التوصيـــة ITU-R BO.1784

نظام الإذاعة الرقمية الساتلية مرن التشكيل (التلفزيون والصوت والبيانات)

(المسألة ITU-R 3/6)

(2007)

مجال التطبيق

هذه التوصية موجهة لخدمة الإذاعة الرقمية الساتلية (BSS) عندما تكتسي المرونة العالية في تشكيل النظام والتفاعل الإذاعي أهميةً مما يتيح معاوضةً واسعة النطاق بين أدنى سويات لنسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء *C/N* أو أقصى سعة إرسال.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن أنظمة التلفزيون الرقمية متعددة البرامج المعدّة لتستخدمها السواتل والتي يشار إليها بالأنظمة الحالية قد طُوّرت في التوصيتين ITU-R BO.1408 وITU-R BO.1516؛

ب) أن التطورات الحديثة في مجال تشفير وتشكيل القناة قد أوجدت تقنيات جديدة بأداء يقارب حد شانون (Shannon limit)؛

ج) أن هذه التقنيات الرقمية الجديدة ستحسّن الطيف و/أو كفاءة القدرة مقارنةً بالأنظمة الحالية مع المحافظة على إمكانية التشكّل المرن من أجل مواكبة موارد عرض نطاق وقدرة ساتل معين؛

د) أن النظام الموصى به يستعمل هذه التقنيات ومن ثم يتيح معاوضة واسعة النطاق بين التشغيل تحت أدنى سويات لنسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء *C/N* أو أقصى سعة إرسال، محققاً تفوقاً ملموساً على نظام الإذاعة الرقمية الساتلية DVB-S (النظام A في التوصية ITU-R BO.1516) تبعاً لأسلوب DVB-S2 المنتقى؛

هـ) أن النظام الموصى به طُوّر ليس لتغطية الإذاعة فحسب، بل أيضاً تطبيقات التفاعل والمساهمة، من قبيل وصلات تلفزيون المساهمة وجمع أخبار الساتل الرقمي (DSNG)؛

و) أن نظاماً يغطي كل نواحي التطبيقات هذه مع إبقاء مشفّر الرقاقة الواحدة عند سويات تعقيد معقولة من شأنه أن يتيح إعادة استعمال هذه التقنية في منتجات الأسواق العامة، من أجل المساهمة أو لتطبيقات المتخصصة؛

ز) أن التقنية الجديدة التكييفية للتشفير والتشكيل (ACM) التي يقدمّها النظام الموصى به ستسمح بزيادة فعالية استخدام الطيف لتطبيقات الإرسال الأحادي فيما يتعلق بمسير العودة، عن طريق الوصول بمعلمات الإرسال (أي التشكيل والتشفير) إلى الحد الأمثل لكل مستعمل فردي وفق ظروف المسير؛

ح) أن النظام الموصى به يراعي أي نسق تدفق دخل بما في ذلك تدفقات نقل (مجموعة خبراء الصور المتحركة) (MPEG) الأحادية أو المتعددة (المميزة برزم 188 بايتة) وبروتوكول الإنترنت IP علاوة على رزم أسلوب النقل اللا تزامني ATM وتدفقات البتات المستمرة؛

ط) أن النظام الموصى به سيكون قادراً على تناول مجموعة متنوعة من الأنساق السمعية المرئية المتقدمة المتاحة حالياً والتي هي قيد التعريف،

وإذ تضع في اعتبارها أيضاً

أ) أن توصية نظام الاتحاد الدولي للاتصالات ITU تساعد السوق في إرساء خدمات قائمة على أنظمة مقيّسة، متلافيةً بذلك انتشار التطويرات الخاصة، التي تعود بالفائدة على المستعملين النهائيين وعلى الصناعة عموماً؛

ب) أنه برغم نجاح الأنظمة الحالية، فإن مواصفة جديدة، تتيح إيصال معدّل بيانات أعلى كثيراً مما تستطيع الأنظمة الحالية القيام به في عرض نطاق مرسل مستجيب معيّن، ستكون موضع تقدير العديد من محطات الإذاعة الساتلية ومشغّلي ومصنّعي السواتل حول العالم؛

ج) أن احتياجات تقديم خدمات التلفزيون عالي الوضوح سيحمل المحطات الإذاعية على النظر في طرائق أكثر كفاءة لعرض هذه الخدمات ضمن الموصلات التفاعلية الموجودة؛

د) أن المرونة المتأصلة في النظام الموصى به تتيح وسيلة للتخفيف من تأثير التوهينات الجوية عند نطاقات الخدمة الإذاعية الساتلية (BSS) الأعلى (مثل نطاقات BSS 17 GHz و21 GHz) المزمع استعمالها لخدمات HDTV؛

هـ) أن النظام الموصى به يتألف من أساليب مناسبة للارتجاع تسمح باستمرار عمل مستقبلات BSS الموجودة،

توصـــي

1 باعتبار نظام DVB-S2 الموصّف في معيار المعهد الأوروبي لمعايير الاتصالات ETSI EN 302 307 V.1.1.2: http://www.itu.int/ITU-R/study-groups/rsg6/etsi/index.html (انظر المرفق 1) نظاماً مناسباً لتطوير نظام إذاعة ساتلي بتشكيل مرن[1].

الملاحظة 1 – يرد وصف للنظام الموصى به (النظام E) في الملحق 1، في حين أن الملحق 2 يحوي جداول مقارنة تُدرج النظام الموصى به (النظام E) مع الأنظمة المشار إليها في التوصية ITU-R BO.1516 (الأنظمة A، B، C، D)

الملحق 1

الخصائص الرئيسية لنظام DVB-S2 (المشار إلية كنظام E)

نظام DVB-S2 هو مواصفة الجيل الثاني لتطبيقات الساتل عريضة النطاق التي طوّرها مشروع DVB (الإذاعة الفيديوية الرقمية) في العام 2003 وأصبحت المعيار ETSI رقم EN 302 307 في العام 2004.

ويحدد المعيار EN 302 307 بنية ترتيل، وتشفير وتشكيل قنوات لأنماط مختلفة من التطبيقات الساتلية:

– إذاعة تلفزيونية عادية الوضوح وعالية الوضوح (SDTV وHDTV)؛
– التفاعلية (بما فيها النفاذ إلى الإنترنت) لتطبيقات الإذاعة الساتلية (من أجل مفككات شفرة المستقبلات المتكاملة (IRDs) والحواسيب الشخصية)؛
– تطبيقات المساهمة مثل مساهمة وتوزيع وجمع أخبار التلفزيون الرقمي؛
– توزيع محتوى البيانات وتقاسم قنوات الإنترنت.

[1] كلمة "سوف" في معيار ETSI هذا ينبغي أن تُعتبر مكافئة لكلمة "ينبغي" في هذه التوصية.

لكي يغطي نظام DVB-S2 جميع مجالات التطبيق مع إبقاء مشفّر الرقاقة الواحدة عند سويات تعقيد معقولة، يُبنى نظام DVB-S2 *كعدة أدوات* ليتيح بذلك استعمال منتجات الأسواق العامة وكذلك المساهمة أو تطبيقات السوق المتخصصة.

وُصِّف نظام DVB-S2 حول ثلاثة مفاهيم: أفضل أداء للإرسال، والاقتراب من حد شانون، والمرونة التامة والتعقيد المعقول للمستقبِل.

لتحقيق أفضل توازن بين درجة التعقيد وجودة الأداء وتحقيق تفوق ملموس في السعة على نظام DVB-S للتطبيقات الإذاعية التقليدية، يستفيد نظام DVB-S2 من التطورات الحديثة في تشفير وتشكيل القنوات: تُعتمد شفرات اختبار التعادلية منخفض الكثافة (LDPC) مصحوبة بتشكيلات QPSK (إبراق رباعي بزحزحة الطور) و8-PSK (8 – إبراق بزحزحة الطور) و16-APSK (16– إبراق بزحزحة الاتساع والطور) و32-APSK كي يعمل النظام بشكل صحيح على قناة ساتلية غير خطية.

تسمح بنية الترتيل بمرونة قصوى لنظام وتزامن متعددي الاستعمال، وكذلك الأمر في تشكيلات أسوأ حالة (أي حالة نسب إشارة إلى ضوضاء SNR منخفضة).

بالنسبة للتطبيقات التفاعلية من نقطة إلى نقطة مثل الإرسال الأحادي بواسطة بروتوكول الإنترنت IP بالارتباط مع مسير عودة، فإن اعتماد وظائفية تشفير وتشكيل تكييفية (ACM) يسمح بالوصول إلى الحالة المثلى معلمات الإرسال لكل مستعمل فردي على أساس رتل برتل حسب ظروف المسير تحت سيطرة عروة مغلقة عبر قناة العودة (التي توصل المستقبِل بمحطة الوصلة الصاعدة DVB-S2 عبر وصلات أرضية أو ساتلية وتشوّر بحالة استقبال المستقبِل). وينتج عن هذا زيادة إضافية في كفاءة استخدام نظام DVB-S2 للطيف مقارنة بنظام، DVB-S وتتيح هذه الزيادة الوصول تصميم القطاع الفضائي إلى الحالة المثلى مما يتيح خفضاً حاداً في كلفة خدمات بروتوكول الإنترنت IP المعتمدة على السواتل.

