

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية **ITU-R BS.1514-2**
(2011/03)

نظام للإذاعة الصوتية الرقمية في
نطاقات الإذاعة تحت 30 MHz

السلسلة BS
الخدمة الإذاعية (الصوتية)

تمهيد

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

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

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

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

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

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

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

النشر الإلكتروني

جنيف، 2011

© ITU 2011

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.1514-2

نظام للإذاعة الصوتية الرقمية في نطاقات الإذاعة تحت 30 MHz

(المسألة 60/6 ITU-R)

(2011-2002-2001)

مجال التطبيق

تصف هذه التوصية خصائص أنظمة مختلفة للإذاعة الصوتية الرقمية للأرض في نطاقات LF و MF و HF وتشجع مصنعي أجهزة الاستقبال الراديوية على تطوير أجهزة استقبال راديوية رقمية محمولة متعددة النطاقات ومتعددة المعايير مصممة لتنفيذ جميع أنظمة الإذاعة الصوتية الرقمية المستعملة حالياً، ليس فقط في نطاقات الموجات المتوسطة والقصيرة وإنما أيضاً في النطاقات الأخرى للأرض المخصصة للاستقبال المباشر لإرسالات الإذاعة الصوتية من جانب عامة الجمهور.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

- أ) أن هناك حاجة متزايدة في جميع أنحاء العالم لوسائل مناسبة للإذاعة عالية الجودة غير المجسمة أو برامج صوت مجسم لأجهزة الاستقبال على متن المركبات، وتلك المتنقلة والثابتة؛
- ب) أن المستمعين إلى إذاعات LF و MF و HF لم تسنح لهم فرصة بعد للاستفادة من استخدام الإذاعة الصوتية الرقمية؛
- ج) أن الإذاعة الصوتية الرقمية للأرض في هذه النطاقات توفر إمكانات خدمات جديدة ومحسنة للمستمعين؛
- د) أن المستمعين سيستفيدون من وجود معيار واحد في جميع أنحاء العالم لإشارات الإذاعة الصوتية الرقمية للأرض؛
- هـ) أن الازدحام الحالي لنطاقات الإذاعة الصوتية للأرض تحت 30 MHz في بعض البلدان يؤدي إلى مستوى عال من التداخل ويحد من عدد البرامج التي يمكن إرسالها؛
- و) أن الجهات الإذاعية تعتمد اعتماداً كبيراً على استخدام هذه النطاقات بسبب خصائصها الانتشارية المواتية ولا سيما لمتطلبات تغطية منطقة واسعة؛
- ز) أن تسهيل الانتقال من الإذاعة التماثلية إلى الإذاعة الرقمية للصوت بطريقة تضمن استمرارية الخدمة، قد يستلزم حل الإذاعة المتزامنة (التماثلي والرقمي معاً) بالإضافة إلى الحلول الرقمية البحتة؛
- ح) أن التوصية ITU-R BS.1348 بشأن متطلبات الخدمة للإذاعة الصوتية الرقمية في هذه النطاقات تحدد سلسلة من المتطلبات التي توجه مطوري الأنظمة في العديد من البلدان باتجاه التغلب على أوجه القصور الحالية في جودة الصوت وقوة الإشارة وباتجاه تقديم خدمات جديدة؛
- ي) أن اثنين من أعضاء قطاع الاتصالات الراديوية قدما وثائق عن نظامين مختلفين للإذاعة الصوتية الرقمية للأرض لنطاقات تحت 30 MHz، بعد أن أصدر قطاع الاتصالات الراديوية دعوة لتقديم مقترحات تطلب أوصاف النظام ونتائج التحاليل المخبرية والميدانية؛
- ك) أن موجز مواصفات التصميم الوظيفية للمقترحين المذكورين في فقرة 1 من فقرتها (ي) يظهر في الملحقين 1 و 2 مع المزيد من التفاصيل المسهبة المشار إليها في التذييل 1؛
- ل) أن أنصار كل نظام قدموا نتائج التحاليل المخبرية والميدانية المشار إليها في التذييل 1 لمعدات النموذج الأولي، وأن النسخ المكثفة لنتائج الاختبار هذه طابقت معايير التقييم المحددة في الملحق 3 على النحو الوارد في الملحقين 4 و 5،

وإذ تضع في اعتبارها كذلك

- (أ) أن غير ذلك من الأنظمة الراديوية الرقمية هي الآن قيد الاستخدام في بقاع مختلفة من العالم للخدمات الراديوية في نطاقات الترددات المختلفة، وأن الأنظمة المختلفة تتطلب أحياناً مرشحات تردد متوسط (IF) مختلفة لتوفر خصائص وظيفية معززة، كأن تمكن استقبال الإذاعات التماثلية الرقمية المتزامنة والإرسالات المجسمة؛
- (ب) أن تعدد هذه الأنظمة والتطبيقات قد يحير المستخدمين النهائيين، بل قد يؤدي أيضاً إلى توافر أجهزة استقبال راديوي في السوق مصممة لاستقبال بعض الأنظمة الراديوية الرقمية فقط؛
- (ج) أن مصلحة المستهلكين الفضلى، ولا سيما أولئك الذين يحتاجون إلى استخدام أجهزة الاستقبال الراديوي الخاصة بهم عند السفر أيضاً، تقتضي توفر أجهزة استقبال في السوق يمكن أن تستقبل جميع الأنظمة الراديوية الرقمية المستخدمة حالياً أو المقترحة؛
- (د) أن بعض وسائل الإعلام التفاعلية، مثل الإنترنت، تسمح بترقية البرمجيات المستخدمة لفك التشفير وتقديم البرامج السمعية، وأن هذه الميزة ستعود بالفائدة لو توفرت أيضاً في أجهزة الاستقبال الراديوي الرقمية وستتيح كذلك مراعاة المتطلبات الخاصة للمستخدمين المصابين بضعف في السمع والمسنين،

توصي

- 1** بمراجعة ما يلي في نطاقات HF ما بين 3 و 30 MHz:
- خصائص النظام المبينة في الملحق 1 مع المزيد من التفاصيل المسهبة المشار إليها في التذييل 1 التي تلي متطلبات الخدمة المنصوص عليها في التوصية ITU-R BS.1348، وترد بالإيجاب على المسألة ITU-R 60/6، وتتألف من نظام واحد مشترك للإذاعة الصوتية الرقمية ينبغي أن يُستخدم في نطاقات الإذاعة بموجب المادة 12 من أحكام لوائح الراديو؛
 - وأي تنفيذ للإذاعة الصوتية الرقمية في هذه النطاقات ينبغي أن يجسد خصائص النظام الواردة في الملحق 1؛
- 2** بمراجعة ما يلي في نطاقات HF تحت 3 MHz:
- خصائص النظام المبينة في الملحقين 1 و 2 مع المزيد من التفاصيل المسهبة المشار إليها في التذييل 1 التي تلي متطلبات الخدمة المنصوص عليها في التوصية ITU-R BS.1348، وترد بالإيجاب على المسألة ITU-R 60/6، وتتألف من أنظمة الإذاعة الصوتية الرقمية التي ينبغي أن تستخدم في هذه النطاقات الإذاعية؛
 - وأي تنفيذ للإذاعة الصوتية الرقمية في هذه النطاقات ينبغي أن يجسد خصائص النظام الواردة في الملحقين 1 و 2؛
 - وينبغي للإدارات التي ترغب في تنفيذ أنظمة للإذاعة الصوتية الرقمية في النطاقات الإذاعية تحت 3 MHz، والتي تحقق بعض أو كل المتطلبات المنصوص عليها في التوصية ITU-R BS.1348، أن تستخدم الجدول 1 لتقييم مزايا كل من الأنظمة التي تختارها،

وأن تدعو مصنعي أجهزة الاستقبال لتطوير ما يلي:

- 1** أجهزة استقبال مجدية اقتصادياً ومحمولة ومتعددة النطاقات تُصمم للاستقبال من خلال الانتقاء اليدوي أو بالأحرى، التلقائي لجميع أنظمة الإذاعة الراديوية التماثلية لرقمية على اختلافها المستخدمة حالياً في جميع نطاقات الترددات ذات الصلة؛
- 2** أجهزة استقبال راديوي رقمية تتيح تنزيل ترقية عبر الإنترنت لبعض الوظائف المحددة مثل فك التشفير والتنقل ومقدرة الإدارة، وما إلى ذلك.
- الملاحظة 1- حال اعتماد مراجعة هذه التوصية والموافقة عليها، ينبغي توجيه عناية المنظمات ISO/IEC/TC 100 إليها، حسب الاقتضاء.

الجدول 1

جدول الالتزام بمتطلبات الاتحاد الدولي للاتصالات في أنظمة الراديو العالمي (DRM) وأنظمة الإرسال على نفس النطاق والقناة (IBOC)

موعد الاستكمال المتوقع			حالة الاختبار			ضمن التصميم		الأهمية	مميزات الأنظمة
IBOC	DRM		IBOC	DRM		IBOC	DRM		
MW	SW	MW	MW	SW	MW				
2002/07			NYT	FUL	FUL	نعم	نعم	A	1 المتطلب المعياري للنظام أ) ينبغي أن يعمل جهاز الاستقبال الرقمي في كل أرجاء العالم
	2002/07		FUL	UND	FUL	نعم (تسمح بالانتقال التدريجي بين التماثلي والرقمي)	نعم	A	2 القدرة على الانتقال التدريجي من التماثلي إلى الرقمي أ) إذاعة مترامنة (يتشارك التماثلي والرقمي في قناة واحدة)
			NYT	FUL	FUL	نعم (حيثما تسمح الإدارة بمثل هذا التعاون)	نعم (حيثما تسمح الإدارة بمثل هذا التعاون)	A	ب) إذاعة متعددة (يحتل التماثلي والرقمي قنوات منفصلة)
2002/07	2003/03	2003/03	FUL	FUL	FUL	نعم	نعم	B	3 إذاعة البيانات أ) إشارة سمعية وبيانات أي مقدرة إذاعة البيانات
			UND	NYT	NYT	نعم (مسألة مفتوحة)	نعم (مسألة مفتوحة)	C	ب) توفير التخليط والتحكم في النفاذ
			FUL	FUL	FUL	نعم	نعم	A	4 متطلبات الأداء السمعي أ) تحسين الجودة السمعية مقارنة بما يقابلها في الأنظمة التماثلية
	2002/07	2002/07	NYT	NYT	NYT	No	نعم	B	ب) صوت غير مجسم متعدد اللغات أو مزدوج

الجدول 1 (تابع)

موعد الاستكمال المتوقع			حالة الاختبار			ضمن التصميم		الأهمية	مميزات الأنظمة
IBOC	DRM		IBOC	DRM		IBOC	DRM		
MW	SW	MW	MW	SW	MW				
			FUL	FUL	FUL	نعم	نعم (شبه مجسم عند 9 أو 10 kHz)	B	ج) مقدرة الصوت المجسم
			FUL	FUL	FUL	نعم	نعم	B	د) تقسيم دينامي لمعدل البتات بين الصوت والبيانات (بيانات انتهازية)
			FUL	FUL	FUL	نعم	نعم	B	هـ) معدل بتات يمكن اختياره بتدرجات صغيرة ودعم معدل بتات أعلى مما يمكن تحقيقه في موعد الإدخال في الخدمة
2002/12			NYT	FUL	FUL	نعم	نعم	B	5 الكفاءة الطيفية
2002/03			UND	FUL	FUL	نعم (رقمية بالكامل)	نعم	A	أ) تردد وحيد من مرسلات منفصلة جغرافياً أو في موقع واحد
			FUL	FUL	FUL	نعم	نعم	A	ب) التزام بما يحدده الاتحاد الدولي للاتصالات من عرض نطاق قنوات RF والمباعدة فيما بينها
			FUL	FUL	FUL	نعم	نعم	A	ج) احتمال التداخل ليس أكثر من تشكيل الاتساع المكافئ
			FUL	FUL	FUL	نعم	نعم	A	د) إمكانية التعرض للتداخل ليست أكثر من تشكيل الاتساع المكافئ
2002/07	2002/12	2002/12	NYT	NYT	NYT	نعم	نعم	A	6 موثوقية الخدمة
2002/07	2002/12	2002/12	NYT	NYT	NYT	نعم	نعم	A	أ) تحسين موثوقية الاستقبال
						نعم	نعم	A	ب) خفض كبير لإمكانية التعرض لآثار الخبو
						نعم	نعم	A	ج) - تبديل التردد تلقائياً في جهاز الاستقبال
						نعم	نعم	C	- تبديل التردد تلقائياً على نحو غير مسموع في جهاز الاستقبال

الجدول 1 (تابع)

موعد الاستكمال المتوقع			حالة الاختبار			ضمن التصميم		الأهمية	مميزات الأنظمة
IBOC	DRM		IBOC	DRM		IBOC	DRM		
MW	SW	MW	MW	SW	MW				
2002/07	2002/07		FUL	FUL	FUL	نعم	نعم	A	د) استقبال على متن المركبات، ومحمول وثابت
			FUL	FUL	FUL	نعم	نعم	A	هـ) توليف سريع
			FUL	UND	UND	نعم (أسلوب هجين)	نعم (أساليب متنوعة+UEP)	B	و) تدهور مضبوط
			FUL	UND	FUL	نعم	نعم	A	ز) الحفاظ على تغطية منطقة
			FUL	FUL	FUL	نعم	نعم	A	ح) استقبال جيد داخل المباني
2002/07	2002/12	2002/12	NYT	NYT	NYT	نعم	نعم (يتوفر ضمن المعيار)	B	7 معلومات الخدمة لانتقاء التوليف أ) انتقاء مبسط للخدمات باستخدام بيانات متصلة بالبرنامج لاختيار الجهة المذيعة ومحتوى البرنامج
			FUL	FUL	FUL	نعم	نعم	A	8 اعتبارات نظام الإرسال أ) استخدام مرسلات حديثة قائمة قادرة على الإرسال التماثلي والرقمي
			FUL	FUL	FUL	نعم	نعم	C	ب) توفير في القدرة عند تغطية منطقة الخدمة نفسها بموثوقية الخدمة نفسها
			FUL	FUL	FUL	نعم	نعم	A	ج) بث هامشي وخارج النطاق يلتزم لوائح الاتحاد الدولي للاتصالات
	2002/12	2002/12	FUL	UND	UND	نعم (بيان بالدارات المتكاملة في تقرير CES2002)	نعم (دارات متكاملة قيد التطوير قائمة بشكل مثبت على DSP)	A	9 اعتبارات جهاز الاستقبال أ) ينبغي الايجول تعقيد النظام دون انخفاض تكلفة أجهزة الاستقبال

الجدول 1 (تمة)

موعد الاستكمال المتوقع			حالة الاختبار			ضمن التصميم		الأهمية	مميزات الأنظمة
IBOC	DRM		IBOC	DRM		IBOC	DRM		
MW	SW	MW	MW	SW	MW				
2003/06	2003/06	2003/06	UND	UND	UND	نعم	نعم (تكنولوجيا الدارات المتكاملة تسمح بذلك)	B	ب) ينبغي لتعقيد النظام أن يسمح بأجهزة استقبال تستهلك القليل من القدرة وتُشغل ببطارية
			FUL	FUL	FUL	نعم	نعم	B	10 مقايضة متغيرة أ) إمكانية اختبار معالم النظام حسب متطلبات الجهة المذيعة

لم يستكمل اختبار النظام A ولا النظام B في نطاق LW. ولكن يرجح أن تمثل النتائج التي تم الحصول عليها في نطاق MW حال انطاق LW. ولعل الضائقة الوحيدة التي يمكن أن تصادف تكمن في عرض نطاق الترددات الراديوية (RF) للهوائي.

