التردد	PSK وQAM (مرشح أو غير مرشح) FSK (مرشح أو غير مرشح)	قيمة SNR موجبة
	طيف الإشارة مرفوعاً لأس N ($N = 1/h$)	CPM (مرشح أو غير مرشح)	قيمة SNR موجبة
	طيف الإشارة مرفوعاً لأس N	π/2DBPSK وπ/4DQPSK وSQPSK	قيمة SNR موجبة
	ترابط أوتوماتي وترابط أوتوماتي دوري	OFDM وSC-FDMA وSC-FDE	أي بيئة
	تحليل الترابط الطيفي	PSK وQAM وASK وSQPSK وpi/2DBPSK وpi/4DQPSK	أي بيئة
	طيف تحويل هار ويفليت	FSK	أي بيئة لا سيما قنوات المسيرات المتعددة المركبة

الجـــدول 4 *(تتمة)*

المعلمات 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 وQAM وASK	قيمة متوسطة أو مرتفعة للنسبة إشارة إلى ضوضاء (SNR) قنوات مسيرات متعددة مركبة
	الطيف مرفوع الأس N (N=2 وSQPSK وπ/2DBPSK وN=4 وπ/4 DQPSK)	SQPSK وπ/2 DBPSK وπ/4 DQPSK	قيمة SNR موجبة
	كثافة القدرة الطيفية ذات الاستبانة الجيدة	OFDM وCOFDM 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 وQAM 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 وSC-FDMA وSC-FDE	أي بيئة
	ترابط متبادل مع إشارات معروفة	TDMA وCDMA العديد من عمليات التشكيل OFDM وSC-FDMA وSC-FDE	أي بيئة

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

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 التشكيك 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.

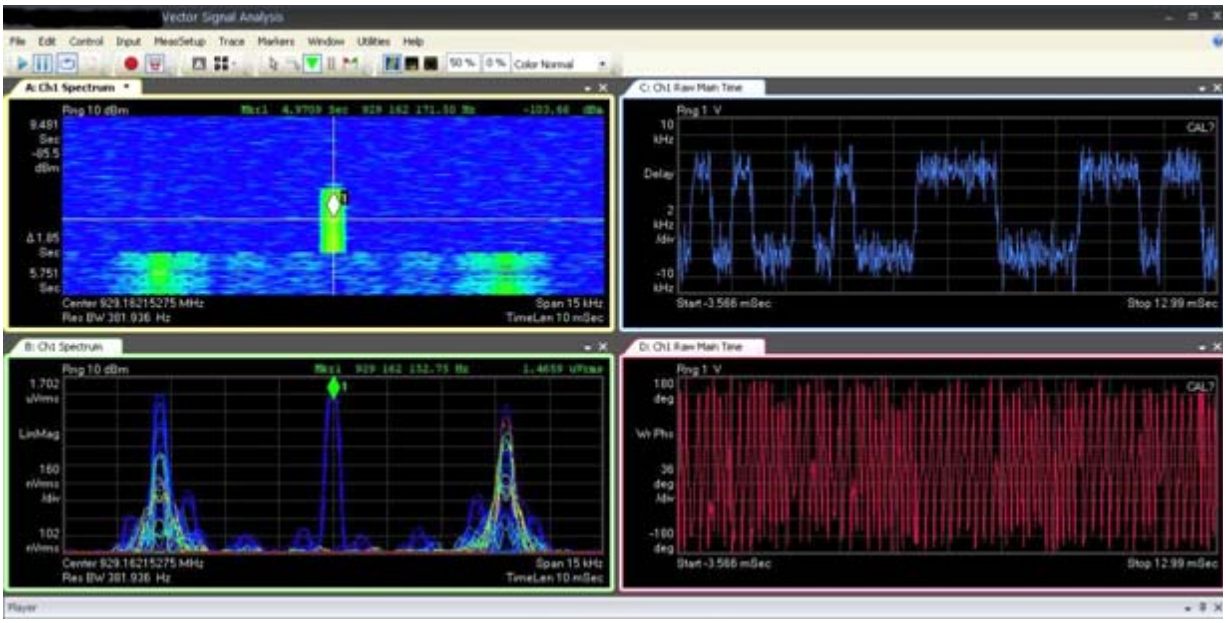
وفي حالة الحاجة للتعرف الإيجابي على هوية إرسال محدد، سيحتاج الأمر إلى حزمة برمجيات لفك تشفير الإشارة أو تقنيات للترابط البيني أو الأوتوماتي أو المتبادل. ويمكن الحصول على حزم برمجيات فك التشفير التجارية من السوق وهي مفيدة لبعض أنساق الإشارات الحديثة - ولكن ليس لجميعها.

أ) مشاهدة التسجيل I/Q بواسطة برمجيات VSA

توفر برمجيات VSA للمستعمل مشاهدات مختلفة عديدة للإشارة. وفي الشكل 8، 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 المشكلة. 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 بزحزحة التردد، يمكن ملاحظة الرموز الفردية الجاري إرسالها. ويعرض الجزء السفلي الأيمن الطور مقابل الزمن - وهو مفيد على نحو خاص إذا كانت الإشارة محل الاهتمام مشكلة بتشكيل الطور.

الشـــكل 8

برمجيات VSA – مجموعة نوافذ منتقاة لتحليل إشارة



SM.1600-08

وينبغي للقارئ أن يلاحظ أن هذه الإشارة استقبلت بمستوى قدرة منخفض جداً. وقيست الموجة الحاملة عند مستوى –103,7 dBm عند دخل المستقبل. ونتيجةً 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 وترددها 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 مزيلات 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. وبضبط البرمجيات VSA على أسلوب إزالة التشكيل الرقمي، بوسعنا إدخال نسق التشكيل المحدد (مستويان FSK) ومعدل الرموز (1 600) اللذين تم تحديدهما في الخطوة السابقة للتحقق من المعلمات الداخلية للإشارة.