ويبلغ نظام DVB-S2 من المرونة درجة تمكنه من التعامل مع أي خصائص موجودة لمرسل مستجيب ساتلي مع تنوع كبير في كفاءات الطيف والمتطلبات المصاحبة لنسب الإشارة إلى الضوضاء SNR. وعلاوة على ذلك، فهو مصمم لتناول مجموعة متنوعة من الأنساق السمعية الفيديوية المتقدمة التي هي قيد التعريف من قبل الهيئات الدولية حالياً. ونظام DVB-S2 يستوعب أي نسق من أنساق تدفق الدخل بما في ذلك تدفقات نقل MPEG (مجموعة خبراء الصور المتحركة) الأحادية أو المتعددة (المميزة برزم 188 بايتة) وبروتوكول الإنترنت IP علاوة على رزم أسلوب النقل اللاتزامني ATM وتدفقات البتات المستمرة.

تتيسّر أيضاً الأساليب المتلائمة ارتجاعياً التي تسمح لمفككات شفرة المستقبلات المتكاملة (IRDs) التراثية بالاستمرار في العمل.

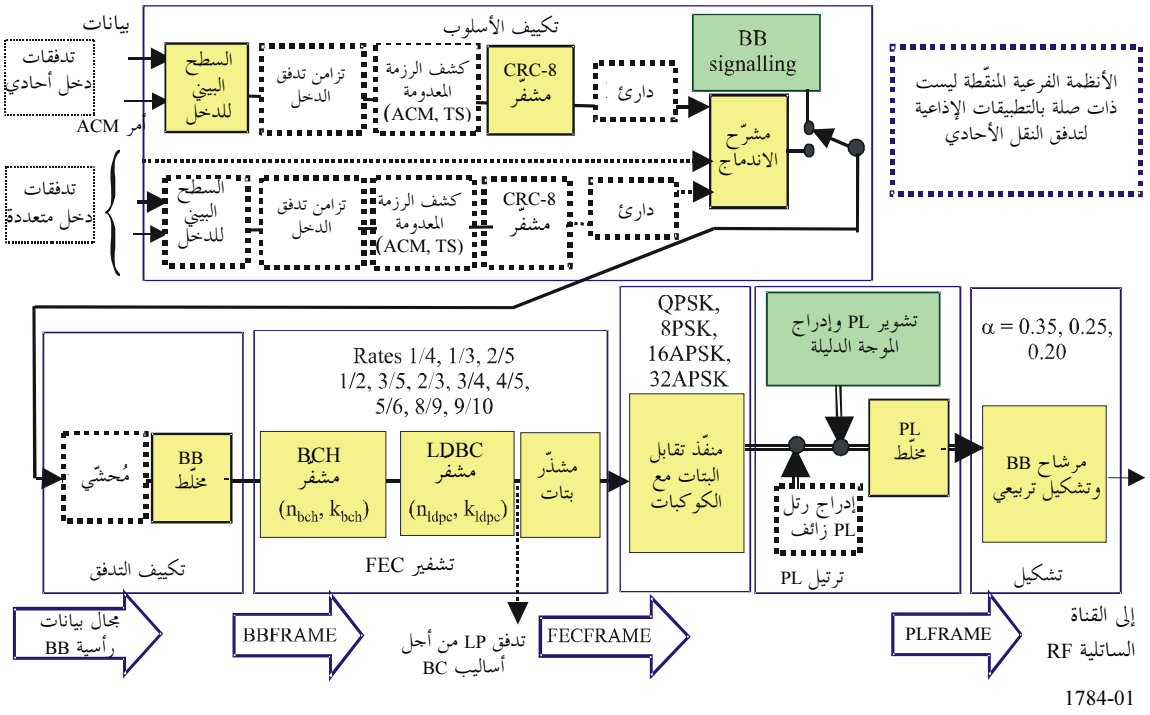
بنية نظام DVB-S2

يتألف نظام DVB-S2 من تتابع من الفدرات الوظيفية، على النحو المبين في الشكل 1. ويستند توليد الإشارات إلى سويتين من بنى الترتيل:

- رتل النطاق الأساسي BBFRAME عند سوية النطاق الأساسي (BB) يحمل بتات تشوير متنوعة لتشكيل المستقبل بمرونة وفق سيناريو التطبيق؛
- رتل الطبقة المادية PLFRAME عند سوية الطبقة المادية (PL) يحمل بضع بتات تشوير ذات حماية عالية لتوفير تزامن وتشوير متينين في الطبقة المادية.

الشـــكل 1

مخطط فدري وظيفي لنظام DVB-S2



حسب التطبيق، يمكن لتتابعات دخل DVB-S2 أن تكون تدفقات نقل MPEG (TS) أحادية أو متعددة، أو تدفقات نوعية أحادية أو متعددة، مرزّمة أو مستمرة. وتوفر الفدرة، المعرَّفة هويتها *كتكييف الأسلوب*، السطح البيني لتدفق الدخل[2]، وتزامن تدفق الدخل[3] (اختياري)، وشطب الرزمة المعدومة[4] (من أجل ACM ونسق دخل تدفق النقل فقط)، وتشفير CRC-8 لكشف الخطأ على مستوى الرزمة في المستقبِل (من أجل تدفقات الدخل المرزّمة فقط)، ودمج تدفقات الدخل (من أجل أساليب التدفق المتعدد الدخل فقط) وتشريحها إلى مجالات بيانات. بعدئذٍ تضاف رأسية النطاق الأساسي إلى مقدمة مجال البيانات لتبليغ المستقبِل بنسق تدفق الدخل ونمط تكييف الأسلوب: تدفقات دخل أحادية أم متعددة، تدفق نوعي أم نقلي، CCM (تشفير وتشكيل ثابتين) أم ACM، والعديد من تفاصيل التشكيل الأخرى. وبفضل حماية FEC (تصحيح الخطأ الأمامي) (التي تغطي الرأسية وحمولة البيانات النافعة كلتيهما) والطول المديد لرتل FEC، يمكن للنطاق الأساسي فعلياً أن يحوي العديد من بتات التشوير دون فقدان كفاءة الإرسال أو المناعة ضد الضوضاء. وينبغي الانتباه إلى أن رزم نقل تعدد إرسال MPEG يمكن مقابلتها لا تزامنياً مع أرتال النطاق الأساسي.

من ثم يُطبّق *تكييف التدفق* لتوفير التحشية، في حالة عدم كفاية بيانات المستعمل المتيسّرة للإرسال لملء رتل النطاق الأساسي BBFRAME بالكامل، وتخليط النطاق الأساسي.

---

2 يمكن لتتابعات الدخل أن تكون تدفقات نقل (TS) أحادية أو متعددة، أو تدفقات نوعية أحادية أو متعددة (مرزّمة أو مستمرة).

3 قد تُسفر معالجة البيانات في نظام DVB-S2 عن تأخير إرسال متغيّر. تتيح هذه الفدرة ضمان معدل بتات ثابت وتأخير إرسال ثابت من طرف إلى طرف من أجل تدفق الدخل المرزّم.

4 لخفض معدل المعلومات وزيادة الحماية من الأخطاء في المُشكّل. وتسمح العملية بإعادة إدراج الرزم المعدومة في المستقبِل في نفس المكان تماماً الذي كانت موجودة فيه أصلاً.