:DSP معالجة إشارة رقمية

:FUL اختبر بالكامل، لذلك لا حاجة لوضع أي شيء في خانة موعد الاستكمال المتوقع

:NYT لم يُختبر بعد

:UEP حماية غير متساوية من الخطأ

:UND في طور الإنجاز

الملحق 1

وصف موجز لنظام الراديو الرقمي العالمي (DRM)

1 الملامح الرئيسية لتصميم نظام للأسواق المزمع تخديدها بنظام الراديو الرقمي العالمي (DRM)

إن نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM) هو نظام إذاعة صوتية رقمية (DSB) مرّن للاستخدام في النطاقات الإذاعية للأرض تحت 30 MHz.

ومن المهم أن ندرك أن أجهزة الاستقبال الراديوي للمستهلكين في المستقبل القريب ستحتاج إلى أن تكون قادرة على فك تشفير أي من الإرسالات العديدة للأرض أو كلها، بمعنى النطاق الضيق الرقمي (في الترددات الراديوية تحت 30 MHz) والنطاق الأعرض الرقمي (عند الترددات الراديوية فوق 30 MHz) والإرسالات التماثلية في النطاقات LF و MF و HF وفي نطاق VHF/FM. وسيكون نظام الراديو الرقمي العالمي مكوناً هاماً ضمن جهاز الاستقبال. ومن غير المرجح أن تُستبعد المقدرة التماثلية من جهاز استقبال راديوي للمستهلك مصمم لاستقبال الإرسالات للأرض بمقدرة رقمية.

وفي جهاز استقبال راديوي للمستهلك، سيوفر نظام الراديو الرقمي العالمي القدرة على استقبال الراديو الرقمي (الصوت والبيانات ذات الصلة بالبرنامج والبيانات الأخرى والصور الثابتة) في جميع النطاقات الإذاعية تحت 30 MHz. وإذ يمكن لهذا النظام أن يعمل مستقلاً، فالأرجح كما ذكر أعلاه أن يكون جزءاً من جهاز استقبال أكثر شمولاً - مثل غالبية أجهزة الاستقبال اليوم التي تشمل قدرة الاستقبال التماثلية على نطاق AM و FM.

وقد صُمم نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM) ليُستخدم في قنوات بعرض 9 أو 10 kHz أو في مضاعفات عروض نطاق هذه القنوات. أما الاختلافات في التفاصيل حول كم من تدفق البتات المتاح لهذه القنوات يُستخدم للإشارة السمعية، وللحماية من الخطأ وتصحيحه، وللبيانات، فهي تتوقف على النطاق الموزع (LF أو MF أو HF) وعلى الاستخدام المقصود (على سبيل المثال، موجة أرضية أو موجة سماوية قصيرة المسافة أو موجة سماوية طويلة المسافة). وبعبارة أخرى، تتوفر مقايضة بين الأساليب بحيث يمكن للنظام تلبية احتياجات متنوعة للجهات المذيعة في جميع أنحاء العالم. وكما هو مبين في الفقرة التالية، عندما تقتضي الإجراءات التنظيمية المعمول بها استخدام قنوات يزيد عرض نطاقها عن 9/10 kHz، يمكن أن تتحسن كثيراً الجودة السمعية لنظام الراديو الرقمي العالمي ومجمل مقدرة تدفق البتات.

ويستخدم نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM) التشفير السمعي المتقدم (AAC) متمماً بتناسخ النطاق الطيفي (SBR). بمثابة تشفيره الرقمي الرئيسي. ويحسن تناسخ النطاق الطيفي الجودة السمعية المحسوسة بتقنية تعزيز النطاق الأساسي الترددي الأعلى باستخدام معلومات من الترددات الأدنى للاستدلال بها. ويُستخدم تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM)/تشكيل الاتساع المتعامد (QAM) لتشفير القناة وتشكيلها إلى جانب التشذير الزمني والتصحيح المسبق للخطأ (FEC) باستخدام التشفير متعدد المستويات (MLC) القائم على التشفير التلافيفي. وتُستخدم رموز مرجعية استدلالية لاستخراج معلومات تسوية القناة. ويؤدي الجمع بين هذه التقنيات إلى ارتفاع جودة الصوت وزيادة حصانة الاستقبال داخل منطقة التغطية المقصودة عند المقارنة مع حالهما في نطاق AM المستخدم حالياً.

ويبلي النظام بلاءً حسناً في ظروف الانتشار الصعبة كتلك التي تصادف في انتشار الموجة السماوية في نطاق HF عبر مسيرات متعددة ومسافة طويلة، وكذلك في ظروف الانتشار الأيسر للموجة الأرضية في نطاق MF. وفي الحالة الثانية، يستفاد إلى أقصى حد من خوارزميات تشفير مصدر التشفير السمعي المتقدم (AAC) وتناسخ النطاق الطيفي (SBR) مما يؤدي إلى تحقيق نطاق AM لارتفاع كبير في الجودة السمعية بفضل تضاؤل الحاجة لاستخدام التصحيح المسبق للخطأ إلى أدنى الحدود. وفي كثير من ظروف الانتشار في نطاق HF، نجد ضرورة تحقيق درجة عالية من الحصانة تقلل من الجودة السمعية مقارنة مع نطاق MF الرقمي، ومع ذلك، تظل الجودة السمعية أفضل من جودة نطاق AM الحالية.

ويسمح التصميم باستخدام نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM) ضمن شبكة أحادية التردد (SFN).

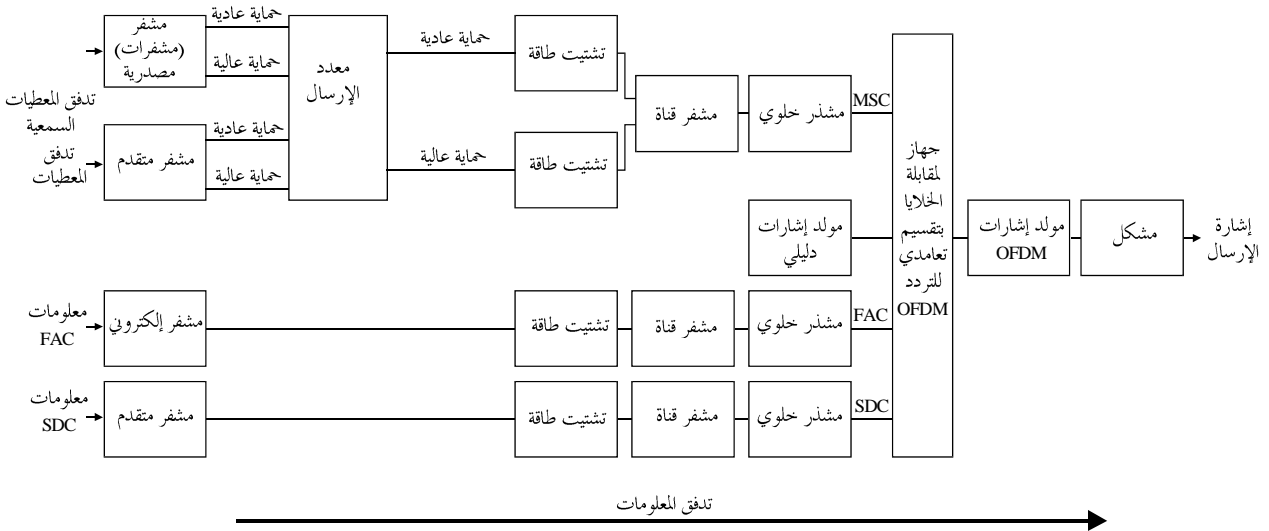
كما أنه يوفر القدرة على التبديل التلقائي للترددات، وهي ذات قيمة خاصة للجهات المذيعة التي ترسل نفس الإشارات بترددات إرسال مختلفة. وهذا، مثلاً، أمر تلجأ إليه كبريات منظمات الإذاعة في نطاق HF بصورة منتظمة، فتستخدم تشكيل الاتساع (AM) لزيادة احتمالات وصول إشارة واحدة جيدة على الأقل في منطقة الاستقبال المقصودة. وبوسع نظام الراديو الرقمي العالمي أن يمكن جهاز استقبال مناسب من انتقاء أفضل تردد لبرنامج تلقائياً دون أي جهد من جانب المستمع.

2 وصف موجز لنظام الراديو الرقمي العالمي (DRM)

1.2 التصميم العام

الشكل 1

مخطط وظيفي لدخول المرسل



القناة الرئيسية للخدمات: MSC (main service channel)

01-1514

يصف الشكل 1 الانسياب العام لفئات مختلفة من المعلومات (الصوت والبيانات، وغيرها) من الترميز على الجهة اليسرى من الشكل إلى مفعّل مرسل نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM) على اليمين. ورغم عدم ورود مخطط جهاز استقبال كشكل، فمن شأنه أن يمثل عكس هذا المخطط.

وإلى اليسار هناك فئتان من معلومات الدخل:

- ترميز الصوت والبيانات التي يتم الجمع بينها في معدّد إرسال الخدمة الرئيسي؛
- قنوات المعلومات التي تتجاوز معدّد الإرسال والتي تعرف باسم قناة النفاذ السريع (FAC) وقناة وصف الخدمة التي يرد شرح الأغراض منها في الفقرة 3.2.

ويضمن مشفر مصدر الصوت والمشفرات المسبقة للبيانات تكيف تدفقات الدخل على نسق رقمي مناسب. وقد يتألف خرجها من جزأين يتطلبان مستويين مختلفين من الحماية داخل مشفر القناة اللاحقة.

ويجمع معدّد الإرسال بين مستويات الحماية لجميع البيانات والخدمات الصوتية.

ويوفر تشتت الطاقة تكميلاً انتقائياً قطعياً للبتات من أجل الحد من احتمال أن تؤدي مخططات الإشعاع المنهجية إلى انتظام غير مرغوب فيه طي الإشارة المرسلة.

ويضيف مشفر القناة معلومات رديفة كوسيلة لتصحيح الخطأ ويحدد تقابل المعلومات المشفرة الرقمية مع خلايا QAM. وللنظام قدرة، إن رغبت الجهة المذيعة، على نقل فئتين من "البتات"، إحداها تحظى بحماية أشد من الأخرى.

وينشر التشذير الخلوي خلايا QAM متتالية في تتابع من خلايا منفصلة بشكل شبه عشوائي في الوقت والتردد، وذلك لتوفير عنصر إضافي من الحصانة في نقل الصوت ضمن قنوات مشتتة للوقت-التردد.

ويحقن المولد الاستدلالي معلومات تسمح لجهاز استقبال باستخراج معلومات تسوية القناة، مما يتيح تماسك إزالة التشكيل من الإشارة.

ويجمع محدد تقابل خلايا OFDM فئات مختلفة من الخلايا ويضعها في شبكة الوقت-التردد.

ويحول مولد إشارة OFDM كل مجموعة من الخلايا التي تحتوي على نفس مؤشر الوقت إلى تمثيل ميدان زمني للإشارة، التي ترجح فيها الموجات الحاملة. ثم يتم الحصول على رمز تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM) في الوقت-التردد من هذا التمثيل للميدان الزمني بإدراج فاصل حارس - هو تكرار دوري لجزء من الإشارة.

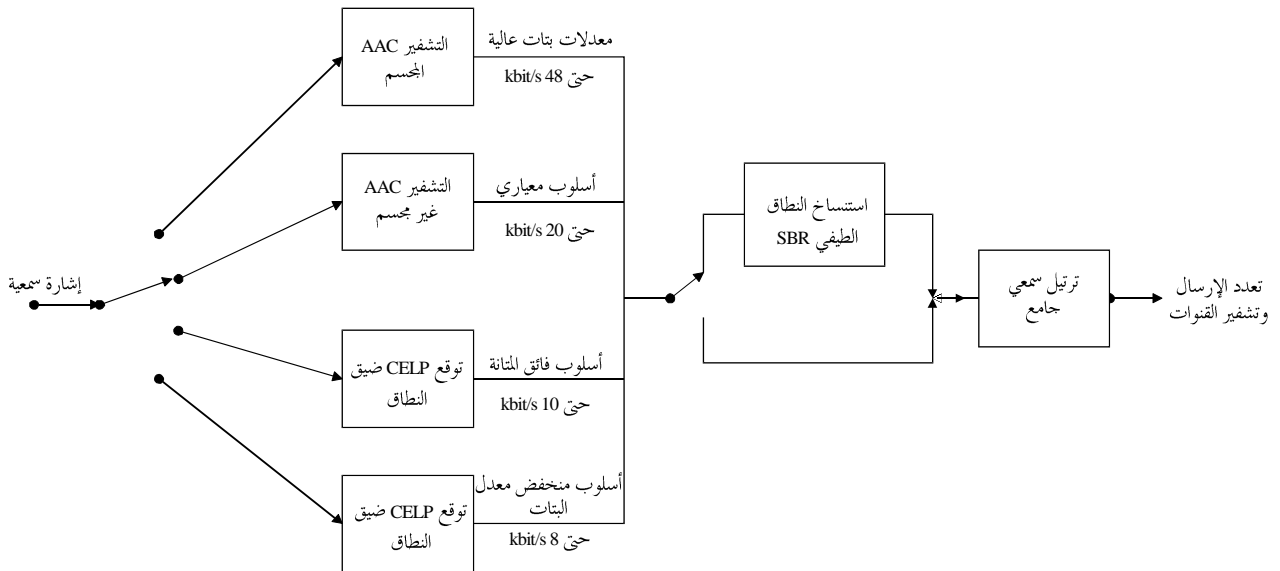
ويحول المشكّل التمثيل الرقمي لإشارة OFDM إلى الإشارة التماثلية التي سيتم إرسالها عن طريق المرسل/الهوائي عبر الأثير. وتنطوي هذه العملية على تحويل رافع للتردد، وتحويل الرقمي إلى تماثلي، واصطفاء بحيث تلتزم الإشارة المرسلة مع المتطلبات الطيفية لقطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد.

وفي المرسل اللاخطي عالي القدرة، تنشطر الإشارة أولاً إلى مكوي الاتساع والطور فيها (ويمكن القيام بذلك على نحو مفيد في الميدان الرقمي)، ثم يعاود تجميعها (بفعل المرسل نفسه) قبل البث النهائي.

2.2 تشفير مصدر الصوت

الشكل 2

نظرة إجمالية عن تشفير المصدر



CELPE: التنبؤ الخطي بتفعيل شفري

وتصوّر في الشكل 2 خيارات تشفير المصدر المتاحة لنظام الراديو الرقمي العالمي (DRM) وقد صممت جميع هذه الخيارات، سوى واحد منها في الجزء العلوي من الشكل (مجسم التشفير السمعي المتقدم (AAC))، للاستخدام ضمن قنوات 9/10 kHz الحالية للإذاعة الصوتية تحت 30 MHz. ويوفر خيار التنبؤ الخطي بتفعيل شفري (CELP) تشفيراً للكلام بمعدل بتات منخفض نسبياً، فيما يستخدم خيار التشفير السمعي المتقدم مجموعة فرعية من معيار MPEG-4 المقيس لمعدلات البتات المنخفضة (أي بما يصل إلى 48 kbit/s). ويمكن تعزيز هذه الخيارات من خلال أداة لتعزيز عرض النطاق مثل تناسخ النطاق الطيفي (SBR) المصور في الشكل. ويشار في الشكل إلى المعدلات البيانية لبتات الخرج. وللجهة المديعة أن تختار من كل ذلك.

ويولى اهتمام خاص بحيث يمكن ضغط الصوت في أطر سمعية فائقة ذات طول زمني ثابت (400 ms). ويفعل تعدد الإرسال والحماية غير المتساوية من الأخطاء في الخدمات السمعية/الكلامية بواسطة مكونات تعدد الإرسال وتشفير القناة.

