الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R BS.1114-11

(2019/06)

أنظمة الإذاعة الصوتية الرقمية للأرض الموجهة إلى مستقبلات ثابتة ومحمولة ومركبة على متن مركبات، في مدى التردد 30-3 000 MHz

السلسلة BS

الخدمة الإذاعية (الصوتية)

الاتحاد الدولي للاتصالات ITU

تمهيد

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 القرار 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	العنوان
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 الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة
P	انتشار الموجات الراديوية
RA	علم الفلك الراديوي
RS	أنظمة الاستشعار عن بُعد
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، 2020

© ITU 2020
جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التوصية ITU-R BS.1114-11

أنظمة الإذاعة الصوتية الرقمية للأرض الموجهة إلى مستقبلات ثابتة ومحمولة ومركبة على متن مركبات، في مدى التردد 30-000 3 MHz

(المسألة ITU-R 56/6)

(2019-2017-2015-2014-2011-2007-2004-2003-2002-2001-1995-1994)

مجال التطبيق

تورد هذه التوصية وصفاً للعديد من أنظمة الإذاعة الصوتية الرقمية للأرض الموجهة إلى مستقبلات ثابتة ومحمولة ومركبة على متن مركبات في مدى التردد 30-000 3 MHz، ووصفاً للملامح الرئيسية لكل واحد من هذه الأنظمة، كتشفير المصدر والقنوات والتشكيل وهيكل معمارية الإرسال وسويات العتبة، من أجل تقديم خدمة عالية الجودة.

مصطلحات أساسية

إذاعة صوتية رقمية (DSB)، إذاعة سمعية رقمية (DAB)، إذاعة رقمية متكاملة الخدمات – إذاعة صوتية للأرض (ISDB-TSB)، تقنية التشغيل في نفس النطاق ونفس القناة (IBOC)، النظام الراديوي الرقمي العالمي (DRM)، النظام الراديوي الرقمي المتقارب (CDR)، نظام المعلومات السمعية المرئية في الوقت الفعلي (RAVIS)

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن الإذاعة الصوتية الرقمية (DSB) للأرض الموجهة إلى مستقبلات مركبة على متن المركبات ومستقبلات محمولة وثابتة المشغلة في مدى التردد 30-000 3 MHz والتي تؤمن تغطية وطنية وإقليمية ومحلية، تحظى باهتمام متزايد في العالم بأسره؛

ب) أن قطاع الاتصالات الراديوية قد اعتمد التوصيتين ITU-R BS.774 وITU-R BO.789 ليبين المتطلبات اللازمة لأنظمة الإذاعة الصوتية الرقمية الموجهة إلى مستقبلات مركبة على متن مركبات ومحمولة وثابتة للإرسال الأرضي والساتلي على التوالي؛

ج) أن التوصيتين ITU-R BS.774 وITU-R BO.789 تعترفان بالمزايا المتعلقة باستعمال مقترن لأنظمة الأرض والأنظمة الساتلية وتدعوان إلى اعتماد نظام إذاعة صوتية رقمية يسمح باستعمال مستقبل مشترك مجهز بدارات دمج على مستوى عال (VLSI) للمعالجة المشتركة وبتصميم مستقبلات قليلة الكلفة عن طريق الإنتاج الواسع؛

د) أن النظام الرقمي A الموصوف في الملحق 2 يفي بالمتطلبات التي تنص عليها التوصيتان ITU-R BS.774 وITU-R BO.789، وأنه قد تم اختبار النظام ميدانياً وعرضه في عدة بلدان وفي نطاقات ترددات مختلفة تقع بين 200 MHz و1 500 MHz؛

هـ) أن النظام الرقمي F الوارد وصفه في الملحق 3 يفي بمتطلبات التوصية ITU-R BS.774، وأنه قد تم اختباره ميدانياً وعرضه في النطاقين 188-192 MHz و535 2-655 2 MHz في أكثر من بلد؛

و) أن النظام الرقمي C الوارد وصفه في الملحق 4 يفي بمتطلبات التوصية ITU-R BS.774 وأنه قد تم اختباره ميدانياً وتجربته في النطاق 88-108 MHz؛

ز) أن النظام الرقمي G الوارد وصفه في الملحق 5 يفي بمتطلبات التوصية ITU-R BS.774 وأن النظام بالأسلوب E قد تكلّل بالنجاح اختباره ميدانياً وتجربته في الموجات المترية، النطاق I (47-68 MHz) والموجات المترية، النطاق II (87,5-108 MHz) والموجات المترية، النطاق III (174-230 MHz)؛

ح) أن النظام الرقمي H الوارد وصفه في الملحق 6 يفي بمتطلبات التوصية ITU-R BS.774 وأنه قد تم اختباره ميدانياً وتجربته في النطاق 88-108 MHz؛

ط) أن النظام الرقمي I الوارد وصفه في الملحق 7 يفي بمتطلبات التوصية ITU-R BS.774 وأنه قد تم اختباره ميدانياً وتجربته في النطاقين 66-74 MHz و87,5-108 MHz؛

ي) أنه أثناء المؤتمر العالمي السابع لاتحادات الإذاعة (المنعقد في المكسيك من 27 إلى 30 أبريل 1992)، قررت اتحادات الإذاعة العالمية بالإجماع:

"1 أنه ينبغي بذل قصارى الجهود لوضع معيار دولي فريد من نوعه من أجل الإذاعة DAB

2 حث الإدارات على اعتبار المزايا لصالح المستهلك فيما يتعلق بالتشفير باستعمال مصدر وقناة مشتركين وتنفيذ الإذاعة الصوتية الرقمية على الصعيد العالمي عند التردد 1,5 GHz؛"

ك) أن تدفّق النقل MPEG-2 (MPEG-2 TS) مستخدم على نطاق واسع باعتباره حاوية للمعلومات المشفرة رقمياً؛

ل) أن عملية التقييس في أوروبا أدت إلى اعتماد نظام رقمي A (Eureka 147) كمعيار EN 300 401 الصادر عن الاتحاد الأوروبي لمعايير الاتصالات (ETSI)) للخدمة الإذاعية الصوتية الساتلية والخدمة الإذاعية الصوتية الموجهة إلى مستقبلات مركبة على متن مركبات ومحمولة وثابتة؛

م) أن عملية التقييس التي أجريت في اليابان أدت إلى اعتماد نظام رقمي F للإذاعة الرقمية للأرض متكاملة الخدمات في الإذاعة الصوتية (ISDB-T_{SB}) لنظام الإذاعة الصوتية الرقمية للأرض الموجهة إلى مستقبلات ثابتة ومحمولة ومركبة على متن مركبات؛

ن) أن تقنيات الإذاعة الرقمية متكاملة الخدمات (ISDB) قابلة للاستخدام في تنفيذ خدمات تستفيد من كامل مزايا الإذاعة الرقمية وأن التوصية ITU-R BT.1306 تضم نظام الإذاعة الرقمية للأرض متكاملة الخدمات (ISDB-T) للإذاعة التلفزيونية الرقمية للأرض؛

س) أنه اضطُلِع في الولايات المتحدة الأمريكية بعملية تقييس أدت إلى اعتماد النظام الرقمي C (النظام IBOC) بوصفه نظام NRSC-5 للإذاعة الصوتية الرقمية للأرض الموجهة إلى مستقبلات ثابتة ومحمولة ومركبة على متن مركبات؛

ع) أنه اضطُلِع في أوروبا بعملية تقييس أدت إلى اعتماد النظام الرقمي G (النظام الراديوي الرقمي العالمي (DRM) بوصفه المعيار ES 201 980 الصادر عن المعهد الأوروبي لمعايير الاتصالات (ETSI)) ليكون نظام الإذاعة الصوتية الرقمية للأرض الموجهة إلى مستقبلات ثابتة ومحمولة ومركبة على متن مركبات؛

ف) أن عملية تقييس في جمهورية الصين الشعبية أدت إلى اعتماد معيار النظام الرقمي H (النظام الراديوي الرقمي المتقارب (CDR)) (GY/T 268.1-2013) للإذاعة الصوتية الرقمية للأرض الموجهة إلى مستقبلات ثابتة ومحمولة ومركبة على متن مركبات؛

ص) أن عملية تقييس في الاتحاد الروسي أدت إلى اعتماد المعيار الوطني (GOST R 54309-2011) للنظام الرقمي I (نظام المعلومات السمعية المرئية في الوقت الفعلي (RAVIS)) للإذاعة الصوتية ومتعددة الوسائط الرقمية للأرض الموجهة إلى مستقبلات ثابتة ومحمولة ومركبة على متن مركبات،

وإذ تلاحظ

أ) أن ملخصاً للأنظمة الرقمية يرد في الملحق 1؛

ب) أن الأوصاف المكثفة للأنظمة الرقمية A وC وF وG وH وI تورد في الملحقات 2 و3 و4 و5 و6، و7، على التوالي؛

ج) أن الوصف الكامل للأنظمة الرقمية A وF وC ترد في كتيب الإذاعة الصوتية الرقمية،

توصي

1 بأنه ينبغي استعمال الأنظمة الرقمية A و/أو F و/أو C و/أو G و/أو H و/أو I الوارد وصفها في الملحقات 2 و3 و4 و5 و6، و7، على التوالي الخاصة بالخدمات الإذاعية الصوتية الرقمية للأرض الموجهة إلى مستقبلات مركبة على متن مركبات ومحمولة أو ثابتة والتي تعمل في مدى التردد 30-3 000 MHz حسب الاقتضاء؛

2 بأنه ينبغي للإدارات التي ترغب في تنفيذ خدمات الإذاعة الصوتية الرقمية (DSB) للأرض التي تفي كلياً أو جزئياً بالمتطلبات التي تنص عليها التوصية ITU-R BS.774 أن تستخدم الجدول 1 لتقييم مزايا الأنظمة الرقمية A وF وC وG وH وI في انتقاء النظام،

تدعو الدول الأعضاء في الاتحاد والجهات المصنعة للمستقبلات الراديوية إلى النظر في

1 إمكانية تطوير مستقبلات راديوية مجدية من الناحية الاقتصادية ومحمولة ومتعددة النطاقات والمعايير معدّة لغرض أن تعمل، من خلال اختيار يدوي أو يُفضّل أن يكون تلقائياً، مع جميع ما هو مُستعمل حالياً من أنظمة إذاعية رقمية على اختلاف أنواعها في نطاقات التردد ذات الصلة كافة؛

2 إمكانية تطوير مستقبلات راديوية رقمية تسمح بتنزيل تحديثات لبعض وظائفها المحددة، من قبيل قدرات فك التشفير والملاحة والإدارة، وما إلى ذلك؛

3 مؤشر بسيط لمستوى مجال التردد الراديوي المستقبَل ولمعدل الخطأ في البتات.

الجدول 1

تقييم أداء الأنظمة الرقمية A وF وC وG وH وI استناداً إلى الخصائص التقنية والتشغيلية الموصى بها والواردة في التوصية ITU-R BS.774

الخصائص التي تنص عليها التوصية ITU-R BS.774 (بإيجاز)	النظام الرقمي A	النظام الرقمي F	النظام الرقمي C	النظام الرقمي G	النظام الرقمي H	النظام الرقمي I
مدى الجودة السمعية وأنواع الاستقبال	من 8 إلى 384 kbit/s للقناة السمعية بزيادة 8 kbit/s للمرة الواحدة مع ما يصل إلى 64 خدمة لكل مجموعة (ولكن ما بين 10 و20 عادةً). وتستخدم المستقبلات مفكك تشفير سمعي بالطبقة II للأسلوب MPEG-2 أو MPEG-4 HE-AACv2 يعمل عادة بمعدل يتراوح مداه بين 32 و192 kbit/s. النظام مخصص للاستقبال الثابت والمحمول والمركب على متن مركبة	من جودة المهاتفة إلى جودة القرص المتراص. وهو قادر أيضاً على العمل في توزيع سمعي متعدد القنوات 5.1. باستعمال مفكك تشفير سمعي متطور (AAC) للأسلوب MPEG-2 يعمل عادة بمعدل 144 kbit/s للصوت المجسم. النظام مخصص للاستقبال الثابت والمحمول والمركب على متن مركبة	مدى من 12 kbit/s إلى 96 kbit/s باستعمال مفكك تشفير HD Codec[1]، بما في ذلك دعم شتى الأنساق السمعية المتعددة القنوات. النظام مخصص للاستقبال الثابت والمحمول والمركب على متن مركبة[2].	يتراوح مدى معدل بتات المحتوى المفيد بين 37 و186 kbit/s بالنسبة إلى كامل مجموعة تعدد الإرسال التي تقدم أربع خدمات كحد أقصى في جميع الأساليب. وتحققت جودة القرص المتراص بفضل استخدام مفكك التشفير الصوتي MPEG-4 HE-AAC v2، القادر أيضاً على فك تشفير الصوت المتعدد القنوات 5.1. والنظام معدّ لغرض الاستقبال الثابت والمحمول والمركب على متن مركبات[3]	مدى من 16 kbit/s (متوافق مع جودة FM) إلى 320 kbit/s (بجودة القرص المتراص ومستقبلاً في توزيع سمعي متعدد القنوات 5.1). وتحققت جودة القرص المتراص بمعدل 96 kbit/s بفضل استخدام مفكك التشفير السمعي DRA+ (GD/J 058-2014)، القادر أيضاً على فك تشفير الصوت المتعدد القنوات 5.1. والنظام معدّ لغرض الاستقبال الثابت والمحمول والمركب على متن مركبات.	يتراوح معدل بتات المحتوى المفيد بين 52 و800 kbit/s بالنسبة إلى مجموعة تعدد الإرسال بأكملها. وتحققت جودة القرص المتراص بفضل استخدام مفكك التشفير الصوتي MPEG-4 HE-AAC v2، القادر أيضاً على فك تشفير الصوت المتعدد القنوات والغامر. والنظام معدّ لغرض الاستقبال الثابت والمحمول والمركب على متن مركبات.

الجدول 1 (*تابع*)

الخصائص التي تنص عليها التوصية ITU-R BS.774 (بإيجاز)	النظام الرقمي A	النظام الرقمي F	النظام الرقمي C	النظام الرقمي G	النظام الرقمي H	النظام الرقمي I
فعالية طيف أفضل من التشكيل بالتردد (FM)	جودة صوت مجسم FM تتحقق في عرض نطاق يقل عن 200 kHz؛ متطلبات حماية القناة المشتركة والقناة المجاورة أقل من تلك التي يتطلبها التشكيل FM. الفعالية عالية للغاية في حالة المكررات التي تعيد استعمال نفس التردد. (التشكيل المتعامد متعدد الموجات الحاملة مع تشفير تلافيفي لتصحيح الأخطاء، تعدد إرسالات متعامد مشفر بتقسيم التردد (COFDM))	جودة صوت مجسم FM تتحقق في عرض نطاق يقل عن 200 kHz؛ متطلبات حماية القناة المشتركة والقناة المجاورة أقل من تلك التي يتطلبها التشكيل FM. الفعالية عالية للغاية في حالة المكررات التي تعيد استعمال نفس التردد. وتزداد الفعالية عند استعمال تشكيل موجة حاملة لتشكيل الاتساع التربيعي 16/64 (QAM). (تعدد إرسال متعامد بتقسيم التردد (OFDM) مع قدرة متسلسلة وتشفير تلافيفي لتصحيح الأخطاء)	جودة بيانات صوت مجسم FM تتحقق دون طيف إضافي؛ متطلبات حماية القناة المشتركة والقناة المجاورة أقل بكثير من متطلبات التشكيل FM. ويشذر النظام لتخفيف مشاكل أول قناة مجاورة وهو أكثر مقاومة عند وجود تداخل رقمي تماثلي في نفس القناة.	جودة بيانات صوت مجسم FM تتحقق ضمن عرض نطاق قدره 100 kHz؛ وتكون متطلبات حماية القناة المشتركة والقناة المجاورة أقل بكثير من متطلبات التشكيل FM. ويمكن إدخال مزيد من التحسينات على كفاءة استعمال الطيف بفضل تشغيل العديد من المرسلات على التردد نفسه (أي مرسلات الشبكات وحيدة التردد (SFN)). وتكون الفعالية عالية للغاية في حالة المكررات التي تعيد استعمال ذات التردد. وتزداد هذه الفعالية عند استعمال تشكيل موجة حاملة لتشكيل الاتساع التربيعي 16 (QAM) إلى جانب التشكيل 4-QAM بتعدد إرسال متعامد بتقسيم التردد (OFDM) بقدرة متسلسلة وتشفير تلافيفي لتصحيح الأخطاء)	يعرّف النظام أسلوب الإذاعة المتزامنة وكل الأسلوب الرقمي للإيفاء بالاحتياجات المختلفة في كل مرحلة من مراحل الانتقال إلى الإذاعة الرقمية. وباستخدام أسلوب الإذاعة المتزامنة تتحقق جودة بيانات صوت مجسم FM (أو جودة القرص المتراص (CD)) دون طيف إضافي؛ متطلبات حماية القناة المشتركة والقناة المجاورة أقل بكثير من متطلبات التشكيل FM. ويشذر النظام لتخفيف التداخل من أول قناة مجاورة وهو أكثر مقاومة عند وجود تداخل رقمي تماثلي في نفس القناة. وبعد الانتقال، يمكن للنظام أن يستخدم المزيد من الطيف ويقدم خدمات عالية الجودة (مثل العديد من الخدمات بجودة CD وخدمات 5.1 متعددة القنوات). ويمكن إدخال مزيد من التحسينات على كفاءة استعمال الطيف بفضل تشغيل العديد من المرسلات على التردد نفسه (أي مرسلات الشبكات وحيدة التردد (SFN)). والفعالية عالية للغاية في حالة المكررات التي تعيد استعمال نفس التردد. ويمكن أن تزداد الفعالية عند استعمال تشكيل موجة حاملة لتشكيل الاتساع المتعامد 4 QAM. (تعدد إرسال متعامد بتقسيم التردد (OFDM) مع تشفير متعدد المستويات لتصحيح الأخطاء)	جودة بيانات صوت مجسم FM تتحقق ضمن عروض نطاق قدرها 100 kHz و200 kHz و250 kHz؛ وتكون متطلبات حماية القناة المشتركة والقناة المجاورة أقل بكثير من متطلبات التشكيل FM. ويمكن إدخال مزيد من التحسينات على كفاءة استعمال الطيف بفضل تشغيل العديد من المرسلات على التردد نفسه (أي مرسلات الشبكات وحيدة التردد (SFN)). وتكون الفعالية عالية للغاية في حالة المكررات التي تعيد استعمال ذات التردد. وتتحقق الفعالية العالية باستعمال تعدد إرسال متعامد بتقسيم التردد (OFDM) مع تشفير تلافيفي لتصحيح الأخطاء وتشكيل الاتساع التربيعي (QAM) – 4-QAM و16-QAM و64-QAM.

الجدول 1 (*تابع*)

الخصائص التي تنص عليها التوصية ITU-R BS.774 (بإيجاز)	النظام الرقمي A	النظام الرقمي F	النظام الرقمي C	النظام الرقمي G	النظام الرقمي H	النظام الرقمي I
أداء في بيئة مسارات متعددة وبيئة حجب	نظام مصمم خصيصاً للتشغيل في مسارات متعددة. وهو يعمل على أساس تجميع قدرات الصدى الناتج في فاصل زمني معين. وتتيح هذه الخاصية استعمال مكررات في القناة لتغطية مناطق محجوبة بالتضاريس الأرضية	نظام مصمم خصيصاً لبيئة متعددة المسارات وهو يعمل على أساس تجميع قدرات الصدى الناتج في فاصل زمني معين. وتتيح هذه الخاصية استعمال مكررات في القناة لتغطية مناطق محجوبة بالتضاريس الأرضية	نظام مصمم خصيصاً للتشغيل متعدد المسارات. وهو تشكيل OFDM يتيح تحقيق درجة عالية من الأداء في المسارات المتعددة. وتتيح هذه الخاصية استعمال مكررات في القناة لتغطية مناطق محجوبة بالتضاريس الأرضية	نظام مصمم خصيصاً لبيئة متعددة المسارات، وهو يعمل على أساس تجميع قدرات الصدى الناتج في فاصل زمني معين. وتتيح هذه الخاصية استعمال مكررات في القناة لتغطية مناطق محجوبة بالتضاريس الأرضية	نظام مصمم خصيصاً لبيئة متعددة المسارات، وهو يعمل على أساس تجميع قدرات الصدى الناتج في فاصل زمني معين. وتتيح هذه الخاصية استعمال مكررات في القناة لتغطية مناطق محجوبة بالتضاريس الأرضية	نظام مصمم خصيصاً لبيئة متعددة المسارات، وهو يعمل على أساس تجميع قدرات الصدى الناتج في فاصل زمني معين. وتتيح هذه الخاصية استعمال مكررات في القناة لتغطية مناطق محجوبة بالتضاريس الأرضية
معالجة إشارات مستقبل مشترك للإذاعة الساتلية (S) والإذاعة الأرضية (T)	لا يوجد. للأرض فقط	لا يوجد. للأرض فقط	لا يوجد. للأرض فقط	لا يوجد. للأرض فقط	لا يوجد. للأرض فقط	لا يوجد. للأرض فقط
التشكيل والجودة مقابل عدد برامج التسوية	يقوم تعدد إرسال الخدمة على 64 قناة فرعية بسعة تتراوح بين 8 kbit/s و1 Mbit/s تقريباً تبعاً لسوية الحماية من الخطأ، ومن الممكن إعادة تشكيله بالكامل بأسلوب دينامي. وكل قناة فرعية قادرة أيضاً على احتواء عدد غير محدود من قنوات رزم البيانات متغيرة السعة.	يقوم تعدد إرسال بيانات الحمولة على الأسلوب MPEG-2. ويمكن انتقاء معدل البيانات السمعية في أي مرحلة من أجل تسوية الجودة السمعية للبرنامج مقابل عدد الخدمات. ويمكن إعادة تشكيل معلمات الإرسال مثل تصحيح التشكيل والأخطاء تشكيلاً دينامياً من خلال إرسال وتعدد إرسال التحكم في التشكيل (TMCC).	يصل معدل بتات المحتوى حتى 144 kbit/s. ويمكن إعادة توزيع البتات دينامياً على الخدمة السمعية أو خدمة البيانات باستعمال وظائف النقل HDC بناءً على طلب الإذاعة. وضمن هذا المدى يتيح تعدد إرسال المحتوى عدداً من البرامج السمعية يصل حتى 8 وعدداً من خدمات البيانات يصل حتى 32. ويعيد المستقبل التشكيل دينامياً من أجل تسوية أسلوب إرسال التشغيل.	بمقدور تعدد إرسال الخدمة أن يدعم تدفّقات يصل عددها إلى أربعة تدفّقات تتراوح قدرتها تبعاً لاحتياجات الإذاعة، وتكون قابلة لإعادة التشكيل الديناميي بالكامل. ويجوز أن ينقل كل تدفّق منها محتوى سمعي أو محتوى بيانات يتسنى للإذاعة أن تشكّل أحجام رزمه رفعاً لمستوى الكفاءة إلى أقصى حد. ويعيد المستقبل التشكيل دينامياً من أجل تسوية أسلوب إرسال التشغيل.	بمقدور تعدد إرسال الخدمة أن يدعم تدفّقات يصل عددها إلى خمسة عشر تدفّقاً تتراوح قدرتها تبعاً لاحتياجات الإذاعة، وتكون قابلة لإعادة التشكيل على نحو دينامي بالكامل. ويجوز أن ينقل كل تدفّق منها محتوى سمعي أو محتوى بيانات يتسنى للإذاعة أن تشكّل مقاسات رزمه رفعاً لمستوى الكفاءة إلى أقصى حد. ويعيد المستقبل التشكيل دينامياً من أجل مطابقة أسلوب إرسال التشغيل.	بمقدور تعدد إرسال الخدمة أن يدعم تدفّقات يزيد عددها على 20 تدفّقاً تتراوح قدرتها تبعاً لاحتياجات الإذاعة، وتكون قابلة لإعادة التشكيل الديناميي بالكامل. ويجوز أن ينقل كل تدفّق منها محتوى سمعي و/أو فيديوي و/أو محتوى بيانات يتسنى للإذاعة أن تشكّل أحجام رزمه رفعاً لمستوى الكفاءة إلى أقصى حد. ويعيد المستقبل التشكيل دينامياً من أجل تسوية أسلوب إرسال التشغيل.

الجدول 1 (*تابع*)

الخصائص التي تنص عليها التوصية ITU-R BS.774 (بإيجاز)	النظام الرقمي A	النظام الرقمي F	النظام الرقمي C	النظام الرقمي G	النظام الرقمي H	النظام الرقمي I
توسع التغطية مقابل عدد برامج التسوية	تتوفر خمس سويات لحماية خدمة MPEG-2 السمعية وثماني سويات لحماية خدمة MPEG-4 السمعية وخدمة البيانات من خلال استعمال التشفير التلافيفي المتقطع في كل قناة من القنوات الفرعية الأربع والستين (ويقع مدى التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC) بين 1/4 و3/4)	تتوفر أربعة أنواع تشكيل وخمس سويات حماية. (تشكيل الموجة الحاملة: معدلات تشفير التشكيل بزحزحة طور رباعي تفاضلي (DQPSK) وQPSK وQAM-16 وQAM-64، بمعدل تشفير: 1/2 و2/3 و3/4 و5/6 و7/8)	يحافظ النظام على تغطية منتظمة لجميع البرامج. وقد تحظى الموجات الحاملة الثانوية بمدى منخفض بوجود تداخل ناجم عن القناة المجاورة. (تشكيل الموجة الحاملة: QPSK)	يتوفر نوعان اثنان من التشكيل (QAM-4 وQAM-16) وسويات حماية مختلفة (سويتان اثنتان للقناة SDC وأربع سويات للقناة MSC). ويمكن تشكيل كل تدفّق دينامياً. ويقع مدى التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC) بين 1/4 و5/8	تتوفر ثلاثة أنواع من التشكيل (QAM-4 وQAM-16 وQAM-64) وسويات حماية مختلفة (أربع سويات للقناة MSC). ويقع مدى التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC) بين 1/4 و3/4	تتوفر ثلاثة أنواع من التشكيل (QAM-4 وQAM-16 وQAM-64) وسويات حماية مختلفة (أربع سويات للقناة MSC). ويقع مدى التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC) بين 1/2 و3/4
المستقبل المشترك لأدوات مختلفة لبث البرامج – خدمات الأرض	يتيح خدمات الأرض المحلية والوطنية ودون الوطنية في التشكيل نفسه وباستعمال مرسل واحد أو مرسلات متعددة تعمل في شبكة وحيدة التردد للاستفادة من ميزة المستقبل المشترك	يتيح خدمات الأرض المحلية والوطنية ودون الوطنية في التشكيل نفسه وباستعمال مرسل واحد أو مرسلات متعددة تعمل في شبكة وحيدة التردد للاستفادة من ميزة المستقبل المشترك	نظام يستعمل هوائي مشترك ومدخل قوائم مع خدمات الإذاعة التماثلية FM القائمة. ويوفر الخدمة المحلية وكذلك خدمات الأرض الوطنية ودون الوطنية باستخدام مرسل واحد أو مرسلات متعددة تعمل في شبكة وحيدة التردد في حالة الجزء الرقمي من الأسلوب المختلط أو من الأسلوب الرقمي. ويتيح بث برمجة التشكيل FM التي تجعل الانتقال من الرقمي إلى التماثلي والعكس شفافاً. ويتيح بث البرامج المتطابقة في آن معاً بأسلوب تماثلي ورقمي (أسلوب التشغيل الهجين)	يتيح خدمات الأرض المحلية والوطنية ودون الوطنية في التشكيل نفسه وباستعمال مرسل واحد أو مرسلات متعددة تعمل في شبكة وحيدة التردد للاستفادة من ميزة المستقبل المشترك. النظام معدّ لأن يكون حصراً نظاماً رقمياً لخدمات الأرض	نظام يستعمل هوائي مشترك وطرف أمامي متوافق مع خدمات الإذاعة التماثلية FM القائمة. ويوفر الخدمة المحلية وكذلك خدمات الأرض الوطنية ودون الوطنية باستخدام مرسل واحد أو مرسلات متعددة تعمل في حالة الجزء الرقمي من الإذاعة المتزامنة أو جميع الأساليب الرقمية.	يتيح خدمات الأرض المحلية والوطنية ودون الوطنية في التشكيل نفسه وباستعمال مرسل واحد أو مرسلات متعددة تعمل في شبكة وحيدة التردد للاستفادة من ميزة المستقبل المشترك. النظام معدّ لأن يكون حصراً نظاماً رقمياً لخدمات الأرض

الجدول 1 (*تابع*)

الخصائص التي تنص عليها التوصية ITU-R BS.774 (بإيجاز)	النظام الرقمي A	النظام الرقمي F	النظام الرقمي C	النظام الرقمي G	النظام الرقمي H	النظام الرقمي I
– الخدمة المختلطة الهجينة		يتيح استعمال النطاق نفسه للإذاعة الصوتية للأرض (المختلطة) وكذلك استعمال مكررات في القناة لتعزيز التغطية الساتلية (الهجينة) مما يؤدي إلى جميع القنوات الواصلة إلى المستقبل المشترك بشفافية.				
– التوزيع الكبلي	إشارات يمكن نقلها بشفافية عبر الكبل	إشارات يمكن نقلها بشفافية عبر الكبل	إشارات يمكن نقلها بشفافية عبر الكبل	إشارات يمكن نقلها بشفافية عبر الكبل	إشارات يمكن نقلها بشفافية عبر الكبل	إشارات يمكن نقلها بشفافية عبر الكبل
مقدرة البيانات المقترنة بالبرنامج (PAD)	تتوفر قناة المقدرة PAD بسعة تتراوح بين 0,33 kbit/s و64 kbit/s من خلال تقليص أي قناة سمعية بنفس المقدار. ويتوفر في جميع المستقبلات الوسم الدينامي للبرنامج وتعرف هوية الخدمة، الذي لا يبين إلا العرض الهجائي الرقمي للمستقبل. كما يتوفر فك تشفير لغة مسح النص الموسوعي (HTML) وفك تشفير الصور بأسلوب الفريق المشترك لخبراء التصوير (JPEG) في المستقبلات مع عروض بيانية (جداول بيانية فيديوية (VGA) 1/4) وغيرها	يقوم تعدد إرسال البيانات PAD على الأنظمة (MPEG-2)	البيانات PAD جزء أساسي من النظام ويمكن توفيرها من خلال بيانات آنية دون مس لجودة الأداء السمعي أو قنوات البيانات ووظيفتا الوسم الدينامي للبرنامج وظهور تعرف هوية الخدمة على أي شاشة عرض مستقبل هجائي رقمي متاحتان في جميع المستقبلات	تتوفر قناة المقدرة PAD بإذاعة مختارة. ويتوفر في جميع المستقبلات الوسم الدينامي للتعرف على هوية البرامج والخدمات الذي يبين العرض الهجائي الرقمي لأي مستقبل (الرسائل النصية DRM؛ والبرامج المقترنة بوسوم (الأحادية الشفرة))؛ ودليل البرامج الإلكتروني؛ والخدمة المتطورة للمعلومات النصية (الأحادية الشفرة)، دعماً لجميع أصناف المستقبلات وحفزاً لإمكانية التفاعل والتوعية بالشؤون الجغرافية؛ والبرامج المقترنة بالصور – والفيديو على نطاق ضيق لنقل المعلومات عن حركة الصور المتحركة	تتوفر قناة المقدرة PAD بإذاعة مختارة. ويتوفر في جميع المستقبلات الوسم الدينامي للتعرف على هوية البرامج والخدمات الذي يبين العرض الهجائي الرقمي لأي مستقبل. ودليل البرامج الإلكتروني؛ والخدمة المتطورة للمعلومات النصية.	تتوفر قناة المقدرة PAD بإذاعة مختارة. ويتوفر في جميع المستقبلات الوسم الدينامي للتعرف على هوية البرامج والخدمات الذي يبين العرض الهجائي الرقمي لأي مستقبل. ودليل البرامج الإلكتروني؛ والخدمة المتطورة للمعلومات النصية.

الجدول 1 (*تتمة*)

الخصائص التي تنص عليها التوصية ITU-R BS.774 (بإيجاز)	النظام الرقمي A	النظام الرقمي F	النظام الرقمي C	النظام الرقمي G	النظام الرقمي H	النظام الرقمي I
تخصيصات مرنة للخدمات	يمكن إعادة تشكيل تعدد الإرسال دينامياً بأسلوب شفاف للمستعمل	يمكن إعادة تشكيل تعدد الإرسال دينامياً بأسلوب شفاف للمستعمل	يعيد النظام أوتوماتياً التشكيل بين السمعي والبياناتي بأسلوب شفاف للمستعمل	يمكن إعادة تشكيل تعدد الإرسال دينامياً بأسلوب شفاف للمستعمل	يمكن إعادة تشكيل تعدد الإرسال دينامياً بأسلوب شفاف للمستعمل	يمكن إعادة تشكيل تعدد الإرسال دينامياً بأسلوب شفاف للمستعمل
مواءمة بنية تعدد الإرسال مع التوصيل البيني للأنظمة المفتوحة (OSI)	تمتثل بنية تعدد إرسال النظام للنموذج الطبقي للتوصيل OSI وخاصة فيما يتعلق بقنوات البيانات، باستثناء خصائص الحماية المتباينة من الأخطاء في القناة السمعية للطبقة II للنظام (MPEG-2)	تمتثل بنية تعدد إرسال النظام امتثالاً كاملاً لمعمارية الأنظمة MPEG-2	يقوم النظام على النموذج الطبقي للتوصيل OSI بما فيه البيانات والصوت على حد سواء باستثناء الحماية الوحيدة من الأخطاء التي يوفرها الكودك السمعي	تمتثل بنية تعدد إرسال النظام للنموذج الطبقي للتوصيل OSI في جميع الخدمات	تمتثل بنية تعدد إرسال النظام للنموذج الطبقي للتوصيل OSI في جميع الخدمات	تمتثل بنية تعدد إرسال النظام للنموذج الطبقي للتوصيل OSI في جميع الخدمات
مقدرة خدمة بيانات القيمة المضافة	يمكن استعمال أي قناة فرعية (من بين الـ 64 قناة) لا تعمل في الخدمة السمعية في خدمات بيانات مستقلة عن البرنامج.	يمكن تخصيص أي سعة تصل حتى السعة الكاملة للحمولة النافعة إلى البيانات المستقلة من أجل بث البيانات التجارية والاستدعاء الراديوي والصور الثابتة وغيرها، بنفاذ مشروط حسب الاقتضاء	يمكن تخصيص أي سعة تصل حتى السعة الكاملة للحمولة النافعة إلى البيانات المستقلة من أجل بث البيانات التجارية والاستدعاء الراديوي والصور الثابتة وغيرها، بنفاذ مشروط حسب الاقتضاء	يمكن تخصيص أي سعة تصل حتى السعة الكاملة للحمولة النافعة إلى البيانات المستقلة من أجل بث البيانات التجارية والاستدعاء الراديوي والصور الثابتة وغيرها، بنفاذ مشروط حسب الاقتضاء	يمكن تخصيص أي سعة تصل حتى السعة الكاملة للحمولة النافعة إلى البيانات المستقلة من أجل بث البيانات التجارية والاستدعاء الراديوي والصور الثابتة وغيرها، بنفاذ مشروط حسب الاقتضاء	يمكن تخصيص أي سعة تصل حتى السعة الكاملة للحمولة النافعة إلى البيانات المستقلة من أجل بث البيانات التجارية والاستدعاء الراديوي والصور الثابتة وغيرها، بنفاذ مشروط حسب الاقتضاء

الجدول 1 (*تتمة*)

الخصائص التي تنص عليها التوصية ITU-R BS.774 (بإيجاز)	النظام الرقمي A	النظام الرقمي F	النظام الرقمي C	النظام الرقمي G	النظام الرقمي H	النظام الرقمي I
تصنيع مستقبلات قليلة الكلفة	يتيح تصنيع كميات كبيرة من المستقبلات قليلة الكلفة للمستعمل	استمثل النظام خصوصاً لتمكين نشر مستقبلات محمولة على مركبة قليلة التعقيد مبدئياً. وأنشئ فريق تقييس بهدف إنجاز مستقبلات قليلة الكلفة استناداً إلى تقنيات الإنتاج الكبير الدمج واسع النطاق (LSI)	استمثل النظام خصوصاً لتمكين نشر مستقبلات محمولة على مركبة قليلة التعقيد مبدئياً. وتسمح حلول IC من الجيل الثالث بتنفيذ رقاقة واحدة متوافقة مع أجهزة الاستقبال المحمولة منخفضة التكلفة والأجهزة المتنقلة.	يتيح تصنيع كميات كبيرة من المستقبلات قليلة الكلفة للمستعمل	يتيح تصنيع كميات كبيرة من المستقبلات قليلة الكلفة للمستعمل	يتيح تصنيع كميات كبيرة من المستقبلات قليلة الكلفة للمستعمل

(1) ثمة معلومات إضافية عن الكودك HD (HDC) متاحة على العنوان التالي www.ibiquity.com

(2) الأساليب المستخدمة في مجموعة الرقاقات (الدارات) والتي تنطوي على النطاق نفسه ونفس القناة (IBOC) (النظام الرقمي C) لا تصلح للتشغيل على متن مركبة بترددات أعلى من 230 MHz.

(3) تكلّل اختبار النظام بالنجاح في المنطقتين 1 و3. أما فيما يتعلق بالمنطقة 2، فلا تتوفر بيانات عن اختبار النظام ميدانياً لإثبات توافقه مع الإذاعة التماثلية في المجالات التي يشوبها تداخل كبير في القنوات المشتركة والمتجاورة.

الملحق 1

عروض موجزة للأنظمة الرقمية

1 عرض النظام الرقمي A

أعد النظام الرقمي A، ويعرف أيضاً باسم نظام Eureka 147 للإذاعة الصوتية الرقمية (DAB)، لأغراض تطبيقات الإذاعة الساتلية والإذاعة للأرض بهدف استخدام مستقبلات عادية قليلة الكلفة. وقد صمم النظام بحيث يتيح الاستقبال في مستقبلات ثابتة محمولة ومركبة على متن مركبات وذلك باستعمال هوائيات استقبال شاملة الاتجاهات قليلة الكسب تعلو بمقدار 1,5 m عن سطح الأرض. وفي الواقع تُستخدم الإذاعة الصوتية الرقمية في الإذاعة للأرض للاستقبال المحمول والمتنقل. ويقدم خاصةً أداءً أفضل في بيئة المسيرات المتعددة والبيئة المعرضة للحجب وهي البيئة التي تماثل ظروف الاستقبال في المدن، باستعمال مكررات أرضية في القناة تعمل على ملء الثغرات. والنظام الرقمي A قادر على تقديم سويات مختلفة لجودة الصوت تصل إلى جودة عالية مقارنة بجودة التسجيلات الرقمية الموجهة للجمهور العريض. كما يمكنه تقديم خدمات بيانات مختلفة وسويات مختلفة للنفاذ المشروط ومقدرة إعادة الترتيب دينامياً لخدمات متفرقة في الإرسال المتعدد.

2 عرض النظام الرقمي F

صمم النظام الرقمي F، المعروف أيضاً باسم النظام ISDB-TSB، ليقدم جودة عالية للصوت وإذاعة البيانات على درجة عالية من الاعتمادية حتى في الاستقبال المتنقل. كما صمم النظام ليوفر المرونة وإمكانيات التوسيع والنقاط المشتركة اللازمة للإذاعة متعددة الوسائط التي تستخدم الشبكات للأرض. وهو نظام متين يستعمل التشكيل OFDM والتشذير ثنائي الأبعاد للتردد والزمن والشفرات المتسلسلة لتصحيح الأخطاء. ويسمى التشكيل OFDM الذي يستعمله هذا النظام (BST)-OFDM (إرسال بتقطيع النطاق) ويضم النظام نقاطاً مشتركة مع النظام ISDB-T للإذاعة التلفزيونية الرقمية للأرض في الطبقة المادية. ويشتمل النظام على معلمات إرسال كبيرة التنوع مثل نظام تشكيل الموجات الحاملة ومعدلات التشفير شفرة تصحيح الخطأ الداخلية وطول التشذير الزمني. ويخصص بعض الموجات الحاملة للتحكم (TMCC) الذي يرسل المعلومات في معلمات الإرسال إلى التحكم في المستقبل. وبإمكان النظام الرقمي F استخدام طرائق تشفير سمعية عالية الانضغاط مثل الطريقة MPEG-2 AAC. وعلاوة على ذلك، فإنه يستخدم الأنظمة MPEG-2، ويشترك بنقاط كثيرة مع أنظمة أخرى تستخدم الأنظمة MPEG-2 مثل ISDB-S وISDB-T وDVB-S وDVB-T وهو قابل للتشغيل البيني معها.

3 عرض النظام الرقمي C

النظام الرقمي C، المعروف أيضاً بالنظام IBOC DSB، هو نظام كامل التطوير. وقد صمم لأغراض المستقبلات الثابتة والمحمولة والمركبة على متن مركبات[1] والهواتف المتنقلة التي تستقبل إشارات واردة من مرسلات للأرض. وعلى الرغم من أن النظام الرقمي C قادر على العمل في أجزاء غير مشغولة من الطيف لكن من أهم خصائصه قدرته على توفير إذاعة إشارات تماثلية ورقمية في نفس الوقت في النطاق الموزع حالياً على الإذاعة FM. وتتيح هذه الخاصية إمكانية الانتقال الرشيد للإذاعات FM الراهنة من الإذاعة التماثلية إلى الإذاعة الرقمية إن رغبت في ذلك. كما يقدم النظام أداء أفضل في بيئات تعدد المسارات مما يفضي إلى اعتمادية بدرجة أعلى مما تقدمه الأنظمة FM التماثلية الحالية. ويوفر النظام الرقمي C أيضاً جودة سمعية أفضل من تلك التي تعطيها التسجيلات الرقمية الموجهة للجمهور العريض. وفضلاً عن ذلك يتيح النظام للإذاعات المرونة اللازمة لتقديم خدمات جديدة لإذاعة البيانات إضافة إلى البرامج

[1] الأساليب المستخدمة في مجموعة الرقاقات IBOC (النظام الرقمي C) لا تصلح للتشغيل على متن مركبة بترددات أعلى من 230 MHz.

السمعية المحسنة. ويوفر النظام أيضاً توزيع البتات بين المقدرة السمعية ومقدرة إذاعة البيانات من أجل توسيع هذه المقدرة الأخيرة إلى أبعد حد.

4 عرض النظام الرقمي G

النظام الرقمي G، المعروف أيضاً باسم النظام الراديوي الرقمي العالمي (DRM)، هو نظام موضوع لأغراض تطبيقات الإذاعة الأرضية في جميع نطاقات التردد الموزعة على الإذاعة الصوتية التماثلية في أنحاء العالم كافة. ويمتثل النظام لأقنعة الطيف التي يحددها الاتحاد، مما يتيح انتقالاً سلساً من الإذاعة التماثلية إلى الرقمية. وهذا النظام معدّ لأن يكون حصراً نظاماً رقمياً. ويحدد النظام في النطاقات الأعلى من 30 MHz أسلوب المقاومة E (المعروف أيضاً باسم +DRM) لتقديم جودة صوتية مماثلة لتلك التي يُحصل عليها من وسائط التسجيلات الرقمية الموجهة للمستهلك. وبالإضافة إلى ذلك، يقدم النظام الرقمي G العديد من خدمات البيانات، ومنها الصور وأدلة البرنامج الإلكتروني، ويؤمّن القدرة على إعادة ترتيب مختلف الخدمات الواردة في تعدد الإرسال دون خسران الصوت ترتيباً دينامياً.

5 عرض النظام الرقمي H

أُعد النظام الرقمي H، المعروف أيضاً باسم النظام الراديوي الرقمي المتقارب (CDR)، للانتقال بسلاسة من نظام FM التماثلي إلى النظام الراديوي الرقمي. وقد صُمم النظام لتقديم استقبال ثابت ومحمول ومركب على متن مركبات باستخدام أجهزة إرسال للأرضي. وخلال مرحلة الإذاعة المتزامنة، يمكن للنظام الرقمي H الاستفادة الكاملة من الطيف غير المشغول في قناة FM الحالية، وتقديم العديد من الخدمات الراديوية الرقمية الإضافية، ويقدم النظام أداءً محسناً في بيئات متعددة المسارات، مما يؤدي إلى موثوقية أكبر مما تقدمه عمليات FM التماثلية القائمة. وبعد انتهاء الانتقال، يمكن للنظام الرقمي H تقديم خدمات سمعية رقمية عالية الجودة (مثل جودة CD أو 5.1 خدمات متعددة القنوات) بالإضافة إلى خدمات البيانات المختلفة، كما يمكن للنظام أيضاً دعم التغطية على مستوى البلاد بأسرها باستخدام الشبكات وحيدة التردد (SFN).

6 عرض النظام الرقمي I

أُعد النظام الرقمي I، المعروف أيضاً باسم نظام المعلومات السمعية المرئية في الوقت الفعلي (RAVIS)، لأغراض تطبيقات الإذاعة الأرضية في جميع نطاقات التردد الموزعة على الإذاعة الصوتية التماثلية FM في جميع أنحاء العالم. ويمتثل النظام لأقنعة الطيف التي يحددها الاتحاد، مما يتيح انتقالاً سلساً من الإذاعة التماثلية إلى الرقمية. وهذا النظام معدّ ليكون حصراً نظاماً رقمياً. ويوفر هذا النظام جودة سمعية مماثلة لتلك التي يُحصل عليها من وسائط التسجيلات الرقمية الموجهة للمستهلك أو أفضل منها. وإضافةً إلى ذلك، يتيح النظام الرقمي I أيضاً الخدمة الفيديوية خدمات البيانات المختلفة، بما في ذلك الصور وأدلة البرنامج الإلكتروني، ويؤمّن القدرة على إعادة الترتيب الدينامي لمختلف الخدمات الواردة في تعدد الإرسال.

الملحق 2

النظام الرقمي A

1 مقدمة

النظام الرقمي A هو نظام إذاعة رقمية متعددة الخدمات عالية الجودة موجهة إلى مستقبلات مركبة على متن مركبات أو محمولة أو ثابتة. وهو مصمم ليعمل في أي تردد لغاية MHz 3 000 لأغراض الإرسال الإذاعي الأرضي والكبلي. وهو أيضاً نظام إذاعة رقمية متكاملة الخدمات (ISDB) مرن ومتعدد الاستعمالات قادر على توفير قدر واسع من الخيارات لتشفير المصادر والقنوات ولإرسال البيانات المصاحبة للبرامج الصوتية وتوفير خدمات بيانات مستقلة عن البرامج وفقاً لمتطلبات مرونة التشغيل وتنوع الخدمة التي تعرضها التوصيتان ITU-R BO.789 وITU-R BS.774 مدعومة بالكتيب الخاص بالإذاعة الصوتية الرقمية والتقرير ITU-R BS.1203.

ونظام الإذاعة الصوتية وإذاعة البيانات هذا بالغ الاعتمادية ويقدم فعالية كبيرة في استعمال الطيف والقدرة. وهو يستعمل تقنيات رقمية متقدمة لإلغاء الإطناب والمعلومات غير ذات الصلة من إشارة المصدر السمعية ثم يطبق إطناباً محكم الضبط على الإشارة المرسلة لتصحيح الخطأ. وبعد ذلك يتم نشر المعلومات المرسلة في كل من المجال الزمني ومجال التردد بحيث يحصل المستقبل سواء كان ثابتاً أم متنقلاً على إشارة عالية الجودة حتى في حالة ظروف الانتشار الصعب في المسارات المتعددة. ويتحقق الاستعمال الفعّال للطيف من خلال تشذير إشارات متعددة للبرنامج، ونظراً لإمكانية إعادة استعمال الترددات الخاصة يمكن توسيع شبكات الإذاعة دون حدود تقديراً من خلال تشغيل مرسلات إضافية في التردد المشع ذاته.