وفي الشكل 9 الذي يعرض مثالاً 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 مستقراً جداً وأن تستقر النقاط الحمراء (أو الحالات) في الحقول السليمة. ويستوجب هذا التقارب أن نختار قيماً سليمة لإزالة التشكيل مع تطبيق الترشيح والمعادلة على النحو الأمثل.

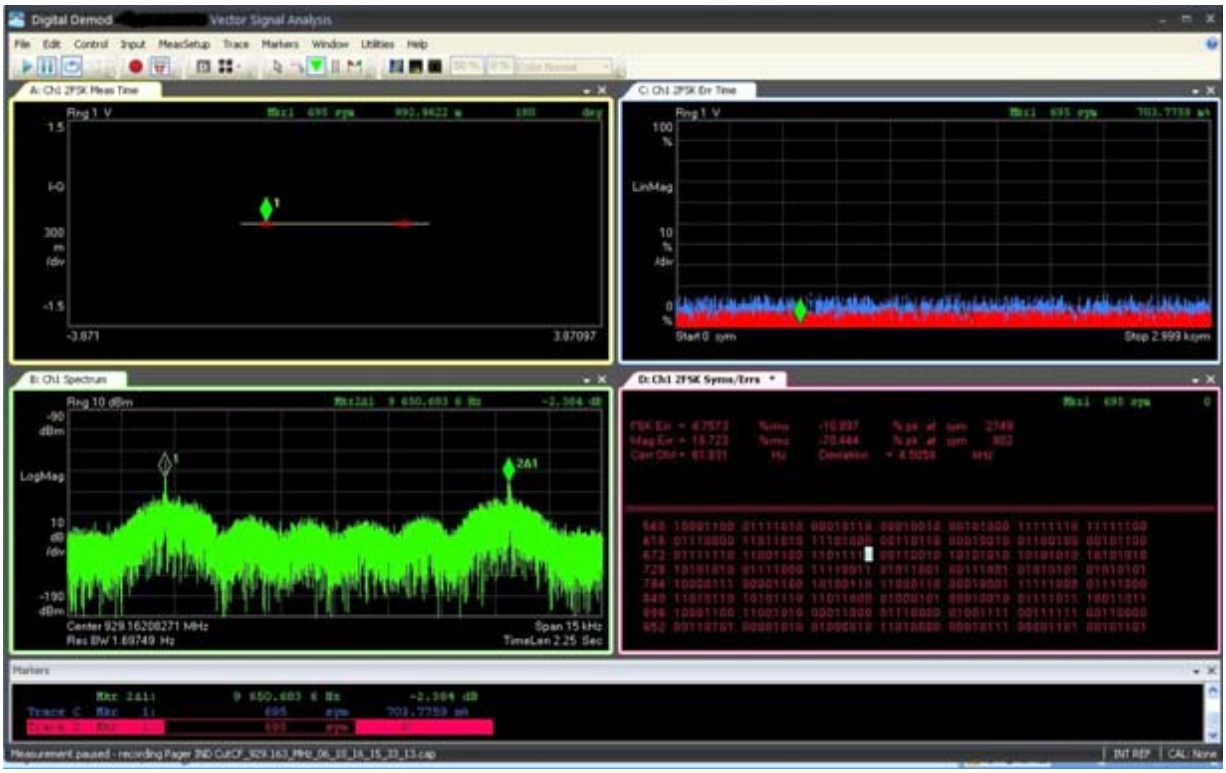
والجانب السفلي الأيسر عبارة عن مخطط طيفي للإشارة من خلال عملية تكامل عبر عدد من الرموز التي تم إزالة تشكيلها - عدد الرموز التي أزيل تشكيلها في هذه الحالة 000 3 رمز. وينبغي لهذا المخطط الطيفي أن ينسجم إلى حد كبير مع الإشارة المرصودة بداية.

ويظهر الجانب العلوي الأيمن مقدار متجه الخطأ (EVM) لكل رمز أزيل تشكيله. والمقدار EVM عبارة عن فارق الطور والمقدار بين حالة مرجعية نموذجية "0" أو "1" والحالات الفعلية المزال تشكيلها المتحصل عليها بقيم الضبط المستعملة في تشكيلة إزالة التشكيل الرقمي. 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. وتتحرك هذه العلامات كلما حركتها عبر التسجيل I/Q بحيث توفر تغذية مرتدة للمستعمل بأن قيم ضبط إزالة التشكيل سليمة.