وكمثال للهيكل، ننظر من الشكل 2 في مسير التشفير السمعي المتقدم (AAC) غير المجسم مضافاً إليه تناسخ النطاق الطيفي (SBR)، وهو يتميز بالخصائص التالية:

طول الإطار:	ms 40
معدل أخذ عينات التشفير السمعي المتقدم (AAC):	kHz 24
معدل أخذ عينات تناسخ النطاق الطيفي (SBR):	kHz 48
مدى ترددات التشفير السمعي المتقدم (AAC):	kHz 6,0-0
مدى ترددات تناسخ النطاق الطيفي (SBR):	kHz 15,2-6,0
متوسط معدل بتات تناسخ النطاق الطيفي (SBR):	2 kbit/s بالقناة

وفي هذه الحالة، هناك إشارة سمعية أساسية عرضها 6 kHz توفر جودة سمعية أفضل من تشكيل الاتساع (AM) المعياري بالإضافة إلى تعزيز استخدام تقنية تناسخ النطاق الطيفي (SBR) التي توسع عرض الإشارة لـ 15,2 kHz. ويستهلك كل ذلك قرابة 22 kbit/s. ويحوي تدفق البتات في كل إطار جزءاً من بيانات التشفير السمعي المتقدم (AAC) وتناسخ النطاق الطيفي ثابتة المقاس والحماية حماية شديدة، بالإضافة إلى غالبية بيانات التشفير السمعي المتقدم وتناسخ النطاق الطيفي ذات المقاس المتغير والحماية بدرجة أقل. ويتألف الطول الزمني الثابت للإطار السمعي الفائقة البالغ 400 ms من عدد من هذه الأطارات.

3.2 تعدد الإرسال، بما في ذلك القنوات الخاصة

كما لوحظ في الشكل 1، يتألف تعدد الإرسال الكامل لنظام الراديو الرقمي العالمي (DRM) من ثلاث قنوات: قناة الخدمة الرئيسية (MSC) وقناة النفاذ السريع (FAC) وقناة وصف الخدمة (SDC). وتتضمن قناة الخدمة الرئيسية الخدمات والصوت والبيانات. فيما توفر قناة النفاذ السريع معلومات عن عرض نطاق الإشارة ومعلومات أخرى من هذا القبيل وتستخدم أيضاً لتوفر معلومات انتهاء الخدمة من أجل المسح السريع. وتعطي قناة وصف الخدمة معلومات لجهاز استقبال عن كيفية فك شفرة قناة الخدمة الرئيسية وكيفية البحث عن مصادر بديلة لنفس البيانات وتسد نعوت إلى الخدمات ضمن تعدد الإرسال.

وقد يتضمن تعدد الإرسال في قناة الخدمة الرئيسية (MSC) ما يصل إلى أربع خدمات يمكن لأي منها أن تكون إشارة سمعية أو بيانات. ويعتمد معدل البتات الإجمالي لقناة الخدمة الرئيسية على عرض نطاق القناة وأسلوب الإرسال المستخدم. وفي جميع الحالات، فهو ينقسم إلى إطارات مدة كل منها 400 ms.

كما يبنى هيكل قناة النفاذ السريع (FAC) حول إطار مدته 400 ms وتُدرج معلومات القناة في كل إطار FAC. وتُحمل معلومات الخدمة في أطر FAC المتعاقبة، بمعدل خدمة واحدة لكل إطار. أما أسماء معلومات قناة النفاذ السريع (FAC) فهي: علم القاعدة/التعزيز، والهوية، وانشغال الطيف، وعلم عمق المشذر، وأسلوب التشكيل، عدد الخدمات، مؤشر معاودة التشكيل، والمحمولة للاستخدام في المستقبل. وتستخدم هذه المعلومات ما مجموعه 20 بتة. وأما معلومات الخدمة ضمن قناة النفاذ السريع فيه: معرف الخدمة، والمعرف المختصر، ومؤشر النفاذ المشروط (CA)، واللغة، وعلم الصوت/البيانات،

والمحجوزة للاستخدام في المستقبل. وتستخدم هذه العلامات ما مجموعه 44 بته. (ترد تفاصيل حول هذه العلامات، بما في ذلك مقياس المجال، في مواصفات النظام.)

وتبلغ دورية إطار قناة وصف الخدمة (SDC) 1 200 ms ودون التطرق إلى تفاصيل استخدام كل من العديد من العناصر داخل حقول قناة وصف الخدمة، فإن أسماءها هي: وصف تعدد الإرسال، والوسم، والنفذ المشروط، ومعلومات الترددات، ومعلومات الجدول الزمني للترددات، ودعم الإعلان وتبديله، وتحديد منطقة التغطية، ومعلومات الوقت والتاريخ، والمعلومات السمعية، ومعلومات نسخ قناة النفاذ السريع (FAC)، وبيانات الربط. وفضلاً عن نقل هذه البيانات، يستفاد من الإدراج الدوري لقناة وصف الخدمة ضمن شكل الموجة لتحقيق التبديل السلس بين الترددات البديلة.

4.2 تشفير القناة وتشكيلها

إن خطة التشفير/التشكيل المستخدمة هي مجموعة متنوعة من تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي ومشفر للتردد (COFDM) الذي يجمع بين تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM) مع التشفير متعدد المستويات (MLC) القائم على التشفير التلافي. ويتم هذان المكونان بتشذير الخاليا وتوفير الخاليا الاستدلالية لتقدير القناة اللحظية، وهما إجراءان يخففان معاً من آثار الخبو قصير الأجل سواء كان انتقائياً أو ثابتاً.

وتوفر هذه التوليفة بمجملها إرسالاً ممتازاً وإمكانات لحماية الإشارة في قنوات kHz 9/10 الضيقة في نطاقات الترددات الإذاعية على الموجات الطويلة والمتوسطة والقصيرة. ويمكن أيضاً أن تستخدم على نحو فعال في هذه الترددات الإذاعية لقنوات ذات عرض نطاق أوسع في حال السماح بها من وجهة النظر التنظيمية في المستقبل.

وفي تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM)، تتألف الإشارة المرسلّة من تتابع من الرموز يتضمن كل منها فاصل حارس - وهي سابقة دورية توفر الحصانة ضد انتشار التأخير. وتشير التعامدية إلى أنه في حالة تصميم نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM)، يتضمن كل رمز ما يقرب من 200 من الموجات الحاملة الفرعية المتباعدة على امتداد kHz 9/10 بحيث لا تتداخل إشاراتها على بعضها البعض (إذ تكون متعامدة). أما العدد الدقيق للموجات الحاملة الفرعية وغير ذلك من اعتبارات العلامات، فهو رهن بالأسلوب المستخدم: إرسالات الموجة الأرضية والموجة السماوية، والإرسالات عالية الحصانة.

ويستخدم تشكيل الاتساع المتعامد (QAM) للتشكيل الجاري على كل من الموجات الحاملة الفرعية المختلفة لنقل المعلومات، حيث تُستخدم كوكبتان رئيسيتان من التشكيل هما: 16-QAM و 64-QAM. كما يُدرج أسلوب التشكيل التعامدي بزحرة الطور (QPSK) للتشوير عالي الحصانة (ولكن ليس في قناة الخدمة الرئيسية (MSC)).

ويقع المد الزمني للمشذر لدى الإرسال في نطاق HF في حدود 2,4 s للتعامل مع الخبو الناجم عن انتقائية الوقت والتردد. وإذ تقل صعوبة ظروف الانتشار في ترددات النطاقين LF و MF، يمكن تطبيق مشذر مختصر يبلغ مدته الزمنية 0,8 s.

وستستخدم خطة التشفير التلايفية متعددة المستويات معدلات تشفير يتراوح مداها بين 0,5 و 0,8، حيث يرتبط المعدل الأدنى بظروف الانتشار الصعبة في نطاق HF.

5.2 اعتبارات المرسل

يمكن استخدام مفعّل نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM) لإدخال إشارات في الرسائل الخطية وغير الخطية على حد سواء. ويُتوقع أن تصبح الرسائل غير الخطية عالية القدرة طريقة عادية لتخديم الجهات المذيعة، حالها في ذلك حال ما هو متبع حالياً في تشكيل الاتساع بنطاق جانبي مزدوج.

وعلى مدى السنوات القليلة الماضية، ونظراً للحاجة إلى ذلك، بُذلت جهود باستخدام نظام الراديو الرقمي العالمي ونماذج أولى أخرى للوقوف على كيفية استخدام رسائل غير خطية بإشارات رقمية ضيقة النطاق. وكانت النتائج مشجعة، كما يتبين من الاختبارات الميدانية الأخيرة لنظام الراديو الرقمي العالمي.

وباختصار، فإن الإشارة الواردة إلى مرسل من الفئة C (التضخيم غير الخطي) يجب أن تُقسم إلى مكوبي الاتساع والطور فيها قبل التضخيم النهائي. فيمرر المكون الأول عبر دائرة المصعد والثاني عبر دائرة المهبط. ثم يُدمجان بتزامن مناسب ليشكلا خرج المرسل.

وتُظهر قياسات أطياف الخرج ما يلي: تتوزع طاقة الإشارة الرقمية بالتساوي تقريباً عبر قناة 9/10 kHz الموزعة؛ وينحدر كثفا مخطط الطيف انحداراً شديداً وسريعاً إلى مستوى يناهز 40 dB دون مستوى الكثافة الطيفية ضمن قناة 9/10 kHz الموزعة، وتوالي مستويات قدرة الكثافة الطيفية تناقصها بمعدل أقل ما بعد $\pm 4,5/5,0$ kHz من التردد المركزي للقناة الموزعة.

6.2 عبر الأثير

تردى المعلومات الرقمية عن الطور/الاتساع المحمولة في الإشارة ذات التردد الراديوي (RF) بدرجات مختلفة عند انتشارها. وتعرض بعض القنوات في نطاق HF لمواقف عسيرة، مثل حالات خبو ثابت سريع نسبياً وتداخل بسبب الانتشار المتعدد المسيرات يحدث حالات خبو انتقائي من حيث التردد وتفاوتات زمنية كبيرة في التأخر الناجم عن المسير وزحزحات دوبلرية وتفاوتات دوبلرية عالية المستوى مستحثة بالانتشار الأيونوسفيري.

لكن الحماية من الأخطاء وتصحيح الأخطاء المدججين في تصميم نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM) يخففان هذه الآثار إلى حد كبير. وهكذا يستطيع جهاز الاستقبال فك تشفير المعلومات الرقمية المرسلة فكاً صحيحاً.

7.2 انتقاء إزالة التشكيل وفك التشفير لإشارة نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM) في جهاز الاستقبال

يجب أن يتمكن جهاز الاستقبال من كشف الأسلوب المعين المستعمل للإرسال وفقاً لنظام الراديو الرقمي العالمي ومن معالجته بصورة ملائمة. وهذا يتم باستعمال عدد من مدخلات قناتي النفاذ السريع (FAC) ووصف الخدمة (SDC) (سبق عرض ذلك في الفقرة 3.2). وبعدها يتم تعرّف الأسلوب الملائم (والتحقق منه مراراً)، تجري عملية إزالة التشكيل، وهي على عكس ما يبيّنه القسم الأعلى من الشكل 1، المخطط الوظيفي لمرسل.

ويتلقى المستقبل كذلك معلومات عن الخدمات الموجودة، ومنها، مثلاً، معلومات عن طريقة فك التشفير المصدر في الخدمة السمعية.

الملحق 2

نظام الإذاعة الصوتية الرقمية على نفس النطاق والقناة (IBOC DSB)

المعدّ للتشغيل في نطاقات تحت 30 MHz

1 نظام الإذاعة الصوتية الرقمية على نفس النطاق والقناة (IBOC DSB)

إن نظام الإذاعة الصوتية الرقمية على نفس النطاق والقناة (IBOC DSB) مصمم للتشغيل بأسلوب هجين أو بأسلوب محض رقمي. وأسلوب التشغيل مرهون بتردد الإذاعة، والاستعمال الجاري للطيّف، ومتطلبات الخدمة للجهة المذيعة. فالأسلوب الهجين يمكن من بث عناصر نفس البرامج على نسق رقمي ونسق تماثلي معاً، في القناة التي تشغلها حالياً الإشارة التماثلية. أما الأسلوب الرقمي المحض فيقدم إمكانات تشغيل معززة في نفس القناة، بعد حذف الإشارة التماثلية الحالية أو حين لا تكون القناة مستعملة للإذاعة التماثلية.

ويتكون نظام الإذاعة الصوتية الرقمية على نفس النطاق والقناة من أربعة عناصر أساسية هي: الكودك الذي يشفر الإشارة السمعية ويفك تشفيرها؛ وتشفير وتشذير التصحيح المسبق للخطأ (FEC) الذي يوفر الحصانة بفضل الترادف والتنوع؛

والمودم الذي يشكّل الإشارة ويزيل تشكيّلها؛ والخلط الذي يتيح الانتقال بسلاسة من الإشارة الرقمية إلى الإشارة التماثلية القائمة، في حالة التشغيل بأسلوب هجين، أو إلى إشارة رقمية رديفة، في حالة التشغيل بأسلوب رقمي محض.

وإضافة إلى تحسين جودة المسموعة، يوفر نظام الإذاعة الصوتية الرقمية على نفس النطاق والقناة (IBOC DSB) خدمات بيانات، منها الثلاث الرئيسية التالية: خدمة بيانات مخصصة بمعدل بتات ثابت، وخدمة بيانات مخصصة بمعدل قابل للتعديل، وخدمة بيانات بمعدل بتات متغير حسب الفرص المتاحة.

في حالة الخدمات المخصصة بمعدل ثابت، يكون معدل البيانات ثابتاً ولا يستطيع المذيع تغييره. وبعبارة أدق، توفر خدمة بيانات معيار الإذاعة السمعية الرقمية - iDAB (IDS) بصورة متواصلة مجموعة واسعة من خدمات البيانات الضيقة النطاق شبيهة بما يوفره حالياً نظام بيانات الإذاعة الراديوية (RBDS). فالخدمة IDS تستعمل بالفعل كمية محددة من سعة النظام، والباقي من هذه السعة يستفاد منه لضبط سويات الإشارة السمعية، وللتعادلية والخدمات بيانات أخرى.

والخدمات ذات المعدل القابل للتعديل تشتغل بمعدل ثابت لفترة محددة سلفاً. ولكن خلافاً لما هو الحال في الخدمات الثابتة المعدل، تستطيع الجهة المذيعة هنا ضبط معدل البيانات، عن طريق مقايضة صبيب البيانات بجودة واعتمادية الإشارة السمعية. فمثلاً، يمكن تخفيض معدل البتات السمعية المشفرة (بدرجات محددة) للسماح بزيادة صبيب بيانات، ولكن على حساب جودة الإشارة السمعية الرقمية.

وأما خدمات البيانات بمعدل متغير حسب الفرص المتاحة، فيكون فيها معدل البتات مرتبطاً بتعقيد الإشارة السمعية الرقمية المشفرة. إذ إن الإشارة السمعية بالغة التعقيد تستلزم صبيباً أكبر مما يستلزمه مرور بسيط. فيقيس مشفر الإشارة السمعية مدى تعقيدها دينامياً ويعدل صبيب البيانات وفقاً لذلك، دون التفريط بجودة الإشارة السمعية الرقمية المشفرة.