وقد تم تطوير النظام الرقمي A من جانب اتحاد Eureka 147 للإذاعات الصوتية الرقمية (DAB). وقد حظي بدعم كبير من طرف اتحاد الإذاعات الأوروبية (EBU). وقد حقق نجاحاً كبيراً في العديد من البلدان الأوروبية، ومن المقرر القيام بالانتقال الرقمي في النرويج عام 2017 وفي سويسرا في الفترة ما بين 2020 و2024. وتُقدَم أيضاً خدمات منتظمة عبر الأثير في أستراليا وقد أجريت العديد من التجارب في جميع القارات. ويشار إلى النظام الرقمي A في الملحق 2 "بالنظام A". وترد المواصفات الكاملة الخاصة به في المعيار الأوروبي للاتصالات EN 300 401.

2 استخدام نموذج الطبقات

يطابق النظام A النموذج الأساسي المرجعي للتوصيل البيني للأنظمة المفتوحة (OSI) الصادر عن منظمة التقييس الدولية (ISO) والذي يرد وصفه في المعيار ISO 7498 (1984). ويوصى باستخدام هذا النموذج في التوصية ITU-R BT.807 والتقرير ITU-R BT.1207، وتقدم هذه التوصية الشروحات اللازمة لاستخدامه مع أنظمة الإذاعة المصممة حسب الطبقات. وسيتم وصف النظام A فيما يتعلق بطبقات النموذج وفقاً للنموذج المعياري هذا، ويوضح الجدول 2 هذا الوصف.

ويتم وصف العديد من التقنيات المستخدمة بسهولة أكبر عندما يتعلق الأمر بتشغيل التجهيزات في المرسل أو في النقطة المركزية لشبكة التوزيع في حالة شبكة مرسلات.

الجدول 2

شرح لنموذج طبقات التوصيل البيني للأنظمة المفتوحة (OSI)

اسم الطبقة	الوصف	خصائص النظام
طبقة التطبيق	استعمال عملي للنظام	مرافق النظام جودة صوتية أساليب الإرسال
طبقة التقديم	تحويل من أجل التقديم	تشفير وفك تشفير سمعي تقديم سمعي معلومات الخدمة
طبقة الدورة	انتقاء البيانات	انتقاء البرنامج نفاذ مشروط
طبقة النقل	تجميع البيانات	خدمات البرامج تعدد الإرسال الرئيسي للخدمات بيانات مساعدة تربط البيانات
طبقة الشبكة	قناة منطقية	أطر سمعية ISO بيانات مصاحبة للبرنامج
طبقة وصلة البيانات	نسق الإشارة المرسلة	أطر الإرسال تزامن
طبقة مادية	إرسال مادي (راديوي)	تشتت الطاقة تشفير تلافيفي تشذير زمني تشذير التردد تشكيل DQPSK OFDM، إرسال راديوي

الهدف الأساسي للنظام A هو توفير برامج إذاعة صوتية للمستمع، بحيث يبدأ ترتيب الأقسام في الوصف التالي من طبقة التطبيق (استعمال معلومات الإذاعة)، ويستمر إلى الطبقة المادية (وسائل الإرسال الراديوي).

3 طبقة التطبيق

تقابل هذه الطبقة استعمال النظام A عند مستوى التطبيق. وتشمل المرافق والجودة الصوتية التي تتوفر في النظام A والتي تقدمها الإذاعات إلى المستمعين، إلى جانب الأساليب المختلفة للإرسال.

1.3 المرافق التي يقدمها النظام A

يوفر النظام A إشارة تنقل تعدد إرسال البيانات الرقمية، وبذلك تنقل عدة برامج في نفس الوقت. ويتضمن تعدد الإرسال بيانات البرامج السمعية، وبيانات مساعدة تشمل بيانات مصاحبة للنظام (PAD)، ومعلومات عن تشكيل تعدد الإرسال (MCI)، ومعلومات عن الخدمة (SI). وقد ينقل تعدد الإرسال أيضاً بيانات مصاحبة للخدمات العامة للبيانات التي قد لا تكون متصلة بإرسال البرامج الصوتية.

المرافق التالية متوفرة لدى مستعمل النظام A على وجه التحديد:

- الإشارة السمعية (أي البرنامج) يوفرها برنامج الخدمة المنتقى؛
- تطبيق اختياري لوظائف المستقبل، مثلاً التحكم في المدى الدينامي، الذي قد يستعمل بيانات مساعدة مرسلة مع البرنامج؛

- عرض لنص يعطي بعض المعلومات المنتقاة ضمن المعلومات المرسلة عن الخدمة. وقد يتعلق الأمر بمعلومات متصلة بالبرنامج المنتقى أو برامج أخرى مقترحة؛
- اختيارات تسمح باختيار برامج أخرى ووظائف أخرى للمستقبل ومعلومات أخرى عن الخدمة؛
- خدمة أو عدة خدمات عامة للبيانات، مثلاً قناة رسالة الحركة (TMC).

يوفر النظام إمكانية النفاذ المشروط، ويمكن للمستقبل أن يكون مجهزاً بخرج رقمي لإشارات البيانات وإشارات سمعية.

2.3 الجودة السمعية

يمكن اختيار ضمن سعة تعدد الإرسال عدد خدمات البرنامج ونسق تقديم كل من هذه الخدمات (مثلاً، مجسم وغير مجسم ومحيط إلخ.)، والجودة السمعية ودرجة الحماية من الأخطاء (وبالتالي الاعتمادية)، حسب احتياجات الهيئات الإذاعية.

وفيما يلي الاختيارات المتوفرة بالنسبة إلى الجودة السمعية:

- جودة عالية، مع هامش المعالجة السمعية؛
- جودة شفافة حسب التقدير الشخصي، كافية لأعلى جودة للإذاعة؛
- جودة عالية مكافئة لجودة الخدمة FM الجيدة؛
- جودة متوسطة مكافئة لجودة الخدمة AM الجيدة؛
- جودة كلامية فقط.

يؤمن النظام A استقبال جودة منتظمة في حدود تغطية المرسل؛ وما بعد هذه الحدود تنخفض القيمة تدريجياً حسب التقدير الشخصي.

4 طبقة التقديم

تُعنى هذه الطبقة بتحويل المعلومات المذاعة وتقديمها.

1.4 تشفير المصدر السمعي

تقنية تشفير المصدر السمعي الأصلية المستعملة هي التقنية ISO/IEC MPEG السمعية للطبقة II المحددة في المعيار ISO 11172-3. ويعرف نظام الانضغاط وتشفير النطاق الفرعي بالنظام MUSICAM أيضاً. وجرى تعزيز تشفير المصدر السمعي هذا في عام 1997 بإضافة معيار المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (ISO) ISO/IEC 13818-3 الذي سمح بزيادة الجودة الشخصانية في معدلات البتات المنخفضة. وفي عام 2007، أُدخل تشفير المصدر السمعي +DAB وجرى تقييسه بصيغة المواصفة التقنية ETSI TS 102 563 التي تستخدم الكودك السمعي HE-AACv2 الأكثر كفاءة والذي جرى تقييسه بصيغة معيار المنظمة الدولية للتوحيد القياسي ISO/IEC 14496-3. وأصبح خيار تشفير المصدر السمعي هذا الخيار المفضل حالياً للمذيعين الذين يطلقون خدمات النظام A، وقد انتقل العديد من المذيعين الذين بدأوا خدماتهم بتقنية MPEG-2 السمعية إلى استخدام تقنية MPEG-4 السمعية لزيادة كفاءة الطيف في خرجهم.

ويقبل النظام A بعدد من الإشارات السمعية PCM عند معدل اعتيان يبلغ 16 أو 24 أو 32 أو 48 kHz ولكل منها خيار بيانات إضافية مصاحبة للبرنامج (PAD/XPAD). ويتوقف عدد المصادر السمعية الممكنة على معدل البتات والمظهر الجانبي للحماية من الأخطاء. ويجوز تشغيل المشفرات السمعية بمعدلات بتات من 8 إلى 192 kbit/s لكل قناة غير مجسمة. وفيما يتعلق بأسلوب القناة المجسمة أو الثنائية، يكون معدل البتات الخاص بالمشفر هو ضعف معدل الأسلوب غير المجسم.

2.4 فك التشفير السمعي

إن فك التشفير في المستقبِل الذي يقوم على تقنية بسيطة لمعالجة الإشارة سهل واقتصادي، ويتطلب فقط عمليات إزالة تعدد الإرسال والتمديد والترشيح العكسي.

3.4 تقديم سمعي

يمكن تقديم الإشارات السمعية بشكل مجسم أو غير مجسم، ويمكن تجميع القنوات السمعية أيضاً لاسترجاع الصوت المحيطي. ويمكن وصل البرامج فيما بينها لتوفير البرنامج نفسه بلغات متعددة بشكل متآون. ومن أجل إرضاء مستمعين يتطلبون أداء عالي الجودة في بيئة تعاني من الضوضاء، تستطيع الإذاعة إرسال إشارة اختيارية للتحكم في المدى الدينامي (DRC) يمكن استعمالها في جو ضوضاء لضغط المدى الدينامي للإشارة السمعية التي أعاد المستقبل إنتاجها. وتجدر الإشارة إلى أن هذه التقنية مفيدة للمستمعين معتلّي السمع.

4.4 تقديم معلومات الخدمة

يمكن توفير العناصر التالية الخاصة بمعلومات الخدمة (SI) لعرضها على المستقبِل، وذلك فيما يتعلق بكل برنامج أرسله النظام:

- وسم البرنامج الأساسي (أي اسم البرنامج)؛
- الوقت والتاريخ؛
- الإشارة إلى البرامج المائلة أو المشابهة (مثلاً بلغة أخرى) المرسلة في عنصر آخر أو مرسلة بشكل متآون باستعمال الخدمة AM أو FM؛
- تمديد وسم الخدمة إلى الخدمات المصاحبة للبرنامج؛
- معلومات بشأن البرنامج (مثلاً، أسماء الفنانين)؛
- اللغة؛
- نوع البرنامج (مثلاً، الأخبار، الرياضة، الموسيقى، إلخ.).

ويمكن أيضاً إدراج البيانات المتصلة بشبكة المرسلات للاستعمالات الداخلية لهيئات الإذاعة.

5 دورة الطبقة

تخص هذه الطبقة انتقاء المعلومات المذاعة والنفاذ إليها.

1.5 انتقاء البرنامج

لكي يتمكن المستقبل من النفاذ شبه المباشر إلى بعض الخدمات أو إلى جميعها، ترسل قناة المعلومات السريعة (FIC) معلومات متصلة بالمحتوى الحالي والمستقبلي لتعدد الإرسالات معروفة بمعلومات تشكيل تعدد الإرسال (MCI) وهي بيانات تقرأ أوتوماتياً. وبيانات القناة FIC غير مشذرة زمنياً، بحيث لا تخضع المعلومات (MCI) إلى التأخر الملازم لعملية التشذير الزمني والمنطبق على خدمات البيانات العامة والسمعية. ومع ذلك، تكرر هذه البيانات بتواتر كبير لأغراض الدقة. وعندما توشك تشكيلة تعدد الإرسال أن تتغير، ترسل مسبقاً المعلومات الجديدة مع توقيت التغيير في المعلومات MCI.

ويمكن لمستعمل المستقبِل أن يختار البرامج على أساس المعلومات النصية المرسلة في معلومات الخدمة (SI)، باستعمال اسم خدمة البرنامج، وهوية نمط البرنامج أو اللغة. وبالتالي، يقوم المستقبِل بتنفيذ أوامر المستمع باستعمال العناصر المقابلة للمعلومات MCI.

وإذا تيسرت موارد بديلة لخدمة برنامج معين وأصبحت خدمة رقمية ما غير قابلة للاستعمال، يمكن استعمال بيانات التوصيل الموجودة في معلومات SI (أي "البرنامج المشار إليه") لإيجاد بديل (الانتقال إلى خدمة FM مثلاً) والتبديل إليه. ولكن في هذه الحالة، يعود المستقبِل إلى الخدمة الأصلية حالما أمكن الاستقبال.

2.5 النفاذ المشروط

يتوقع استعمال هذا النظام للتزامن والتحكم في النفاذ المشروط.

يمكن تطبيق النفاذ المشروط بمعزل عن جميع مكونات الخدمة، وعلى الخدمات أو على تعدد الإرسال بكامله.

6 طبقة النقل

تخص هذه الطبقة تعرف هوية مجموعة من البيانات في شكل خدمات البرنامج، وتعدد إرسال البيانات من أجل تلك الخدمات إرفاق عناصر البيانات التي طُبق عليها تعدد الإرسال.

1.6 خدمات البرنامج

تتضمن خدمة البرنامج بصفة عامة مكونات الخدمة السمعية وخدمات سمعية و/أو مكونات خدمات البيانات الإضافية بشكل اختياريين يؤمنها موفر الخدمة. وقد تكرس السعة الكلية لتعدد الإرسال إلى مزود واحد للخدمة (مثلاً، إذاعة عمومية وطنية)، أو يمكن توزيعها بين عدة مزودين للخدمة (مثلاً الإذاعة التجارية والعمومية والمجتمعية المستقلة).

2.6 تعدد الإرسال الرئيسي للخدمات

إن البيانات التي تمثل كلاً من البرامج المذاعة (بيانات سمعية مع بيانات مساعدة أو حتى بيانات عامة) محمية من الأخطاء عن طريق التشفير التلافيفي (انظر الفقرة 2.9) والتشذير الزمني. ويرفع التشذير الزمني من دقة إرسال البيانات في بيئة متغيرة (مثلاً، الاستقبال على متن مركبة متحركة) ويفرض تأخراً في الإرسال يمكن توقعه. وبعد ذلك، تدرج البيانات المشذرة والمشفرة في معدد إرسال الخدمة الرئيسية حيث يتم تجميع الخدمة في تتابع داخل إطار تعدد الإرسال كل 24 ms. ويتميز خرج قطار البتات المجمع من معدد الإرسال المعروف بقناة الخدمة الرئيسية (MSC) بسعة إجمالية قدرها 2,3 Mbit/s. وحسب معدل الشفرة المختار (الذي قد يختلف من مكونة خدمة عن أخرى)، يتراوح معدل البتات الصافي بين 0,8 و1,7 Mbit/s على عرض نطاق يبلغ 1,5 MHz. إن معدد إرسال الخدمة الرئيسي هو النقطة التي تجمع فيها البيانات المتزامنة الصادرة عن جميع خدمات البرنامج التي تستعمل تعدد الإرسال.

ويمكن إرسال بيانات عامة في القناة MSC كتدفّق غير مبني أو منظم في شكل تعدد إرسال الرزم حيث يتم تركيب عدة موارد. إن المعدل الذي قد يكون عبارة عن مضاعف ما بمقدار 8 kbit/s متزامن مع تعدد إرسال النظام شريطة أن تكون السعة الكلية لتعدد الإرسال كافية ومع مراعاة طلب الخدمات السمعية.

والقناة FIC غير مدمجة في القناة MSC ولا تخضع لتشذير زمني.

3.6 بيانات مساعدة

هناك مجالان حيث يمكن نقل البيانات المساعدة في تعدد إرسال النظام:

- هناك حكم خاص لنقل كمية متوسطة من البيانات PAD داخل كل قناة سمعية؛
- تعالج جميع البيانات المساعدة المتبقية كخدمة منفصلة داخل MSC. ويشار إلى وجود هذه المعلومات في المعلومات MCI.

4.6 تصاحب البيانات

تقدم المعلومات MCI التي تنقل في القناة FIC وصفاً دقيقاً للمحتوى الحالي والمستقبلي للقناة MSC. ويجب أيضاً نقل العناصر الأساسية لمعلومات الخدمة والتي تتعلق بمحتوى القناة MSC (أي من أجل انتقاء البرنامج) في القناة FIC. وينبغي إرسال النصوص الأكثر طولاً مثل قائمة البرامج اليومية، بشكل منفصل كخدمة البيانات العامة. وهكذا، تشمل المعلومات MCI وSI مساهمات من جميع البرامج التي تبث.

وتتضمن البيانات PAD أساساً المنقولة داخل القناة السمعية، المعلومات المرتبطة بشكل وثيق بالبرامج السمعية وبالتالي لا يمكن إرسالها في قناة بيانات مختلفة حيث يكون وقت الانتشار مختلفاً. وقد تكون هذه البيانات عبارة عن نصوص بسيطة أو صور ذات صلة بمحتوى البرنامج أو معلومات مسبقة عن دليل البرنامج أو تطبيقات البيانات الأخرى ذات الصلة بالمحتوى السمعي.

7 طبقة الشبكة

تخص هذه الطبقة تعرّف هوية زمر البيانات كبرامج.

1.7 أطر سمعية ISO

تنفذ العمليات في مشفر المورد السمعي أثناء الأطر السمعية ISO متنوعة المدد والتي يمكن أن تكون متعددة الإرسال نحو إطارات سمعية فائقة تتلاءم مع مدة إطار النظام البالغة 24 ms (أي 24 ms و48 ms و120 ms). ويجري توزيع البتات التي تختلف من إطار لآخر وعوامل القياس وتعدد إرسالها مع عينات النطاق الفرعي في كل إطار سمعي. وتجمع وحدة تجميع الإطار قطار البتات الفعلي من بيانات الخرج للمكمم ووحدة التشفير، وتضيف معلومات أخرى، كمعلومات رأسية وكلمة الشفرة CRC لكشف الأخطاء، والبيانات PAD، التي تنقل مع الإشارة السمعية المشفرة. وتحتوي كل قناة سمعية على قناة PAD تتميز بسعة متغيرة، يمكن استعمالها لنقل المعلومات المرتبطة ارتباطاً وثيقاً بالبرنامج الصوتي.

8 طبقة وصلة البيانات

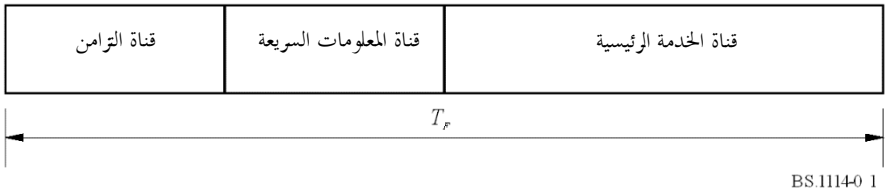
توفر هذه الطبقة الوسائل التي تسمح بتزامن المستقبل.

1.8 إطار الإرسال

تسهيلاً لتزامن المستقبِل، تنظم الإشارة المرسلة في بنية إطار (انظر الشكل 1) تتضمن تتابعاً ثابتاً للشفرات. ويبدأ كل إطار إرسال برمز صفر لضمان تزامن تقريبي (في حالة عدم إرسال إشارة RF)، يليه رمز مرجعي ثابت لضمان تزامن دقيق، ووظائف التحكم الأوتوماتي في الكسب (AGC) وفي التردد (AFC) ومرجع الطور في المستقبِل؛ وتشكل هذه الشفرات قناة التزامن، والشفرات التالية محجوزة للقناة FIC، وتوفر الشفرات المتبقية لقناة MSC. وتساوي مدة الإطار الكلية T_F 96 ms. وترد تفاصيل أسلوب الإرسال في الجدول 3.

الشكل 1

بنية إطار تعدد الإرسال



الجدول 3

معلمات الإرسال الخاصة بالنظام A

مدة إطار الإرسال، T_F	96 ms
مدة الرمز المعدوم، T_{NULL}	1,297 ms
مدة الشفرات OFDM، T_s	1,246 ms
عكس المباعدة بين الموجات الحاملة، T_u	1 ms
مدة فاصل الحراسة، Δ ($T_s = T_u + \Delta$)	246 µs
عدد الموجات الحاملة المرسلة، K	1 536

يعين لكل خدمة سمعية داخل القناة MSC فجوة زمنية في الإطار.

9 الطبقة المادية

تتعلق هذه الطبقة بوسائل الإرسال الراديوي (أي طريقة التشكيل والحماية من الأخطاء).

1.9 تشتت الطاقة

لضمان تشتت ملائم للطاقة داخل الإشارة المرسلة، يتم تخليط كل مورد يغذي تعدد الإرسال.

2.9 تشفير تلافيفي

ينطبق التشفير التلافيفي على كل مورد من موارد البيانات التي تغذي تعدد الإرسال للحصول على استقبال موثوق. وتتمثل عملية التشفير في إضافة الإطناب عمداً إلى رشقات بيانات المصدر (الطول المفروض قدره 7). ويتم الحصول بذلك على رشقات بيانات "إجمالية".

في حالة إشارة سمعية DAB (MPEG-2)، تحظى بعض البتات المشفرة عند المصدر إلى حماية أكثر من البتات الأخرى، حسب نموذج محدد بشكل مسبق يعرف بالمظهر الجانبي للحماية الكاملة من الأخطاء (UEP). ويتراوح معدل الشفرة المتوسط المعرّف كالعلاقة بين عدد البتات المشفرة عند المصدر وعدد البتات بعد التشفير التلافيفي بين 1/3 (أعلى مستوى للحماية) و3/4 (أدنى مستوى للحماية). ويمكن تطبيق مختلف المعدلات المتوسطة للشفرة على موارد سمعية مختلفة، حسب مستوى الحماية المطلوب ومعدل بتات البيانات المشفرة عند المصدر. فعلى سبيل المثال، قد يكون مستوى الحماية للخدمات السمعية التي تنقلها الشبكات الكبلية أدنى من مستوى الحماية في الخدمات المرسلة عبر قنوات التردد الراديوي.

ويتم تشفير الإشارات السمعية DAB+ (MPEG-4) وخدمات البيانات العامة بالتشفير التلافيفي عن طريق انتقاء معدلات منتظمة يمكن أن تتخذ قيماً تتراوح بين 1/4 و3/4. وتشفر البيانات في القناة FIC عند معدل ثابت بنسبة تبلغ 1/3.

3.9 تشذير زمني

يطبق تشذير زمني بعمق يبلغ 16 إطاراً على البيانات بعد التشفير التلافيفي لتقديم المزيد من المساعدة لمستقبِل متنقل.

4.9 تشذير ترددي

عند وجود الانتشار بمسارات متعددة، تعزز بعض الموجات الحاملة بواسطة إشارات بناءة بينما تعاني بعض الموجات الحاملة الأخرى من التداخل الهدام (خبو انتقائي للترددات). ولذا يقوم النظام بتشذير ترددي عن طريق إعادة ترتيب قطاع البتات الرقمي بين الموجات الحاملة، بحيث لا تتأثر العينات المتتالية من نفس المورد بالخبو الانتقائي. وعندما يكون المستقبِل مستقراً، يعد التنوع في المجال الترددي الوسيلة الرئيسية لضمان استقبال جيد.

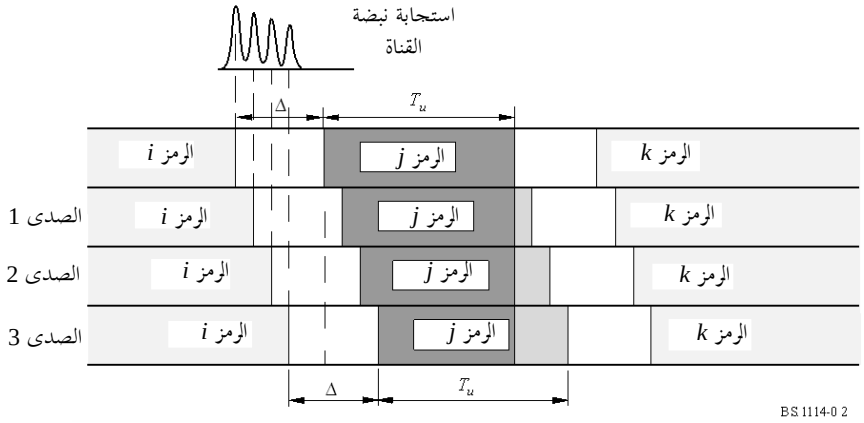
5.9 التشكيل عن طريق استعمال 4-DPSK OFDM

يستعمل النظام A التشكيل DQPSK OFDM (تعدد الإرسال المتعامد بتقسيم التردد). ويفي هذا النمط من التشكيل بالمتطلبات المتشددة للإذاعة الرقمية بمعدل بتات مرتفع مكرس للمستقبلات المتنقلة والمحمولة والثابتة، وخاصة في وجود الانتشار بمسارات متعددة.

ويتمثل المبدأ الأساسي في تقسيم المعلومات التي يتعين نشرها على عدد كبير من قطارات البتات ذات المعدل المنخفض، والتي تستعمل فيما بعد لتشكيل موجات حاملة فردية. وتصبح مدة الشفرات المقابلة أطول من تمديد وقت الانتشار في قناة الإرسال. ولا يسبب صدى، تقل مدته عن فاصل الحراسة، أي تداخل بين الشفرات في المستقبل، بل على العكس يساهم في القدرة المستلمة بشكل إيجابي (انظر الشكل 2). ويعرف العدد الكبير K للموجات الفرعية الحاملة جماعياً بمجموعة.

الشكل 2

مساهمة بناءة للأصداء



وعند وجود الانتشار بمسارات متعددة، تعزز بعض الموجات الحاملة بواسطة إشارات بناءة بينما تعاني بعض الموجات الحاملة الأخرى من التداخل الهدام (خبو انتقائي للترددات). ولذا يقوم النظام A بإدخال إعادة توزيع عناصر قطار البتات الرقمي في الوقت والتردد، بحيث تتأثر عينات المصدر المتتالية بخبو منفصل. وعندما يكون المستقبل مستقراً، يعد التنوع في المجال الترددي الوسيلة الرئيسية لضمان استقبال جيد، لا يساهم تنوع الوقت الذي يوفره التشذير الزمني بأي تحسين لمستقبل مستقر. ويعد الانتشار بمسارات متعددة بالنسبة إلى النظام A شكلاً من التنوع الفضائي؛ ويعتبر أنه يقدم مزايا مهمة، الشيء الذي يتعارض بشدة مع الأنظمة التقليدية FM أو الأنظمة الرقمية ضيقة النطاق حيث يمكن للانتشار بمسارات متعددة أن يعوق استقبال أي خدمة.

وفي أي نظام يمكنه أن يستفيد من الانتشار بمسارات متعددة، كلما كان عرض نطاق قناة الإرسال أوسع كلما كان النظام موثوقاً منه أكثر. وفي النظام A، يتم اختيار عرض نطاق شامل قدره 1,5 MHz للاستفادة من المزايا التي تقدمها التقنية واسعة النطاق، وللسماح أيضاً بمرونة التخطيط. ويبين الجدول 3 أيضاً عدد الموجات الحاملة OFDM المتضمنة في عرض النطاق هذا.

ويقدم استعمال تعدد الإرسال OFDM مزية أخرى تتمثل في تحقيق فعالية في استعمال الطيف والقدرة مع الشبكات وحيدة التردد التي تغطي منطقة واسعة، ومع الشبكات الكثيفة في المناطق الحضرية. ويمكن تشغيل المرسلات التي ترسل نفس البرامج عند نفس التردد، مما يؤدي كذلك إلى تخفيض شامل في قدرات التشغيل المطلوبة. ويمكن تخفيض مسافات إعادة استعمال الترددات بين مناطق مختلفة للخدمة بشكل كبير.

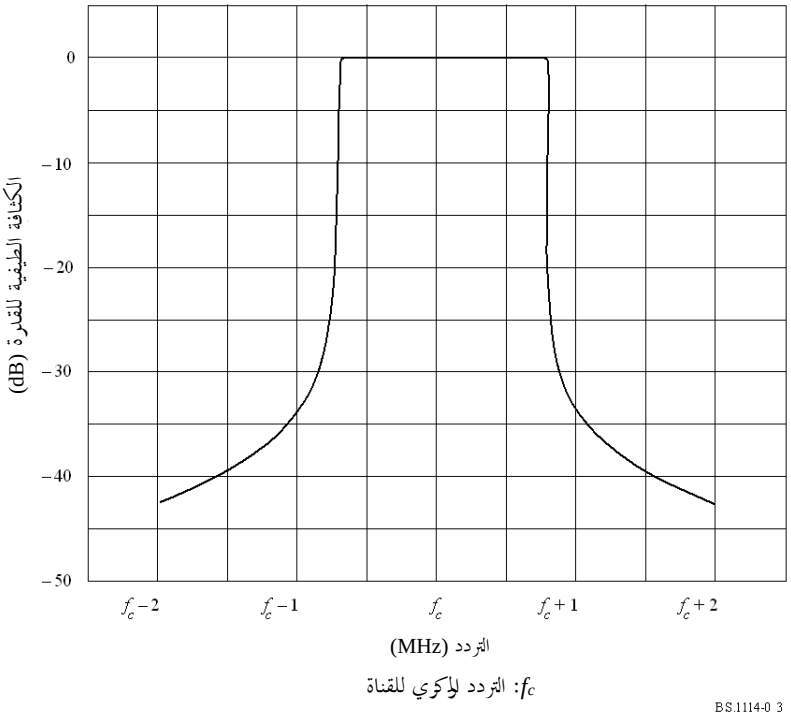
ونظراً لأن الصدى يعزز الإشارة المستقبلة، يمكن لجميع أنماط المستقبلات (المحمولة والمحلية والمركبة على متن مركبة) استعمال هوائيات بسيطة غير اتجاهية.

6.9 طيف إشارة إرسال النظام A

يقدم الشكل 3 مثالاً للطيف النظري للنظام A.

الشكل 3

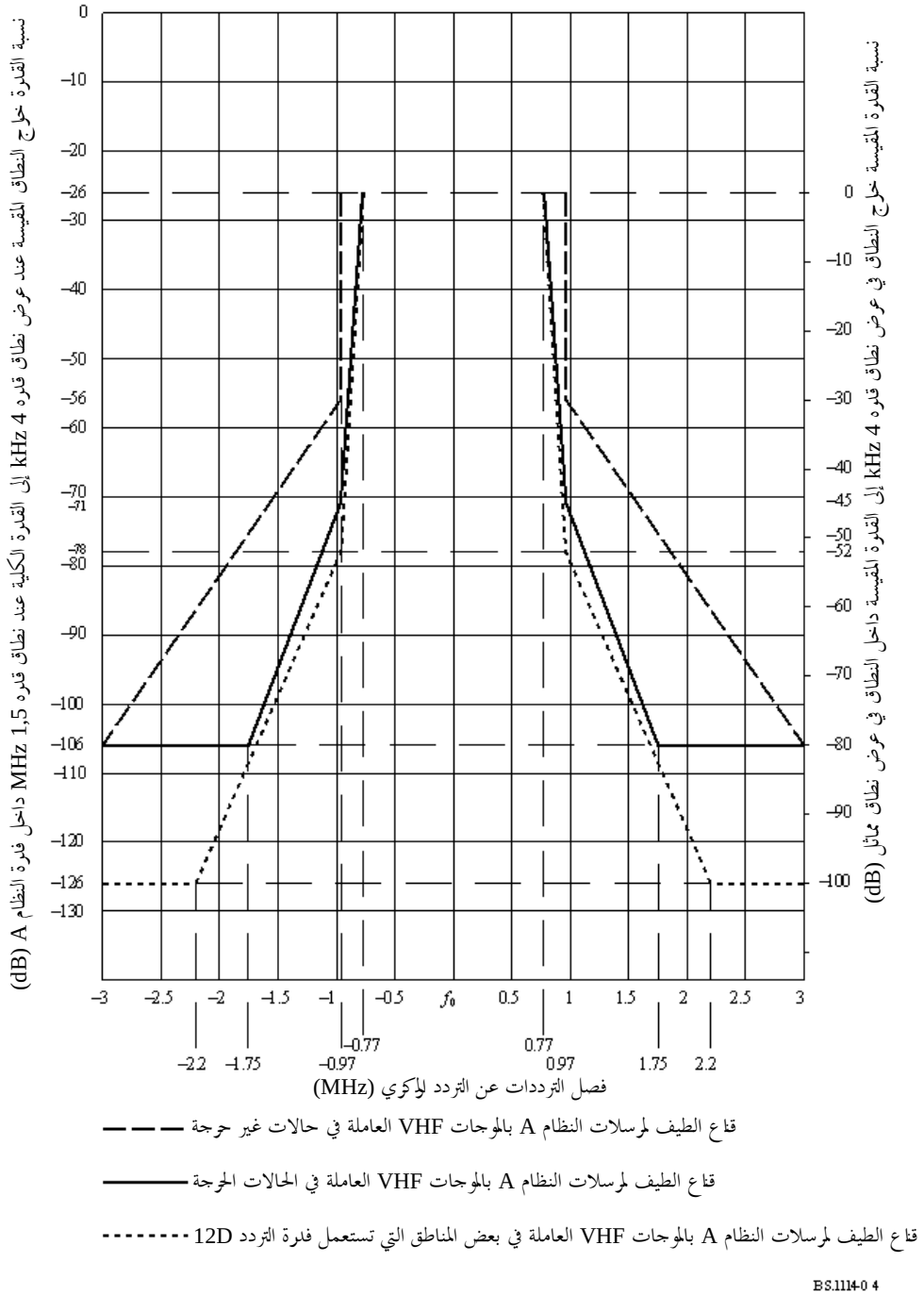
طيف إشارة الإرسال النظري للنظام A في أسلوب الإرسال II



ينبغي أن يقع طيف الإشارة المشعة خارج النطاق في أي نطاق يساوي 4 kHz ضمن حدود أحد الأقنعة المعرفة في الشكل 4 (انظر أيضاً الجدول 4).

الشكل 4

أقنعة الطيف خارج النطاق في إشارة الإرسال للنظام A



وينبغي تطبيق قناع الخط المتواصل على المرسلات بالموجات VHF في المناطق الحرجة من أجل التداخل في القناة المجاورة. وينبغي تطبيق قناع الخط المتقطع على مرسلات الموجات VHF العاملة في حالات غير حرجة أما قناع الخط المنقط فيستخدم في المرسلات بالموجات VHF العاملة في بعض المناطق التي تستعمل التردد 12D.

يمكن الحد من مستوى الإشارة على الترددات خارج نطاق التردد العادي 1,536 MHz بتطبيق الترشيح المناسب.

الجدول 4

جدول الطيف خارج النطاق لإشارة إرسال النظام A

	التردد النسبي لمركز القناة 1,54 MHz (MHz)	السوية النسبية (dB)
قناع طيف مرسلات النظام A بالموجات VHF العاملة في حالات غير حرجة	± 0,97	–26
	± 0,97	–56
	± 3,0	–106
قناع طيف مرسلات النظام A بالموجات VHF العاملة في حالات حرجة	± 0,77	–26
	± 0,97	–71
	± 1,75	–106
	± 3,0	–106
قناع طيف مرسلات النظام A بالموجات VHF العاملة في مناطق تستعمل فدرة التردد 12D	± 0,77	–26
	± 0,97	–78
	± 2,2	–126
	± 3,0	–126

10 خصائص أداء التردد الراديوي في النظام A

أجريت اختبارات لتقييم التردد RF في النظام الرقمي A عند 226 MHz من أجل ظروف مختلفة تمثل الاستقبال المتنقل والثابت. وتم قياس معدلات خطأ البتات (BER) بدلالة نسبة الإشارة إلى الضوضاء (*S/N*) في قناة الإرسال على قناة البيانات باستعمال الشروط التالية:

$$D = 64 \text{ kbit/s}، \quad R = 0,5$$

$$D = 24 \text{ kbit/s}، \quad R = 0,375$$

حيث:

D: معدل بيانات المصدر

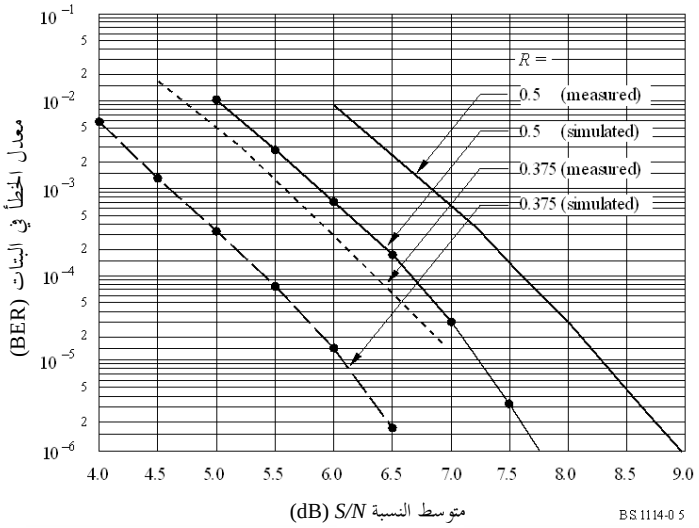
R: معدل متوسط للتشفير.

1.10 المعدل BER بدلالة *S/N* (بمقدار 1,5 MHz) في قناة غوسية

أضيفت ضوضاء بيضاء غوسية إلى الإشارة لضبط العلاقة *S/N* عند دخل المستقبِل. ويوضح الشكل 5 النتائج التي تم التوصل إليها. فعلى سبيل المثال، بالنسبة إلى $R = 0,5$، يمكن مقارنة النتائج المقيسة في الشكل 5 بالنتائج التي تم الحصول عليها عن طريق المحاكاة المعلوماتية لإظهار الأداء الملازم للنظام. ويلاحظ أنه تم الحصول على هامش للتنفيذ يقل عن 1,0 dB عند معدل الخطأ في البتات (BER) قدره 1×10^{-4}.

الشكل 5

معدل الخطأ في البتات بدلالة نسبة الإشارة إلى الضوضاء (*S/N*)
فيما يتعلق بالنظام A – قناة غوسية



2.10 معدل BER بدلالة *S/N* (بنسبة تبلغ 1,5 MHz) في قناة رايلي محاكاة في بيئة حضرية

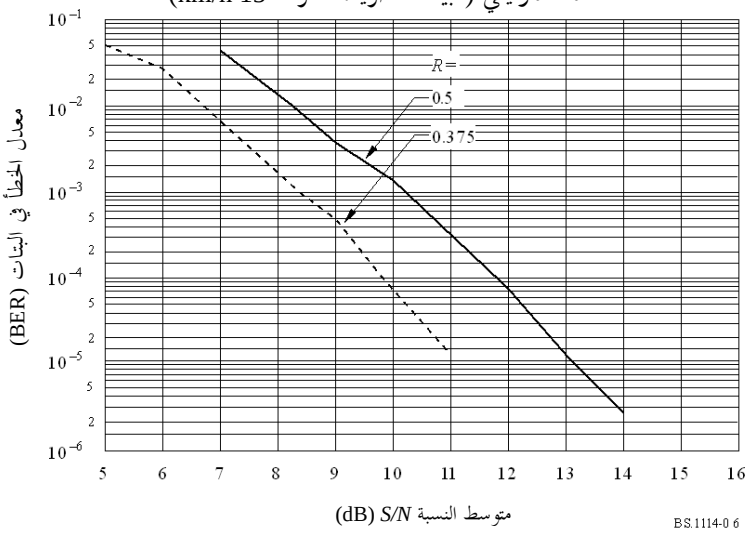
أجريت قياسات المعدل BER بدلالة *S/N* على قنوات البيانات بواسطة محاكي قناة الخبو. وتقابل حالات المحاكاة الخاصة بقناة رايلي الشكل 6 في الوثيقة Cost 207 (منطقة ريفية نموذجية 0-0,05 µs) وتبلغ سرعة تنقل المستقبل 15 km/h.

النتائج موضحة في الشكل 6.

الشكل 6

معدل الخطأ في البتات بدلالة نسبة الإشارة إلى الضوضاء (*S/N*)
فيما يتعلق بالنظام A (أسلوب الإرسال I، التردد 226 MHz)

محاكاة قناة رايلي (البيئة الحضرية، السرعة 15 km/h)

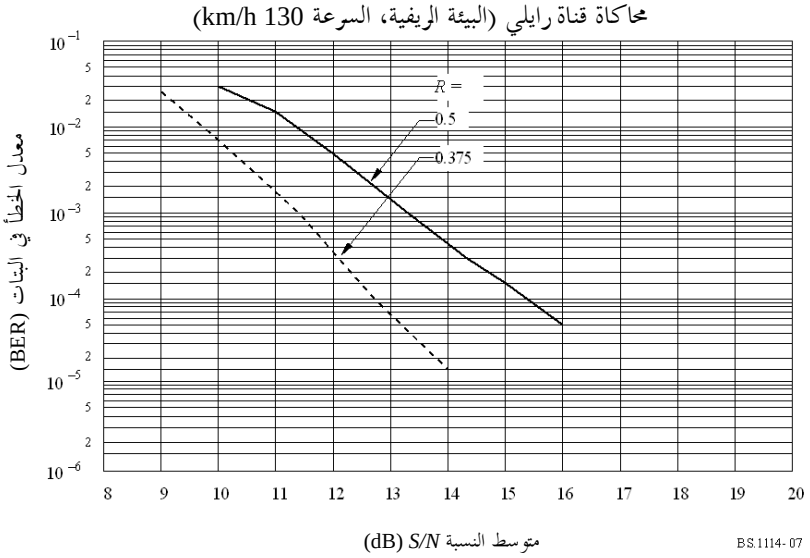


3.10 معدل الخطأ في البتات بدلالة النسبة *S/N* (قدره 1,5 MHz) في قناة رايلي محاكاة في بيئة ريفية

أجريت قياسات المعدل BER بدلالة النسبة *S/N* على قنوات البيانات بواسطة محاكي قناة الخبو. تقابل حالات المحاكاة الخاصة بقناة رايلي الشكل 6 في الوثيقة Cost 207 (منطقة ريفية غير جبلية، 0-5 µs) وتبلغ سرعة تنقل المستقبل 130 km/h. والنتائج موضحة في الشكل 7.

الشكل 7

معدل الخطأ في البتات (BER) مقابل نسبة الإشارة إلى الضوضاء (*S/N*)
فيما يتعلق بالنظام A (أسلوب الإرسال I، التردد 226 MHz)



الملحق 3

النظام الرقمي F

1 مقدمة

صمم النظام الرقمي F (النظام F)، المعروف أيضاً بالنظام ISDB-T_{SB}، ليؤمن صوتاً عاليَ الجودة وإذاعة بيانات باعتمادية كبيرة حتى في حالة الاستقبال المتنقل. كما صمم النظام F لتوفير المرونة وإمكانية التوسع ويتوافق إلى حد بعيد مع إذاعة الوسائط المتعددة التي تستخدم شبكات الأرض ويتطابق مع متطلبات النظام التي تنص عليها التوصية ITU-R BS.774.

والنظام F نظام متين يستخدم التشكيل OFDM والتشذير الثنائي للزمن والتردد والشفرات المتسلسلة لتصحيح الخطأ. ويسمى التشكيل OFDM الذي يستعمله النظام F إرسالاً متقطع النطاق (BST)-OFDM. وهناك نقاط مشتركة بين النظام F والنظام ISDB-T الخاص بالإذاعة الرقمية التلفزيونية للأرض في الطبقة المادية. ويبلغ عرض نطاق فدرة التشكيل OFDM، المسمّاة قطعة OFDM، زهاء 500 kHz. ويتألف النظام F من قطعة واحدة أو ثلاث قطع من قطع OFDM وبالتالي يبلغ عرض نطاق النظام زهاء 500 kHz أو 1,5 MHz.

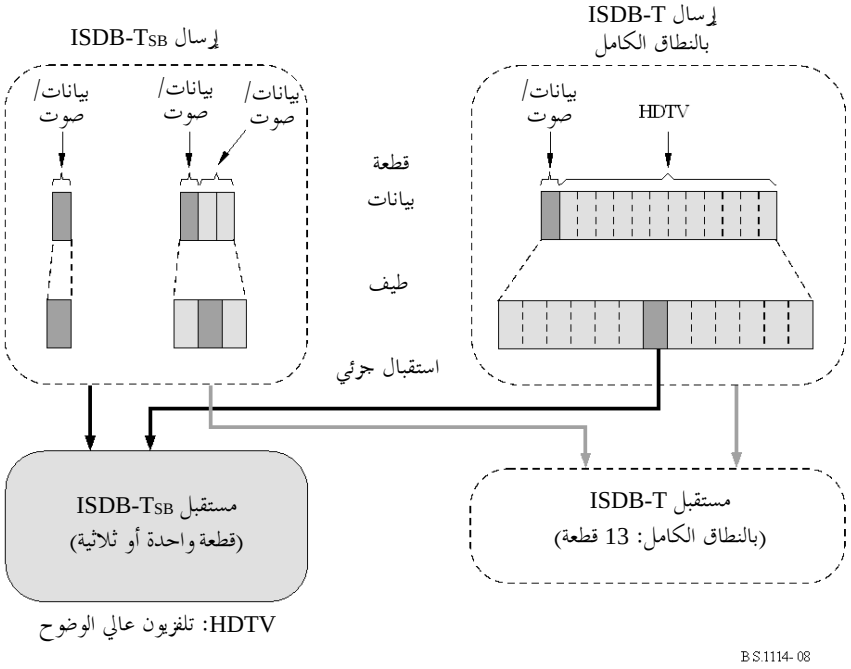
ومعلمات الإرسال في النظام F واسعة التنوع مثل خطة تشكيل الموجة الحاملة ومعدلات تشفير شفرة تصحيح الخطأ الداخلية وطول مدة التشذير وتخصص بعض الموجات الحاملة للتحكم في الحمالات التي تنقل معلومات عن معلمات الإرسال، وتسمى هذه الموجات الحاملة المخصصة للتحكم بالموجات الحاملة (TMCC).

والنظام F قادر على استخدام طرائق تشفير سمعي عالي الانضغاط مثل طريقة الطبقة II للأسلوب MPEG-2 والطريقة AC-3 والطريقة AAC للأسلوب MPEG-2. كما أنه يستخدم الأنظمة MPEG-2. ولدية أيضاً نقاط مشتركة وقابلية للتشغيل مع أنظمة عديدة أخرى تستخدم الأنظمة MPEG-2 مثل الأنظمة ISDB-S وISDB-T وDVB-S وDVB-T.

ويبين الشكل 8 مفهوم الإرسال ISDB-T_{SB} (بالنطاق الجانبي) وISDB-T بالنطاق الكامل والاستقبال الموازي.

الشكل 8

مفهوم الإرسال ISDB-T_{SB} وISDB-T بالنطاق الكامل والاستقبال الموازي



2 خصائص النظام F

1.2 متانة النظام F

يستخدم النظام F التشكيل OFDM والتشذير الثنائي للزمن والتردد والشفرات المتسلسلة لتصحيح الخطأ. والتشكيل OFDM طريقة تشكيل بموجات حاملة متعددة لا تتأثر بتعدد المسارات، وتضيف خصوصاً فاصل حراسة إلى مجال الزمن. وتشغل المعلومات المرسلة مجالي التردد والزمن من خلال التشذير ويتم تصحيحها في مفكك التشفير فيتربي (Viterbi) وريدسولومون (RS). وبناءً على ذلك يتم الحصول على إشارة عالية الجودة في المستقبل حتى في الظروف الصعبة للانتشار متعدد المسارات سواء أكان ثابتاً أم متنقلاً.

2.2 التنوع الكبير في أساليب الإرسال

يعتمد النظام F التشكيل BST-OFDM، ويتكون من إحدى القطع الثلاث OFDM وهو إرسال بقطعة واحدة وقطعة ثلاثية. ويتحدد عرض نطاق قطعة OFDM في إحدى الطرائق الثلاث تبعاً لحجم القناة المرجعية 6 أو 7 أو 8 MHz. وعرض النطاق هو جزء من أربعة عشر جزءاً من عرض نطاق القناة المرجعية (6 أو 7 أو 8 MHz) أي 429 kHz (MHz 6/14) أو 500 kHz (MHz 7/14) أو 571 kHz (MHz 8/14). وينبغي انتقاء عرض نطاق القطعة OFDM وفقاً لحالة التردد في كل بلد.