الشـــكل 9

برمجيات VSA – أدوات إزالة التشكيل الرقمي

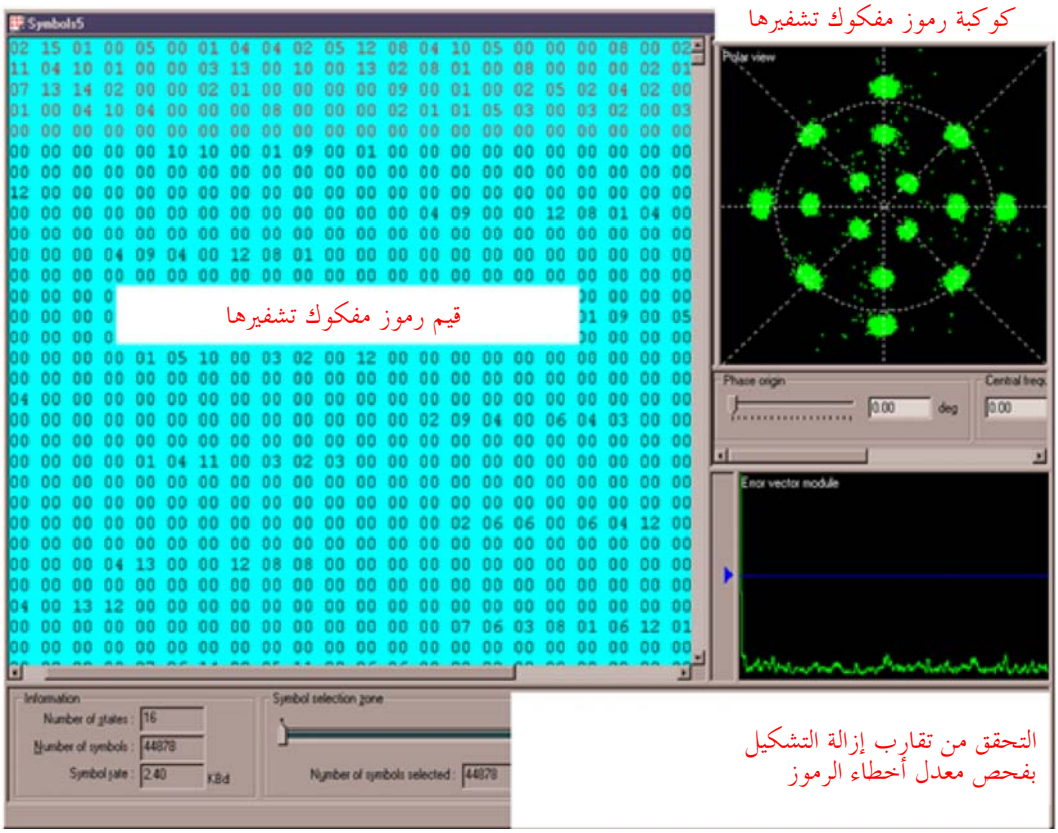


SM.1600-09

واستكمالاً للعملية، يعرض الشكل 10 نتائج التعرف على هوية الإشارة من إشارة برتبة أعلى (16QAM V29) باستعمال تقنية مماثلة وحزمة تحليل مختلفة مخصصة لأنواع التشكيل الخطي:

الشـــكل 10

مثال على إشارة 16QAM V29 مزال تشكيلها



SM.1600-10

4 معالجة التسجيل I/Q

تتمثل الخطوة الأخيرة في التعرف التقني على هوية إشارة رقمية مجهولة في فك شفرة التسجيل I/Q لاستخلاص جزء من المحتوى الأصلي أو كله. ويجب أن تجرى الخطوة طبقاً للقيود القانونية والأخلاقية المتعلقة باستعمال المعلومات. ففي المثال الذي لدينا، يمكن معالجة نفس التسجيل I/Q باستعمال برمجيات فك التشفير المتوفرة تجارياً من أجل التعرف الإيجابي على مصدر الإرسال.

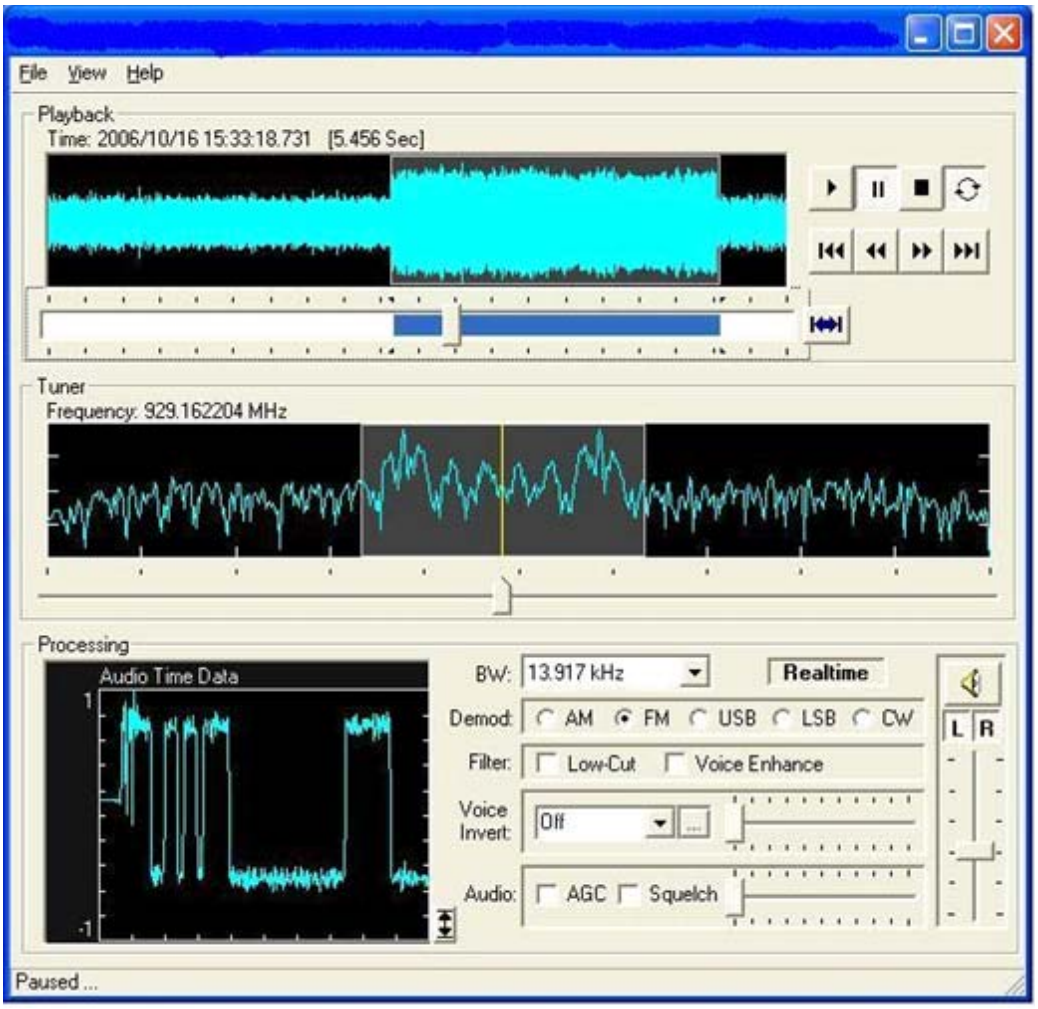
أ) المعالجة باستخدام برمجيات إزالة التشكيل السمعي

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 يتم "الكشف عنه" 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.

الشـــكل 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.