1.1 مكونات النظام

1.1.1 الكودك

يستخدم نظام الإذاعة الصوتية الرقمية على نفس النطاق والقناة (IBOC DSB) كودك التشفير السمعي المتقدم (AAC) متمماً بتناسخ النطاق الطيفي (SBR) فهو بفضل ذلك يعطي إشارة سمعية مجسّمة عالية الجودة شبيهة بجودة إشارة تشكيل FM، ضمن حدود القيود المفروضة من حيث عرض النطاق على تشغيل نظم تحت 30 MHz. وتعزيزاً لحصانة الإشارات السمعية الرقمية حتى تفوق ما يوفره التصحيح المسبق للخطأ (FEC) مع التشدير، تستعمل أجهزة الكودك السمعية تقنيات خاصة لحجب الأخطاء تُقنّع بما آثار الأخطاء على تدفق بتات الدخل. ثم إن نسق تدفق البتات في كودك الإشارات السمعية يُضفي من المرونة ما يسمح بمزيد من التحسين في التقنيات الأساسية لتشفير الإشارات السمعية.

2.1.1 تقنيات التشكيل

يستخدم نظام الإذاعة الصوتية الرقمية على نفس النطاق والقناة (IBOC DSB) تشكيل الاتساع المتعامد (QAM) ويتميز هذا التشكيل بفعالية عرض نطاقه التي تكفي لإرسال إشارات صوتية مجسّمة، تضاهي إشارات تشكيل FM، جودة، وتضمن تغطية ملائمة في عرض النطاق المتاح.

كما يستعمل هذا النظام طريقة تعدد الموجات الحاملة تدعى تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM)، وهي خطة تتيح إعمال تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد في عدد من الموجات الحاملة ذات تشكيل اتساع متعامد (QAM) تفادياً لأي تداخل فيما بينها. وتتعزز حصانة الإشارة الرقمية، عندما تتضافر طريقة OFDM مع تشفير وتشدير FEC. وبنية تعدد الإرسال OFDM مؤاتية بطبيعتها لتقنيات تشفير FEC التي تحسّن الأداء إلى أقصى ما يمكن في بيئة تداخل غير منتظم.

3.1.1 تشفير وتشذير التصحيح المسبق للخطأ (FEC)

إن وجود تشفير وتشذير التصحيح المسبق للخطأ (FEC) في نظام الإرسال يحسّن كثيراً موثوقية المعلومات المرسلّة، وذلك عن طريق إضافة مدروسة لمعلومات رديفة يستخدمها جهاز الاستقبال لتصحيح الأخطاء التي تقع في مسير الإرسال. وهناك تقنيات متقدمة في مجال تشفير FEC صُممت خصيصاً، بالاستناد إلى دراسات مفصلة عن التداخل، من أجل استغلال عدم انتظام التداخل في هذه النطاقات. وكذلك صُممت تقنيات تشذير خاصة من أجل توزيع رزم الأخطاء على امتداد الزمن والتردد لمساعدة مفكك تشفير FEC في عملية اتخاذ قراره.

وهناك مشكلة كبيرة تواجهها الأنظمة التي تشتغل تحت 30 MHz، وتمثل في وجود بني ناقلة مؤرّضة يمكنها أن تسبب تغييرات سريعة في الاتساع والطور لا تتوزع بانتظام عبر النطاق. فلمعالجة هذه المشكلة، يستعمل نظام IBOC DSB تقنيات تسوية تحافظ على طور واتساع الموجات الحاملة الرقمية OFDM بقدر يكفي لاستخراج المعلومات الرقمية على النحو الصحيح. وهكذا فإن تضافر تقنيات تشفير FEC المتطور، وتسوية القنوات، وتقنيات التشذير المثلى، يمكن نظام IBOC DSB من توفير استقبال موثوق للإشارات السمعية الرقمية في بيئة متنقلة.

4.1.1 الخلط

يستخدم نظام الإذاعة الصوتية الرقمية على نفس النطاق والقناة (IBOC DSB) الافتراق الزمني بين إرسالين مستقلين للمصدر السمعي الواحد، ضماناً لحصانة الاستقبال أثناء الانقطاعات الملازمة للخدمة في بيئة متنقلة. ففي النظام المهجين، تُستخدَم الإشارة التماثلية كإشارة رديفة، وأما في النظام الرقمي المحض فإن تدفق بتات سمعية رقمية منفصل هو الذي يُستخدَم كإشارة رديفة. ويوفر نظام IBOC DSB هذه القدرة بتأخير إرسال الإشارة الرديفة بضع ثوانٍ كفارق زمني ثابت، عن إرسال الإشارة السمعية الرئيسية. وقد ثبتت فائدة هذا التأخير لتأدية وظيفة الخلط. وهذه الوظيفة تسمح، أثناء التوليف، بالانتقال من الإشارة الرديفة المحصّلة آنياً، إلى الإشارة الرئيسية بعد الحصول عليها. وتمكّن وظيفة الخلط بعد حيازة الإشارة الرئيسية من الرجوع إلى الإشارة الرديفة، إذا تشوّهت الإشارة الرئيسية. وفي حالة انقطاع الإشارة، ينتقل المستقبل بسلاسة إلى الإشارة السمعية الرديفة التي لا يصيبها الانقطاع بفضل الفارق الزمني الذي يفصلها عن الإشارة الرئيسية.

وتعتمد الأنظمة الرقمية على مشدّر، لكي تتمكن من توزيع الأخطاء على امتداد الزمن وتقليل الانقطاعات. وبوجه عام، توفر المشدّرات الأطول زمناً حصانة أقوى للإشارة، على حساب زمن تحصيل الإشارة. فميزة الخلط تمكن من تحصيل سريع للإشارة الرديفة أثناء التوليف أو معاودة التحصيل، دونما إحلال باكتمال الأداء.

2.1 أساليب التشغيل

1.2.1 الأسلوب التشغيل المهجين في نطاق MF

في شكل الموجة المهجين، تُرسل الإشارة الرقمية في النطاقات الجانبية على أي من جانبي الإشارة التماثلية المضيفة، وكذلك في إطار الإشارة التماثلية المضيفة، على النحو المبين في الشكل 3. وتكون سوية قدرة كل من الموجات الحاملة الفرعية لتشكيل OFDM ثابتة بالنسبة إلى الموجة الحاملة الرئيسية، على النحو المبين في الشكل 3. وتشتغل الموجات الحاملة لتشكيل OFDM، أي الموجات الحاملة الرقمية، قرابة $\pm 14,7$ kHz على جانبي الموجة الحاملة لتشكيل AM. وتكون الموجات الحاملة الرقمية الواقعة في إطار طيف الإشارة التماثلية مباشرة مشكّلة بحيث لا تسبب أي تداخل على الإشارة التماثلية. وتُرتب هذه الموجات الحاملة الرقمية أزواجاً، ويتألف كل زوج من موجتين حاملتين تبعدان في التردد نفس البعد عن الموجة الحاملة بتشكيل AM. ويُسمّى كل زوج زوجاً تكميليّاً، وتطلق تسمية موجات حاملة تكميلية على مجموعة الموجات الحاملة بأكملها. وفي كل زوج يُجعل تشكيل إحدى الموجتين الحاملتين مترافقاً سالباً لتشكيل الموجة الحاملة الأخرى. وبذلك يصير مجموع الموجات الحاملة في وضع متعامد مع الموجة الحاملة بتشكيل AM، الأمر الذي يقلل إلى أدنى حد التداخل المسبب على الإشارة التماثلية عندما يكشفه مكشاف الغلاف. ثم إن جعل الموجات الحاملة التكميلية في وضع متعامد مع الإشارة التماثلية يمكن أيضاً من إزالة تشكيل الموجات الحاملة التكميلية عند بوجود الموجة الحاملة بتشكيل AM والإشارة التماثلية بسوية

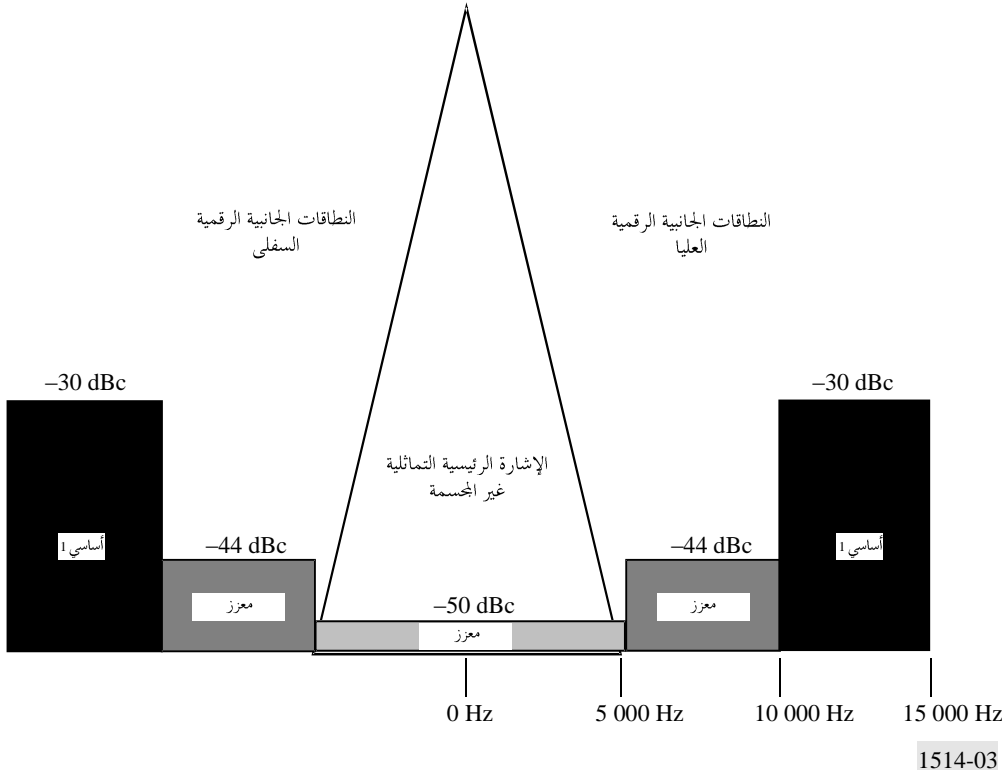
عالية. لكن ثمن جعل الموجات الحاملة التكميلية في وضع متعامد مع الموجات الحاملة بتشكيل AM يتمثل في أن مضمون المعلومات في الموجات الحاملة التكميلية، لا يساوي إلا نصف مضمون المعلومات التي في الموجات الحاملة الرقمية المستقلة.

وقد صُمم الأسلوب المهجين للمحطات العاملة في نطاق MF في المناطق التي تستدعي اتخاذ الاحتياطات للانتقال من التماثلي إلى الرقمي. فالأسلوب المهجين يجعل من الممكن تقديم خدمات رقمية دون التسبب في تداخل ضار على إشارة المضيف التماثلية القائمة.

ولتعظيم استقبال الإشارة السمعية الرقمية، يستخدم نظام الإذاعة الصوتية الرقمية على نفس النطاق والقناة (IBOC DSB) كودك ذا طبقات حيث تنشطر الإشارة السمعية المضغوطة إلى تدفقي معلومات منفصلين: أساسي ومعزز. فيوفر التدفق الأساسي المعلومات السمعية الأساسية، فيما يوفر التدفق المعزز معلومات أعلى جودة ومجسمة. وقد صُمم تشفير التصحيح المسبق للخطأ (FEC) وتموضع التدفقات السمعية على الموجات الحاملة لتعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM) كي يوفر تدفقاً أساسياً حصيناً جداً وتدفقاً معززاً أقل حصانة. وفي النظام المهجين، تودع المعلومات الأساسية في موجات حاملة تعمل بالطاقة العالية على مبعده $10 \pm$ إلى 15 kHz من الموجة الحاملة التماثلية، في حين تودع المعلومات المعززة في موجات حاملة لتعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد على مبعده 0 إلى $10 \pm$ kHz.

الشكل 3

الكثافة الطيفية للقدرة في النظام IBOC DSB المشغّل بالأسلوب المهجين والموجات الهكومتريّة



ويستخدم نظام الإذاعة الصوتية الرقمية على نفس النطاق والقناة (IBOC DSB)، لحماية التدفق السمعي الأساسي من التداخل وتردي القنوات، نوعاً من تشفير القناة يميّز بتقطيع التشفير الأصلي إلى عدة أجزاء متراكبة (أي: تشفير رئيسي، وتشفير رديف، وتشفير نطاق جانبي سفلي، وتشفير نطاق جانبي علوي). ويبقى كل من الأجزاء الأربعة المتراكبة تشفيراً كاملاً ومستقلاً. فتشفير النطاقين الجانبيين العلوي والسفلي يمكن نظام IBOC DSB من الاشتغال حتى مع وجود تداخل قوي في القناة المجاورة العليا أو السفلى، في حين يتيح التشفير الرئيسي والتشفير الرديف حيازة النظام IBOC DSB سريعاً ويحصنانه بحيث لا يتأثر بانقطاعات الإرسال القصيرة كالتّي تسببها بنى ناقلة مؤرّضة.

وفي النظام الهجين يبلغ الصيب السمعي الأساسي قرابة 20 kbit/s، بينما يضيف الصيب السمعي المعزّز قرابة 16 kbit/s.

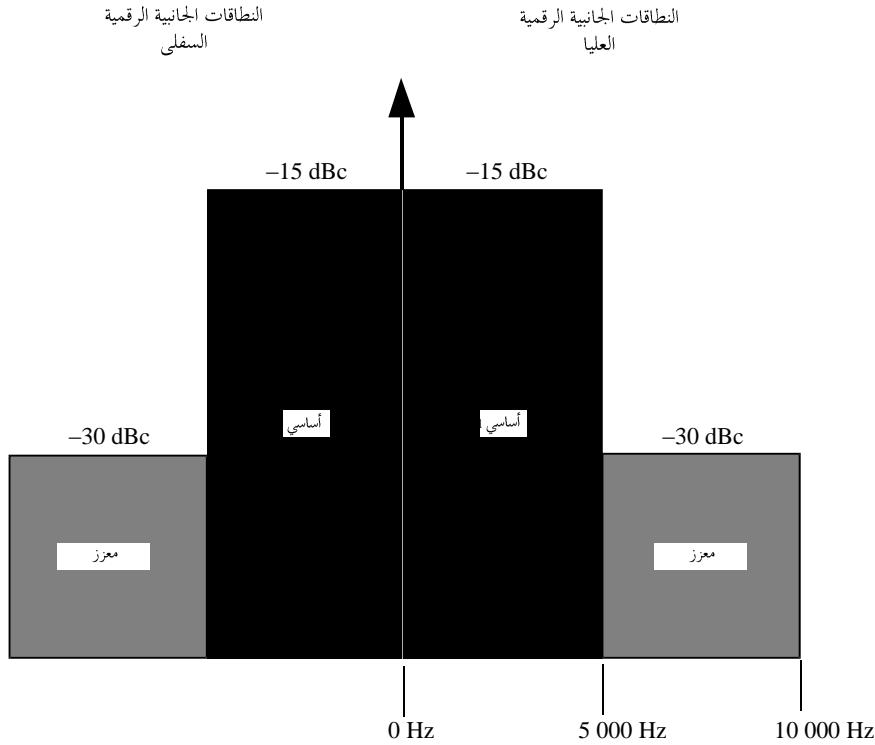
2.2.1 أسلوب نطاق MF الرقمي المحض

إن الأسلوب الرقمي المحض يحسن الأداء الرقمي بعد حذف الإشارة التماثلية القائمة. فللمدعيين أن يختاروا تنفيذ الأسلوب الرقمي المحض في المناطق التي لا توجد فيها محطات تماثلية تستدعي الحماية أو بعد فترة من التشغيل بالأسلوب الهجين تكفي لتوافر المستقبلات الرقمية في السوق.