وعرض نطاق القطعة الواحدة هو 500 kHz تقريباً، ولذلك يكون عرض نطاق الإرسال بقطعة واحدة والإرسال بثلاث قطع 500 kHz و1,5 MHz تقريباً.

والنظام F له ثلاثة أساليب إرسال أخرى تتيح استعمال مدى واسع من ترددات الإرسال، وأربعة أطوال لفواصل الحراسة من أجل تعيين المسافة بين مرسلات الشبكات وحيدة التردد (SFN). وقد تحددت أساليب الإرسال هذه من أجل معالجة التحديد الدوبلري وتمديد وقت الانتشار في الاستقبال المتنقل بوجود الصدى في المسارات المتعددة.

3.2 المرونة

يمثل النظام F لتعدد الإرسال، امتثالاً كاملاً لمعمارية الأنظمة MPEG-2. ولذا يمكن إرسال محتويات رقمية متنوعة مثل الصوت والنص والصور الثابتة والبيانات بالتآون.

وعلاوة على ذلك، تستطيع الهيئات الإذاعية وفقاً لأغراضها أن تختار طريقة تشكيل الموجة الحاملة ومعدل تشفير تصحيح الأخطاء وطول تشذير الوقت وغيرها في النظام. فهناك أربعة أنواع من طرق تشكيل الموجة الحاملة هي: DQPSK وQPSK و16-QAM و64-QAM، وخمسة أنواع من معدلات التشفير هي 1/2 و2/3 و3/4 و5/6 و7/8، وخمسة أطوال لتشذير الوقت من 0 إلى ثانية واحدة تقريباً. وترسل الموجة الحاملة TMCC المعلومات إلى المستقبِل الذي يدل على جودة طريقة التشكيل ومعدل التشفير المستخدمين في النظام.

4.2 النقاط المشتركة وقابلية التشغيل البيني

يستخدم النظام F التشكيل BST-OFDM والأنظمة MPEG-2. ولذا لديه نقاط مشتركة مع النظام ISDB-T للإذاعة التلفزيونية الرقمية للأرض (DTTB) في الطبقة المادية، وكذلك مع أنظمة مثل الأنظمة ISDB-T وISDB-S وDVB-T وDVB-S التي تستخدم الأنظمة MPEG-2 في طبقة النقل.

5.2 فعالية الإرسال وتشفير المصدر

يستخدم النظام F طريقة التشكيل عالية الفعالية في استعمال الطيف للتشكيل OFDM. كما يسمح لشبكات الإذاعة بإعادة استعمال التردد بأن تتوسع باستعمال مرسلات إضافية تعمل جميعها في نفس التردد المشع.

وإضافةً إلى ذلك، تستطيع قنوات هيئات الإذاعة المستقلة أن ترسل سوية دون نطاقات حراسة من نفس المرسل طالما لم يتغير التردد وتزامن البتات بين القنوات.

والنظام F قادر على استخدام التحكم MPEG-2 AAC. ويمكن تحقيق جودة تقارب جودة القرص المتراص باعتماد معدل بتات قدره 144 kbit/s من أجل التجسيم.

6.2 استقلالية هيئات الإذاعة

النظام F نظام بالنطاق الضيق لإرسال برنامج صوتي واحد على الأقل. وبالتالي يمكن لهيئات الإذاعة أن يكون لها قناة تردد خاصة بها تمكنها من انتقاء معلمات إرسالها بشكل مستقل.

7.2 الاستهلاك الضئيل للطاقة

بالإمكان جعل جميع الأجهزة تقريباً صغيرة وخفيفة الوزن من خلال تطوير الدارات المدمجة على نطاق واسع (LSI). ومن أهم الجهود المبذولة لتقليص حجم البطاريات هو ضرورة خفض استهلاك الجهاز للطاقة. وكلما تباطأت ميقاتية النظام كلما تضاءل استهلاك الطاقة. وبالتالي يمكن للنظام بالنطاق الضيق والمعدل المنخفض مثل إرسال بقطعة واحدة أن يتيح للمستقبل إمكانية أن يكون محمولاً وخفيفاً.

8.2 الإرسال التراتبي والاستقبال الجزئي

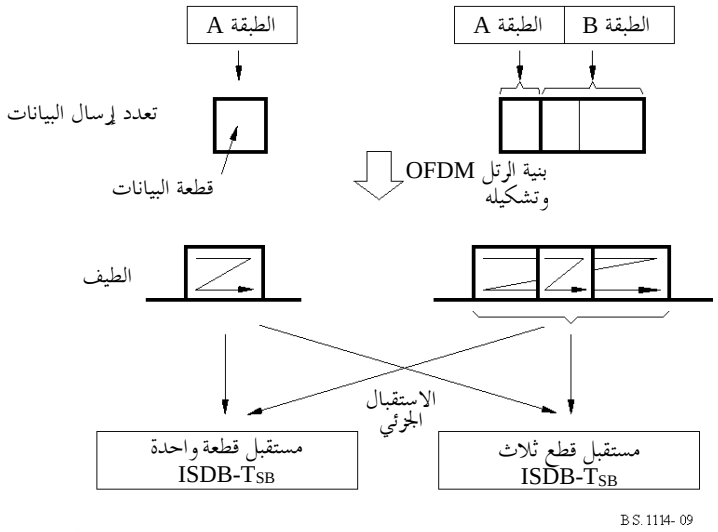
يجوز في الإرسال بالقطع الثلاث إنجاز إرسال الطبقة الواحدة والإرسال التراتبي، وثمة طبقتان A وB في الإرسال التراتبي. ويمكن تغيير معلمات إرسال خطة تشكيل الموجات الحاملة ومعدلات تشفير الشفرة الداخلية وطول تشذير الزمن في الطبقات المختلفة.

ويمكن استقبال القطعة المركزية للإرسال التراتبي في مستقبل القطعة الواحدة. ويستطيع مستقبل القطعة الواحدة بفضل البنية المشتركة OFDM أن يستقبل جزئياً قطعة مركزية للإشارة ISDB-T بالنطاق الكامل كلما أرسل برنامج مستقل في قطعة مركزية.

ويبين الشكل 9 مثالاً للإرسال التراتبي والاستقبال الجزئي.

الشكل 9

مثال لمخطط إرسال تراتبي واستقبال جزئي



3 معلمات الإرسال

يمكن تعيين ترتيب قنوات بالتردد 6 MHz أو 7 MHz أو 8 MHz في النظام F. ويعرَّف عرض نطاق القطعة بأنه جزء من أربعة عشر جزءاً من عرض نطاق القناة، وهنالك 429 kHz (6/14 MHz) أو 500 kHz (7/14 MHz) أو 571 kHz (8/14 MHz) لكن ينبغي انتقاء عرض نطاق القطعة تبعاً لحالة التردد في كل بلد.

وترد معلمات الإرسال للنظام ISDB-T_{SB} في الجدول 5.

الجدول 5

معلمات الإرسال في النظام ISDB-T_{SB}

الأسلوب		الأسلوب 1	الأسلوب 2	الأسلوب 3
عدد القطع الإجمالي[1] ($n_c + n_d = N_s$)		1، 3		
ترتيب القنوات المرجعي (BWf) (MHz)		6، 7، 8		
عرض نطاق القطعة (BWs) (kHz)		$BWf \times 1\,000/14$		
عرض النطاق المستعمل (BWu) (kHz)		$BWs \times N_s + C_s$		
عدد القطع للتشكيل التفاضلي		n_d		
عدد القطع للتشكيل المنسجم		n_c		
تباعد الموجات الحاملة (C_s) (kHz)		$BWs/108$	$BWs/216$	$BWs/432$
عدد الموجات الحاملة	المجموع	$108 \times N_s + 1$	$216 \times N_s + 1$	$432 \times N_s + 1$
	البيانات	$96 \times N_s$	$192 \times N_s$	$384 \times N_s$
	[2]SP	$9 \times n_c$	$18 \times n_c$	$36 \times n_c$
	[2]CP	$n_d + 1$	$n_d + 1$	$n_d + 1$
	[3]TMCC	$n_c + 5 \times n_d$	$2 \times n_c + 10 \times n_d$	$4 \times n_c + 20 \times n_d$
	[4]AC1	$2 \times N_s$	$4 + N_s$	$8 \times N_s$
	[4]AC2	$4 \times n_d$	$9 \times n_d$	$19 \times n_d$
تشكيل الموجة الحاملة		DQPSK، QPSK، 16-QAM، 64-QAM		
عدد الشفرات في الإطار الواحد		204		
مدة الرمز النافع (T_u) (µs)		$1\,000/C_s$		
مدة فاصل الحراسة (T_g)		1/4 أو 1/8 أو 1/16 أو 1/32 من T_u		
مدة الرمز الإجمالية (T_s)		$T_u + T_g$		
مدة الإطار (T_f)		$T_s \times 204$		
عينات المتحولة FFT (F_s)		256 ($N_s = 1$) 512 ($N_s = 3$)	512 ($N_s = 1$) 1024 ($N_s = 3$)	1024 ($N_s = 1$) 2048 ($N_s = 3$)
ميقاتية عينة المتحولة FFT (F_{sc}) (MHz)		$F_{sc} = F_s/T_u$		
شفرة داخلية		شفرة تلافيفية (معدل الشفرة = 1/2، 2/3، 3/4، 5/6، 7/8) (الشفرة الأم = 1/2)		
شفرة خارجية		شفرةRS (204,188)		
معلمة تشذير الزمن (I)		0، 4، 8، 16، 32	0، 2، 4، 8، 16	0، 1، 2، 4، 8
طول تشذير الزمن		$I \times 95 \times T_s$		

FFT: متحولة فوريه (Fourier) السريعة

(1) يستخدم النظام F الإرسال بالقطعة الواحدة أو بالقطع الثلاث في الخدمات الصوتية بينما يجوز استعمال أي عدد من القطع في الخدمات الأخرى كالخدمات التلفزيونية مثلاً. (مقارنة بالنظام C الوارد في التوصية ITU-R BT.1306).

(2) تستخدم الموجات SP (الموجات الدليلة المتقطعة) وCP (الموجات الدليلة المتصلة) في تزامن الترددات وتقدير القنوات. ويشمل عدد الموجات CP على عددها في جميع القطع وموجة CP واحدة للمسافة العليا لمحمل عرض النطاق.

(3) يتضمن التحكم TMCC معلومات عن معلمات الإرسال.

(4) تتضمن القناة AC (القناة المساعدة) معلومات مساعدة عن تشغيل الشبكة.

4 تشفير المصدر

تطابق بنية تعدد إرسال النظام F تماماً معمارية الأنظمة MPEG-2، وبالتالي يمكن إرسال رزم تدفّق نقل MPEG-2 (TSP) التي تحتوي على إشارات سمعية رقمية مضغوطة. كما يمكن للنظام F أن يستخدم طرائق الانضغاط السمعي الرقمي مثل طريقة الطبقة II السمعية للنظام MPEG-2 المحددة في المعيار ISO/IEC 13818-3 والطريقة AC-3 (معيار الانضغاط السمعي الرقمي المحدد في الوثيقة ATSC A/52) والطريقة MPEG-2 AAC المحددة في المعيار ISO/IEC 13818-7.

5 تعدد الإرسال

تعدد الإرسال في النظام F متطابق مع النظام MPEG-2 TS ISO/IEC 13818-1. وعلاوة على ذلك تتحدد أطر تعدد الإرسال وواصفات التحكم TMCC للإرسال التراتبي بالقطعة الواحدة.

وفيما يتعلق بالتشغيل البيني الأقصى بين عدد من أنظمة الإذاعة الرقمية مثل النظام ISDB-S موضوع التوصية ITU-R BO.1408 وISDB-T موضوع التوصية ITU-R BT.1306 (النظام C) ونظام خدمة الإذاعة الساتلية (صوت) العاملة في النطاق 2,6 GHz والواردة في التوصية ITU-R BO.1130 (النظام E). فإن هذه الأنظمة قادرة على تبادل تدفّقات بيانات الإذاعة مع الأنظمة الإذاعية الأخرى من خلال هذا السطح البيني.

1.5 إطار تعدد الإرسال

يحدد النظام ISDB-T_{SB}، بهدف تحقيق إرسال تراتبي يستخدم النظام BST-OFDM، إطاراً متعدد الإرسال لتدفّقات النقل ضمن نطاق تطبيق الأنظمة MPEG-2. وتدفّق النقل في إطار تعدد الإرسال هو تدفّق مستمر لرزم تدفّقات نقل ريدسولومون (RS-TSP) من 204 أثمونات مكونة من رزم RS-TSP قدرها 188 أثموناً و16 أثموناً من البيانات المعدومة أو التعادلية RS.

ويتم تكييف مدة الإطار متعدد الإرسال مع الإطار OFDM من خلال عدّ الرزم RS-TSP التي تستخدم ميقاتية تبلغ سرعتها ضعف سرعة ميقاتية اعتيان المتحولة FFT العكسية (IFFT) في حالة الإرسال وحيد القطعة. أما في حالة الإرسال ثلاثي القطع فتتكيف مدة الإطار متعدد الإرسال مع مدة الإطار OFDM من خلال عدّ الرزم RS-TSP التي تستخدم ميقاتية أسرع من ميقاتية اعتيان المتحولة IFFT بأربعة أضعاف.

6 تشفير القناة

يصف هذا القسم فدرة تشفير القناة التي تستقبل الرزم المرتبة في الأطر متعددة الإرسال وتنقل فدر القناة المشفرة إلى فدرة التشكيل OFDM.

1.6 المخطط الإجمالي الوظيفي لتشفير القناة

يبين الشكل 10 المخطط الإجمالي الوظيفي لتشفير القناة في النظام ISDB-T_{SB}.

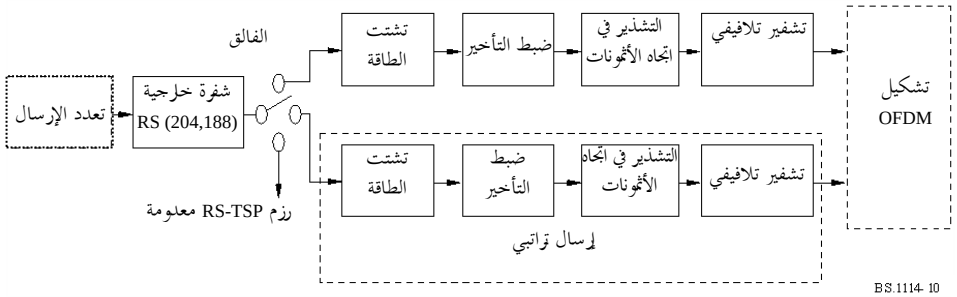
وتتوافق مدة الإطار المتعدد مع الإطار OFDM من خلال عدّ أثمونات الإطار متعدد الإرسال باستخدام ميقاتية أسرع من معدل اعتيان المتحولة IFFT كما ورد في الفقرة السابقة.

ويعتبر أثمون رأسية الإطار متعدد الإرسال (ويعادل أثمون تزامن الرزم TSP) في السطح البيني الواقع بين فدرة الإرسال المتعدد وفدرة التشفير الخارجي، بمثابة أثمون رأسية الإطار OFDM. وتعتبر البتة الأكثر دلالة لأثمون الرأسية، في وصف البتات، بتة تزامن الإطار OFDM.

وفيما يتعلق بإرسال الطبقات ثلاثي القطع يقسم التدفّق RS-TSP إلى طبقتين حسب معلومات التحكم في الإرسال. ويمكن تحديد معدل تشفير تصحيح الخطأ الداخلي ونظام تشكيل الموجة الحاملة وطول التشذير الزمني كل على حدة.

الشكل 10

مخطط تشفير القناة



2.6 التشفير الخارجي

تطبق الشفرة القصيرة RS (204,188) على كل من الرزم MPEG-2 TSP من أجل توليد رزمة TSP محمية من الأخطاء هي RS-TSP. والشفرة RS (208,188) قادرة على تصحيح عدد من الأثمونات الخاطئة العشوائية يصل إلى ثمانية في كلمة من 204 أثموناً.

ومتعدد الحدود التوليدي للمجال هو: $p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$

ومتعدد الحدود التوليدي للشفرة هو: $g(x) = (x - \lambda^0)(x - \lambda^1)(x - \lambda^2)(x - \lambda^3) \cdots (x - \lambda^{15})$

حيث $\lambda = 02_h$

ومن الجدير بالذكر أن الرزم TSP المعدومة الآتية من معدد الإرسال مشفرة أيضاً في رزم RS (204,188).

وتظهر الرزم MPEG-2 TSP وRS-TSP (الرزم TSP المحمية من أخطاء الشفرة RS) في الشكل 11. وتعرف الرزم TSP المحمية من الأخطاء RS أيضاً باسم الرزم TSP للإرسال.

الشكل 11

الرزم MPEG-2 TSP وRS-TSP (رزم TSP للإرسال)

بيانات نقل متعددة الإرسال MPEG-2 187 أثموناً	أثمون واحد للتوامن

أ) MPEG-2 TSP

16 أثمونًا تعاديًا	بيانات نقل متعددة الإرسال MPEG-2 187 أثمونًا	أثمون واحد للتوامن

ب) الرزم RS-TSP (رزم TSP للإرسال)، رزم TSP المحمية من الأخطاء RS (204، 188)

BS.1114-11

3.6 تشتت الطاقة

حرصاً على ضمان انتقالات اثنينية ملائمة يُعمل على جعل البيانات الواردة من الفالق عشوائية باستعمال تتابع بتات شبه عشوائي (PRBS).

ويكون متعدد الحدود الخاص بتوليد التتابع (PRBS) كالتالي:

$$g(x) = x^{15} + x^{14} + 1$$

4.6 ضبط التأخير

يختلف التأخير الناتج عن عملية تشذير الأثمونات من تدفّق إلى آخر في الطبقات المختلفة تبعاً لخصائص التدفّق (مثل التشكيل وتشفير القناة) ومن أجل التعويض عن فرق التأخير بما فيه إزالة التشذير في المستقبِل، يتم ضبط التأخير قبل تشذير الأثمونات في جهة الإرسال.

5.6 تشذير الأثمونات (التشذير بين الشفرات)

يطبق تشذير الأثمونات التلافيفي بالطول $I = 12$ على الرزم العشوائية والمحمية من الخطأ والمكونة من 204 أثموناً. وقد يتألف التشذير من $I = 12$ فرعاً موصلة دورياً بتدفّق أثمونات داخلة من خلال بدَّالة الدخل. ويكون كل فرع في سجل j يخالف من نمط الخدمة حسب ترتيب الوصول (FIFO) مع الطول $j \times 17$ أثموناً. وتضم خلايا النمط FIFO أثموناً واحداً ويكون تبديل الدخول والخروج متزامناً.

وإزالة التشذير مماثلة مبدئياً للتشذير بفارق أن أدلة الفروع محجوزة. ويبلغ التأخير الكلي الناتج عن التشذير وإزالة التشذير $17 \times 11 \times 12$ أثموناً (يعادل 11 رزمة TSP).

6.6 تشفير داخلي (شفرات تلافيفية)

يسمح النظام F بمدى من الشفرات التلافيفية المتقطعة القائمة على شفرة تلافيفية أولية بمعدل 1/2 مع 64 حالة. ومعدلات تشفير الشفرات هي 1/2 و2/3 و3/4 و5/6 و7/8. مما يتيح انتقاء الخواص الأكثر ملاءمة لتصحيح الخطأ في خدمة معينة أو معدل البيانات في خدمات الإرسال ISDB-T_{SB} ومنها الخدمات المتنقلة. ومتعددان الحدود المولدان للشفرة الأولية هما $G_1 = 171$ أثموناً للخرج X و$G_2 = 133_{oct}$ أثموناً للخرج Y.

7 التشكيل

تظهر تشكيلة فدرة التشكيل في الشكلين 12 و13. وبعد تشذير البتات تتم جدولة بيانات كل طبقة في المجال المركب.

1.7 ضبط التأخير في تشذير البتات

يسفر تشذير البتات عن تأخير 120 وحدة بيانات مركبة $(I + jQ)$ كما سيرد في الفقرة التالية. ويضبط التأخير الكلي في المرسل والمستقبِل بمقدار يساوي رمزي تشكيل OFDM وذلك بإضافة التأخير المناسب.

2.7 تشذير وجدولة البتات

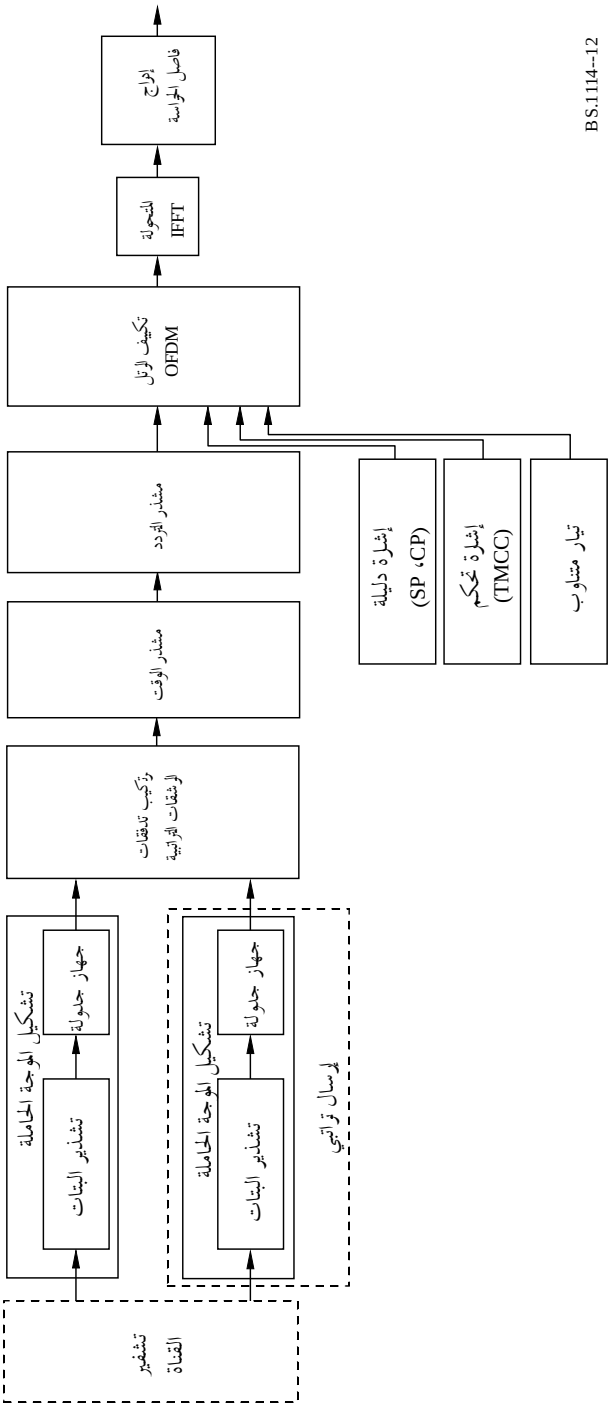
يمكن لأغراض هذا النظام انتقاء أحد أنظمة تشكيل الموجة الحاملة بين الأنظمة DQPSK وQPSK و16-QAM و64-QAM. ويتحول تتابع البتات التسلسلي عند خرج الشفرة الداخلية إلى تتابع متوازٍ ببتتين لكي تخضع لجدول التشكيل DQPSK بتخالف $\pi/4$ أو جدولة التشكيل QPSK التي تعطي عدد n من بتات بيانات المحور I والمحور Q. وقد يتوقف العدد n على التطبيق، ففي حالة التشكيل 16-QAM يتحول التتابع إلى تتابع متواز بأربع بتات. وفي حالة التشكيل 64-QAM يتحول إلى تتابع متواز بست بتات. وبعد التحول من التسلسلي إلى المتوازي يتم تشذير البتات عن طريق إدراج تأخير قدره 120 بتة كحد أقصى.

3.7 قطعة البيانات

تتحدد قطعة البيانات بأنها جدول عناوين للبيانات المركبة التي تنفذ عليها عمليات تحويل المعدل وتشذير الوقت وتشذير التردد. وتقابل قطعة البيانات جزء بيانات القطعة OFDM.

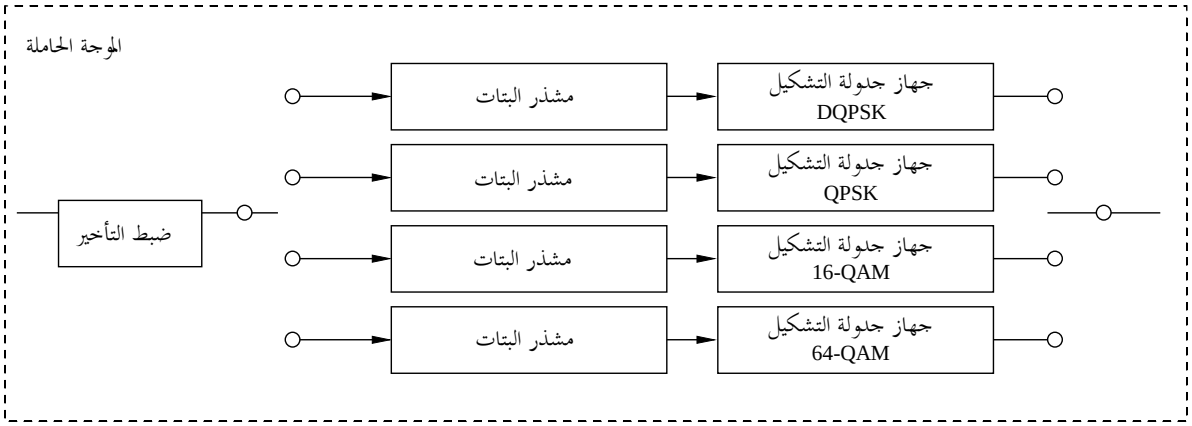
الشكل 12

مخطط فدرات للتشكيل



الشكل 13

تشكيل فدرات الموجة الحاملة



BS.1114-13

4.7 تركيب تدفّقات بيانات الطبقات

تدرج البيانات المركبة لكل قناة بعد تشفيرها لأغراض القناة وجدولتها في قطع البيانات المعينة مسبقاً عند كل رمز.

وتقرأ البيانات المخزنة في جميع قطع البيانات دورياً مع ميقاتية اعتيان المتحولة IFFT؛ ثم يتم تحول المعدل وتركيب تدفّقات بيانات الطبقات.

5.7 تشذير الوقت

يتم تشذير وقت الشفرات بعد عملية التركيب. ويتراوح طول تشذير الوقت بين 0 وثانية واحدة تقريباً ويكون محدداً لكل طبقة.

6.7 تشذير التردد

يكمن تشذير التردد في تشذير التردد بين القطع ودوران الموجات الحاملة داخل القطع وعشوائية الموجات الحاملة داخل القطع. ويؤخذ تشذير التردد بين القطع من بين القطع ذات نظام التشكيل الواحد. ولا يمكن إجراء تشذير التردد بين القطع إلا في الإرسال ثلاثي القطع. وبعد دوران الموجة الحاملة تتم عشوائية الموجات الحاملة حسب جدول العشوائية.

7.7 بنية إطار القطعة OFDM

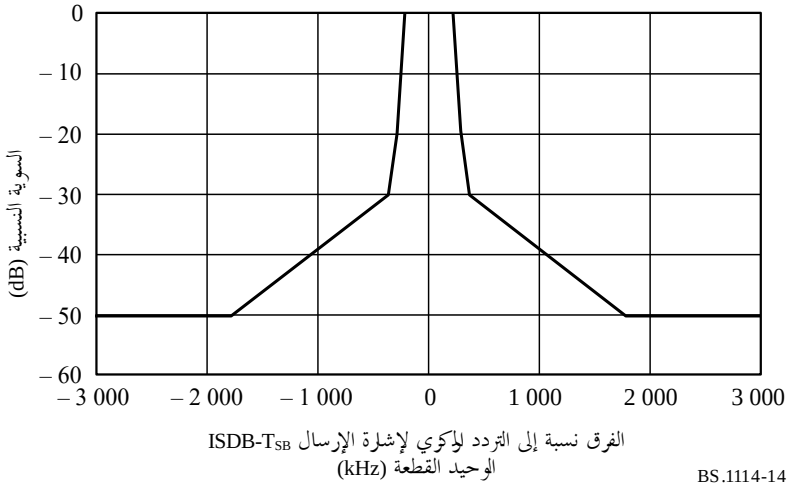
تنتظم قطع البيانات داخل إطار قطعة OFDM بعد كل 204 رمزاً بإضافة إشارات دليلة مثل CP وSP وTMCC وAC. ويتحدد تشكيل الإشارة CP عند كل رمز OFDM. وتدرج الإشارة SP بعد كل 12 موجة حاملة وبعد كل 4 شفرات OFDM في حالة طريقة التشكيل المتسقة. وتحتوي الموجة الحاملة TMCC على معلمات إرسال مثل تشكيل الموجة الحاملة ومعدل التشفير وتشذير الوقت لأغراض التحكم في المستقبل. وتضم الموجة الحاملة AC المعلومات المساعدة.

8 قناع الطيف

ينبغي أن تتقيد الإشارة المشعة للإرسال وحيد القطع في نظام القطع MHz 6/14 بالقناع المحدد في الشكل 14 والجدول 6. ويمكن خفض سوية الإشارة في الترددات خارج عرض النطاق kHz 429 (MHz 6/14) من خلال الترشيح المناسب.

الشكل 14

قناع الطيف لإشارة الإرسال ISDB-TSB الوحيد القطعة
(عرض نطاق القطعة = 6/14 MHz)



الجدول 6

القيم الحدية لقناع الطيف الخاص بالإرسال وحيد القطع
(عرض نطاق القطعة = 6/14 MHz)

فرق التردد نسبةً إلى التردد المركزي للإشارة المرسلة (kHz)	السوية النسبية (dB)
±220	0
±290	–20
±360	–30
±1 790	–50

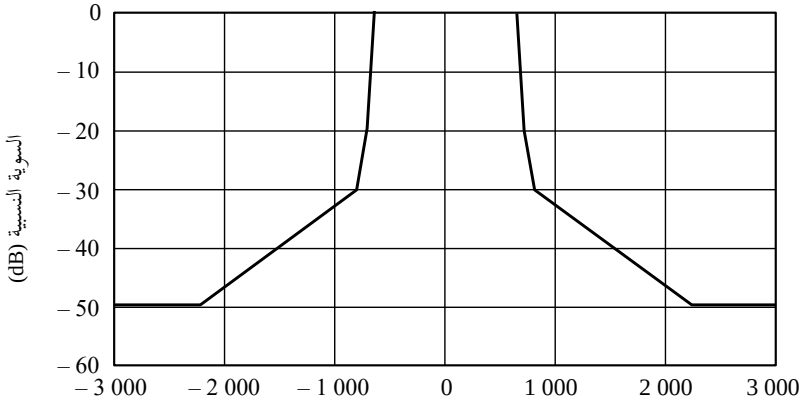
الملاحظة 1 – يقاس طيف الإشارة المشعة بواسطة محلل الطيف. وينبغي ضبط عرض نطاق استبانة محلل الطيف على القيمة 10 kHz أو 3 kHz. وفيما يتعلق بعرض النطاق الفيديوي فهو بين 300 Hz و30 kHz ويستحسن تحديد متوسط فيديوي ويضبط انحراف التردد على القيمة الدنيا المطلوبة لقياس قناع طيف الإرسال.

ويحدد الشكل 15 والجدول 7 قناع الطيف للإرسال ثلاثي القطع في نظام قطع التردد 6/14 MHz.

الملاحظة 1 – ينبغي تعديل قناع الطيف في نظامي قطع التردد 7/14 MHz و8/14 MHz وفقاً لشكل الطيف في النظام.

الشكل 15

قناع الطيف لإشارة الإرسال ISDB- TSB ثلاثي القطع
(عرض نطاق القطعة = 6/14 MHz)



الجدول 7

القيم الحدية لقناع الطيف الخاص بالإرسال ثلاثي القطع
(عرض نطاق القطعة = 6/14 MHz)

الفرق نسبةً إلى التردد المركزي للإشارة الصوتية الرقمية للأرض (kHz)	السوية النسبية (dB)
±650	0
±720	–20
±790	–30
±2 220	–50

9 خصائص أداء التردد الراديوي

أجريت اختبارات تقييم التردد الراديوي على نظام الإرسال ISDB-TSB في شروط إرسال مختلفة. وفيما يلي نتائج الاختبارات.

أجريت تجارب إرسال مجدية من أجل استنتاج أداء معدل أخطاء البتات (BER) مقابل الضوضاء العشوائية والخبو الناجم عن تعدد المسارات. وقد تمت قياسات المعدل (BER) مقابل نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء (*C/N*) في قناة الإرسال في الشروط التالية (انظر الجدول 8).

1.9 المعدل BER مقابل النسبة (*C/N*) في قناة غوسية

أضيفت ضوضاء غوسية بيضاء لكي تصبح النسبة (*C/N*) عند دخل المستقبِل. وتظهر النتائج في الأشكال 16 و17 و18. ويمكن مقارنة هذه الأشكال مع الأشكال الناتجة عن محاكاة حاسوبية بهدف بيان الأداء الحقيقي للنظام. ويمكن ملاحظة أن خسارة هامش تنفيذ تقل عن 1 dB نتجت عن معدل (BER) قدره 2×10^{-4} قبل فك التشفير ريدسولومون (RS).

الجدول 8

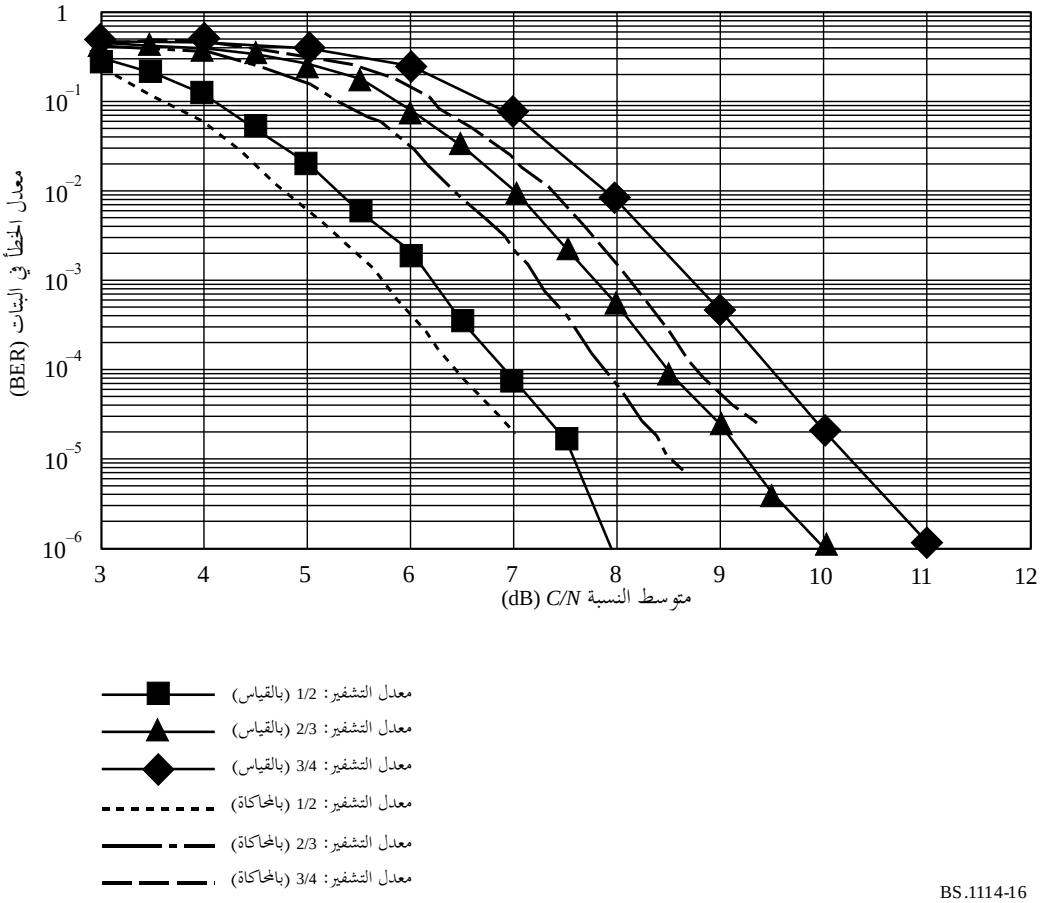
معلمات الإرسال الخاصة بالاختبارات

عدد القطع	1 (عرض النطاق: 429 kHz)
أسلوب الإرسال	3 (مدة الرمز المفيد: 1,008 ms)
عدد الموجات الحاملة	433
أنواع تشكيل الموجات الحاملة	DQPSK و16-QAM و64-QAM
فاصل الحراسة	63 µs (نسبة فاصل الحراسة: 1/16)
معدلات تشفير الشفرة الداخلية	1/2 و2/3 و3/4 و7/8
تشذير الوقت	0 و407 ms

الشكل 16

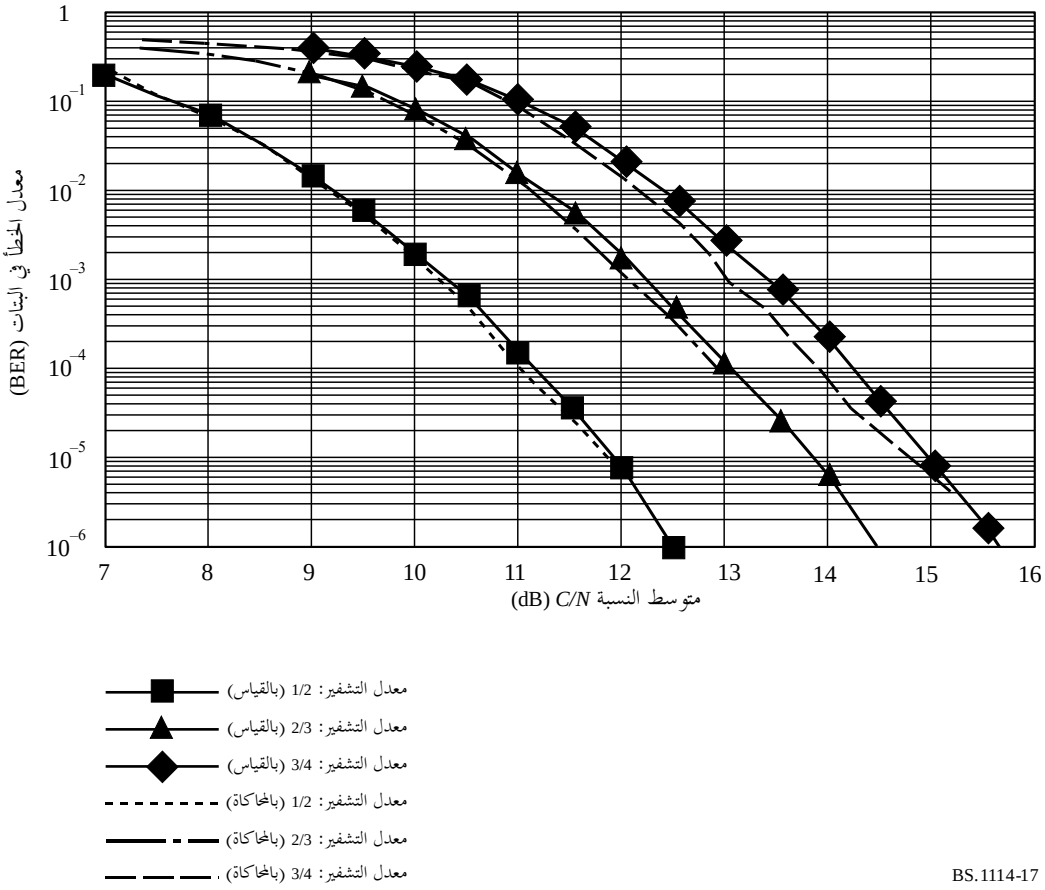
معدل الخطأ في البتات (BER) قبل فك التشفير RS مقابل النسبة *C/N*

(أسلوب الإرسال: 3، تشكيل الموجة الحاملة: DQPSK، تشذير الوقت: 407 ms): قناة غوسية



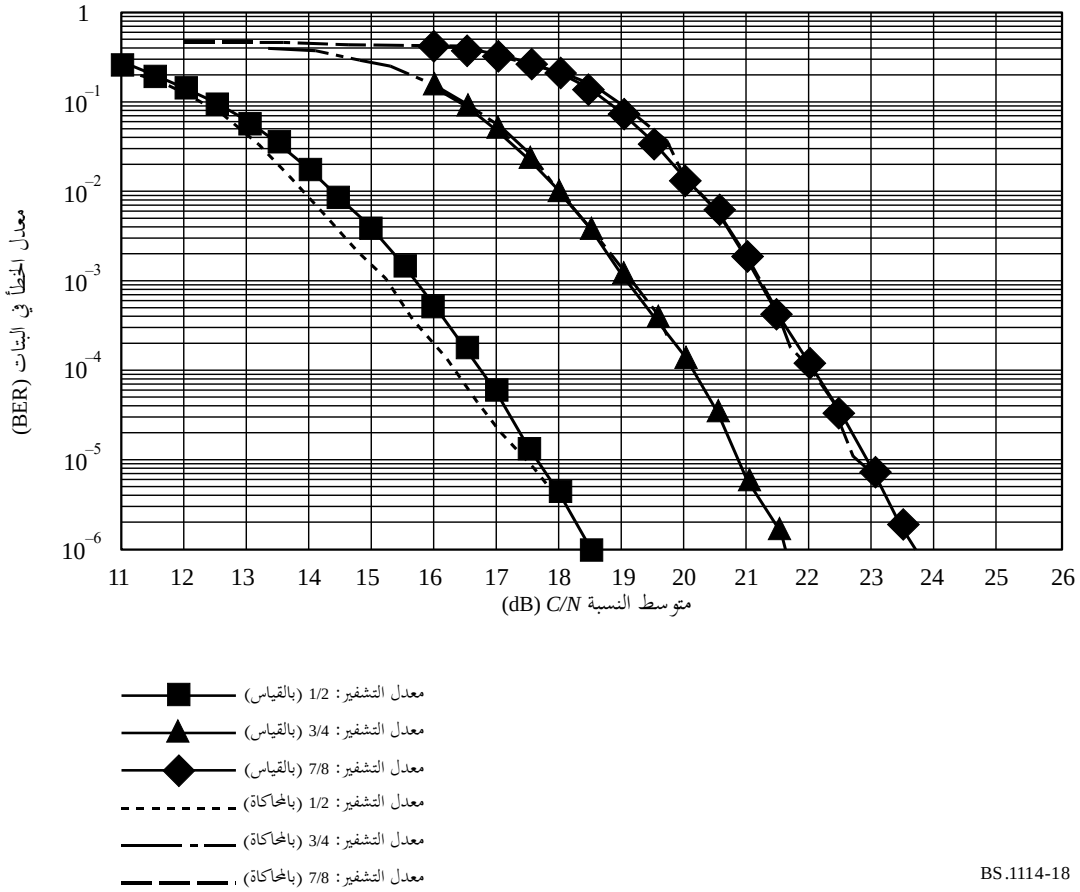
الشكل 17

معدل الخطأ في البتات (BER) مقابل النسبة *C/N* قبل فك تشفير شفرة ريدسولومون (RS)
(أسلوب الإرسال: 3، تشكيل الموجة الحاملة: 16-QAM، تشذير الوقت: 407 ms): قناة غوسية



الشكل 18

معدل الخطأ في البتات (BER) مقابل النسبة *C/N* قبل فك تشفير شفرة ريدسولومون (RS)
(أسلوب الإرسال: 3، تشكيل الموجة الحاملة: 64-QAM، تشذير الوقت: 407 ms): قناة غوسية

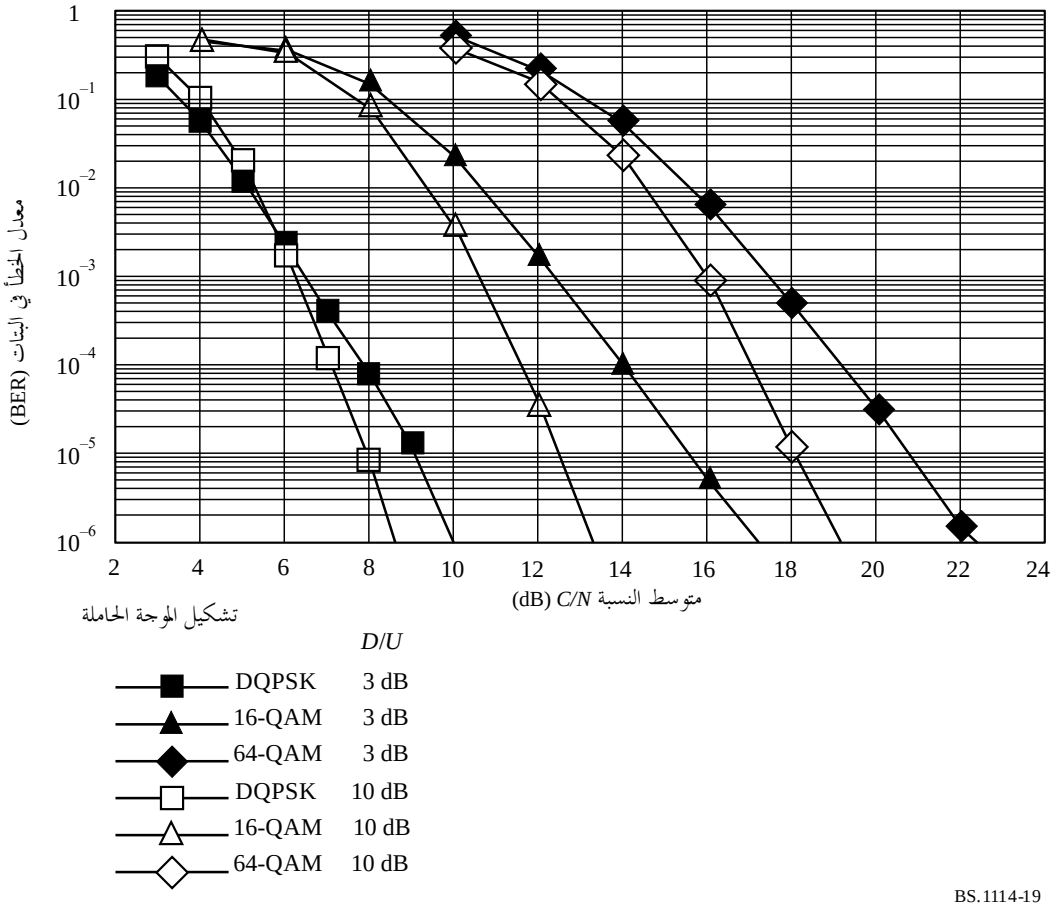


2.9 المعدل BER مقابل النسبة *C/N* في قناة متعددة المسارات

أجريت القياسات للمعدل BER مقابل النسبة *C/N* باستخدام محاكي قناة متعددة المسارات. وقد حددت نسبة سوية الإشارة المرغوبة إلى الإشارة غير المرغوبة أو نسبة سوية الإشارة المسببة للتداخل *D/U* في الإشارة الرئيسية والإشارة المتأخرة بـ 3 و10 dB. وحددت مدة تأخير الإشارة المتأخرة نسبةً إلى الإشارة الرئيسية بـ 15 µs ويبين الشكل 19 النتائج.