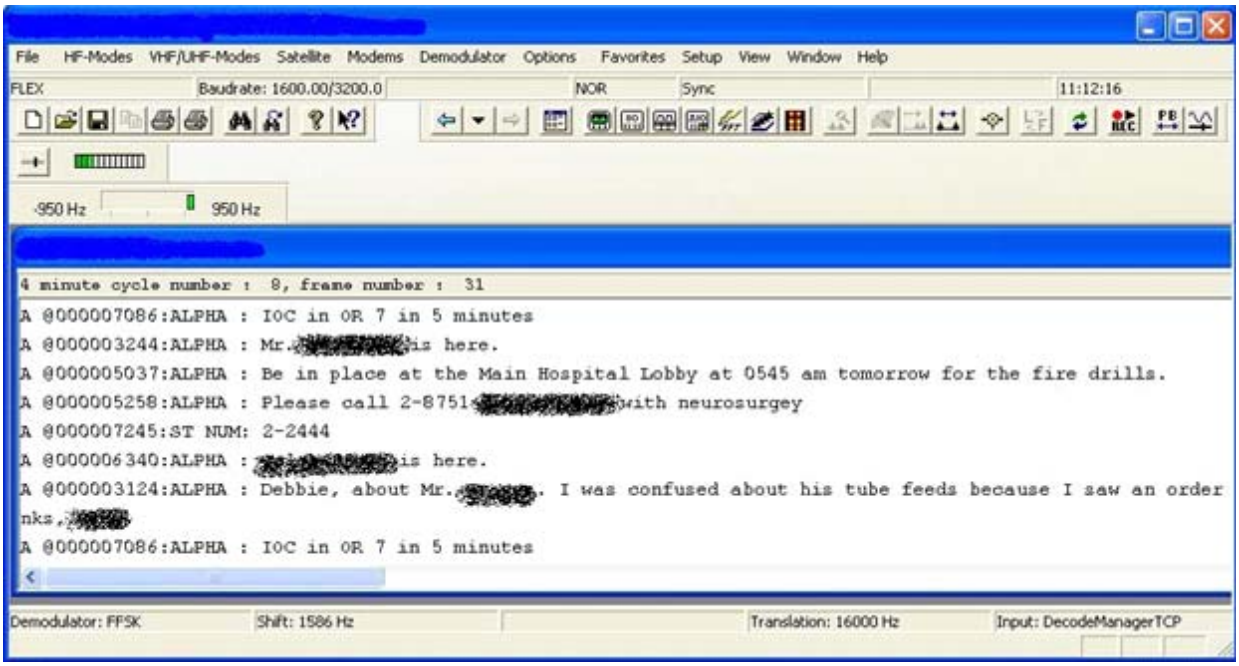
ب) المعالجة ببرمجيات فك تشفير الإشارة

تطبق برمجيات فك تشفير الإشارة المخطط 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 "معرفات هوية للإشارة" لكنها تكون على الأغلب من أجل مخططات التشكيل بالغة البساطة مثل FSK أو PSK. وفي المثال أدناه، أدخل

التسجيل I/Q على مخطط فك تشفير وتم ضبط النسق على FLEX وPOCSAG ويستعمل الاثنان عادةً إشارات استدعاء. وتم اختيار هذين النسقين على أساس تردد مركزي (MHz 929,162) وعرض نطاق (kHz 12,5) – أو المعلمات الخارجية للإشارة ونسق التشكيل (FSK) ومعدل الرموز (1 600) – أو المعلمات الداخلية للإشارة. ولم ينتج النسق POCSAG أي نتائج لفك التشفير. وتعرض أدناه نتائج فك التشفير للنسق FLEX.

الشـــكل 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 طرائق الترابط وغيرها من الطرائق الحديثة

هذا القسم مخصص لشرح الخوارزميات المتقدمة التي يمكن لهيئة التنظيم استخدامها في تعرف هوية الإشارات الرقمية. وتشرح الطرائق العامة مع تسليط الضوء على أمثلة محددة لبحثها وذلك في الملحق 2.

أ) طرائق الترابط

الترابط المتبادل: هو قياس للتشابه بين شكلي موجتين بدلالة تأخير زمني يطبق على أحدهما. ويعرف ذلك أيضاً بتدريج الضرب القياسي أو تدريج 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 ترددها 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 المدمجة 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 تصنيف 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 وTETRAPOL 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 وD-AMPS وTETRA وPHS).
- 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 و3GPP2/CDMA2000).
- وتوجد رموز الإرشاد (PILOT) أو الموجات الحاملة الفرعية المتناثرة للإرشاد (PILOT) في الإشارات المشكلة بالمخططات OFDM وOFDMA وCOFDM وSC-FDMA/SC-FDE التي تستعمل عادةً في أنظمة الإذاعة الراديوية (DAB وDVB-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: "يمكن بمساعدة هذا المخطط إجراء التصنيف الآلي للتشكيل والتمييز لإشارات الاتصالات اللاسلكية ذات المعلمات مجهولة سلفاً. وتتمثل السمات الخاصة للعملية في إمكانية مواءمتها دينامياً لجميع أنواع التشكيل تقريباً مع القدرة على التعرف. والمخطط المطور على أساس تحويل هار ويفليت والمعلمات الإحصائية استعمل في التعرف على مخططات التشكيل M-ray PSK وM-ray QAM وGMSK وM-ray FSK. وتظهر النتائج المحاكاة أن بالإمكان التعرف على التشكيل السليم لحد أدنى يصل إلى 5 dB. وتم تحليل النسبة المئوية للتعرف على أساس مصفوفة الالتباس.[3] 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]).

---

[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 صنف 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.

تحليل الترابط الطيفي: تظهر إشارات كثيرة مستعملة في أنظمة الاتصالات الصبغة الدورية لمعلماتها 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 فوريه للدالة CAF.