والفرق الرئيسي بين الأسلوب الهجين والأسلوب الرقمي المحض هو، كما يبيّنه الشكل 4، حذف الإشارة التماثلية وزيادة قدرة الموجات الحاملة التي كانت مدججة في الإشارة التماثلية. فالقدرة الإضافية التي اكتسبها شكل الموجة الرقمي المحض تزيد الحصانة، وشكل الموجة المتدرّج تحسّن نحو الأمثل توصلًا إلى أداء جيد حتى مع حدوث تداخل قوي في القناة المجاورة.

الشكل 4

الكثافة الطيفية للقدرة في النظام IBOC DSB مشغلاً بالأسلوب الرقمي المحض والموجات الهكومتريّة



1514-04

يُستعمل في النظام الرقمي المحض نفس ما يستعمل في النظام الهجين أي: جهاز كودك مكوّن من طبقات، وطرائق تشفير FEC، ومعدلات البتات (قرابة 20 kbit/s للإشارة السمعية الأساسية، وقرابة 16 kbit/s للإشارة السمعية المعززة). وذلك ييسّر تصميم جهاز الاستقبال المفترض فيه أن يدعم كلا النظامين.

3.2.1 توليد الإشارة

يعرض الشكل 5 مخططاً وظيفياً لمرسل النظام IBOC DSB، مشغلاً بالأسلوب الهجين في نطاق MF. فالمصدر السمعي المدخل على وصلة مرسل الاستوديو يغذي إشارة يمين + يسار غير مجسمة إلى المسير التماثلي في نطاق MF، وإشارة مجسمة إلى المدخل السمعي لنظام الإذاعة الصوتية الرقمية (DSB) ويقوم مسير النظام DSB يضغط الإشارة السمعية رقمياً في المشفر

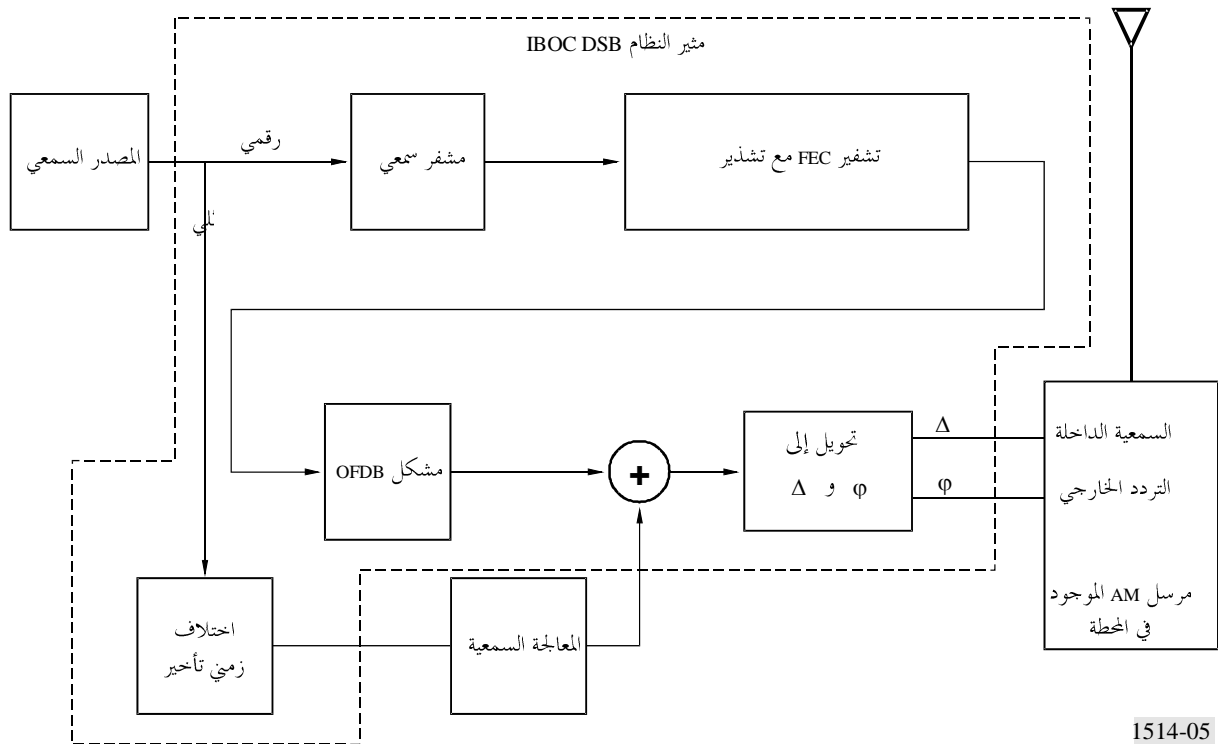
السمعي (المشفّر) ويسلم تدفق البتات الناجم عن عملية الضغط هذه إلى مشفر ومشدّر FEC. وعندئذ يُجمع تدفق البتات في إطار مودم ويُخضع لتشكيل OFDM، فينجم عن هاتين العمليتين إشارة نظام الإذاعة الصوتية الرقمية في النطاق الأساسي. ويُدخل فارق اختلاف الانتشار على المسير التماثلي في نطاق MF، ويمرر في المعالج السمعي التماثلي الموجود في المحطة ويعاد إلى مفعّل نظام الإذاعة الصوتية الرقمية حيث يُجمع مع الموجات الحاملة الرقمية. وتحوّل إشارة النطاق الأساسي هذه إلى الاتساع Δ والطور ϕ من أجل تضخيمها في مرسل المحطة التماثلي (انظر الملاحظة 1).

الملاحظة 1 - توجهاً للتبسيط، أُغفلت في المخطط التالي تفاصيل مثل إدراج البيانات وتحقيق التزامن.

وتبين أن عدة أنماط من المرسلات المجهزة بأشباه الموصلات لها من معلمات الاستجابة الترددية، والتشوه، والضوضاء ما يكفي لاستعادة شكل الموجة المهجنة للنظام IBOC. وقد اشتغل النظام ساعات كثيرة استعمل فيها مرسلًا من المنتجات الحالية بتشكيل الاتساع للبت وفقاً للنظام IBOC DSB.

الشكل 5

المخطط الفدري المرسل النظام IBOC DSB مشغلاً بالأسلوب الهجين والموجات الهكومتريّة



وبخصوص النظام الرقمي المحض المشتغل في نطاق MF، تستعمل طريقة شبيهة بهذه الطريقة، ولكن لا وجود في هذه الحالة لمسير الإرسال التماثلي.

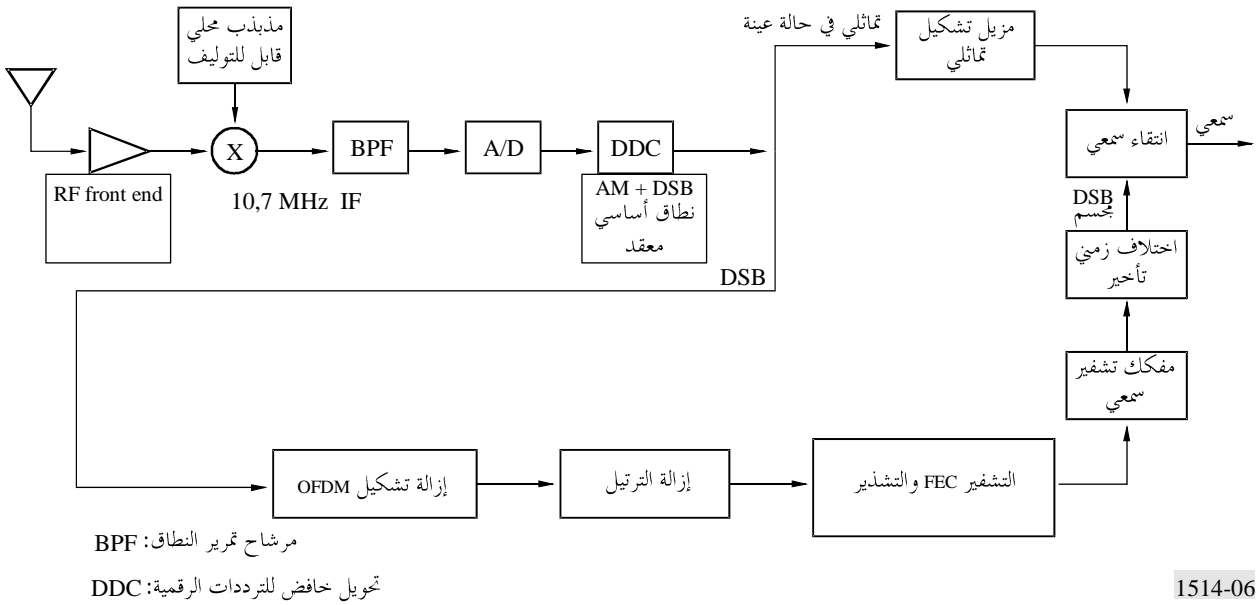
4.2.1 استقبال الإشارة

يعرض الشكل 6 مخططاً وظيفياً لجهاز استقبال نظام IBOC في نطاق MF. تُستقبل الإشارة في مدخل ترددات راديوية تقليدي وتحوّل إلى تردد متوسط (IF)، على غرار المستقبلات التماثلية المعمول بها. ولكن، خلافاً لحال المستقبلات التماثلية النمطية، تُرشح الإشارة، ويُجرى عليها تحويل من التماثلي إلى الرقمي (A/D) في التردد المتوسط، ثم تحوّل رقمياً تحويلاً هابطاً إلى مكوّن إشارة في النطاق الأساسي أحدهما مواكب للطور والآخر متعامد معه. ثم تُفلق الإشارة المهجنة فيظهر مكوّناتها، العنصر التماثلي وعنصر الإذاعة الصوتية الرقمية (DSB). وعندئذ يُزال تشكيل الكوّن التماثلي فينتج من هذه العملية إشارة

سمعية مؤلفة من عينات رقمية؛ أما عنصر الإذاعة الصوتية الرقمية فيُحقق تزامنه ويزال تشكيله متحولاً إلى رموز. وتُجرد هذه الرموز من أطرها ليصار لاحقاً إلى إزالة تشديدها وفك تشفير FEC عنها. ويعالج تدفق البتات الناتج لمفكك التشفير السمعي لينتج خرج DSB المحسّم الرقمي. وتؤخّر إشارة DSB السمعية هذه زمنياً نفس مدة تأخير الإشارة التماثلية في جهاز الإرسال. وتتيح وظيفة الخلط السمعي الانتقال من الإشارة الرقمية إذا ما تشوهت، إلى الإشارة التماثلية؛ وتتيح أيضاً حياة سريعة للإشارة أثناء التوليف أو معاودة الحياة.

الشكل 6

المخطط الفدري للمستقبل النمطي للنظام IBOC مشغلاً بالأسلوب الهجين والموجات الهكثومترية



تعتبر إزالة الضوضاء جزءاً أساسياً في جهاز استقبال النظام IBOC، وتُستعمل لتحسين الاستقبال الرقمي والسمعي. وتستعمل هذه المستقبلات دارات مؤلفة لكي تزيل بالترشيح القنوات المجاورة ونواتج التشكيل البيئي. وتميل هذه الدارات المؤلفة إلى "الرنين" أو إلى مد النبضات القصيرة إلى انقطاعات طويلة. فيكشف مزيل الضوضاء النبضة ويفصل مراحل الترددات الراديوية مدة دوام النبضة القصيرة، فيحد بذلك على نحو فعال من مؤثرات "المسموعية" التماثلية للرنين. فتأثير النبضات القصيرة على تدفق البيانات الرقمية هو أقل ما يكون، وهو من جهة أخرى يحسّن مسموعية الإشارة التماثلية (انظر الملاحظة 1).

الملاحظة 1 - توخياً للتبسيط، لم تُبين في المخطط مسيرات البيانات ولا دارة مزيل الضوضاء.

وبخصوص الأسلوب الرقمي المحض، تستعمل طريقة شبيهة بهذه، ولكن لا يوجد عندئذ استقبال تماثلي ولا إزالة تشكيل ولا خلط سمعي.

الملحق 3

معايير التقييم

جدول الروابط بين المسألة ITU-R 217/10 والمعايير الرئيسية

المعايير الرئيسية	الدراسات المقررة في المسألة ITU-R 217/10
1، 2، 3، 6، 8، 11، 12	يقرر 1
5، 8، 10	يقرر 2
1، 2، 3، 6، 8، 9، 11، 13	يقرر 3
4، 5، 8، 10	يقرر 4
6، 9، 13، 14	يقرر 5
7، 13، 14	يقرر 6

معايير التقييم

- 1 الجودة السمعية غير المتردية لكودك
- 2 موثوقية دارة الإرسال
- 3 منطقة التغطية وتدرج الترددي
- 4 الملاءمة للمرسلات المستجدة أو الموجودة
- 5 اعتبارات بشأن تخطيط القنوات
- 6 التشغيل في شبكة أحادية التردد
- 7 كلفة وتعقيد جهاز الاستقبال
- 8 التداخل
- 9 سرعة توليف وحيارة القنوات
- 10 التوافق مع الأنساق التماثلية الموجودة
- 11 كفاءة استخدام الطيف
- 12 معيار واحد
- 13 مقارنة مرجعية مع خدمات AM القائمة
- 14 بث البيانات
- 15 الطوعية الوظيفية.

1 تعاريف معايير التقييم

المعيار 1 - الجودة السمعية غير المتردية لكودك

إدراك شخصي مقيس للإشارة السمعية الأساسية الداخلة المضغوطة المشفرة مصدرياً، الخالية من ضوضاء مستحثة ومن مشكلات إرسال أخرى.

المعيار 2 – موثوقية دارة الإرسال

جودة النظام السمعية من الناحيتين الشخصية والموضوعية في ظروف واقعية لإرسال واستقبال فعليين. وهذا التعريف يراعي شكل موجة التشكيل، وتصحيح الخطأ، وغير ذلك في تصميم النظام، ليوفر أداءً مرضٍ في ظروف انتشار مختلفة، وهي ظروف ينبغي توصيفها.

المعيار 3 – منطقة التغطية وتدرّج الترددي

منطقة تغطية فعلية مقدّرة من أجل سويّة معيّنة لقدرة النظام في ظروف انتشار مختلفة. تعرّف منطقة التغطية بأنها قطاعات منطقة تكون فيها الإشارة المفكوك تشفيرها مقبولة بالنسبة إلى السوق المقصودة.

المعيار 4 – الملاءمة للمرسلات المستجدة أو الموجودة

استطاعة إرسال شكل موجة النظام بفعالية عن طريق استعمال إحدى الوسائل التالية:

- التوليفات المتاحة حالياً بين المرسل والهوائي دون لزوم تعديل التجهيزات أو بتعديل طفيف لها؛
 - مرسل وهوائي مصممين خصيصاً لتشغيل النظام؛
 - مرسل وهوائي مصممين خصيصاً لتشغيل النسق الرقمي والأنساق التماثلية الموجودة.
- استطاعة التركيبات التوليفية لهذه التجهيزات أن تعمل مصدرةً لإرسالات هامشية بسويّات مقبولة.

الملاحظة 1 - إن جهات مذبذبة كثيرة سترغب في أو ستحتاج إلى استعمال منشآتها الإذاعية التماثلية مدة طويلة لتشغيل الخدمات الرقمية الجديدة عليها.

المعيار 5 – اعتبارات بشأن تخطيط القنوات

في البداية ستمثّل تقسيمات القنوات وقواعد التداخل الحالية قيوداً لا يستهان بها، على الرغم من أن الدراسات والتطورات سوف تمكّن من إحداث تغييرات من خلال عمليات تنظيمية سليمة.

ومن ثم يجب تقييم إمكانات النظام على الأقل بالنسبة إلى القواعد المعمول بها المتعلقة بشغل عرض النطاق، والبث خارج النطاق، والبث الهامشي، وتأثير التداخل، وغير ذلك.