الشكل 19

معدل الخطأ في البتات (BER) مقابل النسبة *C/N* قبل فك تشفير شفرة ريدسولومون (RS)
(أسلوب الإرسال: 3، معدل التشفير: 1/2، تشذير الوقت: 407 ms): قناة متعددة المسارات

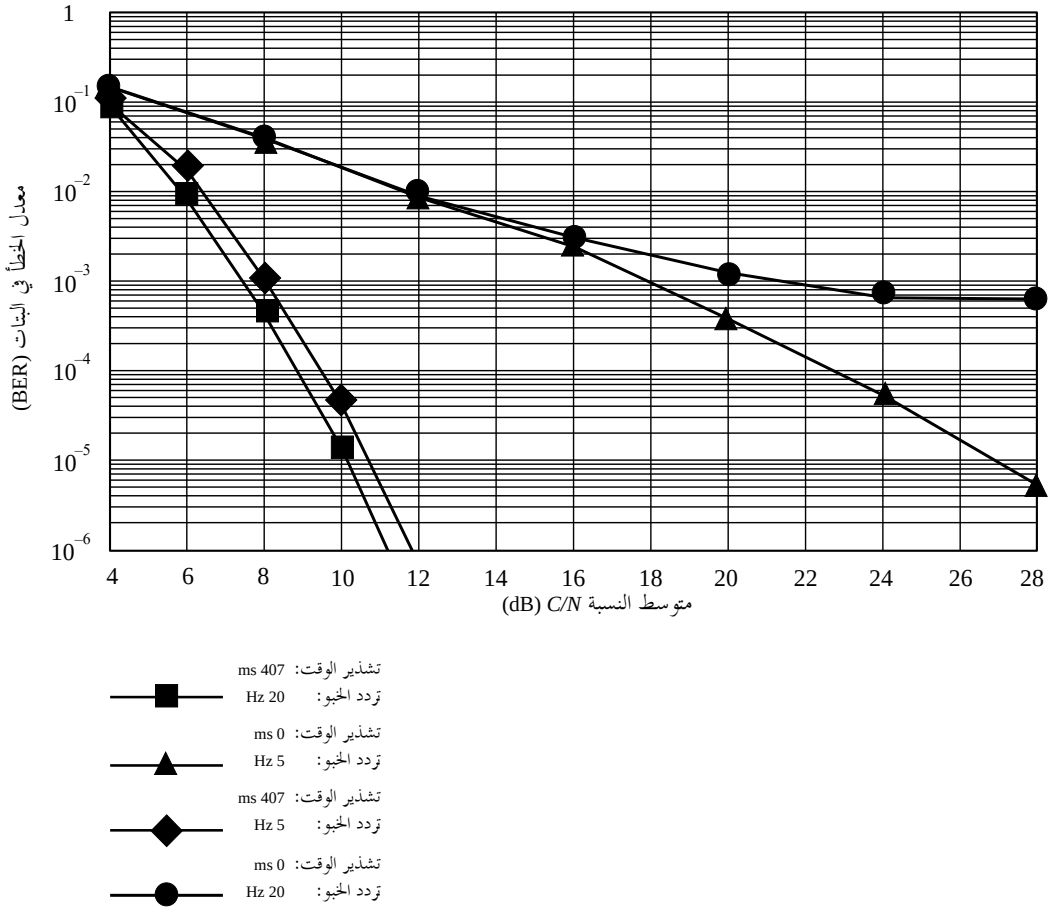


3.9 المعدل BER مقابل النسبة *C/N* في قناة رايلي

أجريت قياسات المعدل BER مقابل النسبة *C/N* باستخدام محاكي قناة تعاني من الخبو. وتحددت القناة بمساري رايلي مع خبو والنسبة *D/U* في المسارين بالقيمة 0 dB. وتحدد زمن الإشارة المتأخرة بالقيمة 15 µs. وترددات دوبلر القصوى للإشارة بـ 5 و20 Hz. ويبين الشكل 20 النتائج.

الشكل 20

معدل الخطأ في البتات (BER) مقابل النسبة *C/N* قبل فك تشفير شفرة ريدسولومون (RS)
(أسلوب الإرسال: 3، تشكيل الموجة الحاملة: DQPSK، معدل التشفير: 1/2) قناة رايلي بمسارين



الملحق 4

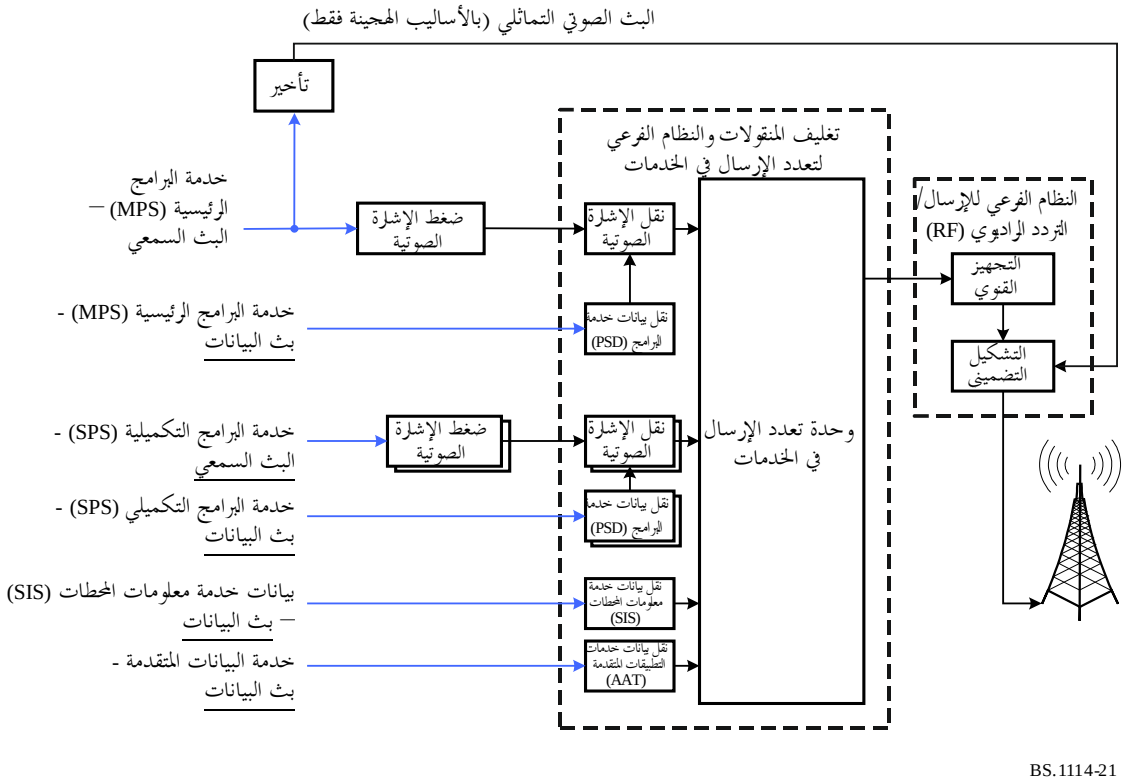
النظام الرقمي C

1 لمحة عامة عن النظام

يستخدم النظام الرقمي C التكنولوجيا IBOC من أجل تسهيل نشر الإذاعة الصوتية الرقمية (DSB). إنه يتيح للهيئات الإذاعية إمكانية تحسين خدمتها التماثلية بإضافة خدمات جديدة من الخدمات السمعية وخدمات البيانات، مهيِّئاً جودة سمعية أوضح وداعماً تعزيز قوة الإشارة السمعية. وتسمح التكنولوجيا IBOC لهيئات الإذاعة بأن تُدخل هذه التحسينات دون الحاجة إلى توزيعات طيف جديدة للإشارات الرقمية. كما أن التكنولوجيا IBOC تتيح بث المحطات القائمة لنفس البرامج تماثلياً ورقمياً. ويهيئ ذلك وسائل فعَّالة من حيث استعمال الطيف للانتقال الرشيد من البيئة التماثلية القائمة إلى بيئة رقمية قادمة. ويهيئ الشكل 21 لمحة عامة عن نظام الإذاعة IBOC.

الشكل 21

لمحة عامة عن نظام الإذاعة IBOC



يصون تطبيق تكنولوجيا IBOC البث التماثلي بتردد يقع ضمن النطاق المخصَّص الرئيسي. إنه يحفظ قدرة الإشارة التماثلية ويضيف نطاقات إشارات رقمية متدنية المستوى تجاور الإشارة التماثلية مباشرة. ويمكن أن تكون هذه الإشارات الرقمية، المجاورة مباشرة للإشارة التماثلية، على أي من جانبي الإشارة التماثلية أو على كليهما. ويمكن أن تُضبط قدرة كل من هذه الإشارات الرقمية على حدة، ما يجعل من الممكن إجراء تسويات قابلة للتنظيم بين تغطية الإشارة الرقمية وتعايشها مع الإشارات المشكَّلة التردد (FM) والسابقة الوجود بكثافة عالية إلى حدٍ ما.

ويمكن أن يقترن تشغيل الإشارات الرقمية بأسلوبين: الأسلوب "الهجين" والأسلوب "الرقمي بالكامل".

وعندما يتم إدخال وتشغيل النطاق الرقمي، أو النطاقات الرقمية المتعددة، بوجود الإشارة التماثلية السابقة الوجود والمبقى عليها تماماً، تُعتبر الإشارة الرقمية تشكيلاً هجيناً لتكنولوجيا IBOC.

أما عندما يتم إدخال النطاق الرقمي، أو النطاقات الرقمية المتعددة، ويُنهى وجود الإشارة التماثلية القائمة فإن الإشارة الرقمية تُعتبر بمثابة تشكيلة رقمية بالكامل لنظام IBOC. ولا يلزم أي تعديل في مكان النطاق الرقمي أو النطاقات الرقمية المتعددة.

ويمكن لهيئات الإذاعة أن تستخدم الأسلوب الهجين خلال نشر التكنولوجيا لإتاحة تشغيل المستقبلات العاملة بالأسلوب التماثلي فقط بينما تؤدي المستقبلات القائمة على استعمال تكنولوجيا IBOC الخدمات المعزَّزة الجديدة إلى جانب الاستقبال التماثلي القائم. وفي المستقبل، عندما يغدو السوق قادراً كل القدرة على استقبال الإشارات الرقمية، يكون بإمكان هيئات الإذاعة التبديل للانتقال إلى الأسلوب الرقمي بالكامل.

2 طبقات IBOC

مواصفات الأداء الدقيقة للتكنولوجيا IBOC منظمة استناداً إلى النموذج ذي الطبقات للتوصيل البيني للأنظمة المفتوحة الذي حددته المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (ISO OSI). ولكل طبقة توصيل OSI في النظام الإذاعي طبقة مقابلة في نظام الاستقبال تدعى الطبقة النظيرة، كما يبيَّن في الشكل 22. وتعمل وظيفة هذه الطبقات على نحو تعطي فيه النتيجة النهائية للطبقات الدنيا اتصالاً افتراضياً بين طبقة معينة ونظيرتها في الجهة المقابلة.

1.2 الطبقة 1

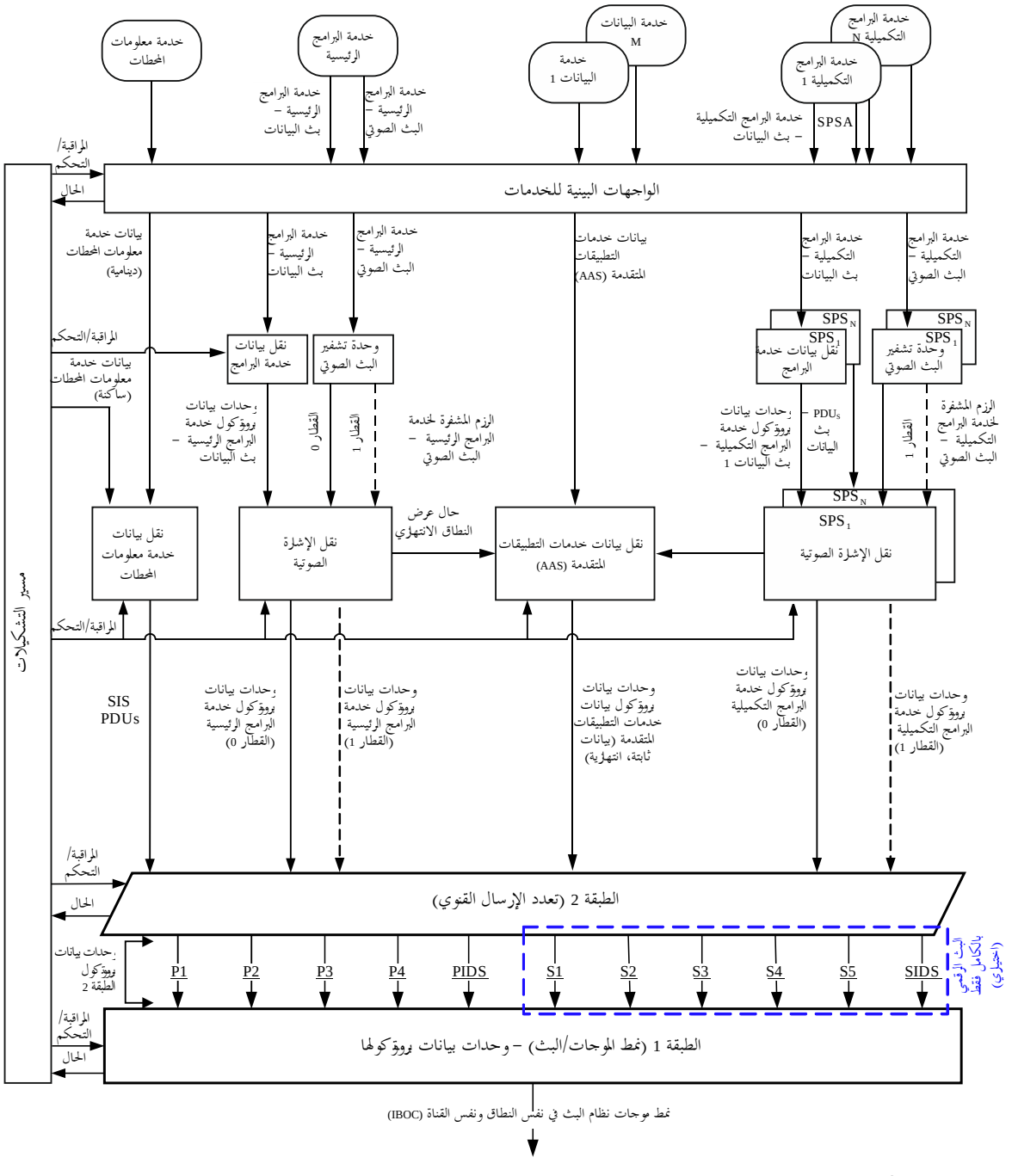
تحوِّل الطبقة 1 (L1) في النظام الرقمي C المعلومات وأوامر النظام التي تصدر عن الطبقة 2 (L2) إلى موجات IBOC من أجل إرسالها في نطاق الموجات المترية (VHF). وتنقل هذه المعلومات والأوامر في أطر نقل منفصلة بقنوات منطقية متعددة عبر نقاط نفاذ خدمة الطبقة L1 (SAP). وتسمى أطر النقل هذه أيضاً وحدات بيانات الخدمة (SDUs) ووحدات التحكم في الخدمة (SCUs) للطبقة L2، على التوالي.

وتختلف الوحدات L2 SDUs بالحجم والنسق باختلاف أسلوب الخدمة. وتحدد أسلوب الخدمة، وهو عنصر رئيسي في نظام التحكم خصائص إرسال كل قناة منطقية. وبعد تقدير متطلبات التطبيقات المرشحة تنتقي طبقات البروتوكول العليا أساليب الخدمة الأكثر ملاءمة للقنوات المنطقية. ويعكس تعدد القنوات المنطقية مرونة النظام الداخلية، مما يعطيه إمكانية إتاحة أصناف مختلفة من البيانات والإشارات السمعية الرقمية.

كما تستقبل الطبقة L1 أوامر النظام على شكل وحدات تحكم/مراقبة (SCUs) تصدر عن الطبقة L2. وتتم معالجة هذه الأوامر في المعالج الخاص بالنظام.

الشكل 22

مخطط فدري طبقي لبروتوكول نظام IBOC العامل بتشكيل التردد (FM)



2.2 أنماط الموجات والطيف

يتيح التصميم مرونة في الأخذ بنظام إذاعي رقمي من خلال توفيره نمطين جديدين لتشكيل الموجات هما النمط الهجين والنمط الرقمي بالكامل. كما يمكن تكييف التشكيل الهجين بتشكيلتين مختلفتين لعرض النطاق، تسميان التشكيلة الرئيسية والتشكيلة الموسَّعة. ويُبقي مختلف أنماط تشكيل الموجات الهجين على إشارة FM التماثلية خلافاً لنمط تشكيلها الرقمي بالكامل الذي لا يُبقي على هذه الإشارة. ويعمل جميع أنماط تشكيل الموجات الرقمي باستعمال طيف أقل بكثير من قناع الطيف المخصص للبث، والذي تحدده عادة اللجنة الفيدرالية للاتصالات (FCC).

وتشكَّل الإشارة الرقمية تضمينياً باستخدام تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM). والنظام OFDM نظام مرن بجوهره تسهُل به المقابلة بين القنوات المنطقية وشتى مجموعات الموجات الحاملة الفرعية.

وتحدَّد في الجدول 9 معلمات رموز OFDM والطبقة المادية لنظام IBOC الأساسي.

الجدول 9

معلمات الطبقة المادية لنظام IBOC

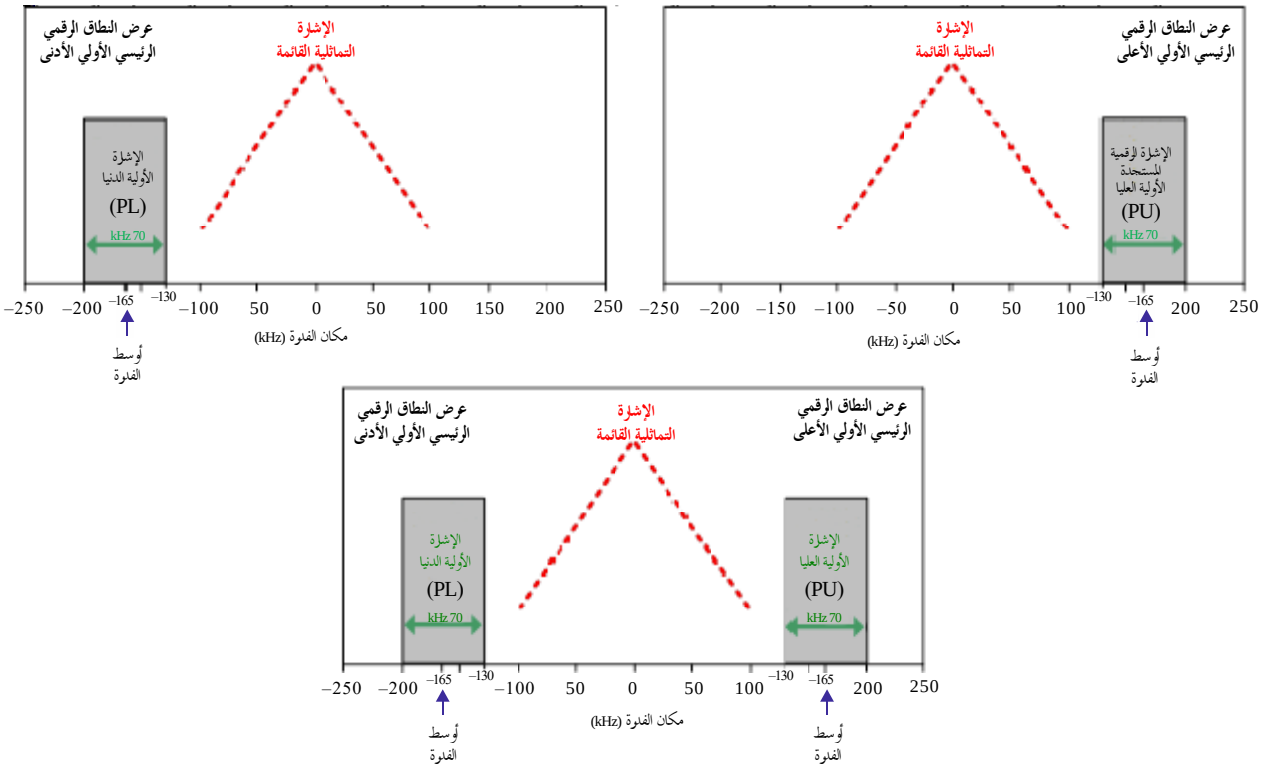
اسم المعلمة	الرمز	الوحدات	القيمة الصحيحة	القيمة المحسوبة (4 أرقام معنوية)
المباعدة بين الموجات الحاملة الفرعية OFDM	Δf	Hz	1 488 375/4 096	363,4
عرض السابقة الدورية	α	لا يوجد	7/128	$5,469 \times 10^{-2}$
مدة السابقة الدورية	T_α	s	(7/128) · (4 096/1 488 375)	$1,586 \times 10^{-4}$
مدة الرمز OFDM	T_s	s	$= (1 + \alpha) / \Delta f$ (135/128) · (4 096/1 488 375)	$2,902 \times 10^{-3}$
معدل الرمز OFDM	R_s	Hz	$= 1/T_s$	344,5
مدة إطار L1	T_f	s	$= 512 \cdot T_s$ = 65 536/44 100	1,486
معدل إطار L1	R_f	Hz	$= 1/T_f$	$6,729 \times 10^{-1}$
مدة فدرة L1	T_b	s	$= 32 \cdot T_s$	$9,288 \times 10^{-2}$
معدل فدرة L1	R_b	Hz	$= 1/T_b$	10,77
مدة زوج فدرة L1	T_p	s	$= 64 \cdot T_s$	$1,858 \times 10^{-1}$
معدل زوج فدرة L1	R_p	Hz	$= 1/T_p$	5,383
أطر التأخير الناجمة عن التنوع	N_{dd}	لا يوجد	= عدد أطر التأخير الناجم عن التعدد في الطبقة L1	3
عدد المشتركين	*غير متاحة*	لا يوجد	70 kHz band: 191 100 kHz band: 267	
عرض النطاق المستخدم	*PL/PU*	kHz	191 · 1488,375/4 096 267 · 1488,375/4 096	70 kHz band: 69,4 100 kHz band: 97,0

1.2.2 الموجة الهجينة الرئيسية

ترسل الإشارة الرقمية في نطاقات جانبية أولية رئيسية (PM) على كل من جانبي إشارة FM التماثلية القائمة، وتمتد على زهاء 70 kHz. ويمكن أن تتألف من الإشارة الأولية الدنيا (PL) فقط أو من الإشارة الأولية العليا (PU) فقط أو من كلتيهما، كما يبيَّن في الشكل 23. ويُضبط مستوى قدرة كل من إشارتي النطاقين الجانبيين على حدة. وعلى النحو المتَّبع حالياً في الولايات المتحدة الأمريكية يُحد مقدار القدرة الإجمالي لهذه الإشارة الرقمية (في أي تشكيلة مختارة من اثنين من النطاقات الجانبية متساويَي مقدار القدرة أو مختلفَيها، أو في نطاق جانبي واحد فقط) بما يقل بزهاء 10 dB عن إجمالي قدرة إشارة FM التماثلية. وفي حالة التشكيلة المثالية المؤلَّفة من اثنين من النطاقات الجانبية متساويَي مقدار القدرة، يكون مستوى قدرة كل إشارتي النطاقين الجانبيين أقل بزهاء 13 dB عن إجمالي قدرة إشارة FM التماثلية. وقد تكون الإشارة التماثلية صوتاً مجسماً أو غير مجسم وقد تضم قنوات اتصالات فرعية مرخصة (SCA).

الشكل 23

أمثلة على نمط الموجات الهجين الرئيسي في نظام IBOC العامل بتشكيل التردد (FM)



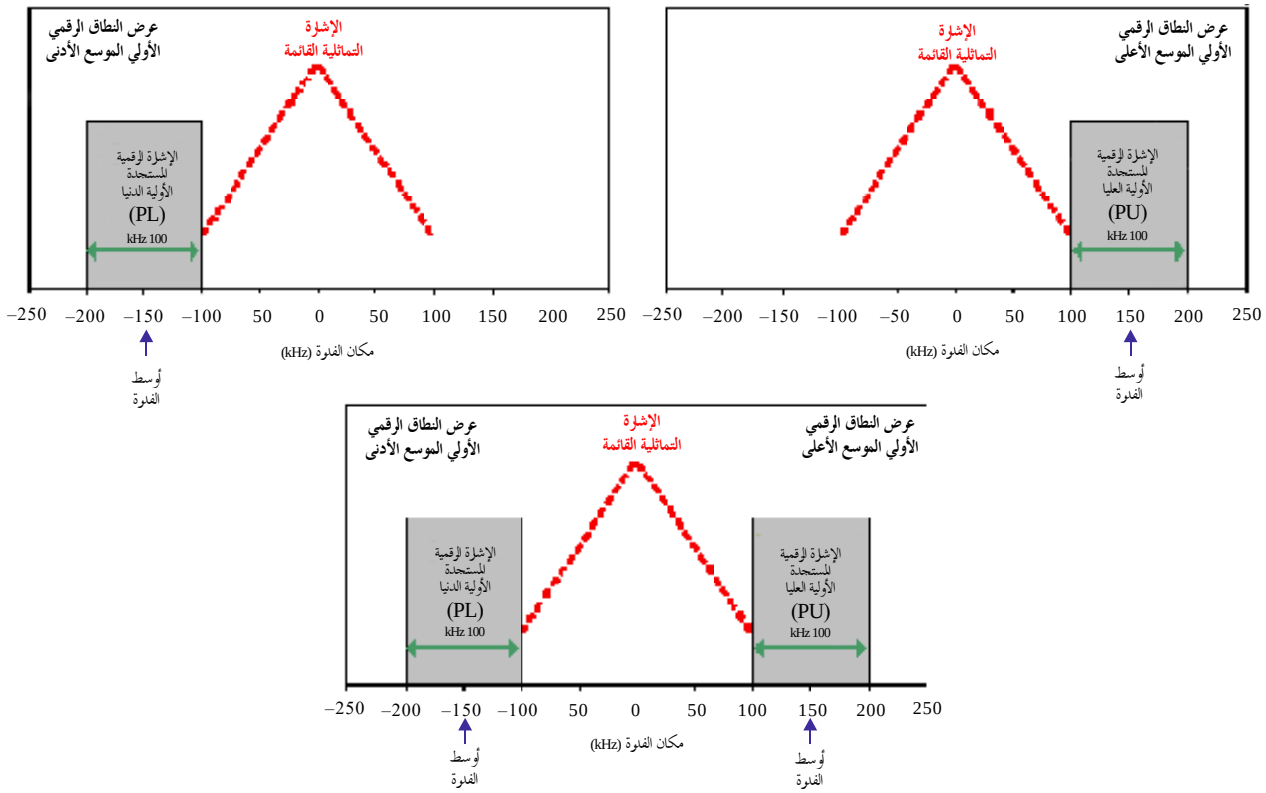
BS.1114-23

2.2.2 نمط الموجات الهجين الموسَّع

بنمط الموجات الهجين الموسَّع، يمكن تمديد عرض نطاق إشارات النطاقات الجانبية الهجينة ليشمل إشارة FM التماثلية، التي تمتد على مدى يصل حتى زهاء 100 kHz، من أجل زيادة السعة الرقمية. إن هذا الطيف الإضافي، الموزَّع للحافة الداخلية لكل نطاق جانبي رئيسي أولي، يسمّى النطاق الجانبي الرئيسي الأولي الموسَّع (PX). وتبيَّن في الشكل 24 أمثلة على الإشارات الموسَّعة، بما في ذلك الطيفُ الرئيسي والطيفُ الموسَّع ويُضبط مستوى قدرة كل من إشارتي النطاقين الجانبيين على حدة. وعلى النحو المتَّبع حالياً في الولايات المتحدة الأمريكية يُحد مقدار القدرة الإجمالي لهذه الإشارة الرقمية (في أي تشكيلة مختارة من اثنين من النطاقات الجانبية متساويَي مقدار القدرة أو مختلفَيها، أو في نطاق جانبي واحد فقط) بما يقل بزهاء 8,5 dB عن إجمالي قدرة إشارة FM التماثلية. وفي حالة التشكيلة المثالية المؤلَّفة من اثنين من النطاقات الجانبية متساويَي مقدار القدرة، يكون مستوى قدرة كل إشارتي النطاقين الجانبيين أقل بزهاء 11,5 dB عن إجمالي قدرة إشارة FM التماثلية.

الشكل 24

أمثلة على نمط الموجات الهجين الموسَّع في نظام IBOC العامل بتشكيل التردد (FM)



BS.1114-24

3.2.2 نمط الموجات الرقمية بالكامل

يحقق النظام أعظم التحسينات لدى استعمال نمط الموجات الرقمية بالكامل الذي يلغي الإشارة التماثلية ويوسع عرض نطاق إشارات النطاقات الجانبية الأولية إلى أبعد حد كما عليه الحال في نمط الموجات الهجينة الموسَّع. وذلك يشبه الأمثلة المبيَّنة في الشكل 24، لكن بدون إشارة FM التماثلية الملغاة. كما أن نمط الموجات هذا يتيح إرسال إشارات النطاقات الجانبية الثانوية الرقمية المنخفضة القدرة في الطيف الذي أخلته إشارة FM التماثلية.

3.2 قناة التحكم في النظام

تنقل قناة التحكم في النظام (SCCH) الأوامر ومعلومات الحالة. وتُرسل أساليب الخدمة الأولية والثانوية، وكذلك التحكم في التأخير والتنوع من الطبقة L2 إلى الطبقة L1 بينما ترسل معلومات التزامن من الطبقة L1 إلى الطبقة L2.

وتُملي أساليب الخدمة جميع التشكيلات الجائزة للقنوات المنطقية. ويتيح النظام ما مجموعه أربعة وستون أسلوب خدمة.

4.2 القنوات المنطقية

القناة المنطقية هي مسار إشارة يوصل الوحدات SDU للطبقة L2 في أطر نقل إلى الطبقة L1 بدرجة معيَّنة لجودة الخدمة، تتحدد بأسلوب الخدمة. وتوفِّر الطبقة L1 في النظام الرقمي C إحدى عشرة قناة منطقية لبروتوكولات الطبقة العليا. ولا تُستخدم جميع القنوات المنطقية في كل أسلوب من أساليب الخدمة.

1.4.2 القنوات المنطقية الأولية

ثمة خمس قنوات منطقية أولية يمكن أن تُستخدم في نمط الموجات الهجينة ونمط الموجات الرقمية بالكامل. وتسمى P1 وP2 وP3 وP4 وخدمة بيانات نظام IBOC الأولية (PIDS). ويبين الجدول 10 منسوب المعلومات النظري التقريبي الذي توفِّره كل قناة منطقية أولية تبعاً لأسلوب الخدمة الأولية المتَّخذ مثالاً.

الجدول 10

أمثلة على معدَّل المعلومات النظري للقنوات المنطقية الأولية

أسلوب الخدمة	معدَّل المعلومات النظري (kbit/s)					نمط الموجة
	P1	P2	P3	P4	PIDS	
MP1	98	0	0	0	1	هجينة
MP2	98	0	12	0	1	هجينة موسعة
MP3	98	0	25	0	1	هجينة موسعة
MP11	98	0	25	25	1	هجينة موسعة
MP12	98	0	0	0	1	هجينة موسعة، رقمية بالكامل
MP5	25	74	25		1	هجينة موسعة، رقمية بالكامل
MP6	49	49	0		1	هجينة موسعة، رقمية بالكامل

2.4.2 القنوات المنطقية الثانوية

ثمة ست قنوات منطقية ثانوية لا تُستخدم إلا في نمط الموجات الرقمية بالكامل. وتسمى S1 وS2 وS3 وS4 وS5 وخدمة بيانات IBOC ثانوية (SIDS). ويبين الجدول 11 معدل المعلومات النظري الذي توفره كل قناة منطقية ثانوية تبعاً لأسلوب الخدمة الثانوية.

الجدول 11

معدل المعلومات النظري التقريبي للقنوات المنطقية الثانوية

أسلوب الخدمة	معدَّل المعلومات التقريبي (kbit/s)						نمط الموجة
	S1	S2	S3	S4	S5	SIDS	
MS1	0	0	0	98	6	1	رقمية بالكامل
MS2	25	74	25	0	6	1	رقمية بالكامل
MS3	49	49	0	0	6	1	رقمية بالكامل
MS4	25	98	25	0	6	1	رقمية بالكامل

3.4.2 وظائف القنوات المنطقية

تصمم القنوات المنطقية P1 حتى P4 من أجل تسيير البيانات والإشارات السمعية. ويمكن استخدام القنوات الثانوية S1 إلى S5 في نقل البيانات أو الإشارات الصوتية. أما القناتان المنطقيتان PIDS وSIDS فمصممتان لنقل معلومات خدمة بيانات IBOC (IDS).

ويوصف أداء كل قناة منطقية كاملاً من خلال ثلاث معلمات تمس الخصائص هي: النقل والانتظار والقوة. ومكونات معلمات الخصائص هذه هي تشفير القناة والتقابل الطيفي وعمق التشذير والتأخير الناجم عن التنوع. ويظهر أسلوب الخدمة هذه المكونات بشكل فريد في كل قناة منطقية نشيطة مما يسمح بتعيين معلمات الخصائص المناسبة.

وعلاوةً على ذلك، يحدد أسلوب الخدمة تراصف الأطر وتزامنها في أطر النقل في كل قناة منطقية نشيطة.

5.2 المكوّنات الوظيفية للطبقة 1 (L1)

ينطوي الشكل 25 على مخطَّط فدري وظيفي لسيرورة العمل في الطبقة L1. وتمر البيانات والإشارات السمعية من الطبقات العليا للتوصيل البيني للأنظمة المفتوحة (OSI) إلى الطبقة المادية، المودم، عبر نقاط النفاذ إلى الخدمة (SAPs) في الطبقة L1. وتبعاً لمخطَّط لسيرورة العمل في L1، يقدَّم وصف رفيع المستوى لكل فدرة وظيفية في الطبقة L1 وتدفق الإشارات المرتبطة بها.

1.5.2 نقاط النفاذ إلى الخدمة (SAP)

تعرف النقاط L1 SAPs السطح البيني بين الطبقتين L2 وL1 في مجموعة بروتوكولات النظام. ولكل قناة منطقية وقناة تحكم SCCH نقاط نفاذها الخاصة بها. وتدخل كل قناة إلى الطبقة L1 في أطر نقل منفصلة بحجم خاص بها وبمعدل يحدده أسلوب الخدمة. وتسمى أطر النقل في الطبقة L2 بالوحدات L2 SDUs وL2 SCUs.

2.5.2 التخليط

تكمن هذه الوظيفة في تخليط البيانات الرقمية عشوائياً في كل قناة رقمية من أجل "إخفاء" وتخفيف اختلاف مدد الإشارات عند إزالة تشكيل الموجات في مزيل تشكيل تقليدي للإشارات FM التماثلية.

3.5.2 تشفير القناة

يستخدم نظام IBOC الرقمي شفرات تلافيفية بمنسوب تشفير فعلي يرتفع حتى 5/4 وينخفض حتى 9/2. ويضيف هذا التشفير التلافيفي بعض الإطناب إلى البيانات الرقمية في كل قناة منطقية من أجل تحسين اعتماديتها في حال وجود خلل في القناة. ويتناسب حجم متجهات القناة المنطقية تناسباً عكسياً مع معدل التشفير. ويظهر أسلوب الخدمة أنماط تقنيات التشفير. كما يفرض التأخير الناجم عن التنوع على القنوات المنطقية المنتقاة. وتحتفظ متجهات القناة المنطقية عند خرج مشفر القناة بهويتها.

4.5.2 التشذير

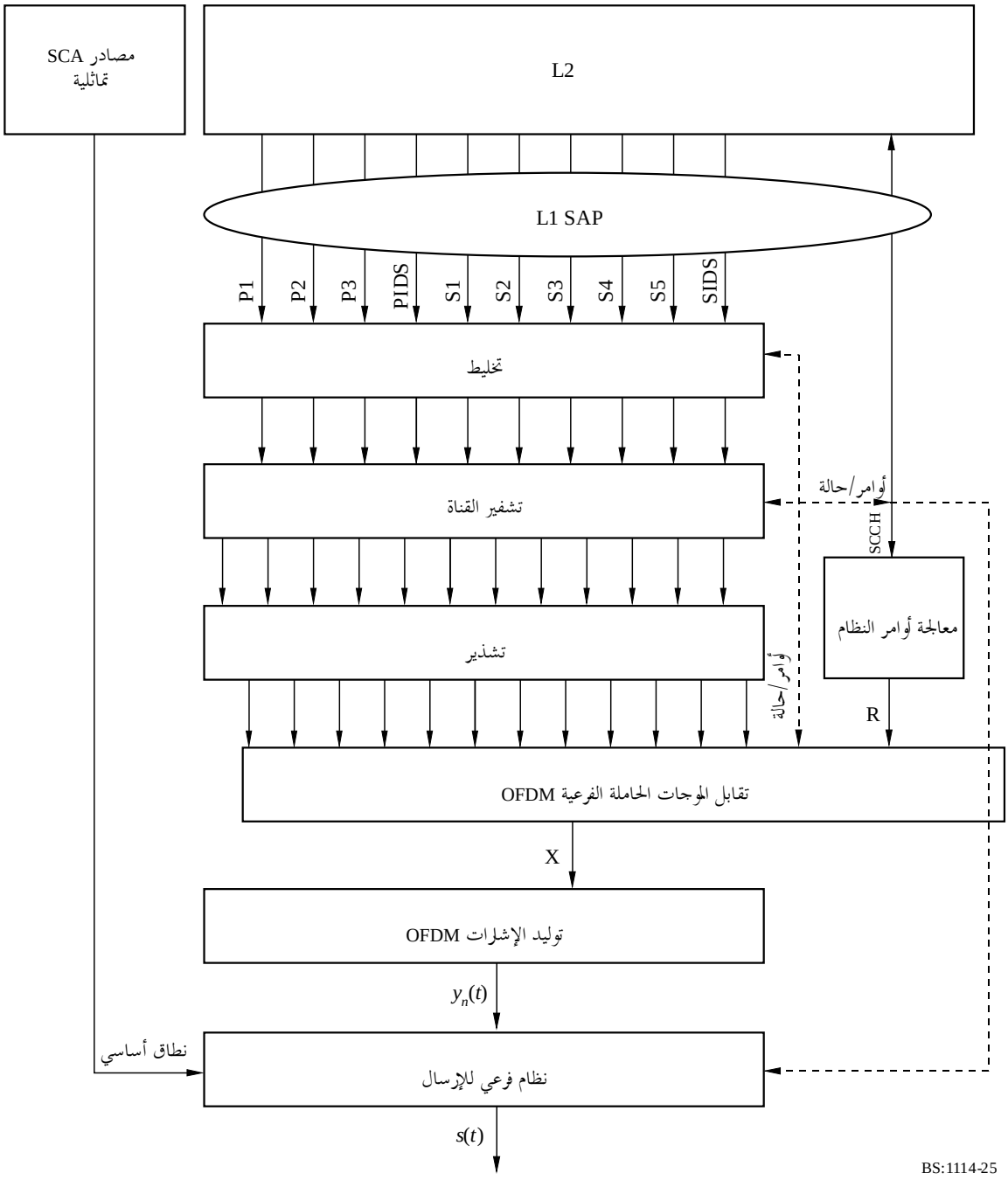
يستخدم تشذير الوقت وتشذير التردد بهدف تخفيف آثار أخطاء الرشقات. ويتم تكييف تقنيات التشذير مع بيئة خبو الموجات المترية ويُظهرها أسلوب الخدمة. وتشذر كل قناة منطقية على حدة. أما عمق المشذر فيتحدد استناداً إلى استعمال القناة. فعمق المشذر في القناتين السمعيتين الأوليتين (P1 وP2) يساوي إطاراً واحداً L1. وفي هذه العملية تفقد القنوات المنطقية هويتها. وخرج المشذر منظم في نسق مصفوفات تتألف كل مصفوفة من قناة منطقية واحدة أو أكثر وترفق بجزء خاص من الطيف المرسَل. ويبلغ التأخير الإجمالي الناجم عن التنوع بما فيه التشذير ثلاثة أطر L1 (3 × 1,486 s). ويبلغ طول المشذِّر في القناتين P3 وP4 ما يعادل إطارين من أطر L1. وهو منظَّم كآلية ملاصقة مع عدم وجود حدود تقريباً.

5.5.2 معالجة مراقبة النظام

تكمن هذه الوظيفة في توليد مصفوفة من متتاليات بيانات مراقبة النظام تضم تشكيلة التحكم (كأسلوب الخدمة) من أجل إذاعتها عبر الموجات الحاملة الفرعية المرجعية. كما أنها تضم بيان الحال من أجل الاستخدام المحلي.

الشكل 25

مخطط إجمالي وظيفي للطبقة L1 في السطح البيني الراديوي FM



6.5.2 تقابل الموجات الحاملة الفرعية OFDM

تكمن هذه الوظيفة في تخصيص مصفوفات التشذير ومصفوفة أوامر النظام للموجات الحاملة الفرعية OFDM. ويعالج الصف الواحد لكل مصفوفة مشذرٍ نشيط في كل فترة يرمز إليها بـ *Ts* من أجل إنتاج قيمة خرج واحد **X**، يمثل مجال تردد الإشارة. ويتم تكييف التقابل خصوصاً لأغراض بيئة التداخل غير المنتظم وهو وظيفة من وظائف أسلوب الخدمة.

7.5.2 توليد إشارة OFDM

تكمن هذه الوظيفة في توليد الجزء الرقمي من إشارة مجال الوقت. وتتحول المتجهات الداخلة إلى نبضة مشكلة بنطاق أساسي في المجال الزمني $y_n(t)$، تحدد رمز تشكيل OFDM واحداً.

8.5.2 نظام فرعي للإرسال

تكمن هذه الوظيفة في إعطاء نسق موجة النطاق الأساسي لإرسالها في القناة العاملة بالموجات المترية. وتضم الوظائف الفرعية الرئيسية تسلسل الشفرات والتحويل إلى ترددات أعلى. وفضلاً عن ذلك، تقوم هذه الوظيفة عند إرسال الموجات الهجينة بتشكيل المصدر، وتبقي على الإشارة التماثلية بأكملها وتضمها إلى الإشارة الرقمية من أجل تكوين إشارة هجينة مركَّبة $s(t)$ جاهزة للإرسال.

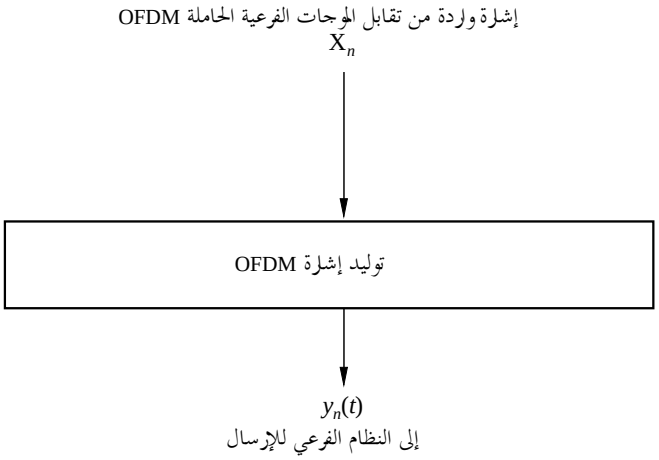
3 الوصف الوظيفي

1.3 مقدمة

يستقبل توليد الإشارة OFDM شفرات تشكيل OFDM مركبة في مجال التردد من تقابل الموجات الحاملة الفرعية OFDM وينتج عند الخرج نبضات في مجال الوقت تمثل الجزء الرقمي من إشارة النظام الرقمي C. ويبين الشكل 26 مخططاً إجمالياً لمفاهيم توليد الإشارة OFDM.

الشكل 26

مخطط إجمالي لمفاهيم توليد الإشارة OFDM



BS.1114-26

إن الدخل الذي تتلقاه وحدة توليد الإشارة OFDM هو متجه مركَّب $\mathbf{X}_n$ طوله L يمثل قيم المجموعة المركبة لكل موجة حاملة فرعية OFDM في الرمز OFDM ذي الترتيب n. أما خرج وحدة توليد الإشارة OFDM فهو نمط موجة مركبة في مجال الوقت بنطاق أساسي $y_n(t)$، تمثل الإشارة الرقمية للرمز OFDM ذي الترتيب n.

2.3 النظام الفرعي للإرسال

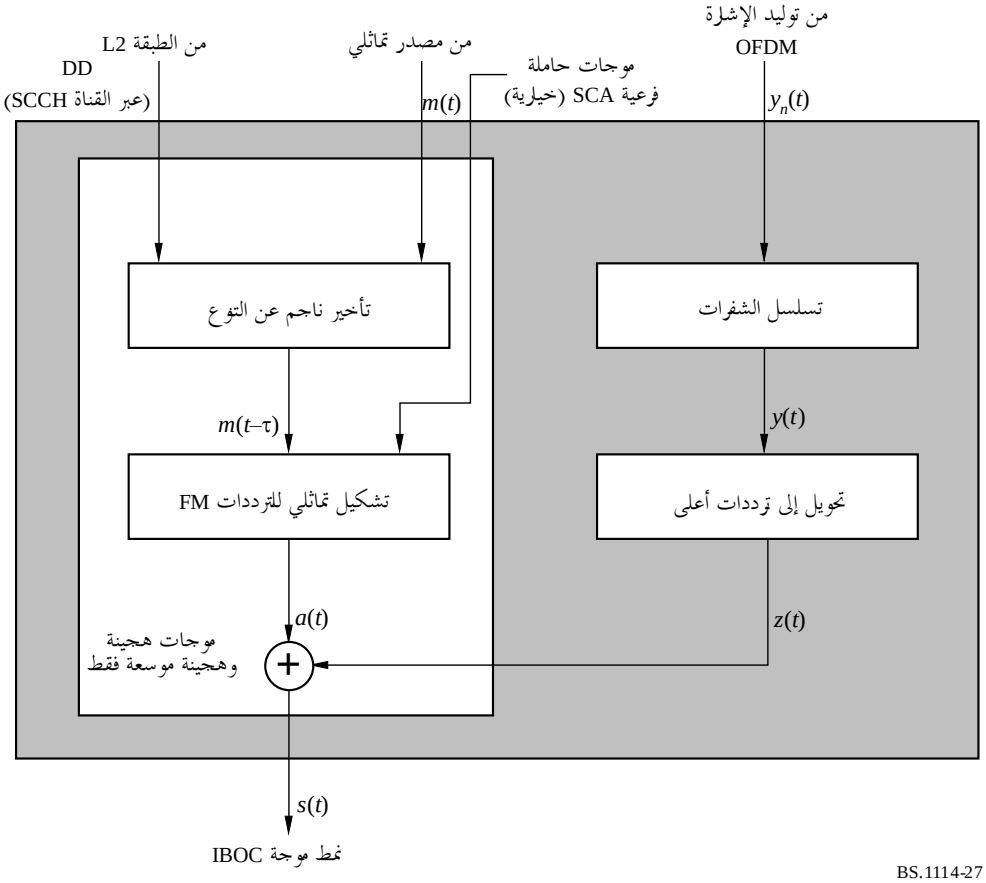
1.2.3 مقدمة

يحدد النظام الفرعي للإرسال نسق نمط الموجة IBOC في النطاق الأساسي من أجل الإرسال عبر القناة بالموجات المترية (VHF). وتضم الوظائف تسلسل الشفرات والتمويل إلى الترددات الأعلى. وإضافة إلى ذلك، تؤجل هذه الوظيفة وتشكّل الإشارة التماثلية في النطاق الأساسي قبل ضمها إلى الموجة الرقمية وذلك عند إرسال موجات هجينة أو هجينة موسعة.