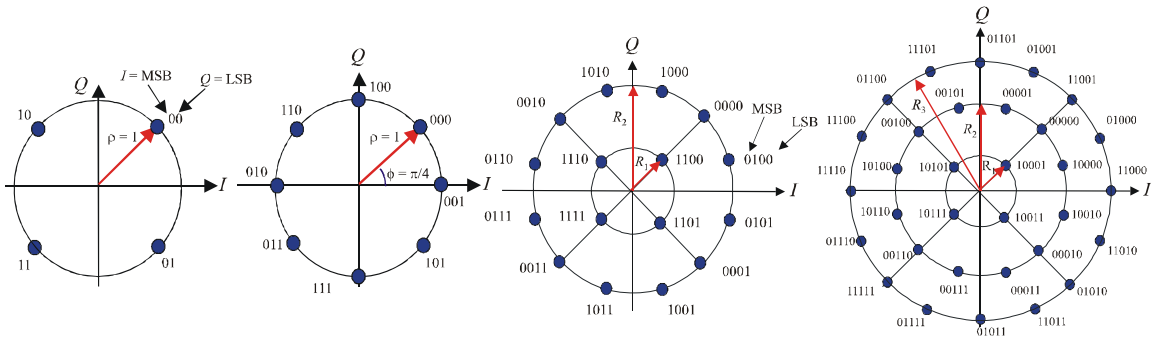
ينفّذ *تشفير تصحيح الخطأ الأمامي (FEC)* تسلسل شفرة BCH (بوز–شودري–هوكينغيم) الخارجية ومعدلات شفرات LDPC (اختبار التعادلية منخفض الكثافة) الداخلية (1/4، 1/3، 2/5، 1/2، 3/5، 2/3، 3/4، 4/5، 5/6، 8/9، 9/10). وحسب مجال التطبيق، يمكن للفدرات المشفرّة بشفرة FEC (أرتال FEC) أن تكون بطول 64 800 بتة أو 16 200 بتة. وعند استعمال VCM (التشفير والتشكيل المتغيّر) أو ACM، يكون تشفير تصحيح الخطأ الأمامي (FEC) وأسلوب التشكيل ثابتين داخل كل رتل لكن يمكن أن يتغيّرا من رتل إلى أخر؛ وعلاوة على ذلك، يمكن للإشارة المرسلة أن تحوي خليطاً من فدرات الشفرة العادية والقصيرة. بالنسبة للأساليب المتلائمة ارتجاعياً، فإن تدفق البتات عند خرج مشفّر FEC يخضع للمزيد من المعالجة بالترافق مع إشارة DVB-S وفق إجراء محدد. وبعد ذلك يُطبَّق تشذير البتات على البتات المشفرّة بشفرة FEC بتشكيلات 8-PSK و16-APSK و32-APSK لفصل البتات المقابَلة على نفس إشارة الإرسال.

يمكن اختيار *التقابل* من بين كوكبات QPSK و8-PSK و16-APSK و32-APSK (انظر الشكل 2) بحسب مجال التطبيق. يقترح عادة استعمال تشكيلا QPSK و8-PSK للتطبيقات الإذاعية باعتبارهما تشكيلا غلاف ثابت تقريباً ويمكن استعمالهما في مرسلات مستجيبات ساتلية لا خطية مشغّلة إلى حد التشبّع تقريباً. يمكن أيضاً استعمال تشكيلي 16-APSK و32-APSK اللذين يستهدفان تطبيقات المساهمة بشكل أساسي من أجل الإذاعة، لكنهما يتطلبان سوية أعلى من نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء *C/N* المتيسّرة واعتماد طرائق متقدمة لما قبل التشويه في محطة الوصلة الصاعدة لتخفيض أثر لا خطية الوصلة التراسلية إلى الحد الأدنى. وفي حين أن هذين الأسلوبين لا يتمتعان بكفاءة القدرة كالأساليب الأخرى، فإن كفاءة الطيف أكبر كثيراً. وقد تم الوصول بكوكبتـــي 16-APSK و32-APSK إلى الحالة المثلى لكي تشتغلا عبر وصلة تراسل لا خطي بوضع النقاط على دوائر. غير أن أداءهما على قناة خطية يماثل أداء تشكيلي 16-APSK و32-APSK على التوالي.

بانتقاء كوكبة التشكيل ومعدلات الشفرة، تتيسّر كفاءات طيف من 0,5 إلى 4,5 بتة لكل رمز ويمكن اختيارها على أساس قدرات وقيود الوصلة التراسلية الساتلية المستعملة.

الشـــكل 2

كوكبات DVB-S2 الأربع الممكنة قبل تخليط الطبقة المادية

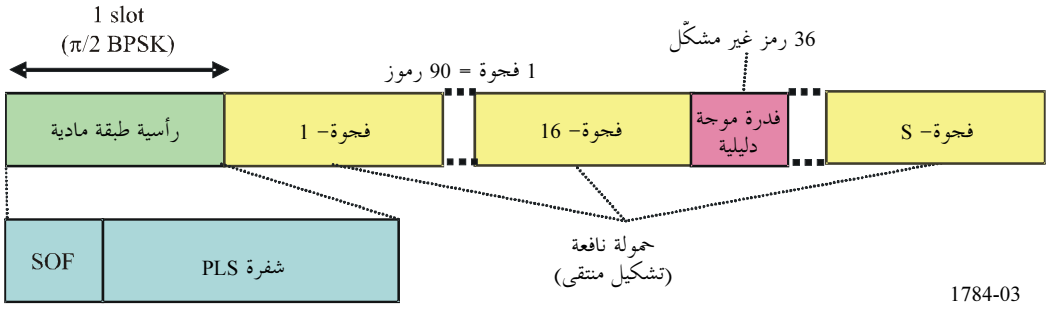


1784-02

صُمم ترتيل الطبقة المادية ليقدّم تزامناً وتشويراً متينين عند الطبقة المادية. وبذلك يمكن للمستقبل أن يزامن (استعادة الموجة الحاملة والطور، تزامن الرتل) ويكشف معلمات التشكيل والتشفير قبل إزالة التشكيل وفك تشفير FEC. تتألف إشارة الطبقة المادية لنظام DVB-S2 من تتابع اعتيادي من الأرتال (انظر الشكل 3): خطة التشكيل والتشفير متجانسة ضمن رتل، لكنها قد تتغيّر (في تشكيلة التشفير والتشكيل التكييفية) في الأرتال المجاورة. يتألف كل رتل من حمولة نافعة من 64 800 بتة في تشكيلة "الرتل العادي"، ومن 16 200 بتة في تشكيلة "الرتل القصير"، تقابل فدرة شفرة FEC. وتتقدم الحمولة النافعة رأسية ذات 90 رمز تشكيل ثنائي حاملة معلومات التزامن والتشوير للسماح لمستقبل بمزامنة (استعادة الموجة الحاملة والطور، تزامن الرتل) وكشف معلمات التشكيل والتشفير قبل إزالة التشكيل وفك تشفير FEC.

الشـــكل 3

خطة أرتال الطبقة المادية



وتحدد الرموز الثنائية الستة والعشرون الأولى (التتابع $18D2E82_{HEX}$) لرأسية الطبقة المادية PL بداية رتل الطبقة المادية PL (SOF، بداية الرتل)، وتُستعمل الرموز الأربعة والستون الباقية لتشوير تشكيلة النظام. ونظراً لكون رأسية الطبقة المادية PL هي أول كيان يفك المستقبِل تشفيره، فلا يمكن حمايتها بخطة FEC (أي شفرتي BCH وLDPC). من ناحية أخرى، يجب أن تكون قابلة لفك التشفير تماماً تحت أسوأ ظروف لحالة للوصلة (نسبة SNR تراوح –2,5 dB). وعلى ذلك ولتقليل التأثير على الكفاءة الشاملة للطيف إلى أدنى درجة، تم خفض معلومات التشوير عند هذا المستوى إلى 7 بتات، تُستعمل 5 منها لبيان تشكيلة التشكيل والتشفير (مجال MODCOD)، وبتة واحدة (1) لطول الرتل (64 800 أو 16 200) وبتة واحدة (1) لحضور/غياب الموجات الدليلية لتسهيل تزامن المستقبِل (على النحو المبين أدناه). تكون هذه البتات إذاً محمية بدرجةٍ عالية بالشفرة المشذّرة لفدرة ريد–مولر من الدرجة الأولى ذات معدلات المعلمات (64، 7، t = 32) المناسبة لفك تشفير الارتباط المتدرج القرار.

على نحوٍ مستقل عن خطة التشكيل لحمولة PLFRAME النافعة (فدرة شفرة FEC) تُشكَّل الرموز الثنائية التسعون التي تتكون منها رأسية PL بتشكيل π/2-BPSK؛ هذا الخيار المغاير لكوكبة BPSK الكلاسيكية يُدخل دوراناً قدره π/4 على الرموز الزوجية و–π/4 على الرموز الفردية متيحاً خفضاً في تراوحات غلاف إشارة التردد الراديوي.

تتألف الحمولة النافعة لرتل PL من عدد متفاوت من الرموز المشكّلة حسب طول FEC (64 800 أو 16 200) وكوكبة التشكيل، لكن طول الحمولة النافعة (عدا الموجات الدليلية الاختيارية) هو دوماً من مضاعفات فجوة 90 تضم رمز (الشكل 3)، مما يبدي دوريات يمكن لمزامن الرتل في المستقبِل أن يستغلّها: ما أن تُفكّ شفرة رأسية PL حتى يتبيّن مفكك الشفرة تماماً طول رتل PL ومنه موقع بداية الرتل SOF التالي.

يؤمِّن ترتيل الطبقة المادية PL أيضاً:

– إدراج اختياري لرتل PL زائف، عند عدم جاهزية بيانات مفيدة للإرسال على القناة،

– إدراج لموجات دليلية اختيارية لتسهيل تزامن المستقبِل.