المعيار 6 – التشغيل في شبكة أحادية التردد

لا بد من تقييم قدرة أي نظام جديد على العمل في شبكة أحادية التردد. إذ إن جهات مذبذبة كثيرة ستتحسن هذه الميزة.

المعيار 7 – كلفة وتعقيد جهاز الاستقبال

يتعين التفكير في إمكان توفير أجهزة استقبال بسيطة وأخرى متطورة. وغني عن البيان أن كلفة جهاز الاستقبال مرتبطة بمعايير أخرى، فينبغي تقدير الكلفة تقريباً بصدد كل معيار وكل متغيّر.

المعيار 8 – التداخل

يتعلق هذا المعيار بجودة النظام السمعية من الناحيتين الشخصية والموضوعية في ظروف تشغيل يشوبها تداخل، رقمي أو تماثلي المصدر، في نفس القناة أو من القناة المجاورة. وينبغي أن يراعى في هذه الجودة قدرة الإشارة على التغلب على التداخل داخل منطقة خدمتها، وأن يراعى في الوقت نفسه ميل هذه الإشارة إلى التسبب بتداخل على ما يُبث خارج منطقتها.

المعيار 9 – سرعة توليف وحيازة القنوات

اعتاد المستمعون على عدم الانتظار أو عدم الانتظار طويلاً عند تشغيل أو توليف جهاز الاستقبال الراديوي. ولذا يجب في تصميم النظام مراعاة ما يلي:

- سهولة انتقاء المستمع للمحطة أو الإشارة المطلوبة؛
- إشعاره على وجه السرعة بتلقي طلبه بشأن انتقاء أو تغيير قناة؛
- سرعة ضبط الصوت؛
- الانقطاعات (إن وجدت) في الإشارة السمعية، عند التبديل من مصدر للإشارة المطلوبة إلى آخر أو إلى مصدر أقوى لها.

المعيار 10 – التوافق مع الأنساق التماثلية الموجودة

لا بد من وجود الخدمات التماثلية والرقمية جنباً إلى جنب، طيلة المرحلة الانتقالية الممتدة بين بيئة البث التماثلي الحالية وبيئة البث الرقمي المستقبلية. وتيسيراً لهذا التواجد، لا بد من حل بعض المشكلات، مثل:

- التداخل في نفس القناة ومن القناة المجاورة (انظر المعيار 8 أعلاه)؛
- قدرة الجهات المذيعة على الحفاظ على جمهور المستمعين إلى خدماتهم التماثلية بواسطة البث في آن واحد، ريثما يتم إنشاء قاعدة الاستقبال الرقمي؛
- قدرة النظام الرقمي على العمل في ظل القيود التنظيمية القائمة.

المعيار 11 – كفاءة استخدام الطيف

ينبغي للنظام أن يتيح استخدام الطيف الراديوي بصورة أجدى مما تتيحه الخدمات التماثلية الموجودة. إذ إن نظاماً يستخدم الطيف بكفاءة أكبر من شأنه أن يقدم أداء مكافئ في عرض نطاق أضيق أو أداء أفضل في نطاق بنفس العرض.

المعيار 12 – معيار واحد

من المسلم به أن أي نظام سيستفيد من المعلمات المثلى، لكي يستخدم في نطاقات ترددات مختلفة أو في ظروف انتشار مختلفة، كالانتشار بالموجات الأرضية أو الأيونوسفيرية، مثلاً.

ولكن اعتماد معيار واحد من شأنه أن يتيح ما يلي:

- استعمال نفس اللبانات الأساسية (كنظام التشفير السمعي، مثلاً) ولو بمعلمات تشغيل مختلفة (كمعدل البتات، مثلاً) في ظروف انتشار مختلفة؛
- تصميم جهاز استقبال بحيث يتكيف مع كل أساليب التشغيل تلقائياً، والتخلص من ازدواجية لا داع لها في المرافق.

المعيار 13 – مقارنة مرجعية مع خدمات AM القائمة

ينبغي إجراء جملة من القياسات البيانية للأنظمة التماثلية الموجودة، لكي ليصير بالإمكان إجراء مقارنة ذات معنى مع النظم الجاري اختبارها.

المعيار 14 – بث البيانات

القدرة على أداء خدمات إضافية لبث البيانات إلى جانب الخدمات السمعية أو بدلاً منها. وقد تكون خدمات البيانات مرتبطة بالخدمات السمعية أو غير مرتبطة.

المعيار 15 – الطواعية الوظيفية

القدرة على التكيف مع عرض نطاق أكبر، ومع التدرج، ومع تسويق القنوات كحزم.

2 تعريفات الخصائص التي ينبغي إجراء قياسات اختبار عليها

1.2 النسبة E_b/N_0 بمعدل BER $10^{-4} = 1 \times 10^{-4}$

لقد حُدِدت عتبة معدل الأخطاء في البتات (BER) بقيمة 10^{-4} ، لتوفير قناة إرسال "شفافة" تضمن سلامة الإشارات السمعية. فُتضبط الإشارة المرسلَة بحيث يكون معدل BER المستقبل بعد تصحيح الأخطاء في البتات أفضل من 10^{-4} ، وعندئذ تقاس النسبة E_b/N_0 .

ويمكن بدلاً من ذلك إجراء القياسات فوق هذه العتبة ودونها، ثم تُحصَل النسبة E_b/N_0 عند المعدل 10^{-4} بالاستكمال الداخلي.

2.2 الإزاحة الدوبلرية والتمديد الدوبلري وتأخير التمديد

- إن الإزاحة الدوبلرية والتمديد الدوبلري وتأخير التمديد ظروف انتشار تُصادَف، ومن شأنها التأثير على الاستقبال، كما يلي بيانه:
- تشير الإزاحة الدوبلرية إلى فرق في التردد بين الإشارة المرسلَة والإشارة المستقبلَة، بسبب حركة نسبية بين مصدر الإرسال ومحل الاستقبال. ويمكن أن يُحدث انتشار الموجات الأيونوسفيرية زحزحة تردد أيضاً؛
 - ويُقصد بالتمديد الدوبلري الفرق الأقصى بين الإزاحات الدوبلرية، في حالة استقبال أكثر من إشارة عن طريق مسيرات إرسال مختلفة؛
 - ويقصد بالتمديد المتأخر الفرق الأقصى بين أوقات الوصول إلى المستقبل، في حالة استقبال أكثر من إشارة عن طريق مسيرات إرسال مختلفة؛

3.2 التداخل في نفس القناة ومن القناة المجاورة (جميع التوليفات)

يجب وضع قيم لنسب الحماية في الحالات التالية:

- الإشارات الرقمية تسبب تداخلاً على إشارات رقمية أخرى؛
- الإشارات الرقمية تسبب تداخلاً على إشارات تماثلية؛
- الإشارات التماثلية تسبب تداخلاً على إشارات رقمية.

4.2 التزامم والنفاد (حياسة الإشارات)

لا يستحسن السامع أن يضطر للانتظار طويلاً، ريثما يتزامن المستقبل مع الإشارة التي يستقبلها، حتى يتسنى له النفاذ إلى الخدمة. ولذا بات من الضروري قياس الفارق الزمني بين وصل القدرة والاستماع إلى البرنامج.

5.2 تعقيد جهاز الاستقبال/استهلاك الكهرباء/الكلفة

تمثل كلفة صنع جهاز الاستقبال الذي يستخدمه المستهلك أحد أهم الاعتبارات، لأنها سوف تتأثر بتعقيد النظام. ومن ثم فإن تعقيد الدارات المتكاملة، وبالتالي كلفتها، معيار لاختيار أفضل السبل إلى تحقيق وظيفة الاستقبال (إزالة التشكيل، فك تشفير القنوات، الحماية من الأخطاء، وما إلى ذلك).

6.2 كفاءة المرسل

متوسط قدرة الخرج في المرسل/متوسط قدرة الدخل في المرسل: ما هي القدرة اللازمة لنفس التغطية التي يضمنها الإرسال التماثلي؟

7.2 جودة الإشارة السمعية عند أقصى معدل للبتات

يمكن بث إشارة سمعية بأجود ما يمكن، في قناة عادية ذات خطة حماية أقل تشدداً (بتخصيص أعلى معدل بتات لإشارة سمعية مضغوطة).

8.2 أعلى درجات الجودة للنظام التراتبي

من الممكن العمل بأكثر من نظام لحماية البيانات (بما فيها البيانات السمعية). والنظام المتمتع بأقل حماية هو الذي يؤمن أعلى درجات الجودة للإشارة السمعية في أفضل ظروف الإرسال.

9.2 أدنى درجات الجودة للنظام التراتبي

من الممكن العمل بأكثر من نظام لحماية البيانات (بما فيها البيانات السمعية). والنظام المتمتع بأقوى حماية هو الذي يؤمن توافر الإشارة في أسوأ ظروف الإرسال.

10.2 توفير جودة الإشارة السمعية للتشكيل التماثلي

يجب ألا يسبب بث الإشارات الرقمية اضطراباً في بث الإشارات التماثلية، لا في نفس القناة (الإرسال في آن واحد) ولا في قنوات مجاورة (تعدد الإرسال أو اختلاف المضامين).

11.2 تشفير الكلام

من بين النتائج المنشودة، طلبت بعض الجهات المديعة إمكان الإذاعة بعدة لغات معاً (مضمون كلامي فقط) مشفرة تشفيراً مخصصاً للكلام. ولذا فإنه من الضروري التحقق من استطاعة النظام تأمين البث المتعدد اللغات.

12.2 الانتقال من البث بتشكيل AM إلى البث الرقمي

يجب في النظام المقترح أن يمكن من الانتقال بصورة سلسلة من البث التماثلي المحض إلى البث الرقمي المحض، وذلك يفترض استطاعة البث في آن واحد والبث المتعدد.

13.2 المقارنة بتشكيل AM في نطاقات LF و MF و HF

على أي حال، على النظام الرقمي أن يأتي بتحسينات للنظام التماثلي. وعليه فإنه من الضروري مقارنة كل المعلمات القابلة للقياس مثل: نطاق التغطية، وموثوقية الإشارة، وتوافر الإشارة، وجود الإشارة السمعية (عرض النطاق، الدينامية، التشوه، وما إلى ذلك) في كل نطاقات تشكيل AM.

14.2 إمكانية واقعية للبث في آن واحد

سيحتاج عدد من المذيعين الذين ليس لديهم إلا قناة واحدة أن ييثوا في نفس الوقت إشارات تماثلية وإشارات رقمية (البث في آن واحد).

معايير التقييم من رقم 1 إلى رقم 15

- 8: التداخل
 9: سرعة توليف وحيازة القنوات
 10: التوافق مع الأنساق التماثلية الموجودة
 11: كفاءة استخدام الطيف
 12: معيار واحد
 13: مقارنة مرجعية مع خدمات AM الموجودة
 14: بث البيانات
 15: الطواعية الوظيفية

- 1: الجودة السمعية غير المتردية لكودك
 2: موثوقية دارة الإرسال
 3: منطقة التغطية وتدرج الترددي
 4: الملاءمة للمرسلات المستجدة أو الموجودة
 5: اعتبارات بشأن تخطيط القنوات
 6: التشغيل في شبكة أحادية التردد
 7: كلفة وتعقيد جهاز الاستقبال

رقم 15	رقم 14	رقم 13	رقم 12	رقم 11	رقم 10	رقم 9	رقم 8	رقم 7	رقم 6	رقم 5	رقم 4	رقم 3	رقم 2	رقم 1	قياسات اختبار النظام	الفقرة
	x	x				x	x	x				x	x		النسبة E_b/N_0 بمعدل $BER = 10^{-4}$	1.2
		x						x	x			x	x		الإزاحة الدوبلرية والتمديد الدوبلري وتأخير التمديد	2.2
x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		التداخل في نفس القناة ومن القناة المجاورة (جميع التوليفات)	3.2
x	x	x				x	x	x	x			x	x		التزامن والنفاد (حيازة الإشارات)	4.2
	x	x	x		x	x	x	x	x			x	x	x	تعقيد جهاز الاستقبال/استهلاك الكهرباء/الكلفة	5.2
x		x		x	x		x		x	x	x	x	x		فعالية المرسل	6.2
		x						x	x	x		x	x	x	جودة الإشارة السمعية عند أقصى معدل للبتات	7.2
								x				x	x	x	أعلى درجات الجودة للنظام التراتبي	8.2
								x				x	x	x	أدن درجات الجودة للنظام التراتبي	9.2
						x	x	x	x			x	x	x	توفير جودة الإشارة السمعية للتشكيل التماثلي	10.2
		x	x				x	x	x			x	x	x	تشفير الكلام	11.2
x			x	x	x		x	x	x	x	x	x			الانتقال من لبث بتشكيل AM إلى البث الرقمي	12.2
x	x	x	x	x		x	x		x			x	x	x	المقارنة بتشكيل AM في نطاقات LF و MF و HF	13.2
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	إمكانية واقعية للبت في آن واحد	14.2

الملحق 4

ملخص الأداء (انظر الملاحظة 1) لنظام الراديو العالمي (DRM) بالاستناد إلى المعايير الواردة في الملحق 3

الملاحظة 1 - يقدم هذا الملحق ملخص أداء نظام الراديو العالمي (DRM)، بالاستناد إلى نتائج التجارب المخبرية والميدانية الواردة إحالات مرجعية عنها في التذييل 1 أدناه.

1 الجودة السمعية غير المتردية لكودك

يستخدم نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM) التشفير السمعي المتقدم (AAC) والتشفير المصدري للتنبؤ الخطي بتفعيل شفري (CELP) مع خيار تحسين تشفير AAC بتناسخ النطاق الطيفي (SBR). وباستثناء هذا التحسين، يرد في وثائق أخرى وصف أداء أجهزة الكودك هذه في معدلات البتات التي يستعملها النظام DRM. وتتخلل قياسات جودة الأداء تجارب استماع شخصية تأخذ بالتوصية ITU-R BS.1284 التي تحدد سلم تقييم بـ 5 درجات، من سيء (1) إلى ممتاز (5).

وتفوق جودة النظام غير المتردية في التشفير السمعي المتقدم (AAC) بصورة ملحوظة جودة النظام التماثلي ذي النطاقين الجانبيين. وكمثال يقاس عليه، نُحصل في استعمال التشفير AAC بمعدل بتات 24 kbit/s، على سوّية استماع شخصية قيمتها 4,2 للموسيقى، في حين لا تصل هذه القيمة إلى 3 في استعمال التشكيل التماثلي غير المتردي بنفس الدخل السمعي. وهذه النتيجة تمثل تحسناً كبيراً لسوّية الأداء عما هي في البرامج المذاعة حالياً بتشكيل AM. ثم إن تعزيز الأداء باستعمال التشفير SBR + AAC يزيد فرق التحسين هذا بحيث يصبح قابلاً للمقارنة بأداء تشكيل FM غير الجسم.

2 موثوقية دارة الإرسال

حُدثت حصانة نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM) نتيجة لتجريبه، مخبرياً وميدانياً، في ظروف انتشار مختلفة. وفي محاكاة ظروف الانتشار مخبرياً، استُند إلى عدة سنوات من رصد لظروف الانتشار قام به عدد من الباحثين، كتعدد المسيرات وغيره، قام به عدد من الباحثين. واشتمل ذلك على قياسات للانتشار أجراها واضعوا نظام الراديو الرقمي العالمي، في أوائل عام 2000، بصدد مسيرات متنوعة للانتشار في الطبقة الأيونوسفيرية، تتراوح من المسيرات القصيرة إلى التي يزيد طولها عن 15 000 كم. وهكذا أمكن تمثيل انتشار الموجات الأيونوسفيرية تمثيلاً صحيحاً في النماذج المخبرية.