ودخل هذه الوحدة هو نمط موجة OFDM مركبة في المجال الزمني بالنطاق الأساسي $y_n(t)$ تصدر عن وظيفة توليد الإشارة OFDM. وتدخل إشارات تماثلية بالنطاق الأساسي $m(t)$ أيضاً واردةً من مصدر تماثلي مع إشارات SCA خيارية وذلك عند إرسال موجات هجينة أو هجينة موسعة. كما ترد أيضاً أوامر تماثلية خاصة بالتأخير الناجم عن التنوع (DD) من الطبقة L2 عبر قناة التحكم. أو خرج هذه الوحدة فهو نمط الموجات IBOC.

الشكل 27

مخطط وظيفي للنظام الفرعي لإرسال الموجات الهجينة/الهجينة الموسعة



2.2.3 التأخير الناجم عن التنوع

عند إذاعة الموجات الهجينة والهجينة الموسعة، كما يبيَّن في الشكل 27، تنضم الإشارة $z(t)$ إلى إشارة التردد FM التماثلية المبقى عليها بأكملها $a(t)$. إن الإشارة الرقمية $z(t)$ تتضمن بالفعل إشارة مصدر الصوت التماثلية $m(t)$ في واحدة من الخدمات الصوتية المقدَّمة. وأول مرحلة في توليد الإشارة $a(t)$ هي تطبيق التأخير الناجم عن التنوع (DD) على إشارة النطاق الأساسي التماثلية $m(t)$. وتستخدم بتات الأمر التماثلي DD الواردة من الطبقة L2 عبر القناة SCCH في طبقات البروتوكول العليا من أجل تفعيل الأمر DD أو إبطاله. وعندما يكون الأمر DD مفعَّلاً يمكن استعمال تأخير τ قابل للتعديل في إشارة النطاق الأساسي التماثلية $m(t)$. ويتم ضبط التأخير بحيث يتم عند خرج المضمام التماثلي/الرقمي تأخير الإشارة $a(t)$ عن الإشارة المناظرة $z(t)$ بفترة قدرها T_{dd}. ولذلك تشمل البرامج الصوتية للنظام الرقمي نفس البرنامج الذي تهيئه (مع تأخير) إشارة FM التماثلية، ما يتيح في أجهزة الاستقبال الانتقال السلس من/إلى الإشارة الصوتية التي يهيئها النظام الرقمي إلى/من نفس الإشارة الصوتية المتأتية عن إشارة FM التماثلية. ويمكن ضبط التأخير من أجل مراعاة مدد التأخير الناجمة عن المعالجة في سلاسل إشارات FM التماثلية والإشارات الرقمية.

3.2.3 مشكل الترددات التماثلي FM

فيما يتعلق بالموجات الهجينة والهجينة الموسعة تكون إشارة النطاق الأساسي التماثلية $m(t-\tau)$ ذات التأخير الملائم مشكَّلة التردد من أجل إنتاج موجة تردد FM راديوية تماثلية مماثلة للإشارات التماثلية القائمة.

4.2.3 المضمام التماثلي/الرقمي

تنضم إشارة التردد الراديوية المشكلة تماثلياً عند الإذاعة بالموجات الهجينة والهجينة الموسعة إلى الإشارة الراديوية IBOC المشكلة رقمياً من أجل إنتاج إشارة $s(t)$ في النظام الرقمي C. ويتمركز الجزءان التماثلي والرقمي من الموجة على نفس تردد الموجة الحاملة. وتسوَّى سويات كل نطاق جانبي رقمي في طيف الخرج بالشكل المناسب من خلال وظيفة التقابل بين الموجات الحاملة الفرعية OFDM.

5.2.3 الإشارة الرقمية بالكامل

عند بث الموجات الرقمية بالكامل، لا يكون هناك وجود لسلسلة المعالجة التماثلية، كما يبيَّن في الشكل 27، بما فيها إشارة FM $a(t)$، ولا للمضمام التماثلي/الرقمي. ومن ثم تغدو الإشارةُ الرقمية $z(t)$ إشارةَ الخرج $s(t)$.

3.3 استعمال المكررات في القناة

يساعد استعمال التشكيل OFDM في النظام الرقمي C المكررات الرقمية في القناة أو الشبكة وحيدة التردد على توفير التغطية المرغوبة للمناطق حيث تكون الخسارات في الإشارة الناجمة عن التضاريس و/أو الحجب شديدة. ويمكن تطبيق هذا الاستخدام خاصة حيث تحد الجبال أو عوائق تضاريس أخرى في مناطق خدمة المحطة من جودة الأداء التماثلي أو الرقمي.

ويعمل النظام الرقمي C بفواصل حراسة فعّالة بين الشفرات OFDM تبلغ 150 µs[2] تقريباً. ومن أجل تفادي تداخل شديد بين الشفرات ينبغي الحد من التغطية الفعّالة في اتجاه نظام الإرسال الأولي إلى 22 km. وينبغي خصوصاً أن تبلغ نسبة الإشارة الآتية من المرسل الأولي إلى إشارة جهاز التقوية 10 dB كحد أدنى في المواقع التي تبعد أكثر من 22 km عن المكرر في اتجاه الهوائي الأولي. ويمكن تحسين الأداء والمسافات بين أجهزة التقوية في القنوات باستعمال هوائيات اتجاهية من أجل حماية المحطة الرئيسية.

4.3 تزامن النظام العالمي لتحديد الموقع (GPS)

ضماناً للتزامن دقيق التوقيت من أجل الحيازة السريعة للمحطة وتزامن أجهزة التقوية يجري إحكام كل محطة بالنظام GPS. ويتم ذلك عادة من خلال التزامن مع إشارة متزامنة في الوقت والتردد مع النظام GPS[3]. أما محطات الإرسال دون إحكام النظام GPS فلن تكون قادرة على توفير توليف سريع في المستقبل في حالة الشبكة وحيدة التردد (SFN) إذ إنها لا تستطيع أن تتزامن مع محطات أخرى[4].

4 سويات النطاق الجانبي الرقمي

تساق في الجدول 12 أمثلة على مقايسة اتساع كل موجة حاملة فرعية OFDM ضمن كل نطاق جانبي رقمي مقابل القيمة المنشودة للكثافة الطيفية لقدرة الموجات الهجينة والهجينة الموسعة والرقمية بالكامل. وتتحدد قيم الكثافة الطيفية لقدرة أنماط الموجات الهجينة نسبةً إلى القدرة الكلية للموجة FM التماثلية غير المشكَّلة (المفترَض أن تساوي 1). وتتحدد قيم الكثافة الطيفية لقدرة الموجات الرقمية بالكامل نسبةً إلى القدرة الكلية للموجة FM التماثلية غير المشكِّلة (المفترَض أن تساوي 1) التي يمكن إرسالها في أسلوبي الموجات الهجينة والهجينة الموسعة.

---

2 150 µs تعادل مسافة انتشار قدرها 45 km.

3 تسمى المحطات المحكمة بالنظام GPS السوية I: مرافق إرسال محكم بالنظام GPS.

4 المستوى II: مرافق إرسال دون إحكام النظام GPS.

الجدول 12

أمثلة على مقايسة الموجات الحاملة الفرعية OFDM مقابل أمثلة على الكثافة الطيفية للقدرة

نمط الموجة	الأسلوب	النطاقات الجانبية	رمز عامل مقايسة الاتساع	عامل مقايسة الاتساع (نسبةً إلى القدرة الكلية لموجات التردد التماثلية FM)، لكل حاملة فرعية	الكثافة الطيفية للقدرة[1] في عرض نطاق ترددي مقداره 1 kHz (dBc)
هجينة	MP1	أولي	a_{0L}/a_{0U}	$5{,}123 \times 10^{-3}$	41,39−
هجينة موسَّعة	MP2، MP3، MP11، MP12، MP5، MP6	أولي	a_{0L}/a_{0U}	$5{,}123 \times 10^{-3}$	41,39−
رقمية بالكامل	MP5، MP6، MP12	أولي	a_2	$1{,}67 \times 10^{-2}$	31,39−
	MS1-MS4	ثانوي	a_4	$5{,}123 \times 10^{-3}$	41,39−
		ثانوي	a_5	$3{,}627 \times 10^{-3}$	44,39−
		ثانوي	a_6	$2{,}567 \times 10^{-3}$	47,39−
		ثانوي	a_7	$1{,}181 \times 10^{-3}$	50,39−

[1] الكثافة الطيفية للقدرة نسبةً إلى إجمالي قدرة إشارة FM التماثلية المتأتية عن إشارة FM التماثلية الحاضرة أو الغائبة.

فيما يخص الموجات الهجينة والموجات الهجينة الموسَّعة، تم انتقاء القيم المشار إليها في الأمثلة الواردة في الجدول 12 بحيث يكون متوسط القدرة الكلية في النطاق الجانبي الرقمي الأولي (الأعلى أو الأدنى) أقل بمقدار يتراوح بين 23 dB و21,5 dB (بحسب الأسلوب) عن القدرة الكلية للموجة الحاملة FM التماثلية غير المشكَّلة.

وفيما يخص الموجات الرقمية بالكامل، تم انتقاء القيم المشار إليها في الأمثلة الواردة في الجدول 12 بحيث يكون متوسط القدرة الكلية في النطاق الجانبي الرقمي الأولي (الأعلى أو الأدنى) أعلى بمقدار 10 dB على الأقل من القدرة الكلية في النطاقات الجانبية الرقمية الأولية للموجات الهجينة. وتم أيضاً انتقاء القيم بحيث يقل متوسط القدرة الكلية في النطاقات الجانبية الرقمية الثانوية (الأعلى والأدنى) بمقدار 10 dB على الأقل عن القدرة الكلية في النطاقات الجانبية الرقمية الأولية للموجات الرقمية بالكامل.

الجدول 13

أمثلة على قدرة الإشارة الرقمية للنطاق الجانبي مقابل إجمالي قدرة الإشارة الرقمية

نسبة إجمالي قدرة الإشارة الرقمية للنطاق الجانبي إلى قدرة الإشارة التماثلية (dBc)								نسبة إجمالي قدرة الإشارة الرقمية إلى قدرة الإشارة التماثلية (dBc)			
MP12		MP11		MP3		MP1		MP12	MP11	MP3	MP1
U	L	U	L	U	L	U	L				
–	–	21,5−	21,5−	22,2−	22,2−	23,0−	23,0−	–	18,5−	19,2−	20,0−
–	–	15,5−	15,5−	16,2−	16,2−	17,0−	17,0−	–	12,5−	13,2−	14,0−
–	–	11,5−	11,5−	12,2−	12,2−	13,0−	13,0−	–	8,5−	9,2−	10,0−
–	–	13,9−	9,9−	14,6−	10,6−	15,4−	11,4−	–	8,5−	9,2−	10,0−
–	14−	–	–	–	–	–	–	14−	–	–	–
8,5−	–	–	–	–	–	–	–	8,5−	–	–	–

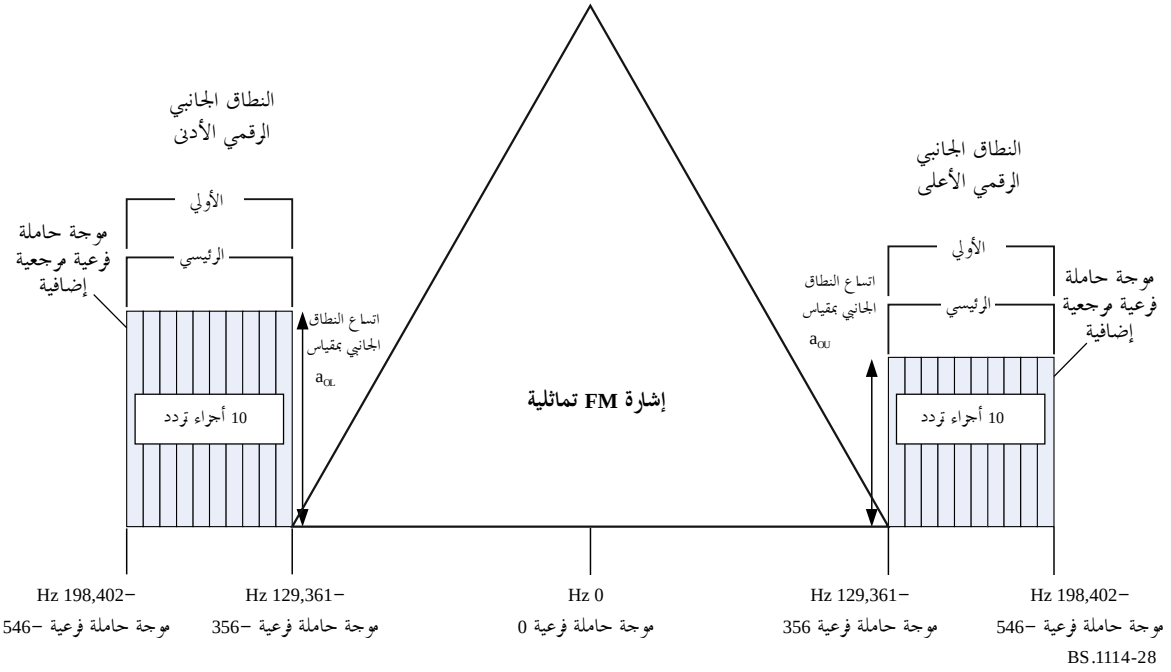
إن التشكيلات المذكورة بمثابة أمثلة في الجدول 13 تدل على المرونة في اختيار عرض النطاق الترددي والقدرة من أجل التشغيل المنشود. ويمكن تشكيل النظام لتلبية المتطلبات المتعلقة بالمنسوب وبالمتانة مع واقع التعايش. ويمكن تحقيق ذلك بواسطة تشكيلات مختلفة لعرض النطاق الترددي، واستعمال واحد أو اثنين من النطاقات الجانبية، واختيار إجمالي قدرة الإشارات الرقمية، وضبط مقدار قدرة كل نطاق جانبي على حدة.

5 الطيف في أسلوب الموجات الهجينة

ترسل الإشارة الرقمية في النطاقات الجانبية الرئيسية الأولية في اتجاهي إشارة التردد FM التماثلية. ويتكون كل نطاق جانبي رئيسي أولي من عشرة أجزاء تردد موزَّعة للموجات الحاملة الفرعية من 356 إلى 545 أو من –356 إلى –545 (انظر الشكل 28 والجدول 14). والموجتان الحاملتان الفرعيتان 546 و–546 المشمولتان أيضاً بالنطاقات الجانبية الرئيسية الأولية هما موجتان حاملتان فرعيتان مرجعيتان إضافيتان. ويقايس اتساع الموجة الحاملة الفرعية في نطاق من النطاقات الجانبية الرئيسية الأولية (PM) مقايسةً متّسقة بتطبيق عامل لمقايسة الاتساع.

الشكل 28

طيف الموجة الهجينة – أسلوب الخدمة MP1



الجدول 14

ملخص عن الطيف في نمط الموجات الهجينة – أسلوب الخدمة MP1

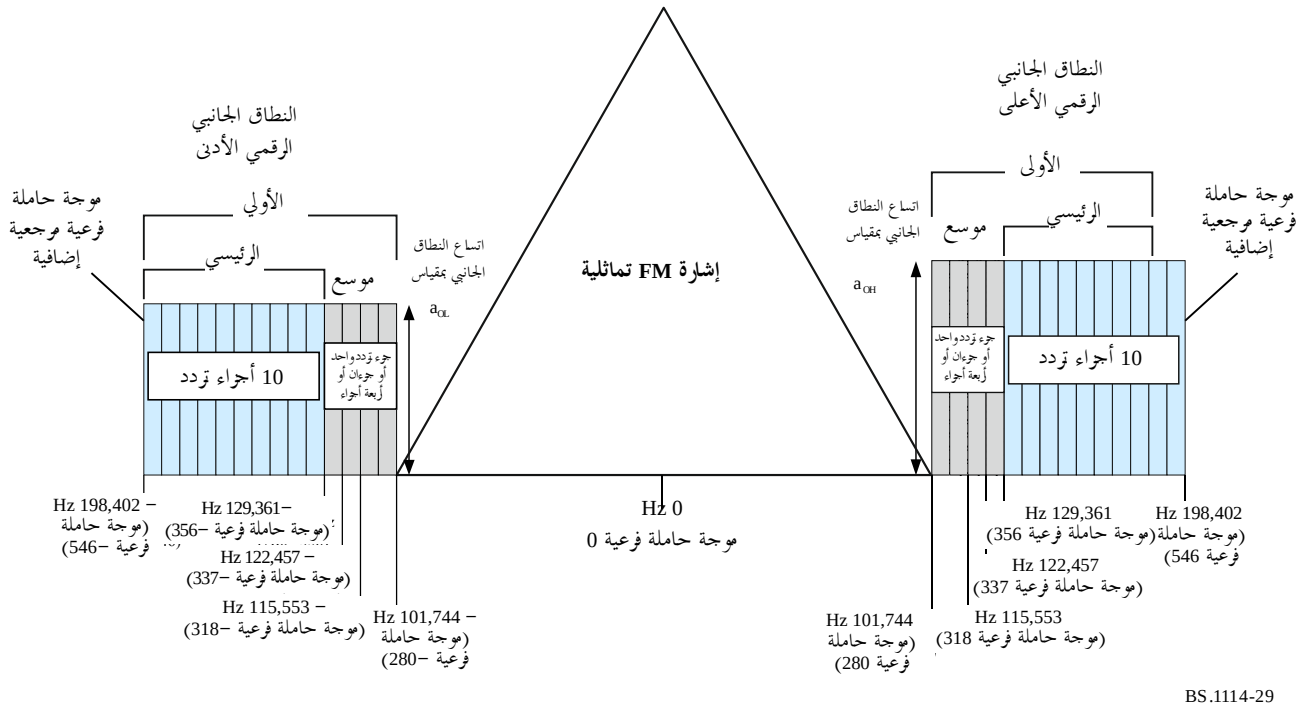
النطاق الجانبي	عدد أجزاء التردد	ترتيب أجزاء التردد	مدى الموجات الحاملة الفرعية	ترددات الموجات الحاملة الفرعية (نسبةً إلى مركز القناة) (Hz)	عامل مقايسة الاتساع	تباعد الترددات (Hz)	ملاحظات
الرئيسي الأولي والأعلى	10	A	356 إلى 546	129 361 إلى 198 402	a_{0U}	69 041	يضم الموجة الحاملة الفرعية المرجعية الإضافية 546
الرئيسي الأولي والأدنى	10	B	356– إلى 546–	129 361– إلى 198 402–	a_{0L}	69 041	يضم الموجة الحاملة الفرعية المرجعية الإضافية 546–

6 الطيف في أسلوب الموجات الهجينة الموسعة

تستحدث الموجة الهجينة الموسعة بإضافة نطاقات جانبية أولية موسعة على النطاقات الجانبية الرئيسية الأولية (PM) الموجودة في الموجة الهجينة. ويمكن إضافة جزء تردد واحد أو اثنين أو أربعة تبعاً لأسلوب الخدمة إلى الحافة الداخلية لكل نطاق جانبي رئيسي أولي. ويتألف كل نطاق جانبي رئيسي أولي من عشرة أجزاء تردد وموجة حاملة فرعية مرجعية إضافية تضم الموجات الفرعية من 356 إلى 546 أو من –356 إلى –546. وتضم النطاقات الجانبية الأولية الموسعة العليا الموجات الحاملة الفرعية من 337 إلى 355 (جزء تردد واحد) أو 318 إلى 355 (جزءان من التردد) أو 280 إلى 355 (أربعة أجزاء تردد). وتضم النطاقات الجانبية الأولية الموسعة الدنيا الموجات الحاملة الفرعية من –337 إلى –355 (جزء ترد واحد) أو من –318 إلى –355 (جزءان من التردد) أو من –280 إلى –355 (أربعة أجزاء تردد). ويقايس اتساع الموجات الحاملة الفرعية في النطاق الجانبي الأولي الموسَّع مقايسةً متَّسقة بتطبيق نفس عامل مقايسة الاتساع a_{0L} أو a_{0U} المطبَّق على النطاق الجانبي الرئيسي الأولي (الشكل 29 والجدول 15).

الشكل 29

طيف الموجة الهجينة الموسعة – أساليب الخدمة MP2 وMP3 وMP11 وMP12 وMP5 وMP6



الجدول 15

ملخص عن طيف الموجة الهجينة الموسعة – أساليب الخدمة MP2 وMP3 وMP11 وMP12 وMP5 وMP6

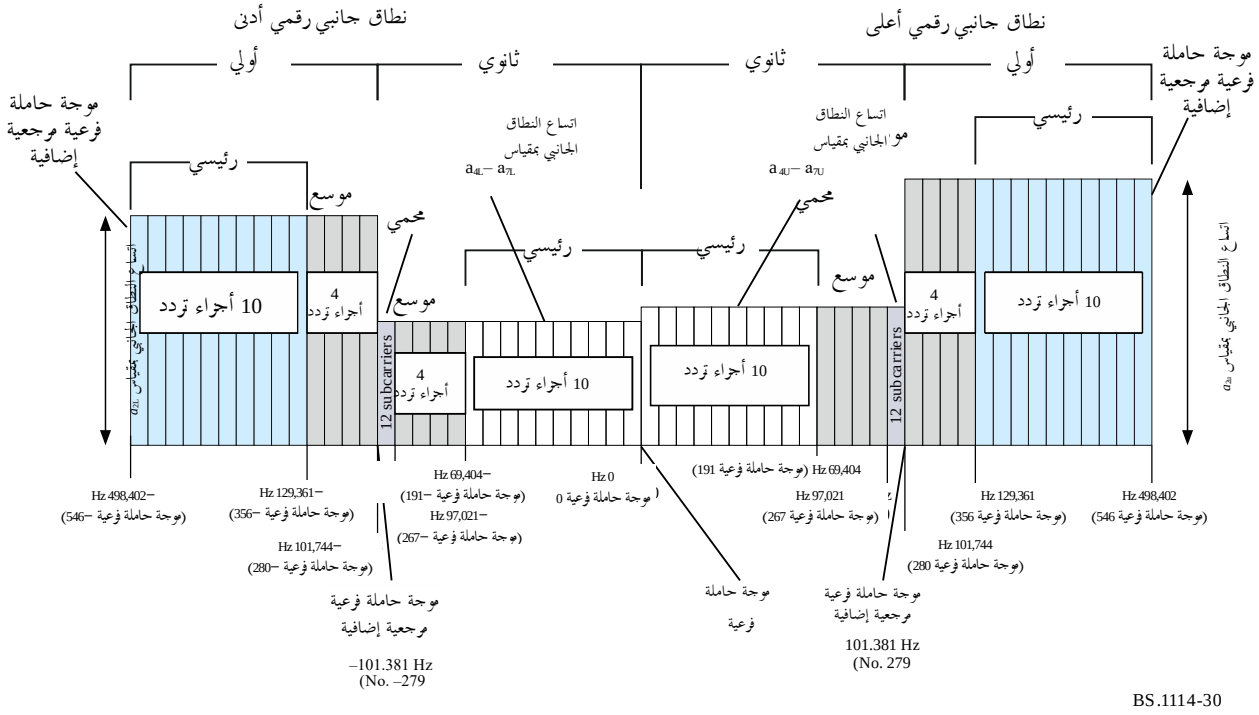
النطاق الجانبي	عدد أجزاء التردد	ترتيب أجزاء التردد	مدى الموجات الحاملة الفرعية	ترددات الموجات الحاملة الفرعية (نسبةً إلى مركز القناة) (Hz)	عامل مقايسة الاتساع	تباعد الترددات (Hz)	ملاحظات
الرئيسي الأولي الأعلى	10	A	356 إلى 546	129 361 إلى 198 402	a_{0U}	69 041	يضم الموجة الحاملة الفرعية المرجعية الإضافية 546
الرئيسي الأولي الأدنى	10	B	−356 إلى −546	−129 361 إلى −198 402	a_{0L}	69 041	يضم الموجة الحاملة الفرعية المرجعية الإضافية −546
الموسع الأولي الأعلى (جزء من أجزاء التردد)	1	A	337 إلى 355	122 457 إلى 128 997	a_{0U}	6 540	لا يوجد
الموسع الأولي الأدنى (جزء من أجزاء التردد)	1	B	−337 إلى −355	−122 457 إلى −128 997	a_{0L}	6 540	لا يوجد
الموسع الأولي الأعلى (جزءان من أجزاء التردد)	2	A	318 إلى 355	115 553 إلى 128 997	a_{0U}	13 444	لا يوجد
الموسع الأولي الأدنى (جزءان من أجزاء التردد)	2	B	−318 إلى −355	−115 553 إلى −128 997	a_{0L}	13 444	لا يوجد
الموسع الأولي الأعلى (4 أجزاء من أجزاء التردد)	4	A	280 إلى 355	101 744 إلى 128 997	a_{0U}	27 253	لا يوجد
الموسع الأولي الأدنى (4 أجزاء من أجزاء التردد)	4	B	−280 إلى −355	−101 744 إلى −128 997	a_{0L}	27 253	لا يوجد

7 طيف الموجات الرقمية بالكامل

تتكون الموجة الرقمية بالكامل بإلغاء الإشارة التماثلية وتوسيع عرض النطاق كاملاً للنطاقات الجانبية الرقمية الأولية وإضافة نطاقات جانبية ثانوية منخفضة القدرة إلى الطيف الذي أخْلَته الإشارة التماثلية. ويظهر طيف الموجة الرقمية بالكامل في الشكل 30.

الشكل 30

طيف الموجة الرقمية بالكامل – أساليب الخدمة MP5 وMP6 وMP12 وMS1 حتى MS4



وإضافة إلى أجزاء التردد الرئيسي العشرة، توجد أربعةُ أجزاء التردد الموسع كلها في كل نطاق مستخدَم من النطاقات الجانبية الأولية للموجة الرقمية بالكامل. ولكل نطاق جانبي ثانوي مستخدَم أيضاً عشرة أجزاء ترددات رئيسية ثانوية (SM) وأربعة أجزاء موسعة ثانوية. لكن بخلاف النطاقات الجانبية الأولية فإن أجزاء الترددات الرئيسية الثانوية تتقابل بالقرب من مركز القناة مع أجزاء ترددات موسعة بعيدة عن المركز.

ويدعم كل نطاق جانبي ثانوي أيضاً منطقة ثانوية محمية (SP) صغيرة تتألف من 12 موجة حاملة فرعية (OFDM) والموجتين الفرعيتين المرجعيتين 279 و–279. وتدعى هذه النطاقات الجانبية نطاقات "محمية" لأنها تقع في منطقة الطيف الأقل تأثراً بالتداخل التماثلي أو الرقمي. وتوضع موجة حاملة فرعية مرجعية إضافية في مركز القناة (0). أما ترتيب أجزاء الترددات في المنطقة الثانوية المحمية فلا يطبق نظراً لعدم احتواء هذه المنطقة على أجزاء ترددات.

ويمتد كل نطاق جانبي رئيسي ثانوي (SM) فوق الموجات الحاملة الفرعية من 1 إلى 190 أو من –1 إلى –190. ويضم النطاق الجانبي الموسع الثانوي الأعلى الموجات الحاملة الفرعية من 191 إلى 266 والنطاق الجانبي الأولي الثانوي الأعلى الموجات من 267 إلى 278 إضافة إلى الموجة الحاملة الفرعية المرجعية 279. ويضم النطاق الجانبي الموسع الثانوي (SP) الأدنى الموجات الحاملة الفرعية من –191 إلى –266 والنطاق الجانبي الأدنى الثانوي الأدنى الموجات من –267 إلى –278 إضافة إلى الموجة الحاملة الفرعية المرجعية الإضافية –279. أما امتداد الترددات الكلي لكامل طيف الموجات الرقمية بالكامل فيصل حتى 803 396 Hz. ويقايس اتساع الموجات الفرعية الحاملة داخل النطاقين الجانبيين الرئيسيين الأوليين والموسع الأولي بتطبيق عامل مقايسة الاتساع a_{2L} أو a_{2L}. ويقايس اتساع الموجات الحاملة الفرعية داخل النطاقات الجانبية الرئيسية الثانوية والموسعة الثانوية والأولية الثانوية مقايسةً متّسقة بتطبيق عامل لمقايسة الاتساع ذي أربع سويات متميِّزة هي a_{4L} حتى a_{7L} أو a_{4U} حتى a_{7U} (انظر الشكل 30 والجدول 16).

الجدول 16

ملخص طيف الموجة الرقمية بالكامل – أساليب الخدمة MP5 وMP6 وMP12 وMS1 حتى MS4

النطاق الجانبي	عدد أجزاء التردد	ترتيب أجزاء التردد	مدى الموجات الحاملة الفرعية	ترددات الموجات الحاملة الفرعية (نسبةً إلى مركز القناة) (Hz)	عامل مقايسة الاتساع	تباعد الترددات (Hz)	ملاحظات
الرئيسي الأولي والأعلى	10	A	356 إلى 546	129 361 إلى 198 402	a_{2Y}	69 041	يضم الموجة الحاملة الفرعية المرجعية الإضافية 546
الرئيسي الأولي والأدنى	10	B	356– إلى 546–	129 361– إلى 198 402–	a_{2L}	69 041	يضم الموجة الحاملة الفرعية المرجعية الإضافية 546–
الموسع الأولي الأعلى	4	A	280 إلى 355	101 744 إلى 128 997	a_{2U}	27 253	لا يوجد
الموسع الأولي الأدنى	4	B	280– إلى 355–	101 744– إلى 128 997–	a_{2L}	27 253	لا يوجد
الرئيسي الثانوي والأعلى	10	B	0 إلى 190	0 إلى 69 041	a_{4U}-a_{7U}	69 041	يضم الموجة الحاملة الفرعية المرجعية الإضافية 0
الرئيسي الثانوي والأدنى	10	A	1– إلى 190–	363– إلى 69 041–	a_{4L}-a_{7L}	68 678	لا يوجد
الموسع الثانوي الأعلى	4	B	191 إلى 266	69 404 إلى 96 657	a_{4U}-a_{7U}	27 253	لا يوجد
الموسع الثانوي الأدنى	4	A	191– إلى 266–	69 404– إلى 96 657–	a_{4L}-a_{7L}	27 253	لا يوجد
الأولي الثانوي الأعلى	لا ينطبق	لا ينطبق	267 إلى 279	97 021 إلى 101 381	a_{4U}-a_{7U}	4 360	يضم الموجة الحاملة الفرعية المرجعية الإضافية 279
الأولي الثانوي الأدنى	لا ينطبق	لا ينطبق	267– إلى 279–	97 021– إلى 101 381–	a_{4L}-a_{7L}	4 360	يضم الموجة الحاملة الفرعية المرجعية الإضافية 279

8 حدود الإرسال

إن إمكانَ ضبط سوية قدرة إشارة النطاق الجانبي، مع التشكيل الطيفي للحاملات الفرعية الرقمية، يتيح الدقة في ضبط الكثافة الطيفية للقدرة فيما يخص بيئة التشغيل. ويمكن تشكيله ليتطابق على نحو كاف مع حدود الإرسال السارية في مكان التشغيل، ومع ظروف التعايش الخاصة، ومع أسلوب التشغيل، ومع قدرات أجهزة البث المستخدمة على وجه التحديد. وتساق أمثلة على تشكيلات تحقق التطابق مع شتى ظروف التشغيل هذه.

1.8 حدود الإرسال فيما يخص تشغيل IBOC بقناع البث التماثلي المستعمَل في المنطقة II

يُعمل بسويات لقدرة الموجات الحاملة الفرعية الهجينة والرقمية بالكامل هي أدنى بقدر ليس بالقليل من حدود أقنعة البث بتشكيل التردد (FM). ويرد في الجدول 17 بصورة مختصرة مثال على قناع تستعمله واحدة من الإدارات، هي إدارة الولايات المتحدة الأمريكية (قانون اللوائح التنظيمية الاتحادي (CFR)، الباب 47، الفقرة 317.73).

الجدول 17

حدود الإرسال تبعاً لتخالف تردد الموجة الحاملة في قنوات FM في الولايات المتحدة الأمريكية

التخالف نسبةً لتردد الموجة الحاملة (kHz)	الكثافة الطيفية للقدرة نسبة إلى موجة FM الحاملة التماثلية غير المشكَّلة (1)(dBc/kHz)
120 إلى 240	25–
240 إلى 600	35–
أكبر من 600	80– أو x $\log_{10}$ 10 – 43–، إن كانت أقل قيمةً، حيث x هي القدرة (W) الكلية للموجة الحاملة الخارجة من المرسل وغير المشكَّلة.

(1) أجريت القياسات من خلال حساب متوسط الكثافة الطيفية للقدرة في عرض نطاق قدره 1 kHz في قطعة مدتها الزمنية 10 ثوانٍ.

ويُظهر الشكل 31 بالديسيبلات (dB) حدود إرسال الموجات الهجينة والموجات الهجينة الموسعة من جميع المصادر نسبةً إلى قدرة الحاملة التماثلية غير المشكّلة، مقيسةً في عرض للنطاق الترددي يبلغ 1 kHz. وتنتُج حدود الإرسال من تطبيق فرادى حدود الإرسال لكل نطاق جانبي رقمي في آن معاً. إن قياس الإرسال يشمل جميع المصادر بما في ذلك:

- ضوضاء الطور في مثير IBOC
- نواتج التشكيل البيني في المرسِل. وقد ضُبطت السويات في الجداول 17 و18 و19 و20 على نحو تظهر به السوية أقل من قناع الإرسال 0 dBc.

الجدول 18

حدود قدرة الموجة الحاملة الاسمية لنظام IBOC(1)

أسلوب الموجات الهجينة	أسلوب الموجات الرقمية بالكامل	
	الموجات الحاملة للبرنامج الرئيسي	الموجات الحاملة للخدمة المساعدة الثانوية
31,39–	31,39–	36,39–

(1) الكثافة الطيفية للقدرة الاسمية في عرض نطاق قدره 1 kHz نسبة إلى القناع المرجعي 0 dBc (قانون اللوائح التنظيمية الاتحادي (CFR) للولايات المتحدة الأمريكية).

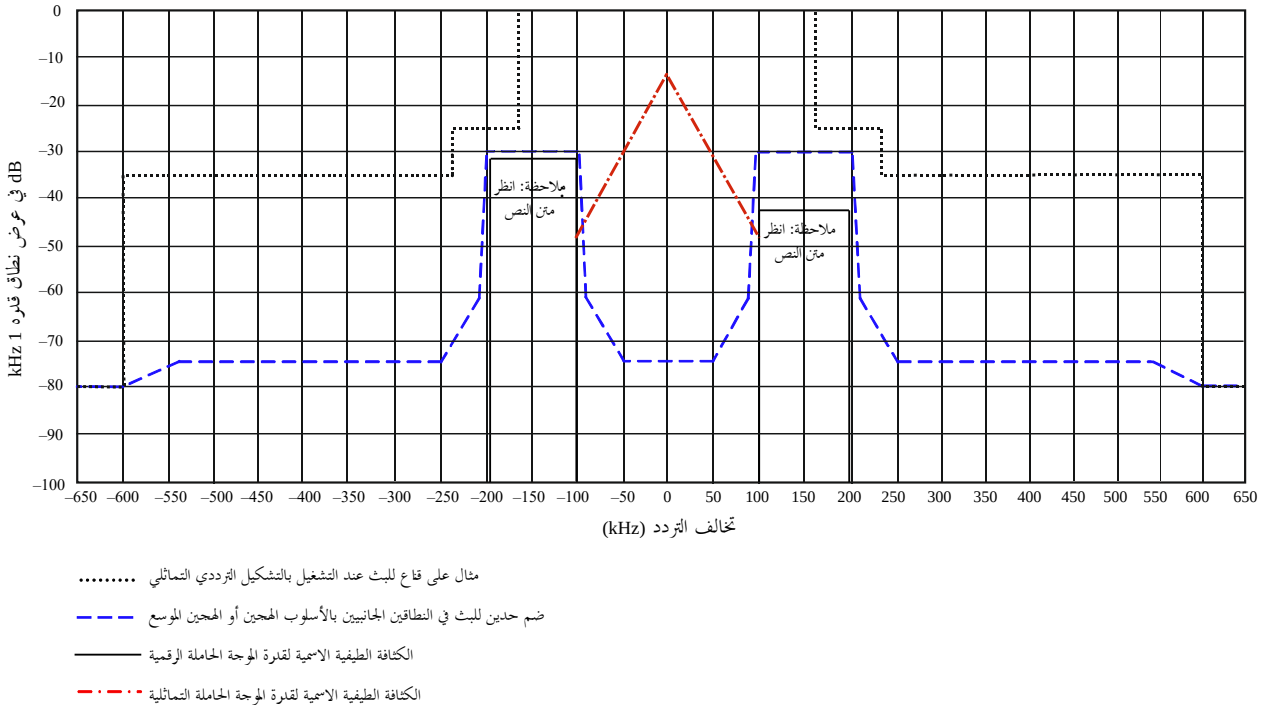
1.1.8 حدود الإرسال في التشغيل بأسلوب الموجة الهجينة

تبيَّن في الشكل 31 والجدول 19 حدود تفي بها الضوضاء الواردة من جميع المصادر بما فيها ضوضاء طور مثير IBOC ونواتج التشكيل البيني، عدا الترددات الملغاة من الموجة الحاملة بين 100 و200 kHz. وتتلخص المتطلبات على النحو التالي حيث يشير المقدار المعبَّر عنه بالوحدة dBc (ديسيبل بالنسبة إلى الموجة الحاملة) إلى القيمة نسبةً إلى قناع FM التماثلي المتّخَذ مثالاً، كما يبيَّن في الجدول 17، بعرض نطاق لإشارات النطاقات الجانبية الرقمية مقداره 1 kHz.

ملاحظة – قد تختلف الإشارات الفعلية للنطاقين الجانبيين الأعلى والأدنى من حيث سوية قدرتها. وفي بعض التشكيلات لا يمكن أن يُستخدم إلا واحد من النطاقين الجانبيين.

الشكل 31

حدود الإرسال في أسلوب الموجة الهجينة IBOC*



BS.1114-31

الجدول 19

حدود الإرسال بأسلوب الموجات الهجينة

تخالف التردد نسبةً إلى الموجة الحاملة (kHz)	السوية (dBc/kHz)
50-0	74,39–
92,5	61,39–
200-100	30–
207,5	61,39–
250	74,39–
600<	80–

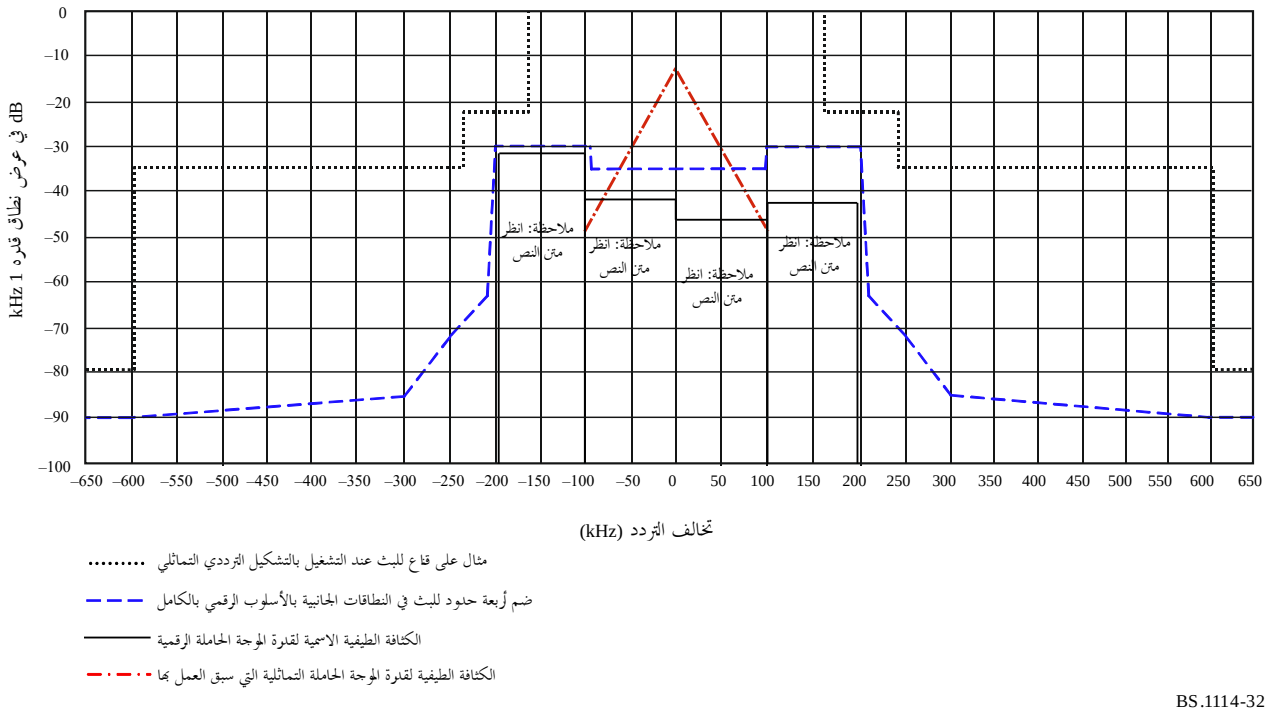
2.1.8 حدود الإرسال عند التشغيل بأسلوب الموجات الرقمية بالكامل

فيما يخص الترددات التي يزيد بعدها عن الموجة الحاملة عن 200 kHz، يجب أن تفي الضوضاء الناجمة عن كل المصادر، بما فيها ضوضاء الطور لمثير IBOC ونواتج التشكيل البيني، بالحدود الواردة في الشكل 32 والجدول 20. وفي حالة الأساليب القائمة على الإشارة الرقمية بالكامل يمكن أن يستعاض بإشارات نطاقات جانبية (ثانوية) إضافية عن إشارة FM التماثلية التي سبق أن وُجدت (لكنها غدت ملغاة). لكن يظل يُنظر في قناع FM التماثلي عند تشكيل سويات قدرة إشارات النطاقات الجانبية. وتتلخص المتطلبات على النحو التالي حيث يشير المقدار المعبَّر عنه بالوحدة dBc (ديسيبل بالنسبة إلى الموجة الحاملة) إلى القيمة نسبةً إلى قناع FM التماثلي المتّخذ مثالاً، كما يبيَّن في الجدول 17، بعرض نطاق لإشارات النطاقات الجانبية الرقمية مقداره 1 kHz.

ملاحظة – قد تختلف الإشارات الفعلية للنطاقين الجانبيين الأعلى والأدنى من حيث سوية قدرتها. وفي بعض التشكيلات لا يمكن أن يُستخدم إلا واحد من النطاقين الجانبيين.

الشكل 32

حدود إرسال الموجة الرقمية بالكامل*



وتتلخص المتطلبات على النحو التالي حيث يشير المقدار المعبَّر عنه بالوحدة dBc (ديسيبل بالنسبة إلى الموجة الحاملة) إلى القيمة نسبةً إلى قناع FM التماثلي المتّخَذ، كما يبيَّن في الجدول 17، بعرض نطاق لإشارات النطاقات الجانبية الرقمية مقداره 1 kHz.

الجدول 20

حدود إرسال الموجات الرقمية بالكامل

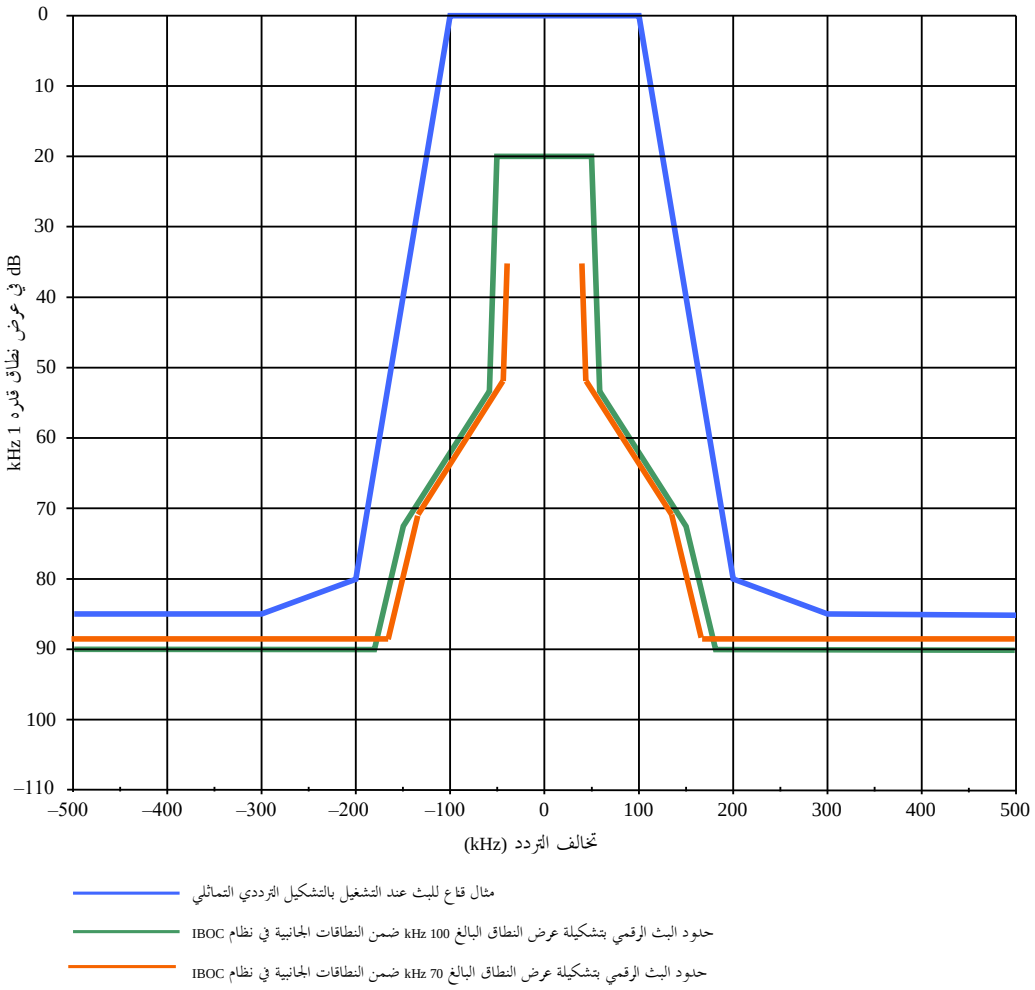
تخالف التردد نسبةً إلى الموجة الحاملة (kHz)	السوية (dBc/kHz)
100-0	35–
200-100	30–
207,5	63–
250	72–
300	85–
600<	90–

2.8 حدود الإرسال فيما يخص تشغيل IBOC بقناع البث التماثلي المستعمَل في المنطقة I

يقدَّم في الوثيقة ETSI EN 302 018-1 مثال على قناع تستعمله واحدة من الإدارات في أوروبا. ويحدَّد التشكيل الطيفي القابل للضبط للموجات الحاملة الفرعية الرقمية في نظام IBOC على نحو يفي بمتطلبات حدود الإرسال، وتتوافق الإشارات الرقمية للنطاقات الجانبية مع القناع. وتُعرض في الشكل 33 هذه التشكيلات المثالية لحدود إرسال إشارات النطاقات في نظام IBOC فيما يتعلق بقناع الإدارة للبث التماثلي بتشكيل التردد (FM). وترد تفاصيل حدود الإرسال في الجدولين 21 و22، حيث تُستعمل الوحدة dBc نسبةً إلى قناع البث التماثلي بتشكيل التردد (FM) المتّخَذ نموذجاً.