وتكون شفرات DVB-S2 FEC في الواقع من القوة بحيث أن استعادة الموجة الحاملة قد تصبح مشكلة جدية للتشكيلات عالية الرتبة العاملة عند نسب SNR منخفضة وفي وجود سويات مرتفعة من ضوضاء الطور في فدرة محولات ومولفات LNB (الفدرة منخفضة الضوضاء) الإذاعية الساتلية: ذلك هو الحال بشكل خاص بالنسبة لبعض أساليب 8-PSK و16-APSK و32-APSK منخفضة المعدّل لنظام DVB-S2. والموجات الدليلية هي رموز غير مشكَّلة تعرَّف هويتها بالمعادلة $I = Q = 1/\sqrt{2}$ وتُجمَّع زمرياً في فدرات من 36 رمزاً وتُدرَج عند كل 16 فجوة حمولة نافعة، مما يفضي إلى سعة خسارة قصوى نسبتها 2,4% تقريباً عند استعمالها.

أخيراً يُنفَّذ التخليط من أجل تشتت الطاقة للالتزام بلوائح الراديو لشغل الطيف ولإرسال نوع من "توقيع" مشغّل الخدمة من أجل التعرّف السريع على الهوية في حال وجود أخطاء في إجراءات الوصلة الصاعدة.

بعدئذٍ يُطبَّق *ترشيح النطاق الأساسي والتشكيل التربيعي* لقولبة طيف الإشارة وتوليد إشارة تردد راديوي RF. ويُستعمل ترشيح جيب التمام المرفوع للجذر التربيعي على الجانب المرسل مع خيار ثلاثة عوامل تناقص: 0,35 و0,25 و0,20، حسب قيود عرض النطاق.

الأساليب المتلائمة ارتجاعياً

العدد الكبير لمستقبلات BSS الحالية (التوصية ITU-R BO.1516) المركّبة سابقاً يجعل من الصعب جداً على العديد من هيئات الإذاعة الموجودة القائمة أن تفكر بتغيير مفاجئ في التكنولوجيا لصالح DVB-S2 لا سيما وأن هناك إعانات للمستقبلات وخدمات عامة تُبثّ مجاناً. في مثل هذه السيناريوهات، قد تلزم الملاءمة الارتجاعية في فترة الانتقال للسماح باستمرار تشغيل المستقبلات التقليدية، في حين تُقدَّم سعة وخدمات إضافية للمستقبلات الجديدة المتقدمة. في نهاية عملية الانتقال وبعد أن تكون كل المستقبلات قد حولت إلى نظام DVB-S2، يمكن تعديل الإشارة المرسَلة إلى أسلوب الملاءمة غير الارتجاعي من أجل الاستغلال الكامل لإمكانيات نظام DVB-S2.

لذلك فقد عُرِّفت أساليب متلائمة ارتجاعياً (BC) في نظام DVB-S2 بغرض إرسال تدفقي نقل على قناة ساتلية واحدة. التدفق الأول (عالي الأولوية HP) متلائم مع مستقبلات DVB-S (وفق التوصية ITU-R BO.1211) وكذلك مع مستقبلات DVB-S2، في حين أن التدفق الثاني (منخفض الأولوية LP) ومتلائم مع مستقبلات DVB-S2 فقط.

يمكن تنفيذ الملاءمة الارتجاعية اختيارياً وفق نهجين:

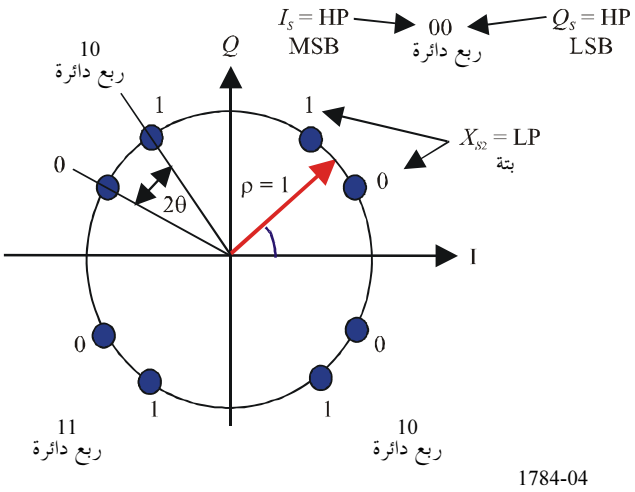
- تشكيلات مبينة حسب الطبقات حيث تُدمج إشارتا DVB-S2 وDVB-S لا تزامنياً على قناة تردد راديوي (لذلك فإن الأسلوب التشغيلي هذا لا يتطلب أي أداة محددة في مواصفة DVB-S2)؛
- تشكيل تراتبي حيث يُدمج تدفقا نقل HP وLP تزامنياً عند سوية رمز التشكيل على كوكبة و8-PSK غير منتظمة (الشكل 4).

الملاحظة 1 – يمكن أيضاً لأي أنظمة إذاعية مغايرة لنظام DVB (أي أنظمة معرَّفة في التوصية ITU-R BO.1516) وقائمة على تشكيل QPSK أن إرسال تدفق DVB-S2 LP باستعمال خطتي التشكيل المبنينة حسب الطبقات والتراتبية المذكورة أعلاه.

في نهج التشكيل التراتبي، حسب الشكل 5، تكون الإشارة المتطابقة مع DVB-S2 LP مشفّرة بشفرتي BCH وLDPC، بمعدل 1/4 أو 1/3 أو 1/2 أو 3/5 لشفرة LDPC. عندئذ يولّد منفّذ التقابل التراتبي كوكبة 8-PSK غير منتظمة: تُعرِّف بتتا HP DVB-S نقطة كوكبة QPSK (التي يمكن لأي DVB-S IRD تقليدي استقبالها)، في حين أن البتة الواحدة من مشفّر DVB-S2 LDPC تضبط دوراناً إضافياً ± θ قبل الإرسال (يُسفر عن انحطاط طفيف في أداء DVB-S IRD تبعاً لاتساع θ).

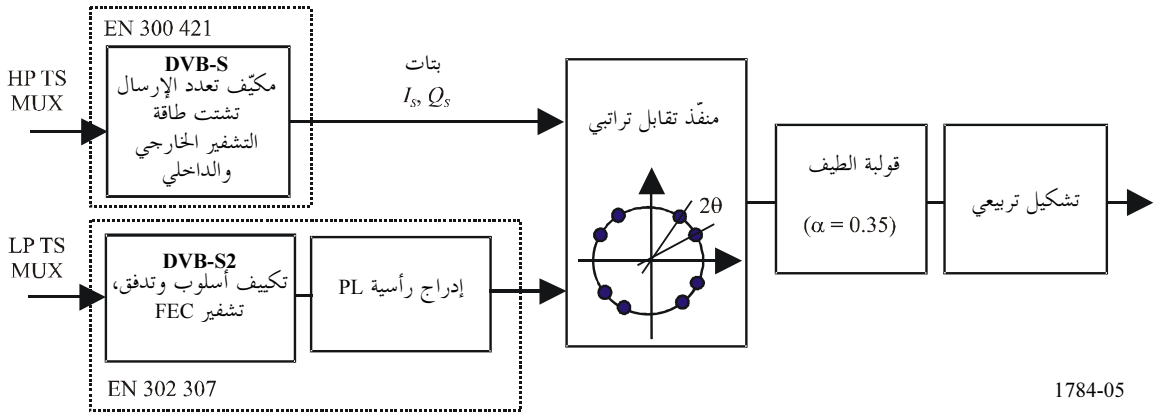
الشـــكل 4

كوكبة 8-PSK غير منتظمة



الشـــكل 5

مخطط فدري وظيفي لنظام DVB-S2 التراتبي المتلائم ارتجاعياً



تحليلياً، يمكن كتابة الإشارة عند خرج المشكّل التراتبي كما يلي:

$$v_{HM} = \sum_k A e^{j\Phi_k} s(t - kT)$$

حيث يتخّذ الطور المنفصل Φ_k قيماً في المدى $\left\{\frac{\pi}{2}l + \frac{\pi}{4} + (-1)^{l+k+1}\theta\right\}$ من أجل $I_S + 2I_S Q_S - 3Q_S = l$ (أربع قيم ممكنة 0، 1، 2، 3). I_S وQ_S معرّفتان في الشكل 4 و$k = X_{S2}$ (قيمتان ممكنتان 0، 1). I_S وQ_S وX_{S2} معرّفة في الشكل 4.

ولأن الإشارة الناتجة لها غلاف شبه ثابت، فإنه يمكن إرسالها في وصلة مراسله واحد مشغّلٌ إلى حد التشبّع تقريباً.

يحوي التذييل 1 لهذا الملحق بعض نتائج الاختبارات العملية للمعلومات.

التذييل 1
للملحق 1

نتائج الاختبارات المختبرية على تجهيزات DVB-S2

أجرى مركز بحوث Rai-CRIT اختبارات مختبرية واسعة على تجهيزات نظام DVB-S2 قدمّها سبعة مصنعين مختلفين في يونيو 2006 من أجل التحقق من أداء نظام DVB-S2. شملت الاختبارات أداء AWGN (الضوضاء الغوسية البيضاء الاعتباطية) والانحطاط اللاخطي لضوضاء القناة والطور. تبيّن النتائج بوضوح أن أداء التجهيزات منسجم مع نتائج عملية المحاكاة المقدمة في معيار DVB-S2.