وأجريت أيضاً، في يوليو وأغسطس من العام نفسه، سلسلة مكثفة من الاختبارات الميدانية استُعمل فيها نموذج أول من نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM). ودُبر أمر مسيرات الانتشار بحيث استُعملت ظروف متنوعة للانتشار مطابقة لما يصادف أثناء عمليات البث العادية.

وعلى الدارات التي استُعملت في الاختبار، كان تمديد زمن الانتشار وتشتت التردد كلاهما ضاغظاً على إشارة تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد ضيقة النطاق. ولكن لم يلحظ أي ترد في أداء النظام، إزاء القيم المفرطة للإزاحة الدوبلرية أو لتمديد زمن الانتشار. ومن ثمّ يمكن افتراض عدم تجاوز حدود تصميم النظام وأن الدارات تفي بالغرض.

وكما ذُكر في المقطع المخصص للاختبارات الميدانية، اشتملت سلسلة الاختبارات التكرارية على إرسالات تماثلية معيارية بنطاقين جانبيين، وعلى عدة إرسالات رقمية. واستُعملت في هذه الأساليب الرقمية سوّيات تشكيل مختلفة (16-QAM و64-QAM)، كما استُعملت أساليب مختلفة في توزيع بتات تصحيح الأخطاء. وفي كل الحالات أُرسلت إشارات البث بموجات قصيرة ضمن نطاق عرضه 10 kHz، وإشارات البث بموجات متوسطة ضمن نطاق عرضه 9 kHz. وعليه فقد كان بالإمكان المقارنة بصدد كل مسير، بين أداءات مختلف الأساليب فيما بينها، ومقارنة أداءاتها بأداءات الإرسالات التماثلية.

وثبت أن أداء الإرسالات الرقمية كان أجود بكثير من أداء الإرسالات التماثلية، إذ حوِّظ على الجودة الأصلية للإشارة السمعية في ظروف الضوضاء والانتشار المتعدد المسيرات، وهي ظروف كثيراً ما تجعل الاستقبال بالأسلوب التماثلي غير جذاب للمستمع.

ويُعزى الأمر لسببين هما:

- أن الإشارة الرقمية تستطيع تحمل درجة معينة من التداخل في نفس القناة أو في القناة المجاورة، وحدود هذا التحمل المذكورة في التقرير عن التجارب المخبرية. فإذا ظلت النسبة بين الإشارة والتداخل ضمن هذه الحدود، لا يطرأ تردٍ على جودة الإشارة السمعية.
 - أن إشارة OFDM تقاوم الخبو الانتقائي مقاومة جيدة، وإذا دُعِمت بتقنيات التشذير الزمني وتصحيح الأخطاء أتاحت أداءً بسوية عالية وبلا انقطاع، في ذلك النوع من ظروف الانتشار المتعدد المسيرات، وهذه ظروف هي المسببة للتداخل "الذاتي التولد".
- فبوجه عام، حين يتعرض المستقبل الرقمي لانقطاع فعلي يمكن للإنسان كشفه، يكون استقبال الإشارة التماثلية سيئاً جداً.

3 منطقة التغطية وتدرج الترددي

جاءت نتيجة اختبار التغطية التي توفرها الموجات المتوسطة مع استعمال انتشار الموجات الأرضية كما كان متوقعاً لها، أي أن هذه التغطية لا تقل جودة عن تلك التي يوفرها البث بالتشكيل التماثلي، حتى مع قدرات إرسال أقل بمقدار 5 dB مما قدرة إرسال الإشارة التماثلية.

لأسباب يرد ذكرها في الفقرة 4، ينبغي إبقاء قدرة إرسال الإشارة الرقمية أقل مما يلزم في إرسال الإشارة التماثلية بنحو 7 dB، في ظروف نمطية مرتبطة بتخطيط قنوات الموجات المتوسطة. وعليه يمكن الاستنتاج أن التغطية التي يوفرها نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM) بالموجات المتوسطة تضاهي ما يوفر حالياً بالبث التماثلي.

وفي اختبارات النظام الميدانية بالموجات القصيرة، استُعملت قدرة المرسل الاسمية بخصوص تنابعات التشكيل AM. أما بخصوص التنابعات الرقمية فإن سوية متوسط القدرة كانت أقل بمقدار 10 dB من قدرة الذروة الغلافية للمرسل. وقيمة 10 dB هذه ناجمة عن عامل الذروة الذي يعد معلمة من معلمات نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM). وبما أن متوسط قدرة الخرج، في حال استعمال تشكيل AM، هو عادة أقل بمقدار 6 dB من قدرة الذروة الغلافية للمرسل (PEP)، فإن متوسط قدرة الخرج للنظام يقل بمقدار 4 dB من القدرة اللازمة لتشكيل AM في ظروف مماثلة.

وفي تقييم التغطية بالموجات القصيرة، استُعملت البيانات المتعلقة بالاستقبال التماثلي والاستقبال الرقمي، المحصّلة من الاختبارات الميدانية التي أُجريت في يوليو وأغسطس 2000. وتبين هذه التقديرات المحدودة في الزمان والمكان أن التغطية المفيدة التي يوفرها معلمات نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM) هي على الأقل مساوية في الامتداد للتي يوفرها الاستقبال التماثلي، وذلك باستخدام قدرة إرسال رقمي تقل عن قدرة الإرسال التماثلي بنحو 4 dB.

وينطوي معلمات نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM) على عدة أساليب تشكيل رقمي، لكي يتاح لمشغّل الإرسال اختيار الأسلوب الأنسب من حيث الموثوقية لظروف الانتشار المتوقعة. ويكون باستطاعة المستقبلات كشف الأسلوب المستعمل تلقائياً.

واشتملت سلسلة الاختبارات على سويّتي تشكيل (64-QAM و 16-QAM). وبيّنت النتائج التي طابقت ما كان متوقعاً لها أن إشارة 16-QAM الأكثر حصانة، تصير، متى عُرِّزت بتضافر تقنيات الحماية من الأخطاء وتصحيح الأخطاء، أفضل أداء من إشارة 64-QAM ذات نسب إشارة/ضوضاء المنخفضة وفي ظروف انتشار صعبة.

4 الملاءمة للمرسلات المستجدة أو الموجودة

في الاختبارات الميدانية التي أُجريت منذ ديسمبر 1999، استُعمل أربعة مرسلات من الفئة C، ومرسل خطي بالموجات القصيرة، ومرسل خطي بالموجات المتوسطة. وكانت مرسلات الفئة C من إنتاج ثلاثة مصنعين، ولكل منها استطاعة إرسال واستقبال إشارة OFDM.

فالمرسلات الخطية تستطيع قبول إشارة OFDM في الدخل ثم تضخمها وترسلها مباشرة. أما المرسلات غير الخطية فتستلزم توليد إشارة OFDM في خرج المرسل، عن طريق إعمال المرسل بإشارتين متميزتين، إشارة اتساع وإشارة طور. وضمناً لتوليد الإشارة بصورة صحيحة، يجب أن يتواءم المسيرين زمنياً عبر المرسل، وهذا يتم بتأخير إشارة الاتساع عن إشارة الطور قبل إدخالهما إلى المرسل.

وتبقى كثافة طيف إشارة OFDM المولدة ثابتة تقريباً ضمن أي من القناتين 9 أو 10 kHz. ثم تنخفض سوية الإشارة سريعاً عند الحددين الأعلى والأسفل للقناة (حافتي القناة). وقد قيس انخفاض السوية هذا أثناء الاختبارات فثبت أن قيمته 35 dB، وفي حال المرسلات المحسنة لتحقيق الأداء الأمثل ستكون السوية أدنى من قيمة الذروة بمقدار 50 dB.

ويعود انخفاض السوية عند حافتي القناة إلى نمط المرسل وتصميمه. وأسرع ما يكون هذا الانخفاض عادة في أحدث المرسلات غير الخطية، نظراً لتجهيزها بمشكّل عرض نطاقاً وأفضل خطية (يُستعمل فيها عادة مشكّل شبه موصل). وهذان العاملان هما أهم العوامل الحاسمة في قبولية طيف الإرسال.

5 اعتبارات بشأن تخطيط القنوات

يرتبط هذا المعيار ارتباطاً وثيقاً بالمعيار رقم 8 (الفقرة 8 - التداخل)، وسيأتي بحثه بمزيد من التفصيل في الفقرة المخصصة لهذا المعيار.

واستناداً إلى القياسات المخبرية وتحليل هذه القياسات، يمكن الاستنتاج أنه يمكن، إذا روعيت سويات القدرة الرقمية حق المراعاة، أن تتواكب إشارات تماثلية وإشارات رقمية في نفس النطاق. وبعبارة أخرى، تصبح نسب الحماية بحيث يمكن إرسال إشارة رقمية عرضها 10 kHz في نطاق موجات قصيرة، وإشارة عرضها 9 kHz في نطاق موجات متوسطة.

فهناك عدة إمكانات ضمن مجموع النطاقات المخصصة للإذاعة بالموجات القصيرة، ولكن يجب إنعام النظر في استعمالها لتشغيل خدمة رقمية. فعلى سبيل المثال، إذا سُمح بأن تُشغل إشارة سمعية رقمية قنوات مجاورة لقناة سمعية تماثلية، فقد يُستحسن عندئذ تخصيص جزء من نطاق فرعي للموجات القصيرة لإشارة سمعية رقمية.

6 التشغيل في شبكة أحادية التردد

لم يُجرَ أي اختبار بشأن هذا المعيار، ولكن من المسلم به ضمناً أن هذا النظام، نظراً لكونه مبنياً على نظام OFDM المزود بفواصل حراسة، مناسب تشغيله في شبكة أحادية التردد. وإن مقدرة هذا النظام على الاشتغال بإشارات OFDM أثبتتها التجارب مع أنظمة أخرى في نطاقات طيفية أخرى، طيلة السنوات الأخيرة الماضية. إلا أنه يجب، عند تخطيط الشبكة الأحادية التردد، توجيه عناية خاصة لضمان بقاء الفوارق الزمنية بين جميع الإشارات المرسلّة إلى المنطقة المقصودة بالخدمة، ضمن حدود النظام الموضوع في تصميمه.

7 كلفة وتعقيد جهاز الاستقبال

لا اعتبارات تسويقية، يتوقع أن تُدمج مقدرة الاستقبال الرقمي لنطاقات التردد هذه في مستقبلات كلاسيكية، وألا تكون محصورة في المستقبلات الرقمية. وهذا يعني تحسناً لأجهزة الراديو النمطية الشائعة حالياً والمزوّدة بنطاقات AM و FM.

ومن ثم فإن الهوائي، وطبقة الدخول، ومكبري الصوت، والصندوق تكون متعددة الأغراض نوعاً ما. وعليه تضاف قيمة مضافة إلى الوظيفة الرقمية التي يؤديها جهاز الاستقبال بخصوص نطاقات AM. ويتمثل تعقيده في وظيفة المعالجة الرقمية المطلوب توافرها فيه. ومن المرتقب أن تكمن في رقاقة واحدة وظيفة المعالجة في نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM). وربما استلزم ذلك الاستفادة من التحسينات المحققة في ميادين أخرى للإذاعة والإرسال بالأسلوب الرقمي، توخياً لاستعمال أكبر قدر ممكن من العناصر المشتركة.

8 التداخل

أُجريت تجارب مخبرية مُحكّمة لإرساء قاعدة يُستند إليها للحصول على معطيات كمية عن متغيّرات التداخل المعتادة:

- التداخل في نفس القناة وفي القناة المجاورة؛
- التداخل من رقمي إلى رقمي، ومن تماثلي إلى رقمي، ومن رقمي إلى تماثلي. (ترد النتائج التفصيلية عن هذه التجارب مع تحليلات هذه النتائج، في الصفحات 19-37، الفقرة 2.3.3.3 من الوثيقة 6-6/6، المؤرخة في 15 سبتمبر 2000).

والنتيجة الرئيسية هي ما يلي: إن نسب الحماية اللازمة التي تنطبق على حالات التداخل الذي تسببه الإرسالات التماثلية لنظام الراديو الرقمي العالمي (DRM)، والذي يسببه هذا النظام للإرسالات التماثلية، والذي تسببه إشارات النظام فيما بينها، مرتبطة بنسبة الحماية القائمة بين الأنظمة التماثلية، بحيث يمكن تطبيق الإجراء التالي: تُحدد أولاً سوية القدرة المسموح بها لبث تماثلي، موجود أو فرضي، ملتزم بالمعايير الموضوعية القائمة لحماية الإرسال التماثلي. فإذا حل محل هذا البث التماثلي بث إشارة النظام الراديو الرقمي العالمي بسوية قدرة أقل من تلك السوية بمقدار 7 dB، عندئذ لن تلقى الإرسالات الأخرى القائمة تداخلاً غير مقبول ولن تسببه. وهذا الإجراء البسيط مبني على القياسات المُحكّمة المحال إليها في الفقرة [4] من التذييل 1 أدناه.

ويسترعي الانتباه أن الإشارات الرقمية أشد مقاومة، ومن ثم فهي تحتاج إلى نسب حماية أقل مما تقتضيه الحماية فيما بين الإشارات التماثلية.

9 سرعة توليف وحيازة القنوات

يستلزم استقبال الإشارة على الموجات الأرضية بالموجات المتوسطة تشديراً زمنياً بقيمة 800 ms فقط. ولذا فإن حيازة القناة تستغرق وسطياً 1,6 s ريثما يتم تسليم الإشارة السمعية، وذلك بالنظر إلى بنية الإشارة، أي ثلاث قنوات مختلفة للتشوير والمعطيات.

ولاستقبال الإشارة على الموجات الأيونوسفيرية بالموجات القصيرة، يُستعمل تشدير زميني تقرب قيمته من 2,4 s ويطبّق على المعطيات المرسلّة من أجل تخفيف تشوّهات الإشارة السمعية التي قد تسببها تغيرات قناة الإرسال. فبسبب طول وقت التشدير هذا، ونظراً إلى صعوبة ظروف الانتشار، تستغرق حيازة القناة وسطياً 3,6 s ريثما يتم تسليم الإشارة السمعية. وعلى الرغم من ذلك، يمكن بوجه عام فك تشفير وسم محطة مرسل بين معطيات التشوير، في غضون 1,6 s.

10 الملاءمة للأنساق التماثلية الموجودة

تناول الفقرات 8 و11 و15 الجوانب المختلفة لهذا المعيار.

11 كفاءة استخدام الطيف

تقيّد مصممو نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM) بضرورة ضبط الإشارة الرقمية ضمن حدود عرض نطاق القناة المخصصة لها. والحواف الجانبية للقناة المخصصة شديدة الانحدار، حتى إن الكثافة الطيفية للقدرة تنخفض سريعاً إلى سوية تزيد عن 35 dB تحت السوية المشهودة في القناة المخصصة. وهذا يعزز مباشرة كفاءة استخدام الطيف، بفضل الحد من حالات التداخل التي تتجاوز بمقدار 5/4,5 kHz، قيمة الفصل في مركز القناة.

وفي السجل الرئيسي للإرسالات الموسمية بالموجات القصيرة الذي يديره قطاع الاتصالات الراديوية، يوجد حالياً عدة برامج محسوب لها أكثر من إرسال للبرنامج الواحد في منطقة مستهدفة، توجيهاً لزيادة فرص استقبال الإشارات بصورة جيدة. ولكن من المرتقب أن يأتي وقت تقل فيه الحاجة إلى ذلك بفضل حصانة الإشارة السمعية الرقمية. وسيكون ذلك عاملاً رئيسياً لتحسين كفاءة استخدام الطيف. إلا أنه يجب الاعتراف بلزوم استمرار البث التماثلي بالموجات القصيرة وبأعداد كبيرة، أثناء الفترة الابتدائية للعمل بالاستقبال الرقمي، نظراً لما يتوقع من قلة عدد المستقبلات الرقمية خلال الفترة المذكورة. ولذا فإن هذا التحسين الكبير لكفاءة استخدام الطيف، على كونه واقعياً، لن يتحقق في أجل قريب.