ويمكن التمييز بين الأنواع المختلفة للإرشادات (أي AM وASK وFSK وPSK وMSK وQPSK) على أساس معلمات مميزة عديدة لكل من SCF وSCC. وهذه الخوارزمية فعالة أيضاً في حالة الإشارات الضعيفة ويمكن استعمالها في تصنيف الإشارات المجهولة (انظر المرجع [2]).

6 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.

وأصبحت القدرة على إجراء تسجيلات I/Q في محللات الإشارات 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 لهيئات تنظيم الطيف بزيادة الأتمتة في الكشف عن الإرسالات الرقمية المعنية وتسجيلها وتصنيفها والتعرف على هويتها وزيادة فعالية تحديد المشكلات الناتجة عن التداخلات ومعالجتها.

مراجع حول أدوات البرمجيات

تدعم البرمجيات VSA عادةً مخططات إزالة التشكيل التالية:

- FSK: المستويات 2 و4 و8 و16 (بما في ذلك GFSK)؛
- MSK: (بما في ذلك GMSK) النوع 1 والنوع 2؛
- CPMBPSK؛
- QPSK وOQPSK وDQPSK وD8PSK وπ/4 DQPSK؛
- 8PSK و(EDGE) 8PSK 3π/8 وπ/8 D8PSK؛
- QAM (تشفير مطلق): 16 و32 و64 و128 و256 و512 و1024؛
- QAM (تشفير تفاضلي لكل معيار DVB): 16 و32 و64 و128 و256؛
- Star QAM: 16 و32؛
- APSK: 16 وw/DVB 16 و32 وw/DVB 32 وVSB 64: 8 و16 وAPSK مكيف.

أنساق الاتصالات الرقمية القياسية التي تدعمها عادةً البرمجيات VSA:

- الاتصالات الخلوية: CDMA (قاعدة) وCDMA (متنقلة) وCDPD وEDGE وGSM وNADC وPDC وPHP (PHS) وW-CDMA وLTE وLTE Advanced؛
- الربط الشبكي اللاسلكي: TM بلوتوث و(HBR) HiperLAN1 و(LBR) HiperLAN1 وIEEE 802.11b وZigBee 868 MHz وZigBee 915 MHz وZigBee 2 450 MHz؛

- الفيديو الرقمي: DTV8 وDTV16 وDVB16 وDVB32 وDVB64 وDVB128 وDVB256 وDVB 16APSK وDVB 32APSK؛
- أنساق أخرى: APCO 25 وAPCO-25 P2 (HCPM)؛ APCO-25 P2 (HDQPSK) وDECT وTETRA وVDL mode 3 وMIL-STD 188-181C: <CPM (Option 21).

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

الملحق 2

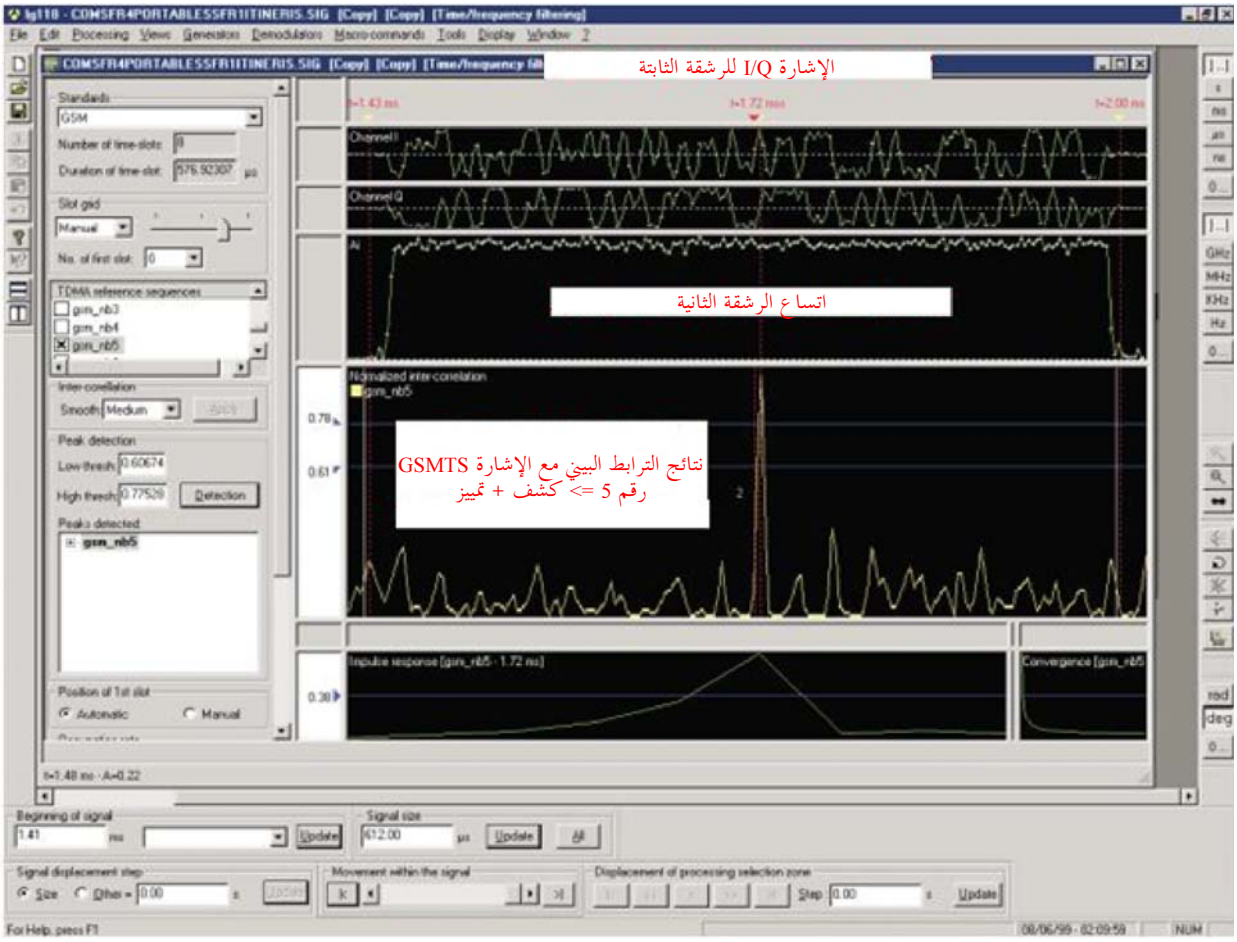
يعطي هذا الملحق أمثلة لإشارات رقمية معقدة محددة ويبرز نهج التعرف عليها.