الشكل 33

حدود إرسال إشارات النطاقات الجانبية في نظام IBOC*



الجدول 21

حدود إرسال إشارات النطاقات الجانبية في نظام IBOC العامل بأساليب قائمة على عرض نطاق لإشارات النطاقات الجانبية قدره 100 kHz

تخالف التردد نسبةً إلى الموجة الحاملة (kHz)	السوية (dBc/kHz)
kHz 50	20–
kHz 57,5	53–
kHz 100	62–
kHz 150	72,5–
kHz 181	90–
kHz 500	90–

الجدول 22

حدود إرسال إشارات النطاقات الجانبية في نظام IBOC العامل بأساليب قائمة على عرض نطاق لإشارات النطاقات الجانبية قدره 70 kHz

تخالف التردد نسبةً إلى الموجة الحاملة (kHz)	السوية (dBc/kHz)
kHz 35	18,5−
kHz 42,5	51,5−
kHz 100	62−
kHz 135	71−
kHz 166	88,5−
kHz 500	88,5−

9 مجمل نتائج الاختبارات

يرد أدناه ملخص الاختبارات التي أُجريت للنظام الرقمي C في المختبر. وتسمى أنواع الخبو المستخدمة (UF) (سريع في بيئة حضرية)، و(US) (بطيء في بيئة حضرية)، و(RF) (سريع في بيئة ريفية)، و(TO) (سريع مع تضاريس معيقة) وقد طبقت كل منها على حدة على الإشارة المرغوبة وعلى كل إشارة مسببة للتداخل. وتقدر سوية التداخل بالوحدات dB_{des} التي تعرَّف بأنها قيمة dB نسبة إلى القدرة الكلية للإشارة الهجينة المرغوبة. ويعد الجدول 23 لكل اختبار معدل أخطاء فدرة سيناريو من التداخل عند وقوع الخطأ والنسبة C_d/N_0 (dB/Hz) وشكل الخبو وسوية التداخل والمعدل المقيس للأخطاء في الفدرة.

الجدول 23

تحسين نتائج الاختبار FM الهجين IBOC DSB

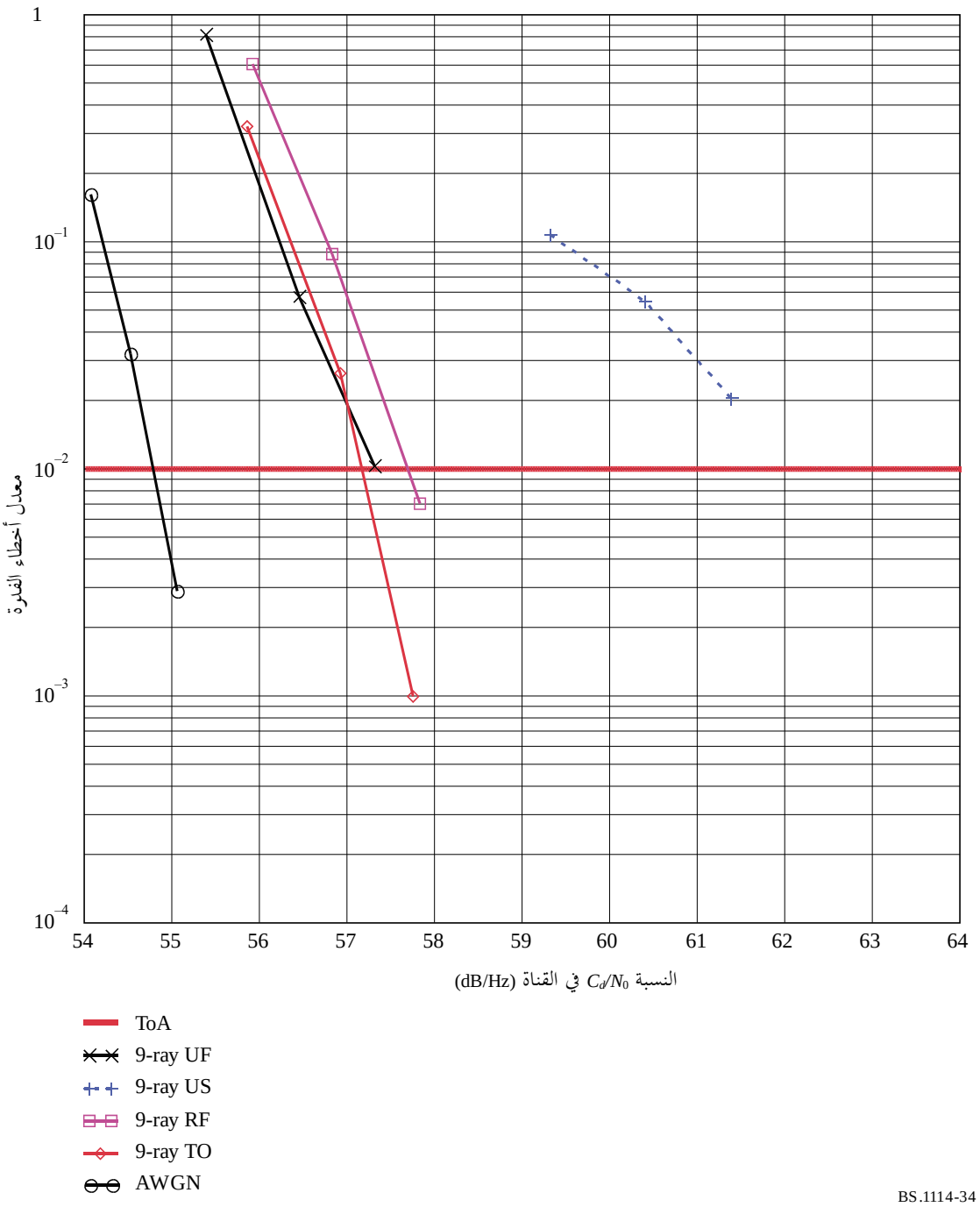
الاختبارات	معلمات الدخل					قياسات		
	Cd/N_0 (dB/Hz)	الخبو	القناة المشتركة (dB_{des})	أول قناة مجاورة (dB_{des})	ثاني قناة مجاورة (dB_{des})	الأداء الرقمي	تقييم شخصي للإشارات التماثلية عند العتبة السمعية الرقمية ToA	
						معدل الأخطاء في الفدرة	السجل	الانحطاط السمعي حسب التقدير الشخصي
ضوضاء غوسية دون خبو/دون تداخل	54,1					0,16	audio1.wav	مسموع
	54,5					0,032		
	55,1					0,0029		
خبو قدره 9 مسارات	55,4	UF				0,8	audio2.wav	مسموع
	56,4					0,056		
	57,3					0,012		
	59,3	US				0,106	audio3.wav	مسموع
	60,4					0,054		
	61,4					0,0202		
	55,9	RF				0,6	audio4.wav	مسموع
	56,8					0,087		
	57,8					0,007		
	55,9	TO				0,317	audio5.wav	مسموع
	56,9					0,026		
	57,8					0,001		
تداخل تسببه أول قناة مجاورة	61,5	UF		6,0–		0,075	audio6.wav	مسموع
	62,4					0,045		
	63,4					0,00842		
	59,4	UF		18,0–		0,077	audio7.wav	مسموع
	60,3					0,012		
	61,3					0,006		
	58,2	UF		24,0–		0,0735	audio8.wav	مسموع
	59,2					0,0109		
	60,1					0,005		
	57,2	UF		30,0–		0,0287	audio9.wav	مسموع
	58,2					0,0082		
تداخل تسببه ثاني قناة مجاورة	57,9	UF			20,0	0,1	audio10.wav	مسموع
	58,9					0,018		
	60,5					0,00085		
تداخل تسببه القناة المشتركة	60,2	UF	10,0–			0,013	audio11.wav	أبعد نقطة من العطل
	61,3					0,0097		
	65,3					0,00014		
	58,4	UF	20,0–			0,013	audio12.wav	مسموع
	59,3					0,0011		
	60,4					0,00035		

1.9 الأداء مع الضوضاء الغوسية

يقيس هذا الاختبار الحد الأعلى لأداء النظام والإشارات السمعية التماثلية المسجلة عند العتبة الرقمية للسمع (ToA) في وجود ضوضاء غوسية ودون خبو رايلي أو أي تداخل. ويظهر الأداء في المنحنيات البيانية لمعدل خطأ الفدرة المبين في الشكل 34 والملخصة في الجدول 23. ويشير الجدول 23 إلى أن الجودة السمعية للإشارات التماثلية تعاني من الانحطاط قبل العتبة ToA الرقمية مباشرة.

الشكل 34

نتائج معدل أخطاء الفدرة في النظام الهجين في أنماط مختلفة للخبو في 9 مسارات وضوضاء غوسية بيضاء إضافية (AWGN)

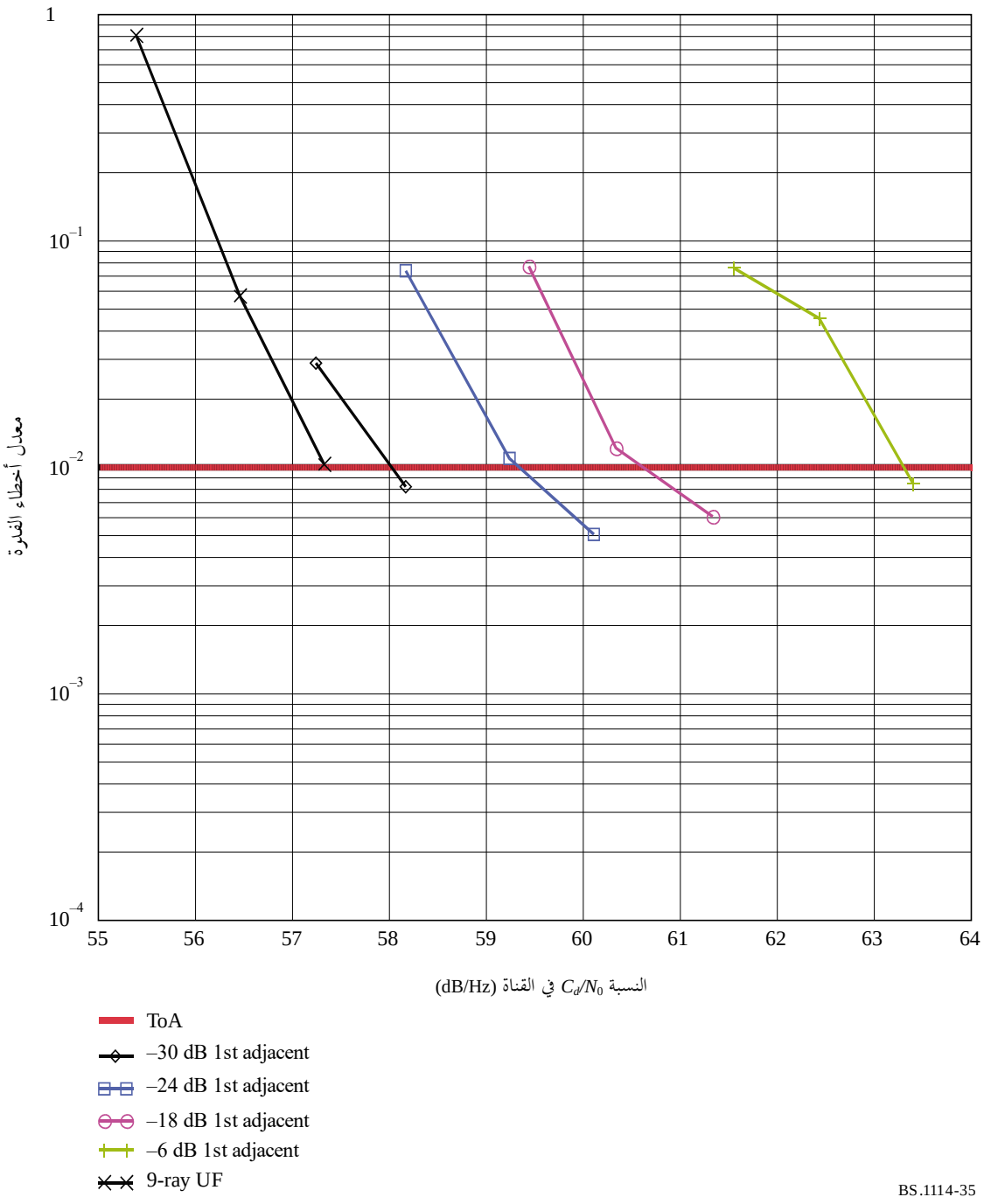


2.9 الأداء مع خبو رايلي

يقيس هذا الاختبار أداء النظام والإشارات السمعية المسجلة عند العتبة ToA الرقمية مع ضوضاء غوسية وأنماط مختلفة من خبو رايلي. ويظهر الأداء في المنحنيات البيانية لمعدل أخطاء الفدرة في الشكل 35 والملخصة في الجدول 23. وتشير النتائج إلى عدم التأثير بشكل الخبو باستثناء حالة الخبو البطيء الحضري الذي يُنتج حالات خبو في الإشارة بالغة الطول. ويُنتج نوع الخبو البطيء الحضري انقطاعات شديدة الإزعاج في الإرسالات التماثلية القائمة.

الشكل 35

نتائج معدل أخطاء الفدرة في النظام الهجين مع خبو سريع في بيئة حضرية في 9 مسارات ومع مصدر مسبب للتداخل في القناة المجاورة الأولى ذات الخبو المنفصل



1.2.9 الخبو السريع في بيئة حضرية (UF)

يعطي الجدول 23 التقييم الشخصي للإشارات السمعية التماثلية الذي يدل على أن الجودة السمعية التماثلية انحطت قبل العتبة ToA الرقمية مباشرة.

2.2.9 الخبو البطيء في بيئة حضرية (US)

يعطي الجدول 23 التقييم الشخصي للإشارات السمعية التماثلية الذي يدل على أن الجودة السمعية التماثلية انحطت قبل العتبة ToA الرقمية مباشرةً.

3.2.9 الخبو السريع في بيئة ريفية (RF)

يعطي الجدول 23 التقييم الشخصي للإشارات السمعية التماثلية الذي يدل على أن الجودة السمعية التماثلية انحطت قبل العتبة ToA الرقمية مباشرةً.

4.2.9 الخبو السريع مع تضاريس معيقة (TO)

يعطي الجدول 23 التقييم الشخصي للإشارات السمعية التماثلية الذي يدل على أن الجودة السمعية التماثلية انحطت قبل العتبة ToA الرقمية مباشرةً.

3.9 أداء النظام في وجود تداخل مع خبو منفصل

يقيس هذا الاختبار أداء النظام والإشارة السمعية التماثلية المسجلة في ضوضاء غوسية وخبو رايلي وبوجود مصادر تداخل مسببة للخبو المنفصل IBOC في القنوات المجاورة الأولى والمجاورة الثانية والمشتركة الهجينة. وقد مرَّ كل مصدر تداخل عبر نفس نمط قناة خبو رايلي مثله مثل الإشارة المطلوبة؛ لكن جميع الإشارات خضعت لخبو منفصل وبالتالي بقيت مستقلة بعضها عن بعض.

1.3.9 تداخل وحيد المصدر في القناة المجاورة الأولى

تتم في الولايات المتحدة الأمريكية حماية محطات الصنف B المتباعدة بشكل ملائم حتى الكفاف 54 dBu من مصادر تداخل من القناة المجاورة الأولى تتعدى 48 dBu في 50% من المواقع أثناء 10% من الوقت. ونتيجة لذلك أجريت الاختبارات بوجود مصادر تداخل هجينة في القناة المجاورة الأولى بقدرات مختلفة تصل إلى سوية تقل عن سوية الإشارة المطلوبة بـ 6 dB. وتظهر نتائج معدل أخطاء الفدرة في الشكل 35 والملخصة في الجدول 23. وعلى النحو المتوقع، ينحط الأداء كلما ازدادت سوية التداخل في المدى من -30 dB_{des} إلى -6 dB_{des}. غير أن خوارزمية إلغاء التداخل في القناة المجاورة الأولى والمستخدمة في المستقبِل تضمن جودة أداء أفضل للنظام حتى بوجود تداخل عالي السوية في القناة المجاورة الأولى في بيئة حضرية للخبو السريع. ويقدم الجدول 23 التقدير الشخصي للإشارات السمعية التماثلية الذي يدل على أن الجودة السمعية للإشارات التماثلية تنحط قبل العتبة ToA الرقمية تماماً في جميع سويات القنوات المجاورة الأولى.

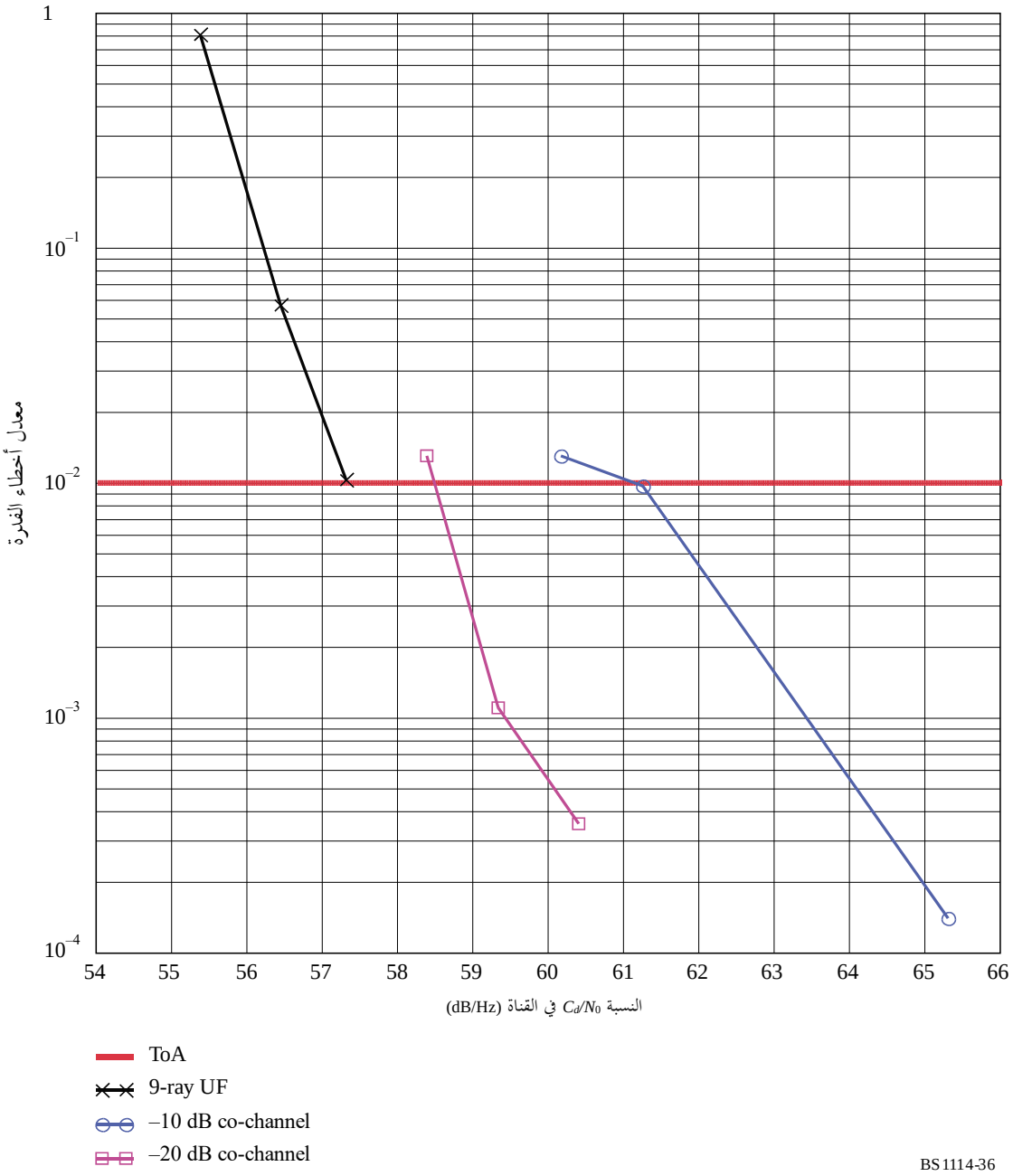
2.3.9 تداخل وحيد المصدر في القناة المشتركة

تتم في الولايات المتحدة الأمريكية حماية محطات الصنف B المتباعدة بشكل ملائم حتى كفاف قدره 54 dBu من التداخل الذي تسببه القناة المشتركة والذي يتجاوز 34 dBu في 50% من المواقع أثناء 10% من الوقت. ويعني ذلك أن النسبة (*D/U*) (الإشارة المطلوبة/الإشارة غير المطلوبة) تتجاوز 20 dB خلال 90% من الوقت عند الكفاف 54 dBu. واستناداً إلى هذه المعلومات يمكن إجراء عدد من عمليات الرصد بخصوص طبيعة التداخل في القناة المشتركة. وينبغي لأي مصدر تداخل هجين في القناة المشتركة أن يكون ذا تأثير أدنى على أداء الإشارة الرقمية المطلوبة لأن قدرتها تقل عادة بمقدار 20 dB على الأقل عن النطاقات الجانبية الرقمية عند الكفاف المحمي التماثلي 54 dBu. وقد ثبت ذلك في الاختبارات المخبرية. واستخدام تداخل قناة مشتركة هجين بمقدار -20 dB_{des} مع إشارة هجينة مطلوبة في بيئة خبو سريع حضري. وتظهر نتائج معدل أخطاء الفدرة في الشكل 35 والملخصة في الجدول 23. ويدل الشكل 36 على أن إضافة تداخل قناة مشتركة هجين بمقدار -20 dB_{des} يسبب انحطاطاً في الأداء

لا يتجاوز 1 dB. كما يبين الشكل 35 أن تزايد الانحطاط ينحصر عند أقل من 3 dB حتى إذا ازدادت سوية تداخل القناة المجاورة إلى dB_{des} 10– ويقدم الجدول 23 التقدير الشخصي للإشارات السمعية التماثلية الذي يدل على الجودة السمعية للإشارة التماثلية انحطت قبل العتبة ToA الرقمية تماماً بوجود تداخل قناة مشتركة بمقدار dB_{des} 20–. أما عند استخدام التداخل في القناة المشتركة بمقدار dB_{des} 10– فإن الجودة السمعية للإشارات التماثلية ينحط إلى درجة الانقطاع حتى قبل أن تصل الإشارة السمعية الرقمية إلى العتبة ToA.

الشكل 36

نتائج معدل أخطاء الفدرة في النظام الهجين مع تداخل تسببه 10 قنوات وخبو منفصل

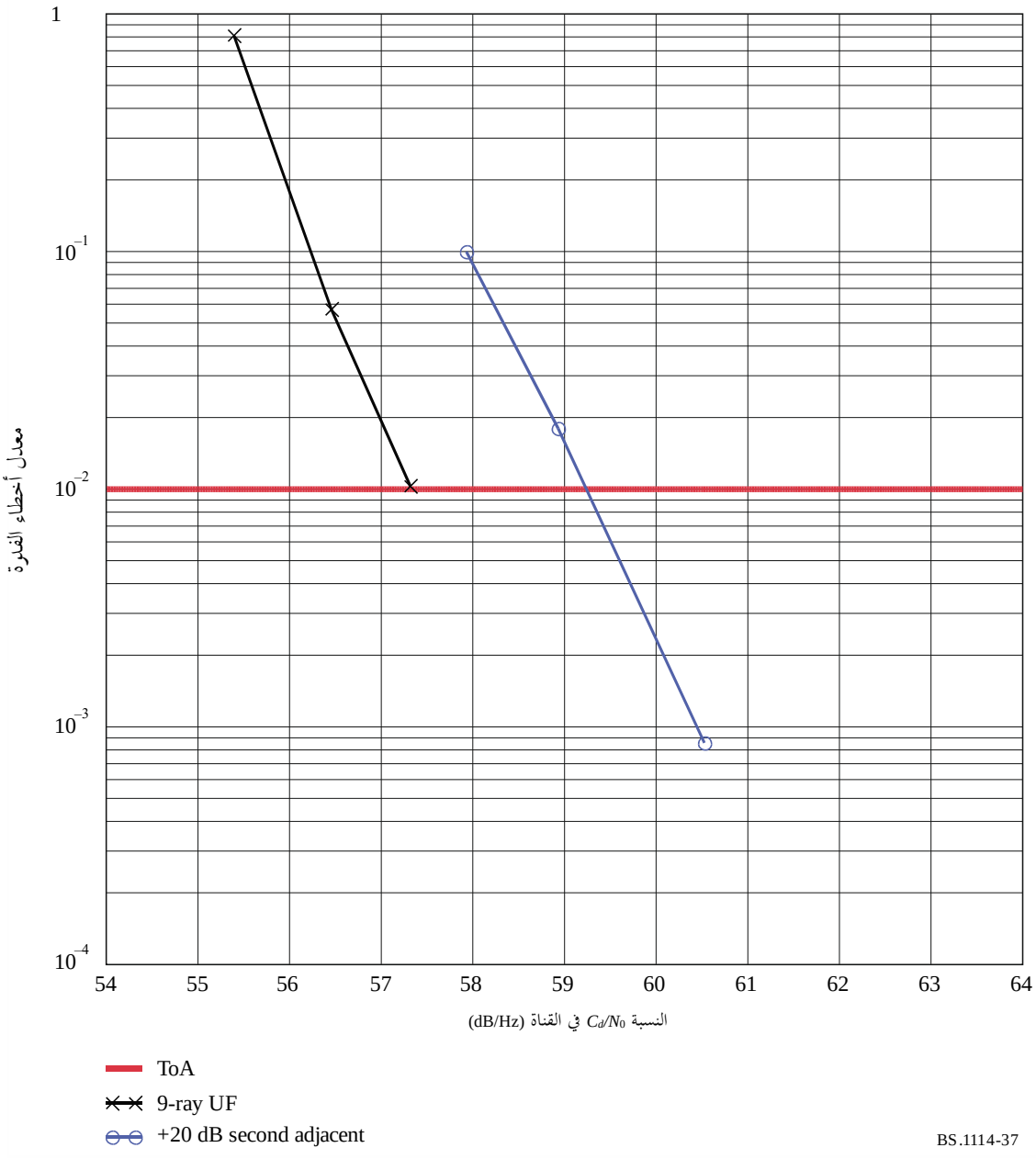


3.3.9 تداخل وحيد تسببه القناة المجاورة الثانية

قد يكون للتداخل IBOC الهجين الذي تسببه القناة المجاورة الثانية أثر طفيف على أداء الإشارة الرقمية إذ إن الفصوص الجانبية للتداخل قد تنغلق لتعطي نطاقات جانبية رقمية مطلوبة. وقد تم تحديد مقدار هذا الأثر في اختبارات مخبرية. وقد استعمل تداخل وحيد هجين قدره +20 dB تسببه القناة المجاورة الثانية للإشارة الهجينة المطلوبة في بيئة حضرية سريعة الخبو. وتظهر نتائج معدل أخطاء الفدرة في الشكل 37 والملخصة في الجدول 23. ويدل الشكل 37 على أن تداخلاً هجيناً بمقدار +20 dB تسببه القناة المجاورة الثانية يسفر عن انحطاط في الأداء مقداره 2 dB تقريباً. ويقدم الجدول 23 تقييماً شخصياً للإشارات السمعية التماثلية يدل على أن جودة الإشارة السمعية التماثلية تنحط قبل العتبة ToA الرقمية تماماً.

الشكل 37

نتائج معدل أخطاء الفدرة في النظام الهجين بوجود تداخل تسببه القناة المجاورة الثانية وخبو منفصل



4.9 الاستنتاجات

تدل التسجيلات على أن الإشارات السمعية التماثلية المقابلة تظهر انحطاطاً سمعياً في جميع البيئات المختبرة عند النقطة التي تبدأ فيها الإشارة الرقمية بالانحطاط. مما يفترض أن الإشارة السمعية التماثلية تنحط عند سويات الإشارة حيث لم يظهر بعد انحطاط الإشارة السمعية الرقمية، أي أن أداء الإشارة الرقمية عند نقطة العتبة ToA الرقمية يتقدم على أداء الإشارة التماثلية القائمة. وعندما يبدأ ظهور الانحطاط في الإشارة الرقمية يتغير المستقبل IBOC أوتوماتياً إلى الإشارة التماثلية. وهكذا يكون أداء النظام الرقمي C أفضل من أداء الخدمة FM التماثلية الراهنة.

الملحق 5

النظام الرقمي G

1 مقدمة

النظام الرقمي G، المعروف أيضاً باسم النظام الراديوي الرقمي العالمي (DRM)، هو نظام معدّ لغرض استعماله في أي تردد ضمن نطاقات الموجات المترية (VHF)، التي تتعدد القيود المفروضة عليها في مجال التوجيه بواسطة القنوات وظروف الانتشار السائدة فيها ككل، وتُتاح فيها أساليب إرسال مختلفة لاستيفاء قيود التشغيل هذه. ويُعرّف أسلوب الإرسال على أنه عدد من المعلمات التي تُصنَّف على نوعين اثنين، هما:

- معلمات ذات صلة بعرض نطاق الإشارة؛
- معلمات ذات صلة بكفاءة الإرسال.

ويحدّد النوع الأول من المعلمات المقدار الكلي لعرض نطاق الإرسال، فيما تمكّن المعلمات المتصلة بكفاءة الإرسال من إجراء مفاضلة بين قدرة (معدل البتات المفيدة) ومستوى المتانة بالنسبة إلى الضوضاء وتعدد المسارات وانتشار دوبلر.

والنظام الرقمي G مقيس لدى المعهد الأوروبي لمعايير الاتصالات (ETSI) بوصفه المعيار ES 201 980V3.1.1 (2009.08) "مواصفة النظام الراديوي الرقمي العالمي (DRM)".

ولدى النظام الرقمي G عدد من أساليب المقاومة، وكل أسلوب منها معدّ لاستعماله في نطاقات وظروف انتشار مختلفة يوضّحها الجدول 24 أدناه.

الجدول 24

استعمالات أساليب المقاومة

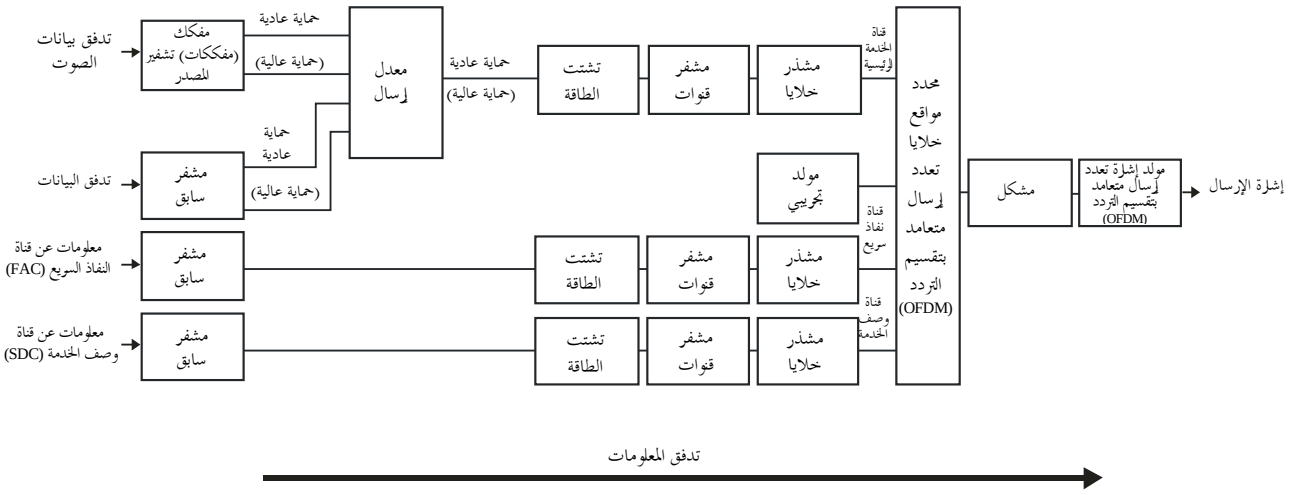
أسلوب المقاومة	ظروف الانتشار النموذجية
A	قنوات غوسية بخبو ثانوي
B	قنوات اختيار الزمن والتردد بانتشار تأخره أطول
C	شأنه شأن الأسلوب B، ولكن بانتشار دوبلري أعلى
D	شأنه شأن الأسلوب B، ولكن بتأخر وانتشار دوبلري أشد
E	قنوات اختيار الزمن والتردد

ويتكون النظام +DRM من أسلوب المقاومة E وهو معدّ لغرض استعماله في جميع نطاقات الموجات المترية (VHF)، وهو موضوع هذه التوصية بوصفه النظام الرقمي G.

2 معمارية النظام

يورد الشكل 38 أدناه وصفاً لتدفّق مختلف أصناف المعلومات بشكل عام (سواء أكانت سمعية، أم بيانات، أم غير ذلك)، ولا يميّز بين ما قد يُقدّم من خدمات مختلفة في إطار صنف واحد أو أكثر من أصناف المعلومات.

الشكل 38



BS.1114-38

ويورد الشكل 38 وصفاً لتدفّق مختلف أصناف المعلومات بشكل عام (سواء أكانت سمعية، أم بيانات، أم غير ذلك)، انطلاقاً من التشفير على الجانب الأيسر منه وانتهاءً بالإرسال على جانبه الأيمن. وبرغم أن الشكل لا يضم مخططاً للمستقبِل فإنه يمثل عملية معكوسة لما يبيّنه هذا المخطط.

- يوجد على الجانب الأيسر من الشكل صنفان اثنان من معلومات الدخل، هما: ما يُدمج من صوت وبيانات مشفّران في معدّد إرسال الخدمات الرئيسي، وقناتا المعلومات المعروفتان باسم قناة النفاذ السريع (FAC) وقناة وصف الخدمة (SDC) اللتان تتجاوزان معدد الإرسال؛
- يكفل مشفّر المصدر الصوتي والمشفّرات السابقة للبيانات تكييف تدفقات الدخل في نسق رقمي مناسب. وقد يضم خرجها جزأين اثنين يحتاجان إلى سويتين اثنتين مختلفتين من الحماية داخل مشفّر القنوات اللاحق؛
- يدمج معدّد الإرسال سويات حماية جميع البيانات والخدمات الصوتية؛
- يؤمن تشتّت الطاقة بتات حتمية وانتقائية تكميلية تقلّل من إمكانية حصول انتظام غير مرغوب في الإشارة المرسلة بسبب الأنماط المنهجية؛
- يضيف مشفّر القنوات معلومات زائدة عن الحاجة بوصفها وسيلة لتصحيح الخطأ، ويحدد نهج رسم خرائط المعلومات المشفّرة رقمياً في خلايا التشكيل QAM. وإذا ما رغبت الإذاعة، فإن لدى النظام القدرة على نقل فئتين اثنتين من "البتات" تُوفّر حماية لإحداهما أكثر من الأخرى؛
- يعمل تشذير الخلايا على نشر خلايا تشكيل QAM متتابعة في سلسلة من الخلايا يُفصل بينها بشكل شبه عشوائي من حيث الزمن والتردد، وذلك لتوفير عنصر متانة إضافي في إطار إرسال الصوت عبر قنوات مشتتة زمنياً وترددياً؛

- يضخ المولد التجريبي معلومات تمكّن المستقبِل من استنباط معلومات عن معادلة القنوات، ليتيح المجال بالتالي أمام فك تشكيل الإشارة بشكل متماسك؛
- يجمع راسم خرائط تعدد الإرسال المتعامد بتقسيم التردد (OFDM) أصنافاً مختلفة من الخلايا ويضعها في شبكة محددة الزمن والتردد؛
- يحوّل مولد إشارة تعدد الإرسال المتعامد بتقسيم التردد (OFDM) كل مجموعة من الخلايا المشتركة في الدليل الزمني نفسه إلى تمثيل لميدان زمن الإشارة يحتوي على عدد وافر من الموجات الحاملة. ومن ثم يُحصل من هذا التمثيل لميدان الزمن على الرمز الكامل المحدد الزمن والميدان لتعدد الإرسال OFDM، وذلك بإضافة فاصل زمني حارس – تكرار جزء من الإشارة دورياً؛
- يحوّل المشكّل التمثيل الرقمي لإشارة تعدد الإرسال OFDM إلى إشارة تماثلية تُرسل عبر الأثير بواسطة مرسل/هوائي، وهي عملية تنطوي على تحويل عالٍ لتردد الإشارة المرسلة، وتحويلها من رقمية إلى تماثلية، وترشيحها كيما يتسنى أن تمتثل للمتطلبات الطيفية المحددة في قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد.

3 تشفير الصوت والرسائل النصية وبيانات الرزم

1.3 الصوت

معدل البتات المتاح لتشفير الصوت هو في مدىً يتراوح بين 37 kbit/s و186 kbit/s وفقاً لقيود لوائح البث المفروضة على قنوات الإذاعة في نطاقات VHF ومعلمات مخطط التشفير والتشكيل المطبّق في هذا المضمار.

ولكي يؤمن النظام جودة مثالية في معدل بتات معين، فإنه يقدم مخططات مختلفة لتشفير الصوت على النحو التالي:

- مجموعة فرعية لتفكيك التشفير الصوتي MPEG-4 AAC تضم أدوات متانة أخطاء الإذاعة الصوتية الجودة الأحادية والمزدوجة القناة؛
- تكرار النطاق الطيفي (SBR)، وهو عبارة عن أداة لتحسين تشفير الصوت تسمح بتوفير عرض نطاق صوتي كامل بمعدلات بتات منخفضة؛
- ستيريو بارامتري (PS)، وهو عبارة عن أداة لتحسين تشفير الصوت ذات صلة بتكرار النطاق الطيفي تسمح بتشفير ستيريوي بمعدلات بتات منخفضة؛
- MPEG محيطي (MPS)، وهو عبارة عن أداة لتحسين تشفير الصوت تسمح بتشفير متعدد القنوات بمعدلات بتات منخفضة.

ويتسم تفكيك التشفير الصوتي (AAC) بطابع مثالي للغاية من حيث كفاءة التشفير، وينبغي أن يؤدي، وفقاً لنظرية المعلومات، إلى أن تكون البتات إجمالاً متكافئة تقريباً. وإذا صحّ هذا الافتراض، فيجب عندئذ تحقيق الحد الأمثل من تشفير القنوات بحيث يُقلّل إلى أدنى حد المقدار الكلّي للأخطاء المتبقية التي عادة ما يُشار إليها على أنها معدل الخطأ في البتات (BER). ويمكن تحقيق هذا المعيار بواسطة أسلوب لتشفير القنوات يُدعى حماية الأخطاء المتكافئة (EEP)، تُوفّر فيه الحماية لجميع بتات المعلومات بذات القدر من التكرار.

على أن الآثار المسموحة للأخطاء ليست مستقلة عن الجزء الخاص بتدفق البتات المعرّض لضرر الخطأ. ويُطلق على الحل الأمثل للتعامل مع هذه الحالة لحساسية الأخطاء غير المتكافئة تسمية حماية الأخطاء غير المتكافئة (UEP)، التي تُوفّر في ظلها حماية أعلى للمعلومات الأكثر حساسية، وأخرى أدنى للجزء الأقل حساسية من تدفق البتات.

ولتسوية تشفير القنوات في إطار حماية الأخطاء غير المتكافئة، يلزم توفير أطر ثابتة الطول وثابتة الملامح كذلك لحماية الأخطاء غير المتكافئة في معدل بتات معين. ونظراً لأن تفكيك التشفير الصوتي هو نظام تشفير متباين الطول، فإن النظام الرقمي G يجمع عدة أطر مشفرة معاً لتكوين إطار صوتي فائق واحد بمعدل بتات ثابت. وبالنظر إلى أن تشفير القنوات يستند إلى أطر صوتية فائقة،

فإن هذه الأطر تتألف في حد ذاتها من جزأين اثنين علوي وسفلي محميين كليهما، لذا ينبغي أن تنقسم الأطر الصوتية المشفّرة إلى هذين الجزأين.

وقد عُدِّل نسق نقل تدفق بتات تفكيك التشفير الصوتي MPEG AAC تلبية لمتطلبات النظام الرقمي G (تكوين أطر صوتية فائقة). ويمكن تطبيق حماية الأخطاء غير المتكافئة (UEP) لتحسين سلوك النظام فيما يتعلق بالقنوات المعرضة للخطأ.

2.3 تطبيق الرسائل النصية

بمقدور الرسائل النصية أن تضيف عنصراً قيماً للغاية إلى خدمة الصوت من دون استهلاك الكثير من سعة البيانات. والرسالة النصية جزء أساسي من النظام الرقمي G ولا تستهلك إلا سعة قدرها 320 bits/s، ويمكن حفظ هذه السعة إذا كان مورد الخدمة لا يستعمل خدمة الرسائل النصية.

3.3 أسلوب بيانات الرزم

عادة ما تتألف خدمات البيانات من تدفقات معلومات متزامنة أو غير متزامنة الشكل، أو من ملفات معلومات. والنظام الرقمي G هو نظام لتسليم الرزم العامة الطابع يتيح المجال أمام تسليم تدفقات غير متزامنة وملفات لخدمات متنوعة في تدفق البيانات نفسه، وأمام تقاسم مختلف الخدمات لمعدل بتات تدفق البيانات (غير المتزامن) على أساس كل إطار على حدة. ويمكن تسليم تدفق البيانات بالتلازم مع التحكم في الأخطاء الإضافية عن طريق إضافة سمة التصحيح الأمامي للأخطاء. ويمكن تقديم الخدمات بفضل سلسلة من الرزم الأحادية أو في شكل سلسلة من وحدات البيانات، التي هي عبارة عن سلسلة من الرزم التي تعتبر كياناً واحداً فيما يتعلق بمعالجة الأخطاء – يتسبب استقبال رزمة واحدة غير صحيحة داخل إحدى وحدات البيانات في رفض وحدة البيانات برمتها. ويمكن استعمال هذه الآلية لنقل الملفات، وكذلك للتمكين من تبسيط مزامنة ما هو غير متزامن من التدفقات. وبمقدور المذيع أن يشكّل أسلوب بيانات رزم النظام الرقمي G إفساحاً للمجال أمام استخدام أي سعة بأمثل حد على النحو التالي: يمكن في المستقبلات تغيير وتشوير طول الرزمة وقوة الحماية الأمامية للأخطاء على حد سواء.

4 تعدد الإرسال، بما يشمل القنوات الخاصة

يجب أن تكون المستقبِلات سهلة الاستخدام. ويوفر النظام الرقمي G بيانات تشوير تتيح المجال أمام المستمع للنفاذ إلى الخدمة التي يريدها بفضل ضغطة واحدة بسيطة على زر، وأمام الراديو لتتبع الإذاعة لإيجاد أفضل تردد في جميع الأوقات، لتترك بذلك حرية الاختيار للمستمع لكي يستمتع بالبرنامج.

ويستعين النظام الراديوي الرقمي العالمي (DRM) بتوليفة من التقنيات لتأمين سهولة الاستخدام، أولها تقسيم السعة الكلّية للبيانات إلى تعدد إرسال مكوّن من ثلاث قنوات فرعية، هي كالتالي:

- قناة النفاذ السريع (FAC)؛
- قناة وصف الخدمة (SDC)؛
- قناة الخدمة الرئيسية (MSC).

وتحتوي قناة النفاذ السريع على معلومات مفيدة تمكّن المستقبِل من العثور بسرعة على ما يهم المستمع من خدمات. فبإمكان المستقبِل مثلاً أن يتفحص النطاقات بحثاً عن خدمات تضم نوعاً محدداً من البرامج أو تُقدّم بلغة معينة. كما تحتوي القناة على معلومات عن أسلوب الإذاعة تمكيناً من مواصلة فك تشفير الإشارة.

أما قناة وصف الخدمة فتحتوي على مزيد من المعلومات عن الخدمة (أو عن تعدد إرسال الخدمات – التي يصل عددها إلى أربع خدمات) تعزيزاً لسهولة استخدامها، ما يشمل توفير وسم يصل عدد حروفه إلى 16 حرفاً (يُستعمل معيار التشفير UTF-8 لأغراض إتاحة جميع الحروف، وليس لإتاحة اللاتيني الأساس منها حصراً)، وسبل تكفل إيجاد مصادر بديلة للبيانات نفسها، كما تعطي القناة نعوتاً للخدمات الموجودة داخل تعدد الإرسال. ويتباين حجم قناة وصف الخدمة بتباين الأسلوب المتبع.

ويمكن إجراء تحقق من الترددات البديلة من دون خسران الخدمة، وذلك بإبقاء البيانات المنقولة عبر قناة وصف الخدمة في حالة شبه ثابتة، لذا ينبغي التأني في إدارة البيانات المنقولة في أطر القناة المذكورة.

وتحتوي قناة الخدمة الرئيسية على خدمات الصوت و/أو خدمات البيانات، ويُصمّم الهيكل العام لأطرها بطريقة تمكّن المستقبل من الانتقال إلى تردد بديل والعودة من القناة من دون خسران أية بيانات. ويعني ذلك أنه عندما يلزم توفير عدد من الترددات لتقديم الخدمة، فإن بمقدور المستقبِل أن يتحقق دوماً من وجود أفضل الترددات ويعيد ضبطها حسب اللزوم من دون أي انقطاع في خدمة الصوت. وتوفر قناة وصف الخدمة قائمة بالترددات، وبإمكانها أيضاً أن توفر جدولاً بالترددات لإفساح المجال أمام تقديم خدمات تحتاج إلى ترددات مختلفة خلال اليوم وطوال الأسبوع.

وبفضل هذه السمات، تتمكن المستقبِلات من تقديم الخدمات بطريقة سهلة إلى المستمع الذي ينبغي ألا يعوّل بعد الآن على معرفة الترددات أو جدول الترددات، ويحصل على تأكيد إيجابي من الوسم المعروض يبلّغه بأنه قد نفذ إلى الخدمة المنشودة.

وتحتوي قناة الخدمة الرئيسية (MSC) على جميع بيانات الخدمات الواردة في تعدد الإرسال، الذي قد يحتوي على خدمات يتراوح عددها بين خدمة واحدة وأربع خدمات، والتي قد تكون كل واحدة منها خدمة صوت أو خدمة بيانات. ويعتمد معدل البتات الإجمالي لقناة الخدمة الرئيسية على معلمات الإرسال المحددة.

وتضم قناة الخدمة الرئيسية تدفقات يتراوح عددها بين تدفق واحد وأربعة تدفقات، ينقسم كل واحد منها إلى أطر منطقية. وتتألف تدفقات الصوت من صوت مضغوط، ويمكن أن تحمل رسائل نصية من باب الاختيار. وقد تتكون تدفقات البيانات من رزم بيانات تحمل معلومات في "تدفقات فرعية" يصل عددها إلى أربعة تدفقات. وتحتوي خدمة الصوت على تدفق صوت واحد، وحسب الاختيار، على تدفق بيانات واحد أو تدفق بيانات فرعي واحد. أما خدمة البيانات فتتألف من تدفق بيانات واحد أو تدفق بيانات فرعي واحد.

وعادة ما يتكون كل إطار منطقي من جزأين اثنين لكل واحد منهما سوية حماية خاصة به. ويُحدّد بشكل مستقل طول كل واحد من هذين الجزأين. وتوفّر حماية الأخطاء غير المتكافئة في تدفق ما عن طريق تحديد سويات حماية مختلفة لهذين الجزأين.

ويبلغ طول كل واحد من الأطر المنطقية 100 ms. وإذا كان التدفق يحمل الصوت، فإن الإطار المنطقي يحمل البيانات في أحد جزأي إطار الصوت الفائق الواحد الذي يحتوي على معلومات صوتية مدتها 200 ms. ونظراً لأنه قد تُحدد عموماً سويتا حماية اثنتان للتدفق، فإن الأطر المنطقية تحمل بالضبط نصف عدد البايتات الوافدة من كل واحدة من سويتي الحماية.

وتُجمع معاً الأطر المنطقية الوافدة من كل التدفقات لتشكيل أطر تعدد إرسال بذات المدة، وتُمرّر إلى مشفّر القنوات.