نُفِّذت تشكيلة موجة حاملة واحدة وموجات حاملة متعددة وقورنت بتشكيلات DVB-S مكافئة، وبيّن ذلك أن نظام DVB-S2 يمكن أن يقدّم مكاسب ممتازة من حيث السعة أو الأداء ومن حيث المرونة. علاوة على ذلك، نُفِّذت تشكيلتا VCM وACM وتم التحقق من مقدرة التجهيزات.

أخيراً، يجدر بالإشارة أن التجهيزات تحت الاختبار أظهرت أداءً ممتازاً من حيث قابلية التشغيل البيني.

1 النتائج الرئيسية للاختبار

اختبار AWGN

أجريت قياسات على قناة AWGN لتشكيلات QPSK وPSK-8 وAPSK-16 وAPSK-32 على التوالي لتقييم أداء النظام لتشكيلتي FECFRAME العادية والقصيرة على حد سواء. وكان معدّل الرموز 27,5 MBd، إلا بالنسبة لتشكيلة APSK-32 حيث كان المعدّل 20 MBd[5] والتناقص 35%. ويظهر متوسط النتائج التي تم الحصول عليها في القياسات أن خسارات التنفيذ المحسوبة باستخدام العلاقة $\Delta E_s/N_0@\text{PER} = 10^{-7}$ فيما يتعلق بنتائج المحاكاة المبيّنة في الجدول 13 من معيار EN 302 307 هي في المدى الذي يتراوح بين 0,2 و0,6 dB لتشكيل QPSK وبين 0,2 و0,9 dB لتشكيل PSK-8 وبين 0,3 و1,3 dB لتشكيل APSK-16 وبين 1,3 و1,7 dB لتشكيل APSK-32.

اختبار SAT

على القناة الساتلية اللاخطية، تؤكد نتائج الاختبار المختبري نتائج المحاكاة الواردة في الجدول 1.H من معيار EN 302 307. نقطة التشغيل المثلى هي 0 dB لخفض قدرة الدخل IBO لتشكيل QPSK1/2، وهي تناظر خفضاً لقدرة خرج OBO قدره 0,3 dB، وتعطي انحطاطاً في الأداء قدره 0,5 dB فيما يتعلق بقناة AWGN. بالنسبة لتشكيل PSK-8، نقطة التشغيل المثلى هي 1 dB لخفض قدرة الدخل IBO، وهي تناظر خفضاً لقدرة خرج OBO قدره 0,4 dB، وتعطي انحطاطاً في الأداء قدره حوالي 0,6 dB. وبالنسبة لتشكيل APSK-16، نقطة التشغيل المثلى هي 4 dB لخفض قدرة الدخل (IBO) وهي تناظر خفضاً لقدرة خرج (OBO) قدره 1,6 dB، وتعطي انحطاطاً في الأداء قدره حوالي 3,0 dB. أما بالنسبة لتشكيل APSK-32، فنقطة التشغيل المثلى هي 7 dB لخفض قدرة الدخل (IBO)، وهي تناظر خفض قدرة خرج (OBO) قدره 3,2 dB، وتعطي انحطاطاً في الأداء قدره حوالي 5,4 dB. وإذا أُدرجت موجات دليلية في الإشارة المرسلة، يتحسن الأداء بحوالي 0,3 dB لتشكيل PSK-8 و1,0 dB لتشكيل APSK-16.

وأُجريت اختبارات إضافية باستعمال التصحيح المسبق للإشارة في المشكِّل للتقليل من آثار اللاخطية على الإشارة المزال تشكيلها وللسماح للنظام بالعمل قرب نقطة التشبّع، وكذلك الأمر بالنسبة للتشكيلات الأعلى رتبةً أي APSK-16 وAPSK-32. فيما

---

[5] معدّل الرموز الأقصى المتيسّر لتشكيلة APSK-32. ولا يُضمن أداء الأجهزة فوق معدّل 20 MBd في الوقت الحالي، نظراً لأن سرعة الميقاتية و/أو كثافة FPGA (مصفوفة البوابات المنطقية القابلة للبرمجة ميدانياً) لا تسمح بأداء العدد المطلوب من تكرارات مفكك تشفير LDPC. ويمكن توقع أن تتيح التحسينات تكنولوجيا FPGA التي ستطرأ على المستقبل القريب تغطية معدلات بود متطرفة بأداء كامل.

يتعلق بتشكيل 16-APSK بمعدّل 3/4، فإن استعمال التصحيح المسبق في المشكِّل يتيح للنظام أن يعمل بالشكل الأمثل عند التشبّع مع نقص في خفض قدرة خرج OBO الساتل بحدود 1,3 dB وخسارة في الأداء فيما خص قناة AWGN بحدود 1,5 dB، أي أنه يتيح كسباً في أداء الإشارة غير المصححة مسبقاً يبلغ حوالي 1,5 dB.

ودرست أمثلة لمقارنة DVB-S مع DVB-S2 في التطبيقات الإذاعية وفق التشكيلات التالية:

الجـــدول 1

سيناريوهات مقارنة DVB-S مع DVB-S2 من أجل التطبيقات الإذاعية

النظام	DVB-S	DVB-S2	DVB-S	DVB-S2
عرض نطاق القناة BW (MHz)	36	36	36	36
التشكيل والتشفير	QPSK 2/3	QPSK 3/4	QPSK 7/8	PSK-8 2/3
التناقص α	0,35	0,20	0,35	0,25
معدّل الرموز (MBd) = BW/(α + 1)*1,03	27,5	30,9	27,5	29,7
C/N (MHz 27,5) (dB)	4,7	4,9	7,6	7,6
معدّل البتات المفيد (Mbit/s)	33,8	46 (كسب = 34%)	44,4	58,8 (كسب = 32%)

تتضمن القناة الساتلية مرشاح مضخّم الموجة المرتحلة TWTA وتعدد إرسال الخرج OMUX.

تبيّن النتائج في الجدول 1 أن نظام DVB-S2 يسمح بزيادة في السعة المرسلة تبعاً للأسلوب تصل إلى 30% وأكثر، وذلك على حساب زيادة هامشية في متطلبات *C/N* (من 0 إلى 0,2 dB).

اختبار ضوضاء الطور

أُخذت تشكيلتان مختلفتان في الاعتبار لدى إجراء اختبارات ضوضاء الطور:

– سيناريو مساهمة، مع معدّل رموز للإشارة المرسلة قدره 5 MBd ومضخّم ساتلي يشتغّل في الخطيّة.

– سيناريو إذاعة ساتلية، مع معدّل رموز للإشارة المرسلة قدره 27,5 MBd ومضخّم ساتلي يشتغّل عن تخفيض القدرة الأمثل.

تبيّن نتائج سيناريو المساهمة أن الانحطاط الناتج عن ضوضاء طور LNB (فدرة الضوضاء المنخفضة) هو بحدود 0,3 dB لتشكيلي QPSK و8-PSK و1,2 dB لتشكيلي 16-PSK و32-PSK. وعلاوة على ذلك، لا تلزم الموجات الدليلية من أجل تشكيل QPSK، في حين تبدأ فوائدها بالظهور في تشكيل 8-PSK ويحتاج تشكيلا 16-PSK و32-PSK موجات دليلية ليأتيا بنتائج جيدة.

من ناحية أخرى، يكون سيناريو نمط الإذاعة الساتلية ذا معدل الرموز الأعلى أقل تأثراً بضوضاء الطور. تبيّن النتائج أنه يمكن إهمال الانحطاط الناتج عن ضوضاء طور LNB بالنسبة لتشكيل QPSK حتى بدون موجات دليلية، وبحدود 0,1 dB لتشكيل 8-PSK و0,3 لتشكيل 16-APSK مع استعمال الموجات الدليلية.

اختبارا VCM وACM

أُجريت اختبارات VCM مبيّنةً قدرة المستقبلات على التكيف مع التغير في تشكيلة الإرسال. ووُلِّد تتابع من أرتال FEC (FECFRAMEs) وخُزِّن بواسطة مولد موجات اعتباطي. بعدئذٍ أُدخلت ضوضاء لإعطاء قيم مختلفة من نسبة الإشارة إلى الضوضاء. وفي الحالات التي كانت فيها نسبة الإشارة إلى الضوضاء أكبر من الحد الأدنى المطلوب من تشكيل وتشفير معيّنين، أمكن للمستقبل أن يفك شفرة رتل FEC المناظر.

أخيراً اختُبرت وظائفية ACM لتقصي مقدرة المستقبلات على تقدير نسبة الإشارة إلى الضوضاء التي تلاقيها وتكييفية المشكِّل المقابلة مع تغيّر التشكيل والتشفير. وتُظهر النتائج أن التجهيزات قادرةٌ على مواكبة تغييرات نسبة الإشارة إلى الضوضاء في توصيل من نقطة إلى نقطة، وقادرةٌ على التكيّف وفقاً لذلك.