وبخصوص الإذاعة بالموجات المتوسطة، والإذاعة بالموجات القصيرة في بعض الحالات، تمثل الشبكة الأحادية التردد قطب اجتذاب لبعض الأسواق، ومكبساً آخر ممكناً من كفاءة استخدام الطيف. ولكن هذا لن يتحقق، كما تقدم القول، إلا متى كبر عدد المستقبلات الرقمية في المنطقة المستهدفة بالبث.

12 معيار واحد

يشتمل نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM) على عدة أساليب تشغيل من أجل ظروف إذاعية مختلفة. وهذا الواقع يسمح بوضع معيار واحد للإذاعة الرقمية في النطاقات تحت 30 MHz.

13 مقارنة مرجعية مع خدمات AM الموجودة

لقد قورنت خصائص نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM)، كما ورد ذكره في هذا التقرير المختصر، بخصائص تشكيل AM ذي نطاقين جانبيين وله نفس عروض نطاقات القنوات.

14 بث البيانات

يحال إلى الوصف الوجيز لنظام الراديو الرقمي العالمي (DRM)، وإلى المواصفات الزيدة تفصيلاً لمشروع النظام التي قُدمت إلى القطاع الاتصالات الراديوية في يناير عام 2000. هذه المواصفات تذكر المدى الذي يتراوح ضمنه صبيب البيانات الممكن مع نظام الراديو الرقمي العالمي ضمن قناة بعرض 9 أو 10 kHz. ولكن هذه الوظيفة، التي هي من تصميم النظام، تمثل جزءاً من مقايضة بين جودة النظام السمعية وحصانته والاستطاعة المتاحة لإذاعة البيانات. فالنظام يقبل مدى يتراوح فيه صبيب البيانات المديعة، ويستخدم الاستطاعة الصافية للمعطيات المديعة بنسب تتراوح من 0% إلى 100%.

15 الطواعية الوظيفية

ويتضمن تصميم نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM) أيضاً وسائل كفيلة بالاستفادة من عروض نطاقات القنوات، فيما لو أتاحت هذه الفرصة في المستقبل. وعلى وجه الخصوص، إن توافر عروض نطاقات من 18 إلى 20 kHz لكل قناة من شأنه أن يحسّن كثيراً جودة الإشارة السمعية واستطاعة إذاعة البيانات.

الملحق 5

ملخص السمات الأدائية (انظر الملاحظة 1 التالية) للنظام IBOC DSB بالاستناد إلى المعايير الواردة في الملحق 3

الملاحظة 1 - يقدم هذا الملحق ملخص أداء نظام الراديو العالمي (DRM)، بالاستناد إلى نتائج التجارب المخبرية والميدانية الواردة إحالات مرجعية عنها في التذييل 1 أدناه.

1 الجودة السمعية غير المتردية لكودك

يستخدم نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM) التشفير السمعي المتقدم (AAC) المحسّن بتناسخ النطاق الطيفي (SBR). وبما أن أداء وجودة تشفير AAC استوفيا بحثاً في موضع آخر، فلا حاجة إلى مزيد من التحليل لهذه المسألة.

2 موثوقية دارة الإرسال

يتضمن النظام IBOC DSB ترادفاً واسعاً من أجل تعزيز موثوقية الدارة. فالنظام الرقمي يشتمل على نطاقات جانبية رديفة محضّة، على جانبي الإشارة التماثلية، الأمر الذي يمكن من إرسال نفس المعلومات الرقمية على جانبي الإشارة التماثلية الموجودة. وهكذا لا تؤدي خسارة أحد النطاقين الجانبيين إلى خسارة الإشارة كلياً، وهذا التدبير بالغ الفائدة في تعزيز المقاومة للتداخل في القناة المحاورة. وكذلك صُمم موضع موجات النظام الحاملة بحيث يزيد الموثوقية. ففي النظام الرقمي المحض، تكوّن الموجات الحاملة الفرعية، الموضوعية مباشرة في جوار الموجة الحاملة الرئيسية، الموجات الحاملة "الأساسية" ولها استطاعة تمرير 20 kbit/s من المعلومات الرقمية. أما الموجات الحاملة الخارجية على الجانبيين والأبعد موضعاً عن الموجة الحاملة الرئيسية فإنها تحتوي النظام "المعزز". وعند التشغيل بالأسلوب المعزز، يستطيع النظام تمرير 36 kbit/s من المعلومات الرقمية. هذه الطريقة المرنة تضمن موثوقية استقبال المعلومات الأساسية، على الأقل، وفي ظروف مؤاتية أكثر تضمن تعزيز سوّية المعلومات.

3 منطقة التغطية وتدرّج التردّي

أثبتت اختبارات النظام IBOC DSB الميدانية التي أجريت في سينسيناتي، أوهايو، أن منطقة تغطية النظام المحجين في نطاق (MF) شاسعة. فهي، على وجه الإجمال، تمتد من المرسل إلى نحو 90 كم. وتقدر شدة المجال حيث يبدأ النظام يخلط بتواتر من الإشارة الرقمية إلى الإشارة التماثلية الاحتياطية، بنحو 1 mV/m. وعندما تبلغ شدة المجال نحو 0,6 mV/m تتوقف المناوبة ولا تعود تظهر الإشارة الرقمية. إن النظام IBOC DSB يوفر دائماً تغطية على الأقل مساوية لما توفره الإشارة التماثلية الموجودة، بفضل إدماجه الإشارة التماثلية في وضع رديف، وإتاحته التناوب السلس بين الإشارة الرقمية والتماثلية. وأكدت الاختبارات التي أجريت في سينسيناتي استطاعة النظام إدامة التغطية حتى خسارة التغطية التماثلية، وأكدت أيضاً موثوقية الإشارة الرقمية على امتداد القسم الأكبر من المنطقة التي يغطيها النظام.

ويُدْمج النظام أيضاً في بنيته وظيفة خلط، من أجل التبديل من الإشارة الرقمية إلى الإشارة التماثلية. فعند بلوغ الأخطاء معدلاً معيناً، ينتقل المودم بصورة سلسة من الإشارة الرقمية إلى الإشارة التماثلية، فيضمن اتصال التغطية. ووظيفة الخلط هذه تعزز التغطية من وجهين. فأولاً، توسع نطاق التغطية إلى مناطق حيث يمكن للتغطية التماثلية أن تتجاوز التغطية الرقمية. وذلك أن وظيفة الخلط، إذ تقترن بالوظيفة الرديفة للإشارة التماثلية، تجعل من الممكن توسيع نطاق التغطية دون مواجهة تشوّهات مزعجة للسامعين. وثانياً، توفر وظيفة الخلط وسيلة لتردي الإشارة الرقمية تردياً متدرّجاً، إذ إن الانتقال إلى الإشارة التماثلية يتفادي ظاهرة "الاهتبار المفاجئ" الشائعة في أداء كثير من الإشارات الرقمية، حين تؤدي خسارة الإشارة إلى فقدان مفاجئ

للتغطية. وهكذا فإن وظيفة الخلط التي يتميّز بها النظام IBOC DSB تتيح تردياً تدريجياً في حالتين: على حافة منطقة التغطية الرقمية أولاً، ثم في منطقة أقرب إلى مكان المرسل، عندما تحدث حالات ترد أو تداخل فتسبب الخطأ في الإشارة الرقمية.

4 الملاءمة للمرسلات المستجدة أو الموجودة

تم اختبار النظام IBOC DSB على مرسلات كثيرة متوافرة في السوق. واستُخدم في الاختبارات الميدانية التي أُجريت في سينسيناتي، أوهايو، مرسلًا من المرسلات التجارية الموجودة. وأجريت اختبارات مماثلة باستخدام مرسلات من إنتاج صانعين آخرين مختلفين، وكل هذه الاختبارات أثبتت تلاؤم هذه الأجهزة والنظام IBOC DSB. وحلل أيضاً صانعو المرسلات الموجودة جميعهم تقريباً خصائص النظام IBOC DSB فاستنتجوا أنه ملائم للمرسلات الموجودة وكذلك للمرسلات الجاري صنعها.

5 اعتبارات بشأن تخطيط القنوات

إن النظام IBOC DSB المشتغل بالأسلوب المهجين مصمّم لكي يمكن من بث الإشارات الرقمية والتمثالية معاً في نفس النطاق. فلن يؤثر هذا التصميم على تخطيط القنوات الموجودة بخصوص إشارة في نطاق MF بعرض 9 kHz أو 10 kHz.

6 التشغيل في شبكة أحادية التردد

لم يُختبر النظام IBOC DSB في شبكة أحادية التردد. ولكنه من السهل تكييف النظام OFDM للاشتغال في شبكة أحادية التردد متسقة مع نظم أحادية التردد أخرى تم تشغيلها.

7 كلفة وتعقيد المستقبل

في النظام IBOC DSB تندمج الإذاعة الرقمية للاشتغال في نطاق الموجات MF ونطاق الموجات VH/FM كليهما. وهذا يمكن الصانعين من اشتغال النظام IBOC DSB في نطاق الموجات MF، لقاء كلفة إضافية هامشية قياساً إلى كلفة الاستغلال اللازمة للإذاعة الرقمية في نطاق الموجات VH/FM. ويمثل هذا البنية الحالية للتكاليف المترتبة على النظم الإذاعية AM/FM.

8 التداخل

صُمم النظام IBOC DSB لكي يمكن من إدخال الإشارة الرقمية وفي الوقت نفسه تخفيف تأثير التداخل على الإشارات التمثالية الموجودة. وقد بينت محاكيات واختبارات أُجريت على العتاد أن هذا النظام يتحمل التداخل في نفس القناة وفي القناة المجاورة.

9 سرعة توليف وحيازة القنوات

يتيح نظام IBOC DSB توليف وحيازة القنوات أنياً. ويتضمن النظام وظيفة مناوبة بين الإشارة الرقمية الرئيسية والإشارة التمثالية الرديفة. فعند التوليف على محطة ما، يحوز المستقبل الإشارة التمثالية فوراً. ثم ينتقل النظام تدريجياً إلى الأداء الرقمي المحض. فوظيفة المناوبة هذه تضمن حيازة القنوات فوراً ومواصلة الحيازة السريعة للقنوات التي ينتظرها المستمعون من الجهات المذيعة بالنظام التمثالي.

وفي الأسلوب الرقمي المحض، يتم التوليف السريع باستعمال إشارة رقمية رديفة. وفي الأسلوب الرقمي المحض، يتم التوليف السريع باستخدام إشارة رقمية رديفة، ويمكن أن تكون حيازة هذه الإشارة سريعة، فلا تستغرق أكثر من 0,2 ms حسب التشغيل.

10 التوافق مع الأنساق التماثلية الموجودة

صُمم النظام IBOC DSB لكي يمكن من الانتقال بسلاسة إلى الإذاعة الرقمية، دون ما حاجة إلى طيف جديد أو إلى إزالة البث التماثلي. فالنظام المهجين يضمن ملائمة البث الرقمي تمام الملائمة للإشارة التماثلية الرئيسية، كما يضمن تلاؤم الإشارات الرقمية والتماثلية في نفس القناة وفي القناة المجاورة. فطواعية النظام للبث التماثلي والرقمي في نفس القناة ستمكن الجهات المذيعة من إذاعة برامج في آن واحد طيلة فترة الانتقال إلى الإذاعة الرقمية. وهكذا سيكون بإمكان الجهات المذيعة تشغيل الإذاعة الرقمية دون أن يتأثر عدد المستمعين إلى برامجهم، وبإمكان السلطات التنظيمية اعتماد الإذاعة الرقمية دون ما حاجة إلى توزيع للترددات جديد أو إلى إصدار تراخيص جديدة لتشغيل المحطات.

11 كفاءة استخدام الطيف

إن استطاعة النظام IBOC DSB بث البرامج الإذاعية الرقمية دون تأثير على الإشارة التماثلية الموجودة هي بحد ذاتها برهان على كفاءة استخدام الطيف. وإذا استعمل هذا النظام عرض النطاق الموجود الخاص بالبث في نطاق (MF)، فمن شأنه أن يوفر مسموعية أجود وحصانة أفضل مما توفره الأنظمة التماثلية الموجودة.

12 معيار واحد

يتصف النظام IBOC DSB بالمرونة، إذ إنه يشغل بأساليب مختلفة للوفاء باحتياجات المستمعين في مختلف المناطق. والنظام IBOC DSB، بالإضافة إلى ذلك، فإن هذا النظام متوافق مع النظام IBOC DSB في نطاق (VHF) بتشكيل التردد (FM). ومن ثم يمكن أن يُتخذ معياراً للإذاعة السمعية الرقمية العاملة في نطاقات تحت 30 MHz.

13 مقارنة مرجعية مع خدمات AM الموجودة

اختُبر النظام IBOC DSB ميدانياً وقورن بأنظمة في الولايات المتحدة تبث في نطاق MF وتشتغل معه في نفس القناة. فأثبتت هذه الاختبارات المزايا التي يوفرها النظام IBOC DSB.

14 بث البيانات

ينطوي النظام IBOC DSB على عدة خيارات بشأن بث البيانات. فهو يحكم تصميمه يسمح ببث البيانات المصاحبة للبرامج، بدلاً عن خدمات البيانات السمعية التي توفرها حالياً الإذاعة التماثلية. وللنظام استطاعة بث بيانات بمقادير تتراوح من 4 إلى 16 kbit/s، تبعاً للظروف السائدة في منطقة الخدمة. وهو من المرونة بما يكفي لتمكين المذيعين من زيادة مقدرات إذاعة البيانات، تبعاً للمقايضات بين جودة المسموعية وبين الموثوقية.

15 الطواعية الوظيفية

يتصف النظام IBOC DSB بما يكفي من المرونة لكي يستفيد من عرض نطاق أكبر، فيما لو توافر مثل هذا العرض فيما بعد.

التذييل 1

مراجع ويبيلوغرافيا

دعوة قطاع الاتصالات الراديوية لتقديم اقتراحات، المشار إليها في فقرة 1.2.1، ومصدر معايير التقييم المدرجة في الملحق 3:

[1] الرسالة المعممة رقم 10/LCCE/39 لقطاع الاتصالات الراديوية.

اقتراحان قداما استجابة للدعوة، يتضمنان المواصفات الوظيفية، طبقاً لفقرتي 1.2.1 و 1.2.2 (س):

[2] Document 10-6/10 (17 January 2000). DRM proposal for a digital radio system for application in the broadcasting bands below 30 MHz. (Source: DRM.)

[3] Document 10-6/12 (21 January 2000). IBOC DSB system for operation below 30 MHz. (Source: United States of America.)

مختصر مواصفات النظامين، مع التقارير الكاملة عن نتائج التجارب المخبرية والميدانية التي قدمتها المؤسسات اللتان استجابتا للدعوة المشار إليها في فقرتي 1.2.1 و 1.2.2 (س)، ويتضمن الملحقان 4 و 5 صياغة مكثفة لها:

[4] Document 6-6/6 (15 September 2000). Summary description of DRM system and laboratory and field tests. (Source: DRM.)

[5] Document 6-6/7 (11 October 2000). IBOC DSB system for operation below 30 MHz. (Source: United States of America.)

وثائق أخرى ذات صلة بالموضوع لقطاع الاتصالات الراديوية:

[6] Document 10/128, 11/206 (13 April 2000). System recommendation for digital sound broadcasting at frequencies below 30 MHz.

[7] Document 10-6/17 (12 April 2000). Chairman's Report of TG 10/6 meeting held in Geneva, 25-27 January 2000.