ويُشوّر تشكيل تعدد الإرسال باستخدام قناة وصف الخدمة، ويجوز إعادة تشكيله عند حدود إطار الإرسال الفائق. ويُعاد تشكيل تعدد الإرسال في حال تغيير معلمات قناة النفاذ السريع، أو في حال إعادة تنظيم الخدمات الموجودة داخل تعدد الإرسال. ويُشور التشكيل الجديد قبل الموعد المحدد في قناة وصف الخدمة، ويُبيّن التوقيت بواسطة إعادة تشكيل المؤشر في قناة النفاذ السريع.

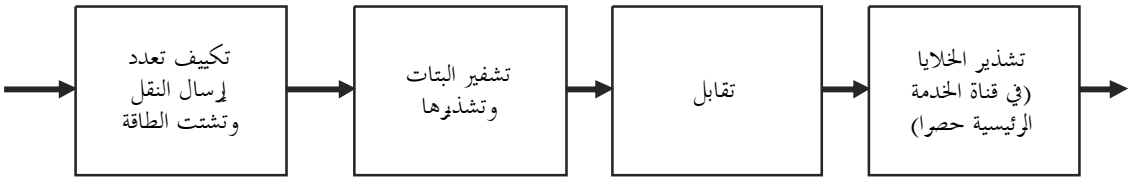
5 تشفير القنوات وتشكيلها

1.5 مقدمة

بالنظر إلى اختلاف احتياجات القنوات الفرعية الثلاث، وهي قناة الخدمة الرئيسية وقناة وصف الخدمة وقناة النفاذ السريع، فإن هذه القنوات تطبق مخططات تشفير وتقابل مختلفة. ويبين الشكل 39 أدناه لمحة عامة عن عملية التشفير.

الشكل 39

مخطط وظائف قدرات التشفير والتشذير



BS.1114-39

ويستند التشفير إلى مخطط تشفير متعدد السويات. ونظراً إلى اختلاف الاحتياجات من حماية الأخطاء داخل خدمة واحدة أو في خدمات مختلفة ضمن تعدد إرسال واحد، يُطبّق العديد من مخططات التقابل وتوليفات معدلات الشفرات على النحو التالي: تُتاح حماية الأخطاء غير المتكافئة (UEP) وكذلك حماية الأخطاء المتكافئة (EEP)، بحيث تستعمل الحماية الأولى معدل شفرات واحد لحماية جميع البيانات الموجودة في قناة ما، فيما تتسم الحماية الثانية بطابع إلزامي في قناة النفاذ السريع وقناة وصف الخدمة. ويمكن استعمال حماية الأخطاء غير المتكافئة عوضاً عن حماية الأخطاء المتكافئة بمعدلين اثنين للشفرات إفساحاً للمجال أمام تخصيص ما هو موجود في قناة الخدمة الرئيسية من بيانات للجزأين المحميين العلوي والسفلي.

2.5 التشفير المتعدد السويات

تقوم عملية تشفير القنوات على أساس مخطط تشفير متعدد السويات. ومبدأ التشفير متعدد السويات هو الاشتراك في تحقيق الحد الأمثل من التشفير والتشكيل لبلوغ أفضل مستوى لأداء الإرسال. ويدل هذا الأمر على أن المواضع الموجودة في تقابل التشكيل QAM التي تكون فيها البتات أكثر عرضة للخطأ تحصل على حماية أعلى. وتُبلغ سويات الحماية على اختلافها بفضل شفرات مكونات مختلفة تُحقق بواسطة شفرات تلافيف مثقبة تُشتق من الرمز الرئيسي نفسه.

ويمكن فك تشفير المستقبِل إما مباشرة أو باتباع عملية تكرارية. وعليه يمكن تحسين أداء مفكك التشفير الحاوي على بيانات خاطئة بزيادة عدد التكرارات، وهو بالتالي مرهون بتنفيذ مفكك التشفير.

3.5 تشفير قناة الخدمة الرئيسية

يجوز أن تستعمل قناة الخدمة الرئيسية تقابل التشكيل 4-QAM أو 16-QAM على النحو التالي: تؤمن الكوكبة السفلية مستوى أمتن من أداء الأخطاء فيما تؤمن الكوكبة العليا كفاءة طيفية عالية.

ويُتَاح في الحالتين كلتيهما طائفة واسعة من معدلات الشفرات لتوفير السوية الأنسب من تصحيح الأخطاء في إرسال معين. وتوفر توليفات الكوكبات ومعدلات الشفرات المتاحة درجة كبيرة من المرونة عبر طائفة واسعة من قنوات الإرسال. ويمكن استخدام حماية الأخطاء غير المتكافئة لتوفير سويتين اثنتين من الحماية في قناة الخدمة الرئيسية.

ويمكن أن يؤدي تطبيق سويتي حماية اثنتين داخل إطار تعدد الإرسال إلى استخدام معدلين عامين اثنين للشفرات. ويبيّن الجدولان 25 و26 أدناه معدلات الشفرات العامة ومعدلات الشفرات المحددة لكل سوية. وتُشوّر سوية الحماية في كيان بيانات وصف تعدد الإرسال داخل قناة الخدمة الرئيسية.

الجدول 25

معدلات شفرات قناة خدمة رئيسية تستعمل التشكيل 4-QAM

R_0	R_{all}	سوية الحماية
1/4	0,25	0
1/3	0,33	1
2/5	0,4	2
1/2	0,5	3

الجدول 26

توليفات معدلات شفرات قناة خدمة رئيسية تستعمل التشكيل 16-QAM

R_{Ylcm}	R_1	R_0	R_{all}	سوية الحماية
6	1/2	1/6	0,33	0
28	4/7	1/4	0,41	1
3	2/3	1/3	0,5	2
4	3/4	1/2	0,62	3

ويُطبق على إطار تعدد الإرسال معدل واحد أو معدلان عامان اثنان من معدلات الشفرات. وعند استخدام معدلين عامين اثنين يكونان كلاهما تابعين للكوكبة نفسها.

4.5 تشفير قناة وصف الخدمة

تستعمل قناة وصف الخدمة تقابل التشكيل 4-QAM بمعدل الشفرة 0,5 أو 0,25: مجال الخيار مفتوح بين سعة كبيرة ومستوى أمتن من أداء الأخطاء.

وينبغي اختيار كوكبة ومعدل شفرة معلمات قناة الخدمة الرئيسية لتأمين متانة لقناة وصف الخدمة أكبر من تلك المؤمنة لقناة الخدمة الرئيسية.

5.5 تشفير قناة النفاذ السريع

تستعمل قناة النفاذ السريع تقابل التشكيل 4-QAM بمعدل الشفرة 0,25.

6 هيكل معمارية الإرسال

يبيّن الجدول 27 أدناه المعلمات المتصلة بالانتشار لتعدد الإرسال المتعامد بتقسيم التردد (OFDM).

الجدول 27

معلمات تعدد الإرسال OFDM

الفترة الزمنية الأولية T	µs 83 1/3
مدة الجزء (المتعامد) المفيد $T_u = 27 \cdot T$	ms 2,25
مدة فاصل الحراسة $T_g = 3 \cdot T$	ms 0,25
مدة الرمز $T_s = T_u + T_g$	ms 2,5
T_g/T_u	1/9
مدة إطار الإرسال T_f	ms 100
عدد رموز كل إطار N_s	40
عرض نطاق القناة B	kHz 96
مسافة المباعدة بين الموجات الحاملة $1/T_u$	Hz 444 4/9
مجال رقم الموجة الحاملة	K_{max}= 106 ،K_{min}= 106–
الموجات الحاملة غير المستعملة	لا يوجد

وتُنسّق الإشارة المرسلة في شكل أطر إرسال فائقة وتتكون من أربعة أطر إرسال.

وتكون مدة كل واحد من أطر الإرسال T_f، ويتألف الإطار من عدد قدره N_s من رموز تعدد الإرسال OFDM.

ويتكون كل رمز من رموز تعدد الإرسال OFDM من مجموعة من الموجات الحاملة K، ويُرسل بمدة قدرها T_s.

وتكون مسافة المباعدة بين الموجات الحاملة المتجاورة بمقدار $1/T_u$.

وتكون مدة الرمز حاصل جمع جزأين اثنين، هما كالتالي:

– جزء مفيد مدته T_u؛

– وفاصل حراسة مدته T_g.

ويتكون فاصل الحراسة من الجزء المفيد T_u باستمرارية دورية، ويُدرج قبله.

وتُرقَّم رموز تعدد الإرسال OFDM الموجودة في أحد أطر الإرسال بالأرقام من 0 إلى $N_s - 1$.

وتحتوي جميع الرموز على بيانات ومعلومات مرجعية.

ونظراً لأن إشارة تعدد الإرسال OFDM تضم العديد من الموجات الحاملة المشكّلة على حدة، فإنه يمكن بالتالي النظر إلى كل رمز على أنه مقسّم إلى خلايا، تقابل كل واحدة منها التشكيل المنقول بواسطة موجة حاملة واحدة عبر رمز واحد.

وفيما يلي مكونات إطار تعدد الإرسال OFDM:

– خلايا تجريبية؛

– خلايا تحكم؛

– خلايا بيانات.

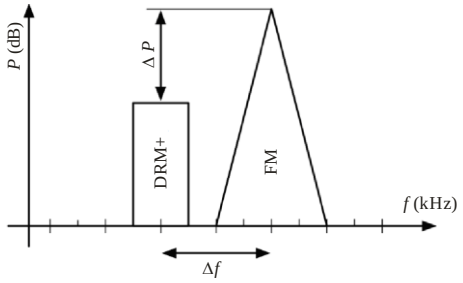
ويمكن استخدام الخلايا لمزامنة الأطر والتردد والوقت، وتقدير القنوات، وتحديد هوية أسلوب المتانة.

7 الإرسال المشترك للإشارات الرقمية والتماثلية

بالإمكان وضع إشارة النظام الرقمي G على مقربة من إشارة FM التماثلية، ويمكن تشكيلها بمرونة رهناً بالطيف المستخدم حالياً. وبهذه الطريقة يتسنى إدراج النظام الرقمي G في نطاقات التردد FM.

الشكل 40

تشكيلة النظام الرقمي G النموذجية (الأسلوب E من النظام DRM إلى اليسار) وإشارة FM (إلى اليمين)



BS.1114-40

ويبيّن الشكل 40 أعلاه أن بالإمكان وضع إشارة النظام الرقمي G على مقربة من إشارة FM القائمة، سواء إلى يسارها أم إلى يمينها. وضماناً لتحديد سويات الحماية المعنية وتحقيق جودة الصوت المنشودة من إشارة FM، يمكن على هذا الأساس التخطيط لتحديد مسافة تردد الموجة الحاملة (Δf) والفرق في سويتي قدرة (ΔP) إشارة FM وإشارة النظام الرقمي G. وبالإمكان اختيار المسافة Δf باستخدام شبكة مسح للقنوات بتردد 50 kHz، ويُوصى باختيار مسافة قدرها $\Delta f \geq$ 150 kHz. أما الفرق بين السويتين ΔP فيمكن أن يكون بتباين مرن؛ ولكن يُوصى باستخدام فرق قدره $\Delta P >$ 20 dB في الحد الأدنى $\Delta f =$ 150 kHz.

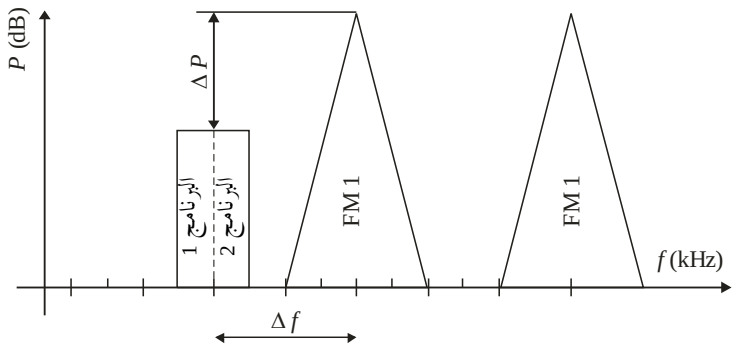
وفيما يلي تشكيلتا الإرسال المحتملتان: يمكن الجمع بين الإشارتين التماثلية والرقمية وإرسالهما عبر الهوائي نفسه، أو بالإمكان إرسال كل واحدة منهما من هوائي مختلف.

ويمكن وضع تشكيلات مختلفة لإشارة النظام الرقمي G التي يمكن أن تطبق البرنامج نفسه المطبق على خدمة FM أو برنامجاً مختلفاً أو ذات البرنامج إضافة إلى برامج أخرى. وفي حال إتاحة البرنامج نفسه عبر النظام الرقمي G وخدمة FM، فينبغي إرسال علم تبديل التردد البديل (AFS) في قناة وصف خدمة تعدد الإرسال (SDC) لإتاحة المجال أمام دعم شبكات غير متجانسة.

ويبيّن الشكل 41 أدناه بعض التشكيلات النموذجية.

الشكل 41

تشكيلة النظام الرقمي G النموذجية (إلى اليسار) ومحطتا FM اثنتان (إلى اليمين)



BS.1114-41

8 محاكاة أداء النظام

من خصائص انتشار موجات الراديو في نطاقات الموجات المترية (VHF) انعراج الموجات الكهرمغنطيسية وانتشارها وانعكاسها وهي في طريقها من المرسل إلى المستقبِل، الذي تصل إليه عادة في أوقات مختلفة (انتشار متعدد المسارات)، مما يؤدي إلى حصول خبو أقوى أو أضعف بتردد انتقائي (رهناً بعرض نطاق النظام). وعلاوة على ذلك، تتسبب حركات المستقبِل أو الأجسام المحيطة به في اختلاف وقت خصائص القناة (أثر دوبلر). وعلى النقيض من انتشار الموجات في السماء، كالموجات القصيرة، فإن التغيرات الحاصلة في الغلاف الأيوني لا تؤدي دوراً يُذكر في نمذجة قناة نطاقات الموجات المترية (VHF).

والنهج المتبع في هذا المضمار هو استخدام نماذج عشوائية متفاوتة زمنياً ومشفوعة بإحصائيات ثابتة، وتحديد نماذج تطبق في ظروف جيدة ومعتدلة وأخرى سيئة عن طريق أخذ المناسب من قيم معلمات النموذج العام. ونموذج الانتشار الثابت وغير المترابط بشأن الاستشعار الواسع النطاق (نموذج WSSUS) هو واحد من النماذج التي يمكن تكييف معلماتها. ويُبرّر اتباع نهج ثابت يستعين بمجموعات مختلفة من المعلمات بالحقيقة القائلة إن النتائج التي يُحصل عليها عبر القنوات الفعلية تُحدِث منحنيات في نسبة الخطأ في البتات (BER) بين أفضل وأسوأ الحالات المشهودة في سياق المحاكاة.

ولا يُضمّن نموذج WSSUS التغييرات الإضافية المدخلة على متوسط القدرة في الأجل القصير (الخبو العادي البطيء أو المسجل) بفعل تغير البيئة (مثل هيكل المبنى) أو ظواهر من قبيل انتشار الطبقة E المتفرق. وعادة ما تُدمج في حساب احتمال التغطية الآثار المترتبة على التغييرات وتأثير اضطرابات مثل الضوضاء التي هي من صنع الإنسان، وذلك أثناء الاضطلاع بعملية تخطيط الشبكة.

وقد أُجريت محاكاة لأداء النظام للتكهن بتقييم القنوات المثالية وتحقيق تزامن مثالي وتقصي انعدام ضوضاء المرحلة وآثار التكمية. وتتضمن قوة الإشارة دلائل وفاصل الحراسة الزمني، ومن المفترض تنفيذ فك تشفير القناة في إطار الاضطلاع بمرحلة واحدة من فك التشفير فيتربي في التشكيل 4-QAM، واستعمال مفكك تشفير متعدد المراحل بتكرارين اثنين في التشكيل 16-QAM.

والنتائج الواردة في الجدول 28 أدناه هي بشأن ست قنوات تمثل سيناريوهات استقبال مختلفة، يكون فيها أسلوب المتانة المقترن هو E ومعدل الشفرة R = 0,33 والتشكيل 4-QAM.

الجدول 28

نسبة الموجة *C/N* اللازمة للإرسال لتحقيق نسبة خطأ في البتات $(BER) = 1 \times 10^{-4}$
بعد مفكك تشفير قناة الخدمة الرئيسية (بالأسلوب E)

نموذج القناة	النسبة *C/N*
القناة 7 (AWGN)	dB 1,3
القناة 8 (حضرية) بسرعة 60 km/h	dB 7,3
القناة 9 (ريفية)	dB 5,6
القناة 10 (تضاريس صعبة)	dB 5,4
القناة 11 (تضاريس تشوبها التلال)	dB 5,5
القناة 12 (SFN)	dB 5,4

أما النتائج الواردة في الجدول 29 أدناه فهي بشأن ست قنوات تمثل سيناريوهات استقبال مختلفة، يكون فيها أسلوب المتانة المقترن هو E ومعدل الشفرة R = 0,5 والتشكيل 16-QAM.

الجدول 29

نسبة الموجة *C/N* اللازمة للإرسال لتحقيق نسبة خطأ في البتات $(BER) = 1 \times 10^{-4}$ بعد مفكك تشفير قناة الخدمة الرئيسية (بالأسلوب E)

نموذج القناة	النسبة *C/N*
القناة 7 (AWGN)	dB 7,9
القناة 8 (حضرية) بسرعة km/h 60	dB 15,4
القناة 9 (ريفية)	dB 13,1
القناة 10 (تضاريس صعبة)	dB 12,6
القناة 11 (تضاريس تشوبها التلال)	dB 12,8
القناة 12 (SFN)	dB 12,3

الملحق 6

النظام الرقمي H

1 مقدمة

النظام الرقمي H، المعروف أيضاً بالنظام الراديوي الرقمي المتقارب (CDR)، مصمم لتقديم إذاعة سمعية رقمية عالية الجودة ومتعددة الخدمات موجهة إلى مستقبلات ثابتة ومحمولة ومركبة على متن مركبات على نطاق FM (من MHz 88 إلى MHz 108). وتُتاح فيها أساليب إرسال مختلفة لملاءمة سيناريوهات تطبيق مختلفة. ويُعرّف أسلوب الإرسال على أنه عدد من المعلمات التي تُصنَّف في فئتين، هما:

- معلمات ذات صلة بعرض نطاق الإشارة؛
- معلمات ذات صلة بكفاءة الإرسال.

وتحدّد الفئة الأولى من المعلمات المقدار الكلي لعرض النطاق الترددي لإرسال واحد. وتمكّن المعلمات المتصلة بالكفاءة من إجراء مفاضلة بين السعة (معدل البتات المفيدة) والمتانة بالنسبة إلى الضوضاء وتعدد المسارات وانتشار دوبلر.

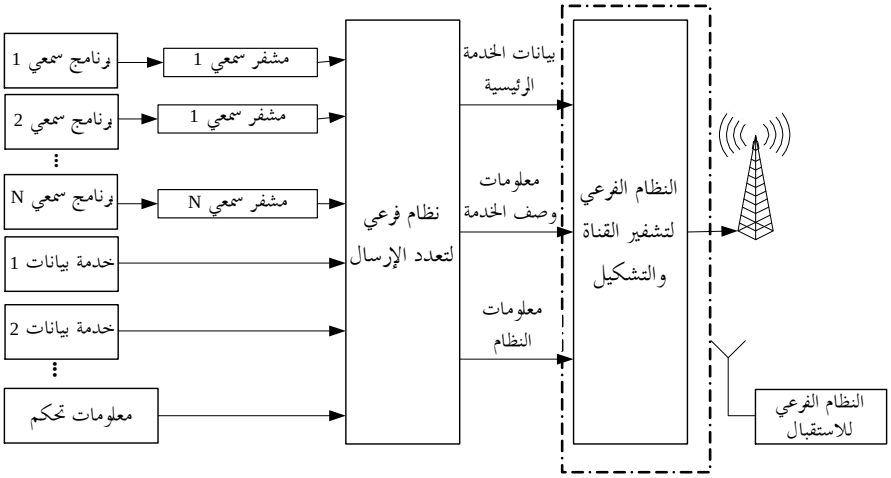
وجرى تقييس النظام الرقمي H بصيغة المعيار GY/T 268.1-2013 (2013.08) "الإذاعة السمعية الرقمية في نطاق FM = الجزء 1: هيكل التأطير، وتشفير وتشكيل قناة الإذاعة الرقمية".

2 هيكل النظام

يوضح الشكل 42 الهيكل العام للنظام وتدفق البيانات للنظام الرقمي H.

الشكل 42

نظرة عامة على النظام



يدعم النظام الرقمي H الإيصال المتزامن لمختلف تدفقات الإشارة السمعية الرقمية وتدفقات البيانات. ويُجمع بين مختلف الخدمات السمعية المضغوطة وخدمات البيانات ومعلومات التحكم وتؤطر بالنظام الفرعي متعدد الإرسال. وتحتوي مخرجات النظام الفرعي متعدد الإرسال على بيانات الخدمة الرئيسية (MSD) ومعلومات وصف الخدمة (SDI) ومعلومات النظام (SI). وحدد النظام قناة الخدمة الرئيسية (MSC) وقناة معلومات وصف الخدمة (SDIC) وقناة معلومات النظام (SIC) لحمل MSD وSDI وSI على التوالي. وستُنتَج إشارة التردد الراديوي عندما يعالج نظام تشفير القنوات والتشكيل الفرعي خرج الأنظمة الفرعية لتعدد الإرسال. ويوصَّف بشكل مستقل لكل قناة، التصحيح الأمامي للأخطاء، وتقابُل الكوكبة وخطة التشكيل. ويكمل النظام الفرعي المستقبِل إزالة تشكيل الإشارة المرسَلة.

ويقدم النظام الرقمي H بمرونة العديد من أساليب إشغال الطيف لسيناريوهات مختلفة، ويمكن أن يكون عرض نطاق الإشارة الرقمية 100 kHz أو 200 kHz.

وأثناء مرحلة الانتقال، يمكن أن تُبث الإشارة الرقمية بالتزامن مع إشارة FM التماثلية، وفي هذه الحالة، ينقسم طيف الإشارة الرقمية إلى جزأين، ويبلغ فاصل الطيف 300 kHz أو 200 kHz ويمكن أن يوضع فيه إشارات FM راديوية تماثلية مجسمة أو إشارات إذاعة FM غير مجسمة. عند الانتهاء من الانتقال، يمكن أن تكون الإشارة الرقمية مستمرة؛ ويمكن أن يكون عرض نطاق الإشارة 100 kHz أو 200 kHz.

وعلى غرار الأنظمة الإذاعية الصوتية الرقمية، يحتوي النظام الرقمي H أيضاً على العديد من خطط تخصيص الموجات الحاملة الفرعية. وبخلاف النقل الفرعي المخصص لنقل البيانات في فدرة OFDM، تخصَص بعض الموجات الحاملة الفرعية لإرسال معلومات النظام الخاصة بمعلمات الإرسال، في حين تخصَص بعض الموجات الحاملة الفرعية الأخرى لإرسال الإشارات الدليلية التي تستخدم لتقدير القناة.

3 خصائص النظام H

1.3 المتانة

يستخدم النظام الرقمي H التشكيل OFDM والتشذير الثنائي للزمن والتردد وLDPC كشفرة التصحيح الأمامي للأخطاء لتحسين الأداء في بيئات خبو متعددة المسيرات. والتشكيل OFDM طريقة تشكيل بموجات حاملة متعددة لا تتأثر بتعدد المسيرات، وتضيف

خصوصاً فاصل حراسة إلى ميدان الزمن. وتحمي شفرة LDPC بيانات الخدمة الرئيسية (MSD). وبناءً على ذلك يتم الحصول على إشارة عالية الجودة في المستقبل حتى في الظروف الصعبة للانتشار متعدد المسيرات. وتحمي الشفرة التلافيفية معلومات وصف الخدمة (SDI) ومعلومات النظام (SI).

2.3 أساليب إشغال الطيف المرنة

يحدد النظام الرقمي H ستة أساليب لإشغال الطيف. ويحدد كل أسلوب عرض نطاق الإشارة الرقمية ومكان النطاق الفرعي النشط والنطاق الفرعي الافتراضي. وتُحدد جميع أساليب إشغال الطيف استناداً إلى النطاق الفرعي (عرض النطاق الفرعي هو 100 kHz). وينقسم كل نطاق فرعي إلى نصف نطاق فرعي أعلى ونصف نطاق فرعي أدنى له عرض النطاق نفسه. ويمكن أن تكون جميع الموجات الحاملة الفرعية من الموجات الحاملة الفرعية النشطة أو الموجات الحاملة الفرعية الافتراضية في نطاق فرعي، وجميع الموجات الحاملة الفرعية الافتراضية في النصف الأعلى من النطاق الفرعي أو النصف الأدنى من النطاق الفرعي في بعض النطاقات الفرعية النشطة الأخرى من نطاق فرعي آخر بأسلوب طيف مختلف.

وتوسم أساليب إشغال الطيف الستة المختلفة على أنها A وB وC وD وE وF على التوالي على النحو المبين في الجدول 30. ويتألف الطيف A من نطاق فرعي واحد تكون فيه الموجات الحاملة الفرعية جميع الموجات الحاملة الفرعية النشطة. ويبلغ عرض نطاق الإشارة الرقمية للطيف A 100 kHz. ويشتمل الطيف B على نطاقين فرعيين ويبلغ عرض النطاق الكلي للإشارة الرقمية 200 kHz. ويتألف الطيف C من أربعة نطاقات فرعية تكون فيها الموجات الحاملة الفرعية في النصف الفرعي الأدنى من الموجة الحاملة الأولى والموجات الحاملة الفرعية في النصف الفرعي الأعلى من النطاق الفرعي الرابع جميعها من الموجات الحاملة الفرعية النشطة، في حين أن الموجات الحاملة الفرعية للنطاق الفرعي الثاني والثالث جميعها من الموجات الحاملة الفرعية الافتراضية، وبالتالي فإن عرض نطاق الإشارة الرقمية للطيف C يبلغ 100 kHz. ويشتمل الطيف D على خمسة نطاقات فرعية تكون فيها الموجات الحاملة الفرعية في النطاقين الفرعيين الأول والخامس جميعها من الموجات الحاملة الفرعية النشطة، في حين أن الموجات الحاملة الفرعية في النطاقات الفرعية من الثاني إلى الرابع جميعها من الموجات الحاملة الفرعية الافتراضية، ويبلغ عرض نطاق الإشارة الرقمية للطيف D 200 kHz.

الجدول 30

أسلوب إشغال الطيف

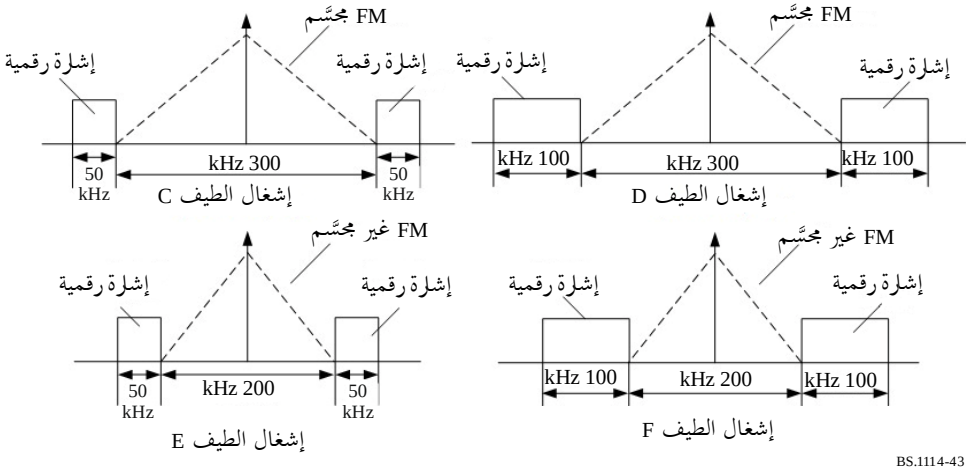
مؤشر أسلوب إشغال الطيف	الموضع										
	-5	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4	5	Mi
A	DB1(L)	DB1(U)	DB2(L)	DB2(U)	DB3(L)	DB3(U)	DB4(L)	DB4(U)	DB5(L)	DB5(U)	1
B	0	DA1(L)	DA1(U)	DA2(L)	DA2(U)	DA3(L)	DA3(U)	DA4(L)	DA4(U)	0	2
C	0	DA1(L)	DA1(U)	DA2(L)	DA2(U)	DA3(L)	DA3(U)	DA4(L)	DA4(U)	0	1
D	DB1(L)	DB1(U)	DB2(L)	DB2(U)	DB3(L)	DB3(U)	DB4(L)	DB4(U)	DB5(L)	DB5(U)	2
E	DB1(L)	DB1(U)	DB2(L)	DB2(U)	DB3(L)	DB3(U)	DB4(L)	DB4(U)	DB5(L)	DB5(U)	1
F	0	DA1(L)	DA1(U)	DA2(L)	DA2(U)	DA3(L)	DA3(U)	DA4(L)	DA4(U)	0	2

ملاحظة – يشير L إلى النصف الأدنى من النطاق الفرعي، ويشير U إلى النصف الأعلى من النطاق الفرعي.

أساليب إشغال الطيف C/D/E/F هي أساليب إذاعة متزامنة مع إشارة FM القائمة (إشارة FM مجسمة أو غير مجسمة)، انظر الشكل 43، وهي تقدم إلى هيئات إذاعة FM ارتقاءً سلساً من الإذاعة التماثلية الحالية إلى الإذاعة الرقمية بالكامل. ويمكن لهيئات الإذاعة اختيار أحد أساليب إشغال الطيف C/D/E/F وفقاً لظروفهم الخاصة والمحطات المجاورة. وخلال هذه الفترة، يمكن للمستقبلات القائمة المقتصرة على الإشارة التماثلية أن تعمل باستمرار من أجل إشارة FM المضيفة، في حين يمكن للمستقبلات الرقمية الجديدة أن تفك شفرة الخدمات الرقمية وكذلك خدمات FM التماثلية المضيفة. وفي المستقبل، عندما يغدو السوق قادراً كل القدرة على استقبال الإشارات الرقمية، يكون بإمكان هيئات الإذاعة التبديل للانتقال إلى أسلوب الطيف A أو B.

الشكل 43

بيان مخطط طيف إذاعة متزامنة



3.3 أساليب الإرسال المختلفة

يحدد النظام الرقمي H ثلاثة أساليب للإرسال. وترد في الجدول 31 معلمات النظام لكل من أساليب الإرسال.

وفي هذا الجدول، يرد تعريف الوحدة الزمنية T = 1/816000s، ويمكن التعبير عن جميع قيم المعلمات المتعلقة بالوقت بمضاعفات T أو العدد التقريبي للمللي ثواني.

الجدول 31

معلمات تشكيل OFDM لأساليب الإرسال المختلفة

المعلمة	الرمز	أسلوب الإرسال 1	أسلوب الإرسال 2	أسلوب الإرسال 3
طول متن بيانات OFDM (ms)	T_u	2,51 (2048T)	1,255 (1024T)	2,51 (2048T)
طول البادئة الدورية لمتن البيانات (ms)	T_{cp}	0,2941 (240T)	0,1716 (140T)	0,0686 (56T)
دور رمز OFDM (ms)	$T_s = T_{cp} + T_u$	2,804 (2288T)	1,426 (1164T)	2,5786 (2104T)
فاصل الموجة الحاملة الفرعية لرمز OFDM (Hz)	Δf	398,4375	796,8750	398,4375
طول البادئة الدورية للمنار (ms)	$T_{Bcp} = T_{sf} - T_s \times S_N - T_u$	0,4706 (384T)	0,4069 (332T)	0,2059 (168T)
طول المنار (ms)	$T_B = T_{Bcp} + T_u$	2,9804 (2432T)	1,6618 (1356T)	2,7157 (2216T)
فاصل الموجة الحاملة الفرعية لإشارة التزامن (Hz)	$(\Delta f)_b$	796,875	1593,75	796,875
رقم رمز OFDM لكل إطار فرعي	S_N	56	111	61
طول الإطار الفرعي (ms)	T_{sf}	160 (130560T)	160 (130560T)	160 (130560T)
رقم الموجة الحاملة الفرعية النشطة [1]	N_v	242	122	242

ملاحظة – عندما تكون الموجات الحاملة الفرعية في نصف النطاق الفرعي الأعلى ونصف النطاق الفرعي الأدنى للنطاق الفرعي النشط ليست موجة حاملة فرعية افتراضية تماماً، يكون N_v هو رقم الموجات الحاملة الفرعية النشطة في النطاق الفرعي؛ وعندما تكون الموجات الحاملة الفرعية في نصف النطاق الفرعي الأعلى (أو نصف النطاق الفرعي الأدنى) في نطاق فرعي نشط هي كل الموجة الحاملة الفرعية الافتراضية، يكون رقم الموجات الحاملة الفرعية النشطة في النطاق الفرعي هو N_v /2.

ولكل أسلوب إرسال، تكون مدة الإطار المنطقي الفرعي 160 ms. ويتكون إطار منطقي واحد من أربعة أطر منطقية فرعية، وبالتالي تبلغ مدة الإطار المنطقي 640 ms.

4.3 معدلات شفرة التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC) وخطط التقابل المختلفة

يمكن للنظام الرقمي H إيصال مختلف الخدمات السمعية وخدمات البيانات مثل النصوص والصور الثابتة ومعلومات الحركة بشكل متزامن. ويمكن لهيئة الإذاعة أن تختار معدلات التصحيح الأمامي للأخطاء وخطط التقابل المختلفة وفقاً لمتطلباتها المختلفة.

وهناك أربعة خيارات لمعدل شفرة MSC وهي: 1/4 و1/3 و1/2 و3/4، وثلاثة مستويات تشكيل وهي: QPSK وQAM16 وQAM64.

4 تشفير المصدر

يستخدم النظام الرقمي H خوارزمية تشفير مصدر سمعي DRA+ [1]. ويدعم الكودك السمعي معدل أخذ عينات يتراوح بين 16 kHz و96 kHz، ويمكن أن يتراوح مدى معدل بتات الخرج بين 16 و384 kbit/s.

وفي الواقع، شأنه شأن جميع الأنظمة الراديوية الرقمية الأخرى، يمكن للنظام الرقمي H دعم أي كودكات سمعية أخرى مثل HE-AAC وAVS السمعية [2] طالما أن معدل بتات التدفق السمعي لا يتجاوز سعة قناة الخدمة الرئيسية (MSC) التي تحددها مجموعات معلمات مختلفة تشمل عرض نطاق الإشارة الرقمية، وأسلوب الإرسال، ومستوى التشكيل، ومعدل شفرة FEC.

وترد في الجدول 32 سعة قناة الخدمة الرئيسية في عرض نطاق 100 kHz للإشارة. وعندما يكون عرض نطاق الإشارة الرقمية 200 kHz، ستضاعف السعات الصافية القيم الواردة في الجدول 32.

الجدول 32

السعة الصافية في عرض نطاق قدره 100 kHz

تشكيلة القناة		سعة الشبكة (kbps)	
مستوى التشكيل	**معدل شفرة LDPC**	**أسلوب الإرسال 1 و2**	**أسلوب الإرسال 3**
QPSK	1/4	36	39,6
QPSK	1/3	48	52,8
QPSK	1/2	72	79,2
QPSK	3/4	108	118,8
16QAM	1/4	72	79,2
16QAM	1/3	96	105,6
16QAM	1/2	144	158,4
16QAM	3/4	216	237,6
64QAM	1/4	108	118,8
64QAM	1/3	144	158,4
64QAM	1/2	216	237,6
64QAM	3/4	324	356,4

الملاحظة 1 – DRA+ هو معيار تشفير سمعي (GD/J 058-2014) أصدرته هيئة SAPPRFT الصينية، ويستند إلى تكنولوجيا التشفير السمعي DRA المعرَّفة باللغة الصينية GB/T 22726-2008، والمعززة بتكرار النطاق الطيفي (SBR) وستيريو بارامتري (PS) لتلائم تطبيقات معدل البتات المنخفض في الخدمات الراديوية الرقمية.

الملاحظة 2 – خطة AVS السمعية هي خطة تشفير سمعي قيد التقييس في الصين.

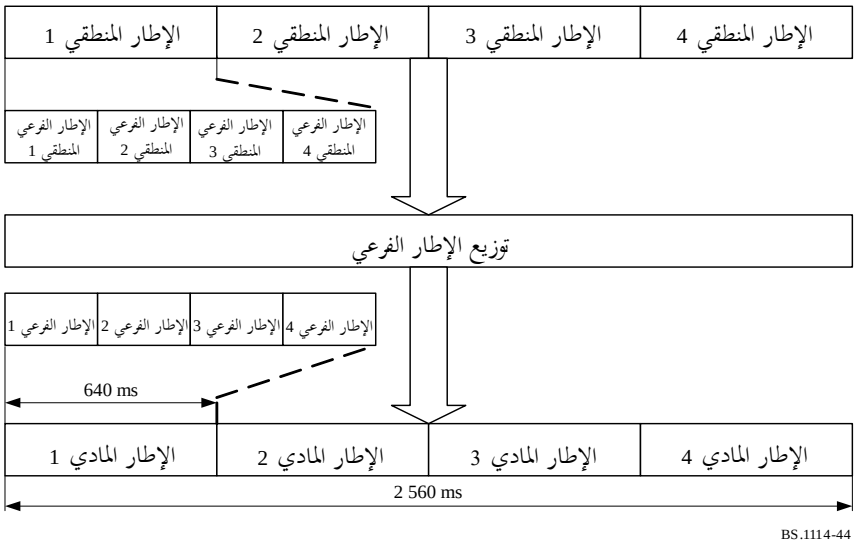
5 إطار تعدد الإرسال والإطار المنطقي

يتضمن النظام الفرعي لتعدد الإرسال الخدمات السمعية وخدمات البيانات المختلفة وفقاً لبروتوكول تعدد الإرسال ويولد إطار تعدد الإرسال المكون من MSD وSDI وSI. وتبلغ مدة إطار تعدد الإرسال 640 ms.

ويحدد النظام الرقمي H الإطار المنطقي لحمل تاريخ كل إطار تعدد إرسال. ويمكن تقسيم الإطار المنطقي إلى أربعة أطر فرعية منطقية، وهي الوحدة الأساسية لتوزيع الإطار الفرعي (نوع من تشذير الوقت)، وهو موضح في الشكل 44، وترد التفاصيل في الفقرة 8.6.

الشكل 44

توزيع الإطار المنطقي والإطار الفرعي

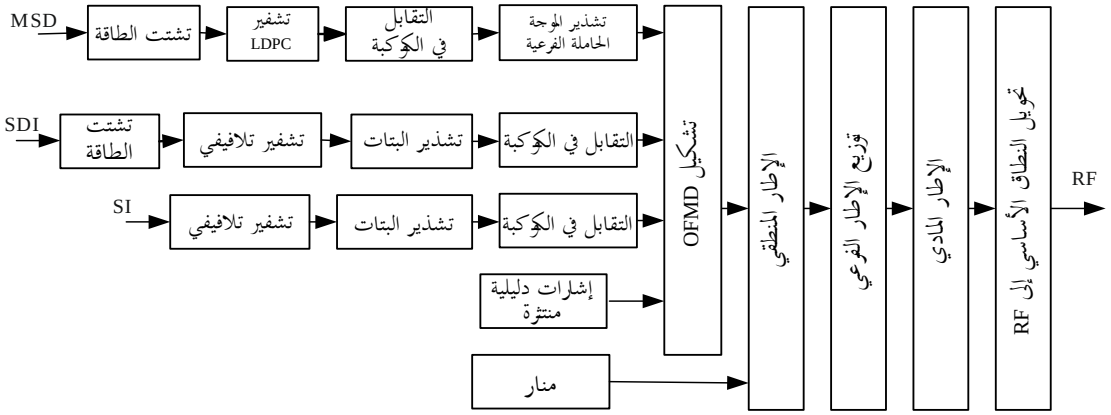


6 تشفير وتشكيل القناة

يبين الشكل 45 مخطط الكتل الوظيفية لتشفير وتشكيل القناة في النظام الرقمي H. ويصف الشكل التدفق العام لكل من MSD وSDI وSI من التشفير على اليسار إلى جهاز إرسال على اليمين. وتحتوي بيانات MSD على الخدمات السمعية وخدمات البيانات كافة التي ستُرسَل. ويعتمد معدل البتات الإجمالي في بيانات MSD على مختلف عروض نطاق القناة وأساليب الإرسال ومعدلات الشفرة ومستويات التشكيل. ويحتوي السطح البيني الرقمي المتسلسل (SDI) على معلومات إضافية عن وصف MSD مثل معلومات التعرف لتعزيز سهولة الاستخدام. ويمكن استخدام معلومات تعرف الخدمة هذه لاختيار البرنامج في الطرف المستقبل. وتقدم معلومات النظام (SI) معلومات هامة عن مستوى التشكيل ومعدل شفرة FEC MSC وأسلوب الطيف ومعلمات أخرى من هذا القبيل تلزم لإزالة تشكيل MSD أو SDI.

الشكل 45

مخطط تشفير وتشكيل القناة



BS.1114-45

1.6 تشتت الطاقة

الغرض من تشتت الطاقة هو تجنب إرسال أنماط الإشارات التي قد تؤدي إلى انتظام غير مطلوب في الإشارة المرسلة. ويجب تخليط تشتت الطاقة على MSD وSDI على التوالي بواسطة تتابع اثنيني شبه عشوائي (PRBS).

وكثير الحدود لمولد PRBS هو: $x^{12}+x^{11}+x^{8}+x^{6}+1$.

2.6 تشفير القناة

يضيف تشفير القناة معلومات رديفة كوسيلة للتصحيح الأمامي للأخطاء. وتُستخدم شفرة LDPC لبيانات MSD ويستخدم التشفير التلافيفي في السطح البيني الرقمي المتسلسل (SDI) ومعلومات النظام (SI).

1.2.6 تشفير تلافيفي

يحمى السطح البيني الرقمي المتسلسل (SDI) ومعلومات النظام (SI) بالتشفير التلافيفي 1/4 الذي يحتوي على 64 حالة، وكثير الحدود المقابل المولد للثُماني هو: 133، 171، 145، و133 بحالة أولية كلها أصفار.

2.2.6 تشفير LDPC

يستخدم النظام الرقمي H شفرة LDPC شبه دورية لحماية بيانات MSC. ويبلغ طول الشفرة 9216 بتة، وهناك أربعة معدلات للشفرة هي: 1/4 و1/3 و1/2 و3/4. وترد في الجدول 33 معلمات FEC المختلفة.

الجدول 33

معلمات تشفير LDPC

معدل شفرة LDPC	طول بتات المعلومات k (بتات)	طول كلمة الشفرة N (بتات)
3/4	6912	9216
1/2	4608	9216
1/3	3072	9216
1/4	2304	9216

3.6 تشذير البتات

يطبَّق تشذير بتات الفدرة بعد تشفير تلافيفي لكل من SDI وSI. ويظهر طول الفدرة المشذرة في الجدول 34 إذا كان عرض نطاق الإشارة الرقمية 100 kHz. عندما يكون عرض نطاق الإشارة الرقمية 200 kHz، سيتضاعف طول الفدرة المشذرة.

الجدول 34

طول فدرة التشذير

التشكيل	أسلوب الإرسال 1	أسلوب الإرسال 2	أسلوب الإرسال 3
QPSK	1704×2=3408	1576×2=3152	1360×2=2720
16QAM	1704×4=6816	1576×4=6304	1360×4=5440
64QAM	1704×6=10224	1576×6=9456	1360×6=8160

ويبلغ طول فدرة التشذير 216 في معلومات النظام (SI) أياً كان عرض نطاق الإشارة الرقمية.

4.6 التقابل في الكوكبة

تستخدم معلومات النظام (SI) تقابل QPSK بينما تدعم بيانات MSD والسطح البيني SDI تشكيل QPSK أو 16QAM أو 64QAM. ويجري تقابل تتابع البتات التسلسلي عند خرج مشفر LDPC أو مشذرات البتات مع مختلف نقاط الكوكبة في المجال المعقد وفقاً لتشكيلات مستوى التشكيل المختلفة.

ويطبَّق تقييس القدرة على مختلف خطط التقابل في الكوكبة.

5.6 الموجة الحاملة الفرعية النشطة لرمز OFDM

يتكون كل رمز OFDM من إشارات دليلية متواصلة وإشارات دليلية منتثرة وموجات حاملة فرعية لنقل البيانات.

1.5.6 الإشارات الدليلية المتواصلة

توضع 108 من رموز معلومات النظام (SI) على الإشارات الدليلية المتواصلة، وتتماثل رموز SI في النصف الأعلى من النطاق الفرعي والنصف الأدنى من النطاق الفرعي. ويرد في الجدول 35 موضع الإشارات الدليلية المتواصلة الموضوعة على أعمدة في رموز OFDM. ويرد في الجدول 36 موضع الإشارات الدليلية المتواصلة الموضوعة على رقم رمز OFDM في إطار فرعي منطقي.

على سبيل المثال، في أسلوب الإرسال 1، توضع 108 من رموز معلومات النظام في الموضع المحدد في الجدول 35 من أول رمز حتى الرمز السابع والعشرين لتشكيل OFDM في إطار فرعي منطقي. وتوضع 108 من رموز معلومات النظام نفسها في الموضع المحدد في الجدول 6 من الرمز الثامن والعشرين حتى الرمز الرابع والخمسين لتشكيل OFDM في إطار فرعي منطقي مما يعني تكرار الرموز المائة وثمانية مرتين لضمان ثباتها.

الجدول 35

موضع الإشارات الدليلية المتواصلة في كل رمز OFDM

أسلوب الإرسال	موضع رمز SI في النصف الأدنى من النطاق الفرعي	موضع رمز SI في النصف الأعلى من النطاق الفرعي
أسلوبا الإرسال 1 و3	11، 55، 75، 103	144، 164، 192، 228
أسلوب الإرسال 2	15، 43	84، 104

الجدول 36

رقم رمز OFDM الحامل لرموز SI في إطار فرعي منطقي

	أسلوب الإرسال 1	أسلوب الإرسال 2	أسلوب الإرسال 3
رقم رمز OFDM	27 ~ 1 54 ~ 28	54 ~ 1 108 ~ 55	27 ~ 1 54 ~ 28

2.5.6 الإشارات الدليلية المنتشرة

يمكن استخدام الإشارات الدليلية المنتشرة لمزامنة الأطر والتردد والوقت، وتقدير القنوات.

ويشكل تتابعان شبه عشوائيان رموز إشارة دليلية منتشرة بعد تقابل التشكيل QPSK. وتوضع رموز الإشارات الدليلية المنتشرة في الإشارات الدليلية المنتشرة.

3.5.6 الموجات الحاملة الفرعية للبيانات

الموجات الحاملة الفرعية هي الموجات الحاملة الفرعية للبيانات باستثناء الموجة الحاملة الفرعية الافتراضية والإشارات الدليلية المتواصلة والإشارات الدليلية المنتشرة في رمز OFDM. وتوضع رموز SDS ورموز MSD في الموجة الحاملة الفرعية للبيانات.

وبعد التخليط والتشفير والتشذير وإقامة التقابل في الكوكبة، توضع رموز SDI في إطار فرعي منطقي واحد على الموضع الموضح في الجدول 37. وتحمل جميع الموجات الحاملة الفرعية للبيانات، في رموز OFDM من الرمز الأول حتى الرمز من رتبة N_{SDISn}، رموز SDI في إطار فرعي منطقي واحد. وفي رمز OFDM من رتبة $N_{SDISn+1}$، تحمل الموجات الحاملة الفرعية للبيانات، ذات الرمز الأول حتى الرمز من رتبة $N_{SDISactive}$، رموز SDI أيضاً.