أ) مثال على التعرف على هوية إشارة GSM (النفاذ TDMA)

يُعرض في الشاشة أدناه مثال ترابط لرشقة GSM. وفي هذا المثال، يقارن التسجيل I/Q بعنصر معروف من الإشارة GSM (مصدر التزامن) وتعرض نتائج الترابط في النافذة الثابتة من أسفل.

الشـــكل 13

مثال لتقنية ترابط بيني من أجل التعرف على هوية إشارة



SM.1600-13

ب) مثال لطريقة للتعرف على هوية إشارة من أجل المخططات OFDM وSC-FDMA وSC-FDE

يوفر الترابط الأوتوماتي الدوري الكثير من المزايا عند تحليل الإشارات المعروفة جزئياً مثل إشارات OFDM وOFDMA وSC-FDE وCDMA. ويمكن أن يساعد في تحديد الخصائص الدورية والتعاقبية لشكل الموجة. ومن تطبيقات المعالجة بالترابط الأوتوماتي الدوري تمييز التتابعات المتكررة داخل إشارات الإرسال مثل الأزمنة الحارسة في الرموز مثل OFDM. فعلى سبيل المثال، يمكن الحصول على عملية كشف وتمييز دقيقين للإشارات المشكلة بالمخططات OFDM وO)FDMA) وSC-FDE من خلال حساب الترابط الأوتوماتي الدوري.

ولتحديد معدل التشكيل وتزامن الرموز، يمكن استخدام تكرار بداية أو نهاية الرمز لبناء الزمن الحارس. بيد أنه لاستخدام تكرار الإشارة في حالة الإشارات OFDM، فإن الدالتين الرياضيتين الأساسيتين تكونان دالتي الترابط الأوتوماتي والترابط الأوتوماتي الدوري المذكورين آنفاً.

ويجوز إجراء التنفيذ العملي لتعرف هوية الإشارات OFDM على ثلاث مراحل:

المرحلة 1: تحديد عدد الموجات الحاملة الفرعية وذلك باستعمال شاشة عرض طيفية دقيقة (استبانة ترددية أفضل من (1/(2.TS). ويوصي المرء بما يلي:

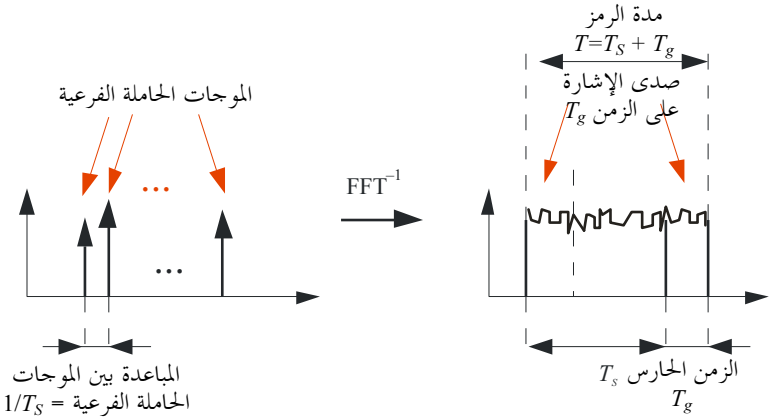
– تمثيل بانورامي للإشارة باستبانة طيفية متغيرة (وزمن التكامل المترتب)،

- استعمال عدد كبير من النقاط من أجل حساب تحويل فورييه السريع باستعمال تقنيات الاستكمال الداخلي المناسبة،
- إضافة وظائف التكبير وقدرات القياس بواسطة مؤشرات على الشاشة.

المرحلة 2: حساب الترابط الأوتوماتي للإشارة للكشف عن ذروة تقابل التأخير $\tau = T_S$ لتحديد المباعدة بين الموجات الحاملة الفرعية، $1/T_S$ (انظر الشكل 14، الجزء الأيسر). وجدير بالإشارة أن سلسلة الذرى المقابلة لإشارات الصدى بالقناة لا يمكن أن تلتبس مع الذروة التي تعطي مدة الرمز للموجات الحاملة الفرعية نظراً لقيمها.