2 الاستنتاجات

تبيّن الاختبارات التي أُجريت في مختبرات Rai-CRIT أن تجهيزات DVB-S2 منسجمة مع الأداء الذي تتوقعه عمليات المحاكاة الحاسوبية وتتيح اكتساب فهم متعمق ومهم للخصائص الدقيقة للتشكيل ولتشفير القناة ولتقنيات الترتيل والتزامن المتطورة لنظام DVB-S2. ورغم أن التجهيزات قيد الاختبار تمثّل الجيل الأول من التجهيزات وبالتالي يُتوقع حتماً إدخال بعض التحسينات على خوارزميات المستقبلِ لِتوفر تعزيزاً إضافياً في الأداء، ويبين متوسط النتائج أن نظام DVB-S2 هو نظام ممتاز، ليس من الناحية النظرية فقط، بل أيضاً في العتاد الفعلي.

وعلاوة على ذلك، تبيّن المقارنة مع نظام DVB-S في التشكيلات التشغيلية أن نظام DVB-S2 يقدّم مكسباً ملموساً في السعة في تشكيلات CCM في كل من الموجة الحاملة الواحدة والموجات الحاملة المتعددة على حد سواء لكل تشكيلة مرسل موصل تراسل.

وأخيراً، أُجريت اختبارات تم فيها إقران مشكِّلات مع مزيلات تشكيل لمصنّعين مختلفين وأفضت إلى أن التجهيزات تبدي قابلية تشغيل بيني ممتازة.

الملحق 2

مقارنة بين نظام DVB-S2 (النظام E) ونظام البث التلفزيوني الرقمي المتعدد البرامج بواسطة الساتل المعرَّف في التوصية ITU-R BO.1516

يضم الجدول 2 معلومات عن الوظائف الأساسية (عناصر مشتركة) والوظائف الإضافية الضرورية على للأنظمة الأربعة المشار إليها في التوصية ITU-R BO.1516 (الأنظمة A وB وC وD)، ويقارنها بالمعلومات الخاصة بنظام DVB-S2 المشار إليه بالنظام E.

تفيد جمعية الاتصالات الراديوية التابعة للاتحاد الدولي للاتصالات في الفقرة 2.1.6 من القرار ITU-R 1 بما يلي: "عندما تقدم التوصيات معلومات بشأن الأنظمة المتنوعة المتعلقة بتطبيق راديوي واحد محدد، فيجب أن تستند إلى معايير ذات صلة بالتطبيق، ويجب أن تتضمن، حيثما يكون ذلك ممكناً، تقييماً للأنظمة الموصى بها باستعمال هذه المعايير". يقدم الجدول 3 هذا التقييم. وقد تم اختيار معايير الأداء المتصلة بهذه الأنظمة، وترد قيم المعلمات أو القدرات المعلمية لكل من هذه الأنظمة.

الجـــدول 2

ملخص خصائص الأنظمة الرقمية عريضة النطاق عبر الساتل

أ) الوظيفة

	النظام A	النظام B	النظام C	النظام D	النظام E
خدمات منجزة	تطبيقات الصوت البيانات والبيانات التفاعلية لكل من SDTV وHDTV	تطبيقات الصوت البيانات والبيانات التفاعلية لكل منSDTV وHDTV	تطبيقات الصوت البيانات والبيانات التفاعلية لكل منSDTV وHDTV	تطبيقات الصوت البيانات والبيانات التفاعلية لكل من SDTV وHDTV	تطبيقات الصوت البيانات والبيانات التفاعلية لكل من SDTV وHDTV [1]
نسق إشارة الدخل	MPEG-TS	MPEG-TS معدّل	MPEG-TS	MPEG-TS	MPEG-TS/ تدفق تنوعي (مثل IP)
مقدرة إشارة مداخل متعددة	لا	لا	لا	نعم، 8 كحد أقصى	نعم، 255 كحد أقصى
إمكانية تحمّل خبو المطر	تُحدد بقدرة المرسل ومعدّل الشفرة الداخلية	تُحدد بقدرة المرسل ومعدّل الشفرة الداخلية	تُحدد بقدرة المرسل ومعدّل الشفرة الداخلية	يتيسّر الإرسال التراتبي فضلاً عن قدرة المرسل ومعدّل الشفرة الداخلية	بالنسبة للإذاعة: تُحدد بقدرة المرسل ومعدّل الشفرة الداخلية. بالنسبة لطرف إلى طرف والخدمات التفاعلية يتيسّر التشفير والتشكيل التكييفي فضلاً عن قدرة المرسل ومعدّل الشفرة الداخلية
استقبال متنقّل	ليس متاحاً ومتروك للنظر فيه مستقبلاً	ليس متاحاً ومتروك للنظر فيه مستقبلاً	ليس متاحاً ومتروك للنظر فيه مستقبلاً	ليس متاحاً ومتروك للنظر فيه مستقبلاً	ليس متاحاً ومتروك للنظر فيه مستقبلاً
تخصيص مرن لمعدل بتات الخدمات	متاحاً	متاحاً	متاحاً	متاحاً	متاحاً
تصميم شائع للمستقبل مع أنظمة مستقبلات أخرى	ممكن بالنسبة للأنظمة A وB وC وD	ممكن بالنسبة للأنظمة A وB وC وD	ممكن بالنسبة للأنظمة A وB وC وD	ممكن بالنسبة للأنظمة A و B وC وD	خيارات التلاؤم الارتجاعي ممكنة بالنسبة للأنظمة A وB وC وD

الجـــدول 2 (*تابع*)

أ) الوظيفة (تتمة)

خاصية مشتركة مع وسائط أخرى (أي أرضية، كبلية، وما إلى ذلك)	على أساس MPEG-TS	على أساس (التدفق الأولي) MPEG-TS	على أساس MPEG-TS	على أساس MPEG-TS	على أساس MPEG-TS
في الخدمة؟	نعم	نعم	نعم	نعم	نعم
تجهيزات محطة الإذاعة	متاحة في السوق	متاحة في السوق	متاحة في السوق	متاحة في السوق	متاحة في السوق

ب) الأداء

	النظام A	**B النظام**	**Cالنظام**	**Dالنظام**	**Eالنظام**
معدّل البيانات الصافي (معدّل قابل للإرسال دون تعادلية)	معدّل الرموز (R_S) ليس ثابتاً. تَنتج معدّلات البيانات الصافية التالية من مثال عن R_S *قدره* MBd 27,776: 1/2: 23,754 Mbit/s 2/3: 31,672 Mbit/s 3/4: 35,631 Mbit/s 5/6: 39,590 Mbit/s 7/8: 41,570 Mbit/s	1/2: 17,69 Mbit/s 2/3: 23,58 Mbit/s 6/7: 30,32 Mbit/s	MBd 19,5 MBd 29,3 5/11: 16,4 Mbit/s 24,5 Mbit/s 1/2: 18,0 Mbit/s 27,0 Mbit/s 3/5: 21,6 Mbit/s 32,4 Mbit/s 2/3: 24,0 Mbit/s 36,0 Mbit/s 3/4: 27,0 Mbit/s 40,5 Mbit/s 4/5: 28,8 Mbit/s 43,2 Mbit/s 5/6: 30,0 Mbit/s 45,0 Mbit/s 7/8: 31,5 Mbit/s 47,2 Mbit/s	يصل إلى حد 52,2 Mbit/s (عند معدّل رموز قدره 28,86 Mbit/s)	معدّل الرموز (R_S) ليس ثابتاً. تَنتج معدّلات البيانات الصافية التالية من مثال عن R_S *قدره* MBd 27,776 وطول طبيعي لرتل FEC وبدون موجات دليلية: 1/2 QPSK: 27,467 Mbit/s 3/4 QPSK: 41,316 Mbit/s 2/3 8-PSK: 55,014 Mbit/s 3/4 16-APSK: 82,404 Mbit/s
قابلية التمديد الصاعد	نعم	نعم	نعم	نعم	نعم
مقدرة HDTV	نعم	نعم	نعم	نعم	نعم
نفاذ شرطي قابل للانتقاء	نعم	نعم	نعم	نعم	نعم

الجـــدول 2 *(تابع)*

ج) الخصائص التقنية (إرسال)