الجدول 37

موضع الموجات الحاملة الفرعية للبيانات التي تحمل رموز SDI في إطار فرعي منطقي

أسلوب الإرسال 1		أسلوب الإرسال 2		أسلوب الإرسال 3	
N_{SDISn}	$N_{SDISactive}$	N_{SDISn}	$N_{SDISactive}$	N_{SDISn}	$N_{SDISactive}$
2	0	3	72	1	128

وتحمل الموجات الحاملة الفرعية للبيانات المتبقية رموز MSD. ويوضح الجدول 38 عدد رموز MSD وSDI في إطار منطقي.

الجدول 38

أعداد MSD ورموز SDI في إطار منطقي

أسلوب الإرسال 1		أسلوب الإرسال 2		أسلوب الإرسال 3	
MSD	SDI	MSD	SDI	MSD	SDI
46080	1704	46080	1576	50688	1360

6.6 تشذير الموجات الحاملة الفرعية لرموز MSD

يطبق تشذير الموجات الحاملة الفرعية على الموجات الحاملة الفرعية للبيانات التي تحتوي على رموز MSD. والإجراء هو نوع من تشذير التردد والزمن وفقاً لخوارزمية التشذير المحددة. وتجرى عملية التشذير بين أربعة أطر منطقية ونطاقات فرعية مختلفة.

وتجري معالجة التشذير بتشذير الفدرة. ويبلغ طول تشذير الفدرة 46080 بأسلوبي الإرسال 1 و2، و50688 بأسلوب الإرسال 3.

7.6 توليد إشارة OFDM

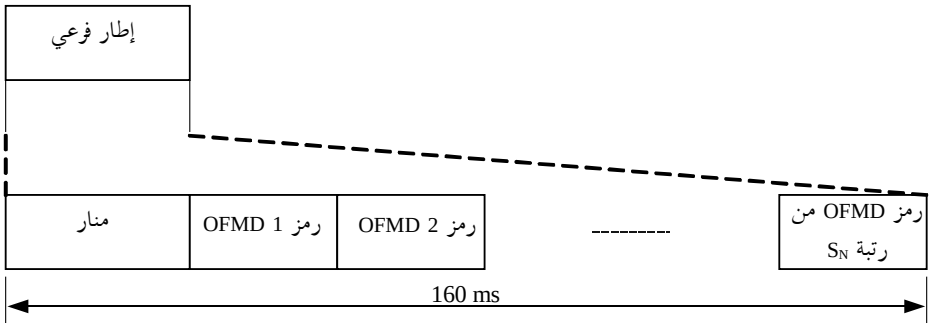
يتلقى توليد إشارة OFDM رموز SDS ورموز SI معقدة في ميدان التردد، ورموز MSD مشذرة في ميدان التردد والزمن تحملها الموجة الحاملة الفرعية OFDM النشطة، ويخرِّج إشارة ميدان الزمن التي تمثل الإشارة الراديوية الرقمية.

8.6 الإطار المنطقي، وتوزيع الإطار الفرعي، والإطار المادي

تسهيلاً لتزامن المستقبِل، يبنى الإطار الفرعي المنطقي بهيكل إطار عادي، ويتألف إطار فرعي منطقي واحد من منار ورموز S_N OFDM ذات بادئة دورية، ويشكل كل إطار من الأطر الفرعية المنطقية الأربعة إطاراً منطقياً. ولمزيد من التفاصيل، يرجى الرجوع إلى الشكلين 44 و46 على التوالي.

الشكل 46

هيكل إطار فرعي واحد



والمنار هو أيضاً من رموز OFDM. ويتولد تتابع شبه عشوائي معقد ويوضع على الموجات الحاملة الفرعية في المنار. وكثير حدود التوليد هو:

$$P_b(n) = \exp\left[-j(-1)^n 2\pi m \frac{n(n+1)/2}{N_{zc}}\right], n = 0,1,\cdots,L-1$$

وعند استخدام أسلوب الإرسال 1 و3، $Nzc = 967$، $m = 48$؛ وعندما يستخدم أسلوب الإرسال 2، $Nzc = 4\,87$، $m = 12$. وترد قيمة L في الجدول 39.

الجدول 39

قيمة L

عرض نطاق الإشارة الرقمية	أسلوبا الإرسال 1 و3	أسلوب الإرسال 2
kHz 100	120	60
kHz 200	240	120

تبلغ مدة الإطار المنطقي والإطار المادي ms 640. ويحمل الإطار المنطقي جميع البيانات من إطارات تعدد الإرسال. ويتحول الإطار المنطقي إلى إطار مادي بعد توزيع الإطار الفرعي.

ويحتوي النظام الرقمي H على ثلاثة أنواع من أسلوب توزيع الإطار الفرعي. ويعالَج توزيع الإطار الفرعي بإطار منطقي واحد، أو بإطارين منطقيين متتاليين، أو بأربعة أطر منطقية متتالية. وتوزيع الإطار الفرعي هو نوع من التشذير الزمني. ويكون لأسلوب توزيع الإطار الفرعي 3 أطول وقت تشذير ويبلغ 560 2 ms.

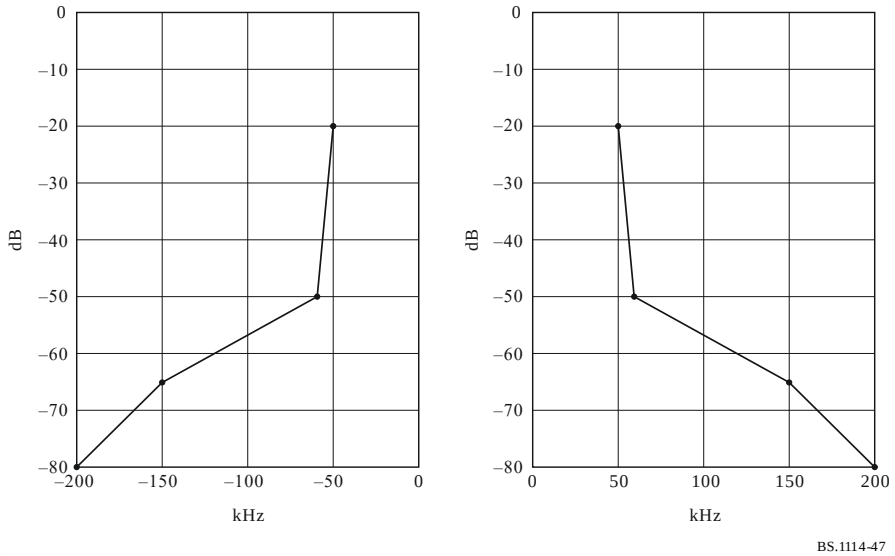
ويتحول الإطار المنطقي إلى إطار مادي بعد توزيع الإطار الفرعي. ويحمل كل إطار مادي جميع بيانات إطار منطقي.

7 قناع الطيف

يمكن استخدام مرشاح لاصطفاء إشارة الترددات الراديوية من أجل تقليل قدرة إشارة الترددات الراديوية خارج النطاق. ويظهر في الأشكال من 47 إلى 52 على التوالي أقنعة الطيف لتنفيذ المرشاح المحتمل. ويبلغ عرض نطاق استبانة قياس قدرة الإشارة 1 kHz، وتشير نسبة 0 dB إلى القدرة الكلية داخل النطاق، وترد كل قيمة حدية في الشكل ضمن الجداول من 40 إلى 45.

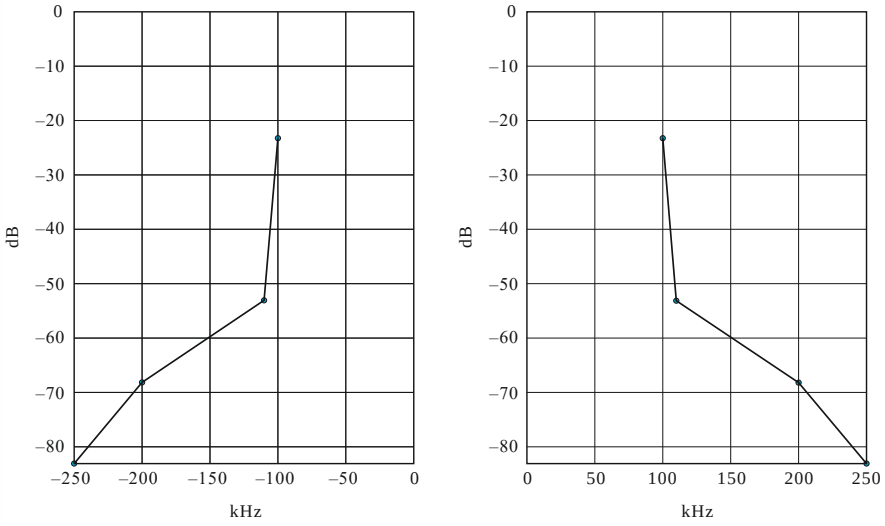
الشكل 47

قناع الطيف في أسلوب الطيف A



الشكل 48

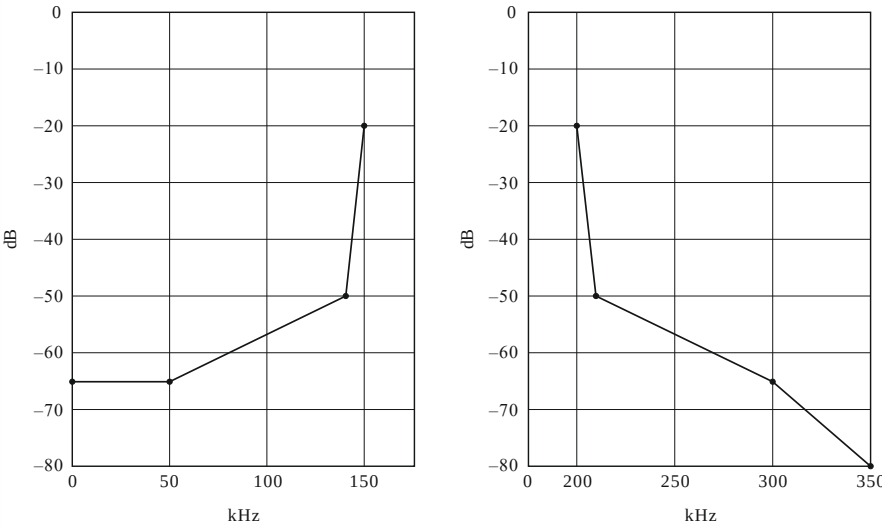
قناع الطيف في أسلوب الطيف B



BS.1114-48

الشكل 49

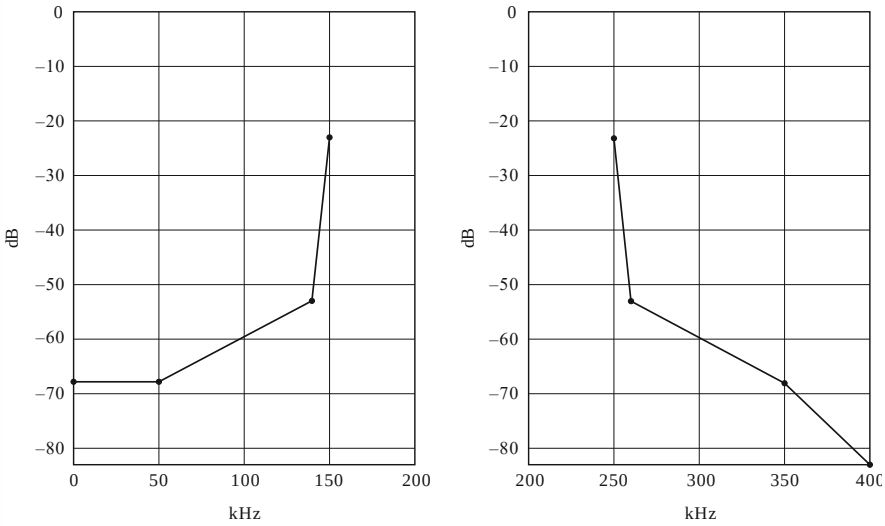
قناع الطيف في أسلوب الطيف C



BS.1114-49

الشكل 50

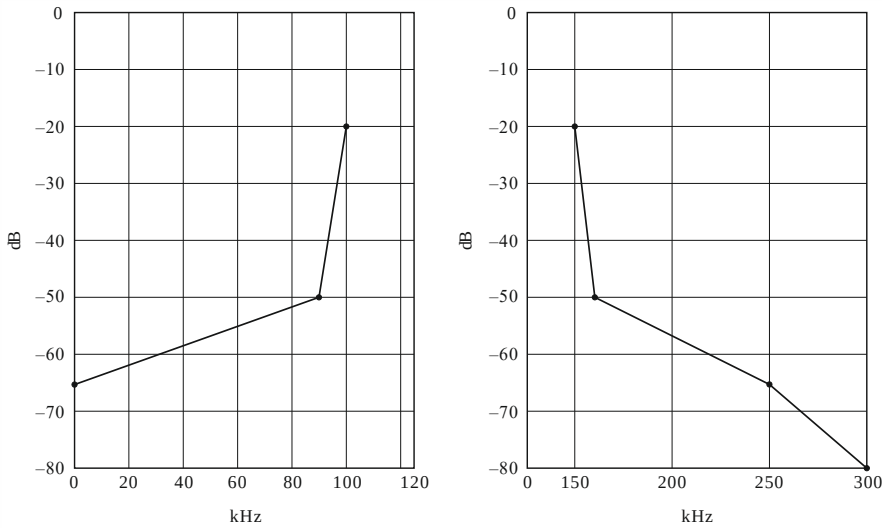
قناع الطيف في أسلوب الطيف D



BS.1114-50

الشكل 51

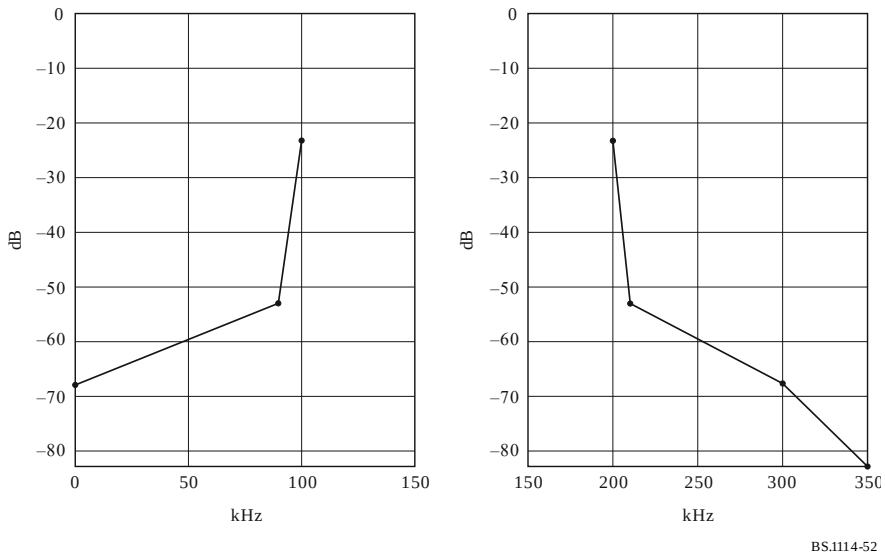
قناع الطيف في أسلوب الطيف E



BS.1114-51

الشكل 52

قناع الطيف في أسلوب الطيف F



الجدول 40

القيم الحدية لقناع الطيف عند تعريف القدرة داخل النطاق بنسبة dB0 (أسلوب الطيف A)

فرق التردد نسبةً إلى التردد المركزي (kHz)	السوية النسبية (dB)
200–	80–
150–	65–
60–	50–
50–	20–
50	20–
60	50–
150	65–
200	80–

الجدول 41

القيم الحدية لقناع الطيف عند تعريف القدرة داخل النطاق بنسبة dB0 (أسلوب الطيف B)

فرق التردد نسبةً إلى التردد المركزي (kHz)	السوية النسبية (dB)
250–	83–
200–	68–
110–	53–
100–	23–
100	23–
110	53–
200	68–
250	83–

الجدول 42

القيم الحدية لقناع الطيف عند تعريف القدرة داخل النطاق بنسبة dB0 (أسلوب الطيف C)

فرق التردد نسبةً إلى التردد المركزي (kHz)	السوية النسبية (dB)
0	65–
50	65–
140	50–
150	20–
200	20–
210	50–
300	65–
350	80–

الجدول 43

القيم الحدية لقناع الطيف عند تعريف القدرة داخل النطاق بنسبة dB0 (أسلوب الطيف D)

فرق التردد نسبةً إلى التردد المركزي (kHz)	السوية النسبية (dB)
0	68–
50	68–
140	53–
150	23–
250	23–
260	53–
350	68–
400	83–

الجدول 44

القيم الحدية لقناع الطيف عند تعريف القدرة داخل النطاق بنسبة dB0 (أسلوب الطيف E)

فرق التردد نسبةً إلى التردد المركزي (kHz)	السوية النسبية (dB)
0	65–
90	50–
100	20–
150	20–
160	50–
250	65–
300	80–

الجدول 45

القيم الحدية لقناع الطيف عند تعريف القدرة داخل النطاق بنسبة dB0 (أسلوب الطيف F)

فرق التردد نسبةً إلى التردد المركزي (kHz)	السوية النسبية (dB)
0	68–
90	53–
100	23–
200	23–
210	53–
300	68–
350	83–

8 مجمل نتائج الاختبارات

أجري فحص مختبري على النظام الرقمي H لمجموعة متنوعة من ظروف الإرسال الملخصة أدناه. وأجريت فحوص مختبرية مقابل الضوضاء العشوائية وبيئة الخبو الناجم عن تعدد المسيرات. وسمي نوعا الخبو المستخدمان حضري بسرعة 60 km/h، وريفي بسرعة 150 km/h، وقد طبق كل منهما على حدة على الإشارة المرغوبة. وجرى تقييم الأداء بنسبة *C/N* في إرسال لتحقيق $BER = 1 \times 10^{-4}$ بعد مفكك تشفير القناة في MSC.

1.8 المعدل BER مقابل النسبة (*C/N*) في قناة غوسية

أضيفت ضوضاء غوسية زائدة لضبط النسبة (*C/N*) عند دخل المستقبِل. وتظهر النتائج في الشكل 53.

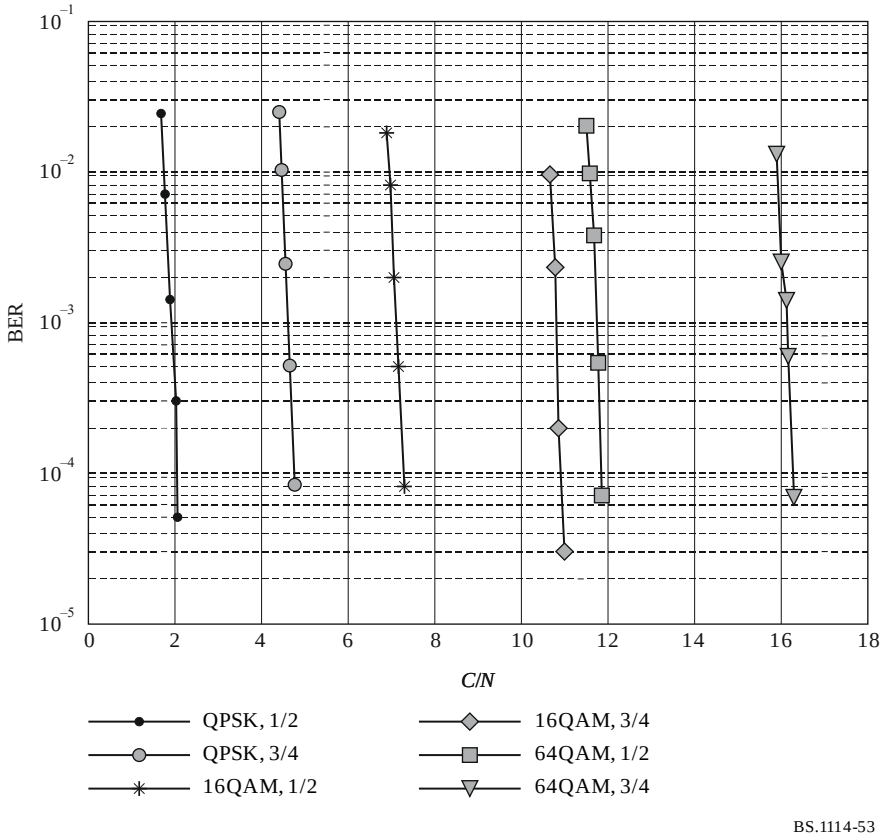
الجدول 46

معلمات الإرسال الخاصة بالفحوص المختبرية في قناة غوسية

أسلوب الطيف	B (عرض النطاق: 200 kHz)
أسلوب الإرسال	1
أنواع تشكيل الموجات الحاملة	QPSK و16-QAM و64-QAM
معدلات تشفير الشفرة الداخلية	1/2 و3/4

الشكل 53

المعدل BER مقابل النسبة (*C/N*) في قناة غوسية



2.8 المعدل BER مقابل النسبة *C/N* في قناة متعددة المسيرات

تُعطى نتائج القياس في الشكلين 54 و55 في المناطق الحضرية بسرعة 60 km/h، وفي المناطق الريفية بسرعة 150 km/h، على التوالي وهي تمثل سيناريوهات استقبال مختلفة، حيث يظهر الأسلوب المرتبط بها في الجدول 47.

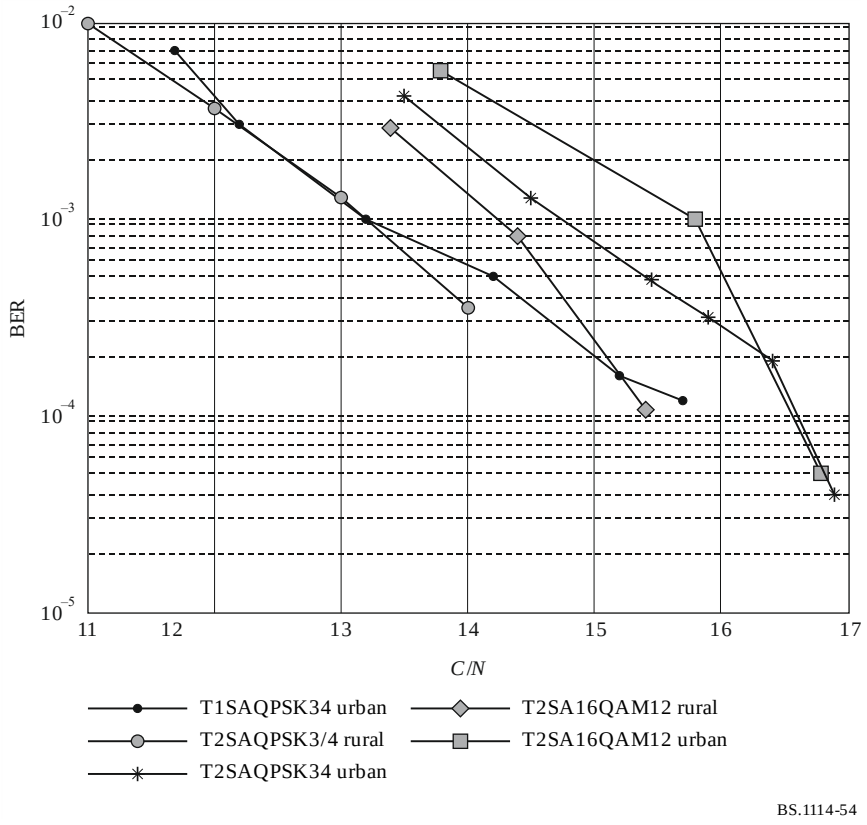
الجدول 47

معلمات الإرسال الخاصة بالفحوص المختبرية في قناة متعددة المسيرات

أسلوب الطيف	A	C
أسلوب الإرسال	1,2	1,2
أنواع تشكيل الموجات الحاملة	QPSK	16QAM
معدلات تشفير الشفرة الداخلية	3/4	1/2
أسلوب توزيع الإطار الفرعي	1	

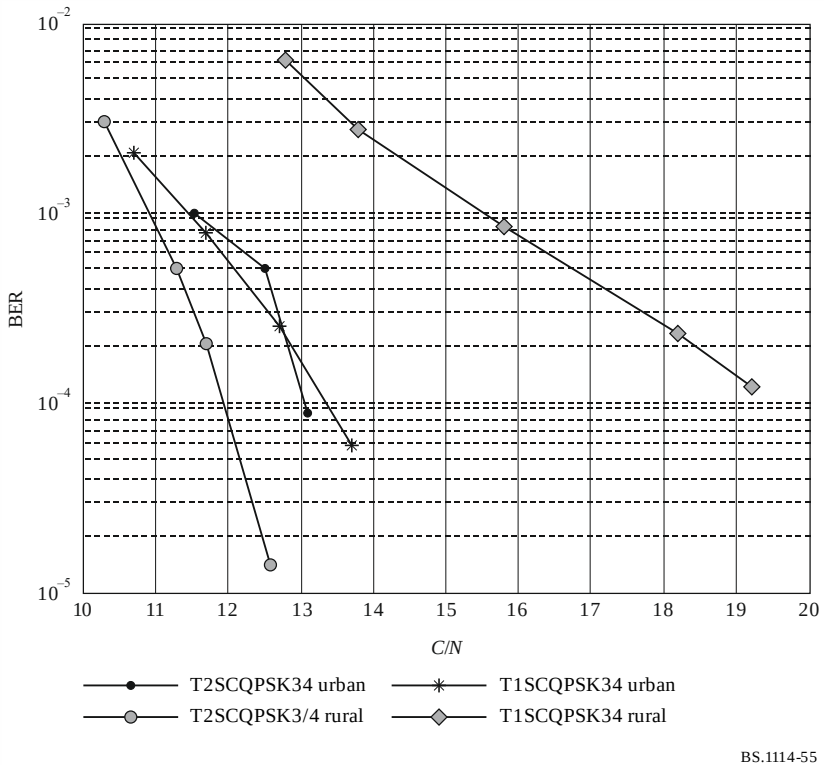
الشكل 54

المعدل BER مقابل النسبة (*C/N*) في قناة متعددة المسيرات



الشكل 55

المعدل BER مقابل النسبة (*C/N*) في قناة متعددة المسيرات



الملحق 7

النظام الرقمي I

1 مقدمة

أُعد النظام الرقمي I، المعروف أيضاً باسم نظام المعلومات السمعية المرئية في الوقت الفعلي (RAVIS)، لأغراض توفير الإذاعة الصوتية متعددة الخدمات والوسائط عالية الجودة للمستقبِلات المتنقلة والمحمولة والثابتة في نطاقي التردد I وII (47-74/68 MHz و87,5-108 MHz) من نطاق الموجات المترية (VHF). وتتوفر أساليب إرسال مختلفة لمختلف سيناريوهات التطبيق. ويُعرّف أسلوب الإرسال بفئتين من المعلمات، هما:

– المعلمات ذات الصلة بعرض نطاق الإشارة؛

– المعلمات ذات الصلة بكفاءة استعمال عرض النطاق.

وتحدّد الفئة الأولى عرض النطاق الترددي المستعمَل للإرسال، وأما الفئة الثانية فتمكن من المفاضلة بين معدل بتات البيانات واستقرارها عند وجود تداخلات مختلفة – الضوضاء الغوسية والانتشار متعدد المسارات وانتشار دوبلر.

ويُعتمد النظام الرقمي I في المعيار الوطني للاتحاد الروسي GOST R 54309-2011 بشأن "نظام المعلومات السمعية المرئية في الوقت الفعلي (RAVIS). عمليات تكوين هيكل الإطار وتشفير وتشكيل القناة لنظام الإذاعة الراديوية الرقمية ضيقة النطاق للأرض في نطاق الموجات المترية (VHF).

2 النموذج المعماري ذو كدسة بروتوكولات

ترد فيما يلي متطلبات الخدمة الأساسية للنظام RAVIS:

- كفاءة طيفية عالية للنظام؛
- استقبال متنقل موثوق للخدمات الفيديوية والسمعية والخدمات الأخرى بسرعة تصل إلى 200 km/h؛
- تأخير قصير في بدء الاستقبال أو استعادته بعد انقطاعه في ظروف معقدة (مثلاً، بعد مغادرة النفق حيث انقطعت إشارة الاستقبال)؛
- تقديم إذاعة فيديوية عالية الجودة بحجم أرتال يصل إلى 720 × 576، ومعدل أرتال يصل إلى 25 رتلاً في الثانية، وعدة قنوات صوتية مرافقة؛
- تقديم إذاعة سمعية عالية الجودة، بما في ذلك الصوت المجسم بجودة CD والصوت المتعدد القنوات 1.5؛
- تقديم خدمات بيانات إضافية متعلقة أو غير متعلقة ببرنامج فيديوي أو سمعي، من قبيل:
  - الرسائل النصية؛
  - الصور الثابتة؛
  - شرائح العرض المنزلقة؛
  - معلومات حركة المرور ومعلومات الطقس والأخبار المحلية، إلخ.؛

دليل البرامج الإلكتروني

- توفير نفاذ مشروط إلى الخدمات؛
- تقديم خدمة موثوقة للإنذار في حالات الطوارئ؛
- تشغيل الشبكات وحيدة التردد (SFN)، بما في ذلك الشبكات الممتدة على طول الطرق السريعة والسكك الحديدية.

وينبغي أن يمكّن مستقبِل النظام من استقبال برامج رقمية جديدة وبرامج من محطة إذاعة تماثلية FM مع كشف أوتوماتي لنوع البرنامج.

وفي الوقت الحالي، يُرتأى أن ما سيُستخدم بشكل رئيسي في النظام RAVIS هو الكودك السمعي HE-AAC (بما في ذلك تقنيتا SBR وPS وتقنية MPEG المحيطية) والكودكان الفيديويان H.264/AVC وH.265/HEVC. ويوفر المشفِّر السمعي HE-AAC الصوت المجسم عالي الجودة بمعدل 32 kbit/s، وأما المشفِّران الفيديويان H.264/AVC وH.265/HEVC، فيقدمان خدمات فيديوية عالية الجودة مع وضوح عادي للتلفزيون ومعدل أرتال بمقدار 25 رتلاً في الثانية بمعدل بتات يناهز 500 kbit/s.

وتُحدَّد في نظام الإرسال RAVIS الطبقة المادية وعناصر أخرى مستخدمة في طبقات البروتوكول السفلى لنموذج التوصيل البيني للأنظمة المفتوحة (OSI).

وتتمثل المكونات الرئيسية لطبقة التطبيق في التطبيقات السمعية والسمعية المرئية في الوقت الفعلي وبعض الخدمات التكميلية مثل دليل البرامج الإلكتروني، وغير ذلك. وتشمل طبقة التقديم تشفير المصدر. وينفَّذ تعدد إرسال البيانات السمعية والفيديوية والتكميلية في طبقة الوصلة باستخدام تدفق النقل MPEG-2 أو حاوية النقل للنظام RAVIS.

ويوضح الشكل 56 مثالاً لكدسة بروتوكولات النظام RAVIS.

الشكل 56

كدسة بروتوكولات النظام RAVIS

طبقة التطبيق	التطبيق السمعي والفيديوي في الوقت الفعلي	دليل البرامج الإلكتروني
طبقة التقديم	H.265/MPEG-4 AVC، H.265/MPEG- H HEVC (فيديوي)، HE-AAC (سمعي)	XML، HTML، JSON
طبقة الوصلة	تدفق النقل MPEC-2 TS، حاوية النقل RAVIS TC	
الطبقة المادية	الطبقة المادية للنظام RAVIS (BCH، LDPC، M-QAM، OFDM)	

BS.1114-56

3 التكنولوجيات الرئيسية

يتيح النظام ثلاث قنوات منطقية لإرسال البيانات. وفيما عدا قناة الخدمة الرئيسية، يتيح النظام RAVIS قنوات بيانات تتسم بموثوقية إرسال معززة – القناة ذات معدل البتات المنخفض (حوالي 12 kbit/s) وقناة المعلومات الموثوقة (حوالي 5 kbit/s). وقد تُستخدم هذه القنوات الإضافية، على سبيل المثال، من أجل الإنذار في حالات الطوارئ، وغير ذلك.

ويتيح النظام RAVIS مستويات مختلفة لتشكيل الاتساع التربيعي (QAM) ومعدلات مختلفة لتشفير القناة في قناة الخدمة الرئيسية تُستخدم لتحقيق التوازن الأمثل بين معدل البتات والموثوقية (الحماية من التداخل).

وصُممت قناة الخدمة الرئيسية لأغراض إرسال البيانات الفيديوية والسمعية. ويبلغ الحد الأقصى لمعدل البتات في هذه القناة المنطقية حوالي 900 kbit/s. وصُممت القناة ذات معدل البتات المنخفض لإرسال المعلومات بمزيد من الموثوقية ومن أجل الإنذار الصوتي في حالات الطوارئ مثلاً. ويبلغ معدل البتات حوالي 12 kbit/s. وصُممت قناة البيانات الموثوقة لأغراض البيانات المساعدة بموثوقية عالية. ويبلغ معدل البتات حوالي 5 kbit/s. وتوفر القناة ذات معدل البتات المنخفض وقناة البيانات الموثوقة قدراً أكبر من الحماية من التداخل وبالتالي تغطية أوسع واستقراراً أكثر للاستقبال بالمقارنة مع قناة الخدمة الرئيسية.

وترد في الجدول 48 معدلات بتات البيانات الرقمية في قناة راديوية واحدة لجميع توليفات معلمات التشكيل ومعدلات التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC).

الجدول 48

معدلات بتات البيانات الرقمية في النظام RAVIS

الكوكبة	معدل التصحيح الأمامي للأخطاء	معدل بتات تدفق البيانات (kbit/s)		
		قناة عرض نطاقها 100 kHz	قناة عرض نطاقها 200 kHz	قناة عرض نطاقها 250 kHz
QPSK	1/2	80	160	200
	2/3	100	210	270
	3/4	120	240	300
16-QAM	1/2	150	320	400
	2/3	210	420	530
	3/4	230	470	600
64-QAM	1/2	230	470	600
	2/3	310	630	800
	3/4	350	710	900

يمكن أن تستخدم قناة الخدمة الرئيسية التشكيل QPSK أو 16-QAM أو 64-QAM، ومعدلات تشفير التصحيح الأمامي للأخطاء R = 1/2 أو R = 2/3 أو R = 3/4. وتستخدم القناة ذات معدل البتات المنخفض التشكيل QPSK ومعدل تشفير التصحيح الأمامي للأخطاء R = 1/2. وتستخدم القناة البيانات الموثوقة التشكيل QPSK ومعدل تشفير التصحيح الأمامي للأخطاء R = 1/2.

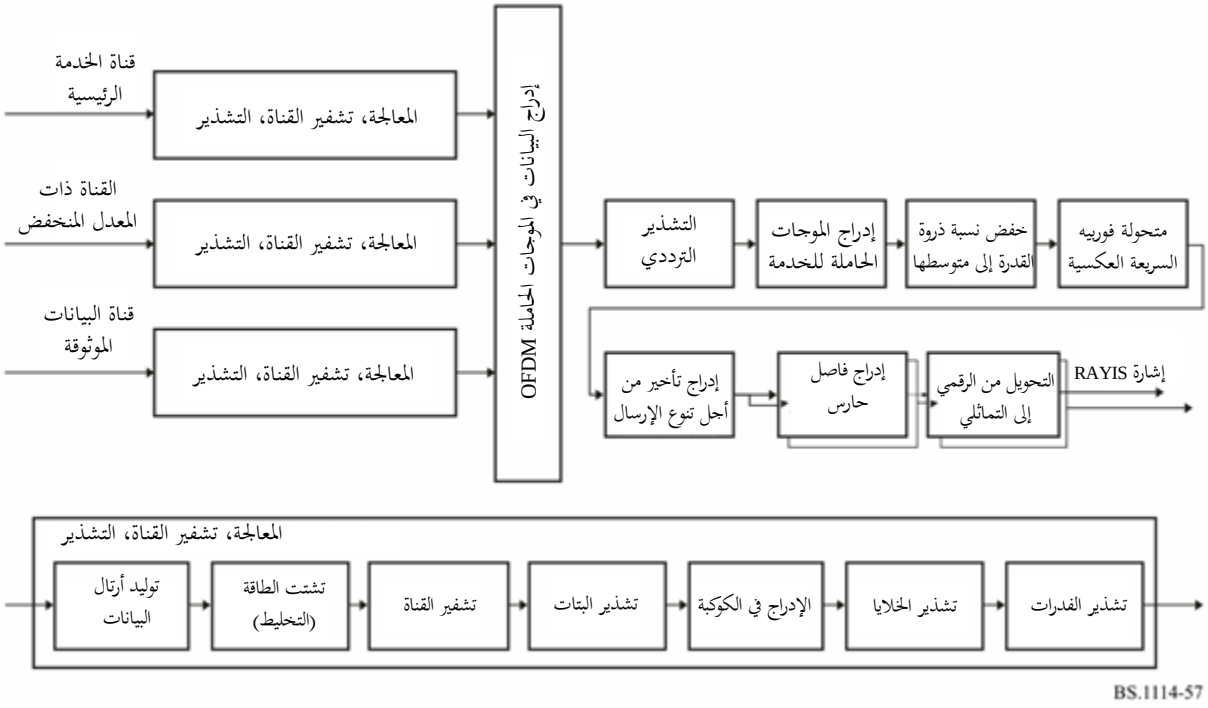
وتُدرج الموجات الحاملة الدليلة والموجات الحاملة مع معلمات إرسال الإشارة (الموجات الحاملة للخدمة) في التدفق متعدد الإرسال لرموز التشكيل OFDM. وتسمح هذه الموجات الحاملة بالتزامن وتصحيح تشوه القناة وإرسال المعلومات الإضافية (بما في ذلك معلمات التشكيل وتشفير القناة وإتاحة قنوات البيانات المنطقية، إلخ.) من جانب الاستقبال.

وخفض نسبة ذروة القدرة إلى متوسطتها غير إلزامي ولكن يوصى به.

ويبين الشكل 57 المخطط الإجمالي الوظيفي لجزء الإرسال من النظام RAVIS، ويبين الشكل 58 المخطط الإجمالي الوظيفي لمستقبِل في النظام RAVIS.

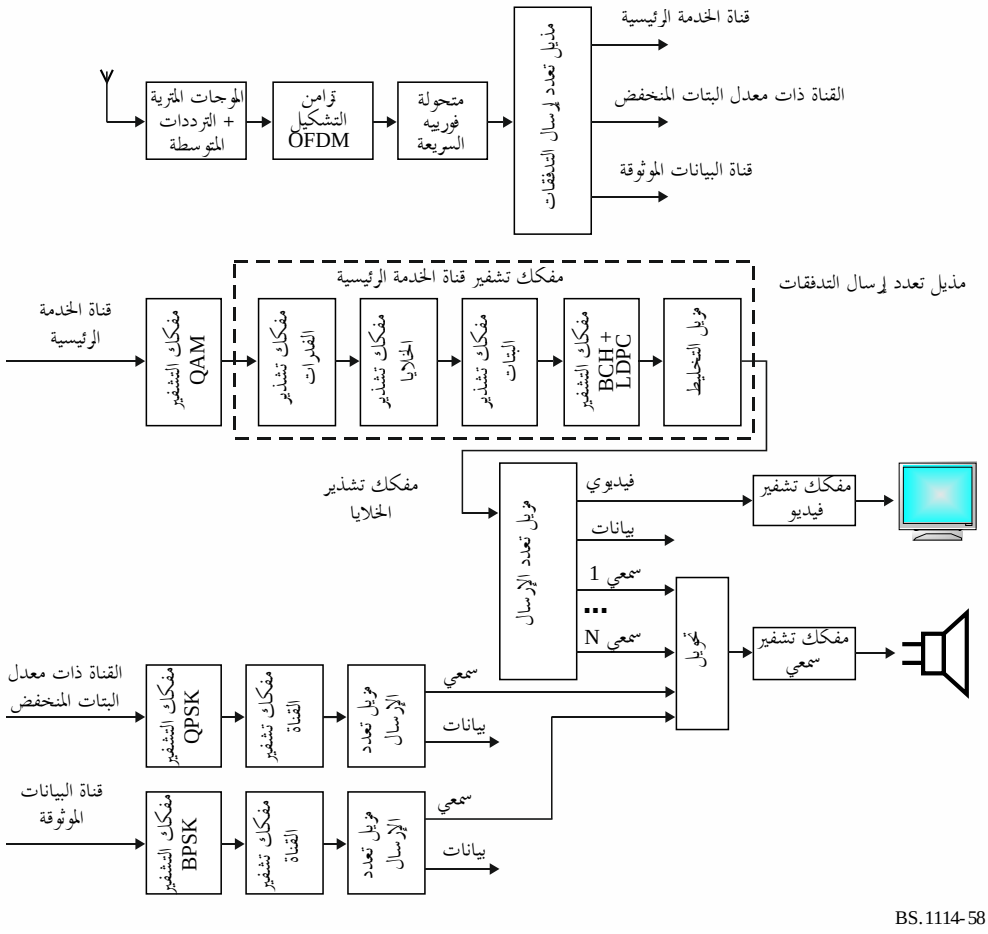
الشكل 57

المخطط الإجمالي الوظيفي لمرسِل في النظام RAVIS



الشكل 58

المخطط الإجمالي الوظيفي لمستقبِل في النظام RAVIS



يمنح نطاق التردد المختار ومفهوم الإذاعة المختار بعض المزايا:

- إمكانية استعمال شبكة وحيدة التردد وشبكة متعددة الترددات؛
- بث برامج متعددة مجسمة الصوت وعالية الجودة أو تدفق فيديوي يرافقه صوت مجسم في مدينة تستخدم جهاز إرسال واحداً فقط؛
- القدرة على إضفاء طابع محلي على إذاعة برنامج واحد، أي أن التردد نفسه يُستخدم لبث برامج مختلفة في مدن شتى.

4 الطبقة المادية وطبقة الوصلة

في الطبقة المادية، يُعرَّف مخطط تشفير القناة والتشكيل OFDM في النظام RAVIS على أنه فدرة تشغيلية ترمي إلى تكييف بيانات مشفِّر المصدر مع خصائص قناة الإرسال. وتخضع تدفقات البيانات من جميع القنوات المنطقية للتحولات التالية:

- توليد أرتال البيانات؛
- تشتت طاقة أرتال البيانات؛
- التشفير الخارجي (شفرة الفدرة BCH)؛
- التشفير الداخلي (شفرة الفدرة LDPC)؛

- تشذير البتات؛
- إدراج البتات في خلايا تشكيل الكوكبات؛
- تشذير الخلايا؛
- تشذير الفدرات؛
- إدراج بيانات القنوات المنطقية في خلايا OFDM؛
- تشذير التردد وإدراج الموجات الحاملة للخدمة؛
- خفض نسبة ذروة القدرة إلى متوسطها؛
- متحولة فورييه السريعة العكسية (IFFT)؛
- إدراج فاصل حارس، توليد كامل لإشارات OFDM.

وفي طبقة الوصلة، يمكن لبيانات المصدر المشفَّرة أن تكون متعددة الإرسال باستخدام أنساق مختلفة بما في ذلك الرزم الثابتة الأطوال (خاصة MPEG-2 TS) والرزم المتفاوتة الأطوال (خاصة GSE أو حاوية النقل للنظام RAVIS)، أو باستخدام تدفق البيانات غير المنظمة.

5 أداء النظام

جرت محاكاة أساليب الاستقبال الثابت والمحمول والمتنقل للإشارة في النظام RAVIS باستخدام نماذج القناة المستمدة من المعيار ETSI ES 201 980 (الملحق 2.B) لتقييم الحد الأدنى اللازم لنسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء $(C/N)_{min}$ (لمعدل الخطأ في البتات BER = 10^{-4} بعد مفكك تشفير القناة) لمختلف أنماط التشكيل ومعدلات التشفير لقناة الخدمة الرئيسية. وتُستخدم نماذج القناة 7 (AWGN) من أجل أسلوب الاستقبال الثابت، ونماذج القناة 8 (حضرية) من أجل أسلوب الاستقبال المحمول، ونماذج القناة 11 (تضاريس كثيرة التلال) من أجل أسلوب الاستقبال المتنقل. ويبين الجدول 49 هذه النتائج لعرض نطاق القناة بمقدار 250 kHz.

الجدول 49

قيم النسبة $(C/N)_{min}$ في النظام RAVIS مع عرض نطاق القناة بمقدار 250 kHz، قناة الخدمة الرئيسية

نموذج القناة/أسلوب الاستقبال	(dB) (C/N)min								
	QPSK			16-QAM			64-QAM		
	R = 1/2	R = 2/3	R = 3/4	R = 1/2	R = 2/3	R = 3/4	R = 1/2	R = 2/3	R = 3/4
القناة 7 (AWGN)/ استقبال ثابت	1,1	3,3	4,2	6,4	9,1	10,2	10,8	14,0	15,4
القناة 8 (حضرية)/ استقبال محمول	6,4	9,4	11,5	12,5	14,9	17,0	16,2	19,4	22,0
القناة 11 (تضاريس كثيرة التلال)/استقبال متنقل	5,5	8,6	9,8	10,4	13,2	15,6	14,7	17,9	20,5

6 ملخص معلمات النظام

يحدد الجدول 50 خصائص النظام RAVIS.

الجدول 50

الخصائص الرئيسية للنظام RAVIS

الخصائص	RAVIS
أساليب الاستقبال: – ثابت – محمول – محمول باليد – متنقل	 + + + +
صافي معدلات البيانات	حسب التشكيل ومعدل الشفرة لمختلف عروض نطاق القناة: أ) 100 kHz-75-341 kbit/s ب) 200 kHz-155-703 kbit/s ج) 250 kHz-196-888 kbit/s
الكفاءة الطيفية (bit/s/Hz)	3,64-0,77
الشبكات وحيدة التردد	مدعومة
أنماط الإذاعة: – الصوتية – متعددة الوسائط – التلفزيونية	 + +
أنماط بيانات/خدمات الإرسال	فيديوية، سمعية، صور ثابتة، عروض، بيانات الحركة، إلخ.
نطاقات التردد	النطاقات I وII من نطاقات الموجات المترية
عرض نطاق القناة	أ) 100 kHz ب) 200 kHz ج) 250 kHz
عرض النطاق المستعمل	أ) 96,0 kHz ب) 185,6 kHz ج) 246,2 kHz
عدد القطع	1
عدد الموجات الحاملة الفرعية في كل قطعة	أ) 215 ب) 439 ج) 553
المباعدة بين الموجات الحاملة الفرعية	4000/9 Hz
مدة نشاط الرمز	2,25 ms
مدة/نسبة الفاصل الحارس	1/8
مدة الرتل	103,78125 ms (41 رمزاً من رموز تعدد الإرسال OFDM)
تزامن الوقت/التردد	الفاصل الحارس/الموجات الحاملة الدليلة
طرائق التشكيل	QPSK، 16-QAM، 64-QAM
التصحيح الأمامي الداخلي للأخطاء	الشفرة LDPC بالمعدلات التقريبية للشفرة 1/2، 2/3، 3/4
التشذير الداخلي	تشذير البتات والخلايا والوقت والتردد
التصحيح الأمامي الخارجي للأخطاء	BCH (n، k، t)؛ ترتبط القيمتان n وk بعرض نطاق القناة وبمعدل الشفرة LDPC؛ إمكانية تصحيح الأخطاء t = 10 أخطاء (فيما يتعلق بقناة الخدمة الرئيسية)
التشذير الخارجي	–
عشوائية البيانات/تشتت الطاقة	PRBS ذو 16 بتة
الإرسال التراتبي	–
تشوير معلمات الإرسال	أربع موجات حاملة فرعية لكل رمز من رموز تعدد الإرسال OFDM و41 بتة لكل رتل من أرتال تعدد الإرسال OFDM