الشـــكل 14

بنية رمز (C) OFDM في ميداني الزمن والتردد



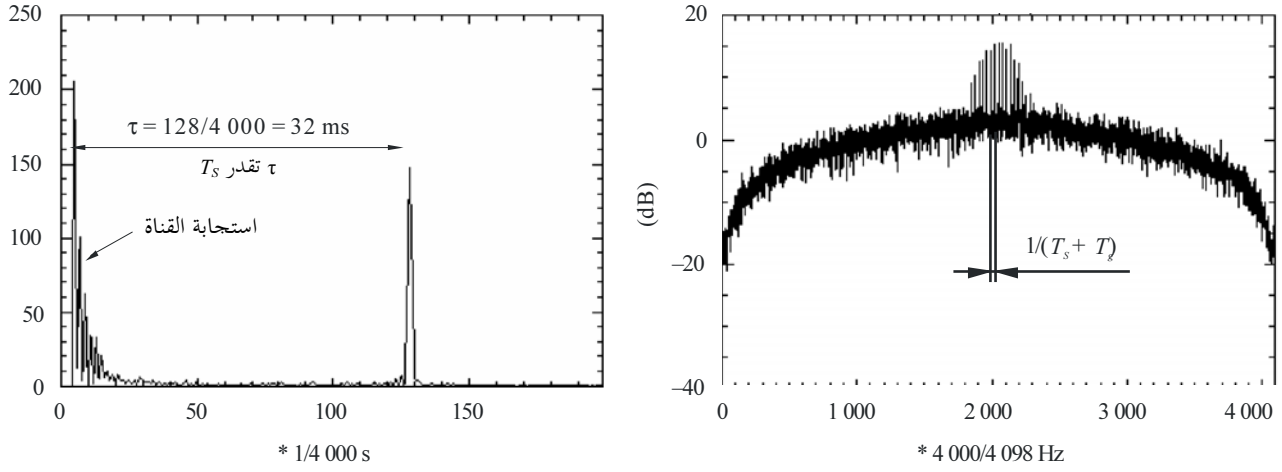
SM.1600-14

المرحلة 3: حساب الترابط الأوتوماتي الدوري للتأخير τ (T_S بتقدير الزمن τ) المتحصل عليه من الترابط الأوتوماتي بحيث تقابل أجزاء الإشارة المترابطة تكرار (مضاعف) جزء الرمز وذلك لتكوين الزمن الحارس الذي يمكن استخلاصه (انظر الشكل 14 الجزء الأيمن):

- من أجل التحقق عند جمع قيمة مدة الرمز، T_S (الترابط الأوتوماتي الدوري المحسوب لقيمة τ خلاف T_S لا يوفر ذرى مميزة)؛
- من أجل تحديد سرعة تشكيل الموجات الحاملة الفرعية $1/(TS + Tg)$ والزمن الحارس، T_g.

الشـــكل 15

طرائق الترابط والترابط الأوتوماتي الدوري المطبقة على إشارة OFDM (C)



أ) الترابط الأوتوماتي

ب) الترابط الأوتوماتي الدوري عند τ = 32 ms

SM.1600-15

ج. *مثال لطريقة للتعرف على هوية إشارة من أجل المخطط WCDMA*

يمكن إجراء التنفيذ العملي لتحليل إشارة WCDMA على ثلاث مراحل:

المرحلة 1: تقدير معدل الرموز

كمثال، معدل رموز الإشارات 3GPP/WCDMA يساوي MHz 3,84 ويمكن تقديره بحساب الترابط الطيفي. ويمكن مقارنة معدل الرموز القياسي هذا بالقيمة المقدرة المتحصل عليها من معالجة الإشارة. وعند مواجهة شبكات 3GPP/WCDMA، يسمح ذلك بتقييد ميدان البحث بالنسبة لمعدل الرموز في حساب الترابط الطيفي بالقيم القريبة من MHz 3,84، بحيث يتم تقليل عملية الحساب. ويعرض الشكل 16 أ) نتائج لتقدير معدل الرموز.

المرحلة 2: بحث الخلية: يجري هذا البحث على الخطوات الثلاث أدناه.

الخطوة 1: تزامن الفواصل الزمنية: يتم ذلك عادةً بواسطة مرشاح واحد مواءم مع شفرة التزامن (SCH) الأولية لقناة التزامن المشتركة لجميع الخلايا. ويمكن الحصول على توقيت الفواصل الخاص بالخلية عن طريق الكشف عن الذرى في خرج المرشاح المواءم.

الخطوة 2: التعرف على تزامن الأرتال والمجموعة الشفرية: يتم ذلك عن طريق ترابط الإشارة المستقبَلة بجميع تتابعات شفرة التزامن الثانوية الممكنة لقناة التزامن، وتحديد قيمة الترابط القصوى. ونظراً إلى أن الإزاحات الدورية لتتابعات فريدة، فمن الممكن تحديد المجموعة الشفرية فضلاً عن تزامن الأرتال.

الخطوة 3: تحديد شفرة التخليط: باستخدام توقيت الرتل ورقم المجموعة الشفرة المتحصل عليه في الخطوة الثانية، يتم إجراء ترابط للقناة الإرشادية المشتركة (CPICH) مع جميع التتابعات الثمانية المختلفة المتضمنة داخل المجموعة الشفرية. ويمكن اعتبار الشفرة ذات الترابط الأقصى بمثابة رقم شفرة التخليط للخلية.

ويمكن الرجوع في الوصف التفصيلي لعملية بحث الخلية إلى المواصفة التقنية لمشروع شراكة الجيل الثالث (3GPP TS) رقم 25.214.

المرحلة 3: إجراء قياسات بشأن تشكيل النفاذ WCDMA

إزالة تخليط الإشارة المستقبلة للحصول على رمز القناة CPICH: يتحصل على رموز القناة CPICH بضرب الإشارة المستقبلة في تتابع شفرة التخليط بدءاً من حد الرتل المتحصل عليه في *المرحلة 2* وبجمع 256 عينة.

التحقق من التشكيل QPSK: بعد ضرب الإشارة المزال تخليطها في شفرة القناة المادية للتحكم الأولي المشترك (CCPCH) وتعويض الإزاحة الترددية، يمكن التحقق من نمط تشكيل الإشارة CCPCH الأولية. وتقدّر الإزاحة الترددية من رمز القناة CPICH كما ورد آنفاً.

ويعرض الشكلان 16 ب) و16 ج) كوكبة التشكيل QPSK ونتائج بحث الخلية المتحصل عليها من التحليل الموصى به آنفاً وإشارات WCDMA (3GPP/UMTS) من موقع حقيقي تتقاسم نفس الموجة الحاملة (تم الكشف عن عدد 9 محطات قاعدة (BS) وقياسها)، على التوالي.