	النظام A	النظام B	النظام C	النظام D	النظام E
خطة التشكيل	QPSK	QPSK	QPSK	TC8-PSK/QPSK/BPSK	QPSK/8-PSK/16-APSK/ 32-APSK
معدّل الرموز	غير موصّف	ثابت MBd 20	متغيّر 19,5 و29,3 MBd	غير موصّف (مثلاً MBd 28,86)	غير موصّف
عرض النطاق الضروري (dB 3–)	غير موصّف	MHz 24	19,5 و29,3 MHz	غير موصّف (مثلاً MHz 28,86)	غير موصّف
معدّل التناقص	0,35 (تمام الجيب المرفوع)	0,2 (تمام الجيب المرفوع)	0,55 و0,33 (مرشاح باتروورث من الترتيب الرابع)	0,35 (تمام الجيب المرفوع)	0,35، 0,25، 0,2 (تمام الجيب المرفوع)
الشفرة الخارجية	ريد سولومون (204، 188، $T = 8$)	ريد سولومون (146، 130، $T = 8$)	ريد سولومون (204، 188، $T = 8$)	ريد سولومون (204، 188، $T = 8$)	BCH (N، K، T) بمعلمات مختلفة حسب تشكيلة التشفير الداخلي وطول الرتل
مولّد الشفرة الخارجية	ريد سولومون (255، 239، $T = 8$)	ريد سولومون (255، 239، $T = 8$)	ريد سولومون (255، 239، $T = 8$)	ريد سولومون (255، 239، $T = 8$)	BCH (N، K، T) بمعلمات مختلفة حسب تشكيلة التشفير الداخلي وطول الرتل
كثير حدود مولّد الشفرة الخارجية	$(x + \alpha^0)(x + \alpha^1) \ldots (x + \alpha^{15})$ حيث $\alpha = 02_h$	$(x + \alpha^0)(x + \alpha^1) \ldots (x + \alpha^{15})$ حيث $\alpha = 02_h$	$(x + \alpha^0)(x + \alpha^1) \ldots (x + \alpha^{15})$ حيث $\alpha = 02_h$	$(x + \alpha^0)(x + \alpha^1) \ldots (x + \alpha^{15})$ حيث $\alpha = 02_h$	مختلف حسب تشكيلة التشفير الداخلي وطول الرتل
كثير حدود مولّد المجال	$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	مختلف حسب تشكيلة التشفير الداخلي وطول الرتل
اختيار عشوائي من أجل تشتت الطاقة	PRBS: $1 + x^{14} + x^{15}$	لا شيء	PRBS: $1 + x + x^3 + x^{12} + x^{16}$ مبتور لفترة 4 894 بايتة	PRBS: $1 + x^{14} + x^{15}$	PRBS: $1 + x^{14} + x^{15}$

الجـــدول 2 *(تابع)*

ج) الخصائص التقنية (إرسال) (تابع)

	النظام A	النظام B	النظام C	النظام D	النظام E
تتابع التحميل إلى سجلّ تتابع ثنائي شبه عشوائي (PRBS)	100101010000000	غير مطبّق	0001_h	100101010000000	100101010000000
نقطة الاختيار العشوائي	قبل مشفّر RS	غير مطبّقة	بعد مشفّر RS	بعد مشفّر RS	قبل مشفّر BCH/بعد تقابل البتة والإدراج الاختياري للموجة الدليلية
التشذير بين الشفرات الداخلية والخارجية	بتلافيف، $I = 12, M = 17$ (فوربي)	بتلافيف، $N2 = 146، N1 = 13$ (رمزي 2)	بتلافيف، $I = 12, M = 19$ (فوربي)	فدرة (العمق = 8)	(2)
التشفير الداخلي	بتلافيف	بتلافيف	بتلافيف	بتلافيف، شبكي (8-PSK: TCM 2/3)	LDPC
طول القيود	$K = 7$	$K = 7$	$K = 7$	$K = 7$	غير مطبّق
الشفرة الأساسية	1/2	1/2	1/3	1/2	غير مطبّقة
مولّد كثير الحدود	171، 133 (ثماني)	171، 133 (ثماني)	117، 135، 161 (ثماني)	171، 133 (ثماني)	غير مطبّق
طول فدرة الشفرة الداخلية	غير مطبّق	غير مطبّق	غير مطبّق	غير مطبّق	رتل FEC طبيعي = 64 800 بتة رتل FEC قصير = 16 200 بتة

الجـــدول 2 *(تابع)*

ج) الخصائص التقنية (إرسال) (تتمة)

	النظام A	النظام B	النظام C	النظام D	النظام E
معدّل التشفير الداخلي	1/2، 2/3، 3/4 ، 5/6، 7/8	1/2، 2/3، 7/6	1/2، 2/3، 3/4، 3/5، 4/5، 5/6، 5/11، 7/8	1/2، 2/3، 3/4 ، 5/6، 7/8	QPSK: 1/4، 1/3، 2/5، 1/2، 3/5، 2/3 ، 3/4، 4/5، 5/6، 8/9، 9/10 8-PSK: 3/5، 2/3، 3/4، 5/6، 8/9، 9/10 16-APSK: 2/3، 3/4، 4/5، 5/6، 8/9 ، 9/10 32-APSK: 3/4، 4/5، 5/6، 8/9، 9/10
تحكّم بالإرسال	لا شيء	لا شيء	لا شيء	TMCC	بنية ترتيل طبقة النطاق الأساسي والطبقة المادية؛ موجات دليلية اختيارية
بنية الرتل	لا شيء	لا شيء	لا شيء	48 فجوة/رتل 8 أرتال/الدورة	رتل FEC طبيعي = 64 800 بتة رتل FEC قصير = 16 200 بتة
قد الرزمة (بايتات)	188	130	188	188	188 من أجل MPEG-TS. غير موصّف من أجل GS
طبقة النقل	MPEG-2	غير MPEG	MPEG-2	MPEG-2	غير موصّفة
المدى الترددي للوصلة الساتلية الهابطة (GHz)	مصمم أصلاً من أجل 11/12 دون استبعاد المجالات الترددية الأخرى	مصمم أصلاً من أجل 11/12 دون استبعاد المجالات الترددية الأخرى	مصمم أصلاً من أجل 11/12 و4 مجالات ترددية ساتلية أخرى	مصمم أصلاً من أجل 11/12 دون استبعاد المجالات الترددية الأخرى	مصمم أصلاً من أجل 11/12 و17/21 دون استبعاد المجالات الترددية الأخرى

الجـــدول 2 *(تابع)*

د) الخصائص التقنية (تشفير المصدر)

		النظام A	النظام B	النظام C	النظام D	النظام E	
تشفير المصدر الفيديوي	قواعد التركيب	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-4 AVC MPEG-2 تنوعية	
	السويات	السوية الرئيسية على الأقل	السوية الرئيسية على الأقل	السوية الرئيسية على الأقل	السوية الرئيسية والعالية	السوية –3 و4	
	المظاهر الجانبية	المظهر الجانبي الرئيسي على الأقل	المظهر الجانبي الرئيسي على الأقل	المظهر الجانبي الرئيسي على الأقل	المظهر الجانبي الرئيسي	المظهر الجانبي الرئيسي	
النسب الباعية		4:3 16:9 (2 1:12 اختيارياً)	4:3 16:9	4:3 16:9	4:3 16:9	3: 4 9: 16 (1:12.2 اختيارياً)	
أنساق الصورة المدعومة		غير مقيّدة، يوصى بـ: 576 × 720 576 × 704 576 × 544 480 × 576 576 × 352 288 × 352	480 × 720 480 × 704 480 × 544 480 × 480 480 × 352 240 × 352 720 × 1 280 1 024 × 1 280 1 080 × 1 920	576 × (704)720 480 × (704)720 480 × 528 576 × 528 480 × 352 576 × 352 288 × 352 240 × 352	1 080 × 1 920 1 080 × 1 440 1 280 × 720 720 × 480 544 × 480 480 × 480 352 × 240 (1)،* 176 × 120 (1)،* (* من أجل الإرسال التراتبي)	يوصى بها من أجل MPEG-2: 576 × 720 576 × 704 576 × 544 576 × 480 576 × 352 288 × 352 يوصى بها من أجل MPEG-4 AVC: 480 × 720 640 × 480 480 × 544 480 × 480 480 × 352 352 × 240 1 080 × 1 920 1 080 × 1 440 1 080 × 1 280 960 × 1 080 1 280 × 720 960 × 720 720 × 640	
معدلات الأرتال عند المرقاب		25	29,97	25 أو 29,97	29.97 أو 59,94	25 أو 50، 24، 30 أو 60	

الجـــدول 2 *(تابع)*

د) الخصائص التقنية (تشفير المصدر) (تتمة)

	النظام A	النظام B	النظام C	النظام D	النظام E
فك تشفير المصدر الصوتي	MPEG-2، الطبقتان الأولى والثانية	MPEG-1، الطبقة الثانية؛ ATSC A/53 (AC3)	ATSC A/53 أو الطبقتان الأولى والثانية	MPEG-2 AAC	الطبقة الأولى من MPEG-1 أو الطبقة الثانية من MPEG-2 أو الطبقة الثانية السمعية المتلائمة ارتجاعياً من MPEG-2
معلومات الخدمة	ETS 300 468	نظام B	ATSC A/56 SCTE DVS/011	ETS 300 468	مدعومة
EPG	ETS 300 707	نظام B	قابلة للانتقاء من قبل المستعمل	قابلة للانتقاء من قبل المستعمل	مدعومة
تلتكست	مدعومة	غير موصّفة	غير موصّفة	قابلة للانتقاء من قبل المستعمل	مدعومة
وضع العناوين الفرعية	مدعومة	مدعومة	مدعومة	مدعومة	مدعومة
الحواشي المشفّرة	غير موصّفة	نعم	نعم	مدعومة	غير موصّفة

(1) هي قابلة للتطبيق أيضاً على جمع الأخبار والخدمات التفاعلية والتطبيقات الساتلية الأخرى.