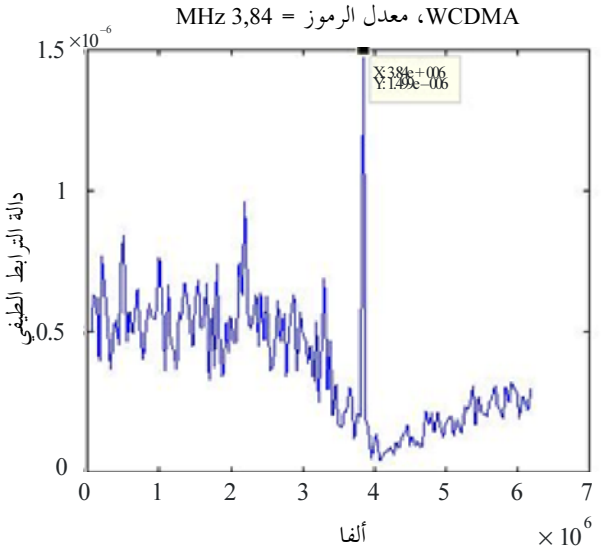
الشـــكل 16

توضيح لعملية كاملة للتعرف على هوية إشارات 3GPP/WCDMA في مراحلها الثلاث

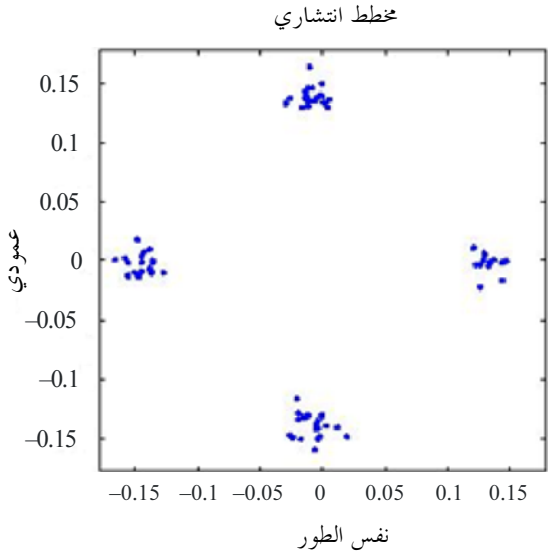
16 أ) استخلاص معدل الرموز

16 ب) تزامن الفواصل الزمنية، إزالة تخليط القناة CPICH وإزالة تشكيل القناة CCPCH

16 ج) تطبيق المرحلتين أ) وب) للبحث عن خلايا WCDMA التي تتقاسم نفس الموجة الحاملة



أ) تقدير معدل الرموز

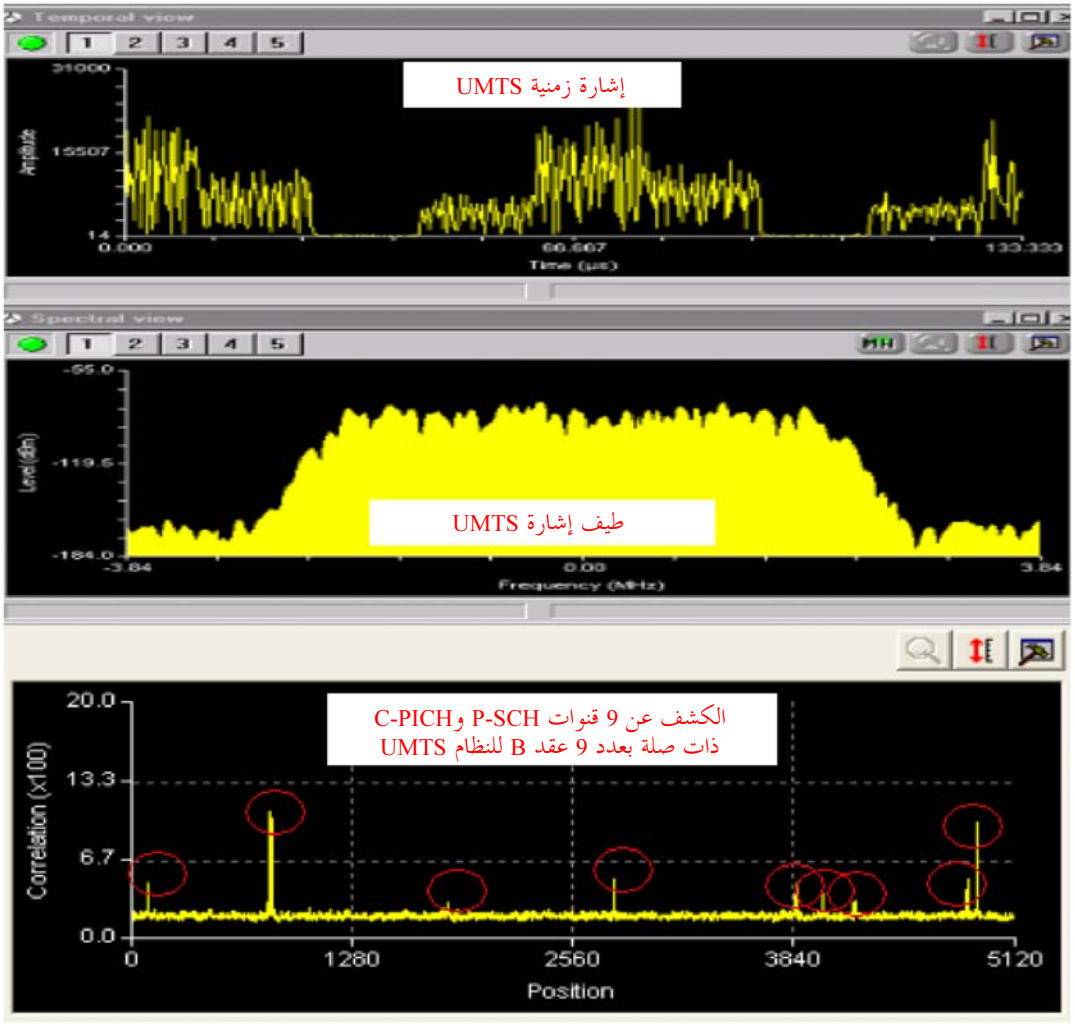


ب) كوكبة من الإشارات CCPCH الأولية

SM.1600-16

الجـــدول 16 ج)

الكشف عن العديد من الخلايا WCDMA التي تتقاسم نفس الموجة الحاملة والتعرف عليها بعد مزامنة الفواصل الزمنية وإزالة تخليط القناة CPICH وإزالة تشكيل القناة CCPCH



SM.1600-16c