(2) رغم أن النظام E لا يستعمل مشذّر بين الشفرات الداخلية والخارجية، هناك مشذّر بتات قبل منفّذ تقابل الرموز (باستثناء QPSK).

الجـــدول 3

جدول خصائص المقارنة

التشكيل والتشفير		النظام A		النظام B		النظام C		النظام D		النظام E	
أساليب تشكيل مدعوة إفرادياً وعلى نفس حامل الموجة		QPSK		QPSK		QPSK		8-PSK وQPSK وBPSK		QPSK، 8-PSK، 16-APSK، 32-APSK	
الأداء (يعرّف نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء *(C/N)* المطلوبة وشبه الخالية من الخطأ (QEF) (بوحدة bit/s/Hz)		الكفاءة الطيفية[1]	*C/N* من أجل QEF	الكفاءة الطيفية	*C/N* من أجل QEF	الكفاءة الطيفية[3]	*C/N* من أجل QEF	الكفاءة الطيفية	*C/N* من أجل QEF[5]	الكفاءة الطيفية[7]	*C/N* من أجل QEF
الأساليب	الشفرة الداخلية										
BPSK Conv.	1/2	غير مستعمل		غير مستعمل		غير مستعمل		0,35	0,2	غير مستعمل	
QPSK	1/4	غير مستعمل		غير مستعمل		غير مستعمل		غير مستعمل		0,49	2,3−
	1/3	غير مستعمل		غير مستعمل		غير مستعمل		غير مستعمل		0,66	1,2−
	2/5	غير مستعمل		غير مستعمل		غير مستعمل		غير مستعمل		0,79	0,3−
	5/11	غير مستعمل		غير مستعمل		0,54/0,63	2,8/3,0	غير مستعمل		غير مستعمل	
	1/2	0,72	4,1	0,74	3,8	0,59/0,69	3,3/3,5	0,7	3,2	0,99	1,0
	3/5	لا		غير مستعمل		0,71/0,83	4,5/4,7			1,19	2,2
	2/3	0,96	5,8	0,98	5	0,79/0,92	5,1/5,3	0,94	4,9	1,32	3,1
	3/4	1,08	6,8	غير مستعمل		0,89/1,04	6,0/6,2	1,06	5,9	1,49	4,0
	4/5	غير مستعمل		غير مستعمل		0,95/1,11	6,6/6,8	غير مستعمل		1,59	4,7
	5/6	1,2	7,8	غير مستعمل		0,99/1,15	7,0/7,2	1.18	6,8	1,65	5,2
	6/7	غير مستعمل		1,26	7,6	غير مستعمل		غير مستعمل		غير مستعمل	
	7/8	1,26	8,4	غير مستعمل		1,04/1,21	7,7/7,9	1,24	7,4	غير مستعمل	
	8/9	غير مستعمل		غير مستعمل		غير مستعمل		غير مستعمل		1,77	6,2
	9/10	غير مستعمل		غير مستعمل		غير مستعمل		غير مستعمل		1,79	6,4

الجـــدول 3 *(تابع)*

التشكيل والتشفير		النظام A	النظام B	النظام C	النظام D		النظام E	
شبكة 8-PSK		غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل	1.4	8.4	غير مستعمل	
8-PSK	3/5	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل		1,78	5,5
	2/3	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل		1,98	6,6
	3/4	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل		2,23	7,9
	5/6	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل		2,48	9,3
	8/9	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل		2,65	10,7
	9/10	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل		2,68	11,0
16-APSK	2/3	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل		2,64	9,0
	3/4	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل		2,97	10,2
	4/5	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل		3,17	11,0
	5/6	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل		3,30	11,6
	8/9	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل		3,52	12,9
	9/10	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل		3,57	13,1
32-APSK	3/4	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل		3,70	12,7
	4/5	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل		3,95	13,6
	5/6	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل		4,12	14,3
	8/9	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل		4,40	15,7
	9/10	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل	غير مستعمل		4,46	16,0
هل لديه مقدرة التحكم التراتبي بالتشكيل		لا	لا	لا	نعم		نعم، في الخيار المتلائم ارتجاعياً	
خصائص معدّل الرموز		متغيّرة باستمرار	ثابتة، 20 MBd	متغيرة، 19,5 أو 29,3 MBd	متغيّرة باستمرار		متغيّرة باستمرار	

الجـــدول 3 *(تتمة)*

النقل وتعدد الإرسال	النظام A	النظام B	النظام C	النظام D	النظام E
طول الرزمة (بالبايتات)	188	130	188	188	من أجل تدفقات النقل (TS)، وقابل للتعريف إلى حد 64K من أجل التدفق التنوعي (GS). تدفقات الرزم ذات الأطوال المتغيّرة، أو التدفقات غير المرزّمة أو التدفقات ذات الأطوال الزائدة عن 64K ممكنة وتُعامل كتدفقات مستمرة.
تدفقات النقل المدعومة	MPEG-2	System B	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2 وتدفق تنوعي (GS)
تقابل تدفق النقل مع القنوات الساتلية	تدفق واحد لكل قناة	تدفق واحد لكل قناة	تدفق واحد لكل قناة	1 إلى 8 من التدفقات لكل قناة	1 إلى 255 من التدفقات لكل قناة
دعم لتعدد الإرسال الإحصائي للتدفقات الفيديوية	لا تحديد ضمن تدفق نقل	لا تحديد ضمن تدفق نقل	لا تحديد ضمن تدفق نقل	لا تحديد ضمن تدفق نقل. وقد يكون ممكناً أيضاً على مدى تدفقات النقل ضمن قناة ساتلية	لا تحديد ضمن تدفق نقل. لا تحديدات على التدفق التنوعي

(1) عند نسبة خطأ في البتات (BER) > 10^{-10}. تشير قيم *C/N للنظام* A إلى نتائج محاكاة حاسوبية تتحقق على سلسلة ساتلية افتراضية تشمل IMUX وTWTA وOMUX مع تناقص تشكيل بمقدار 0,35. وهي تقوم على افتراض تشفير فيتربي متدرج القرار في المستقبل. وقد اعتُمدت نسبة عرض نطاق إلى الرمز قدرها 1,28. وتتضمن أرقام *C/N* انحطاطاً محسوباً بمقدار 0,2 dB بسبب تحديدات عرض النطاق على مرشاحي IMUX وOMUX وتشوّه لا خطي على TWTA عند التشبّع قدره 0,8 dB وانحطاط مودم قدره 0,8 dB. وتنطبق الأرقام على $BER = 2 \times 10^{-4}$ قبل RS (204,188) الذي يقابل شبه الخلو من الخطأ (QEF) عند خرج مشفّر (RS). ولا يؤخذ الانحطاط الناجم عن التداخل في الحسبان.

(2) عند نسبة خطأ في البتات (BER) قدرها 1×10^{-12}.

(3) حسبما تُحسب من $2(R_C)(188/204)/1,55$ أو من $2(R_C)(188/204)/1,33$ من أجل القولبة الطيفية للإرسال الطبيعي والمبتور لنظام C، كلٍ في ما يخصه، حيث R_C هو معدّل الشفرة بتلافيف.

(4) نسبة E_s/N_0 النظرية لتشكيل QPSK (بتتان لكل رمز) أي نسبة *C/N* كما تُقاس في عرض نطاق معدّل بود من أجل القولبة الطيفية للإرسال العادي والمبتور، كلٍ في ما يخصه. وهي لا تتضمن هامش تنفيذ العتاد أو هامش خسارة المرسل المستجيب الساتلي.

(5) اشتُقت هذه القيم من عمليات المحاكاة الحاسوبية واعتُبرت قيماً نظرية. تنطبق القيم على $BER = 2 \times 10^{-4}$ قبل RS (204,188) مع عرض نطاق معدّل بود (عرض نطاق نايكويست). وهي لا تتضمن هامش تنفيذ العتاد أو هامش خسارة المرسل المستجيب الساتلي.

(6) اشتُقت هذه القيم من عمليات المحاكاة الحاسوبية، و50 تكرار فك تشفير نقطة ثابتة LDPC، استعادة مثالية للموجة الحاملة والتزامن، وبدون ضوضاء طور، وقناة AWGN. طول رتل FEC 64 800 بتة. تنطبق القيم على $PER = 10^{-7}$ حيث PER هي النسبة، بعد التصحيح الأمامي للأخطاء عند المستقبل، بين رزم تدفق النقل المفيدة (188 بايتة) المتأثرة بالخطأ وإجمالي الرزم المستَقبَلة. وهي لا تتضمن هامش تنفيذ العتاد أو هامش خسارة المرسل المستجيب الساتلي.

(7) معرّفة كنسبة البتات المفيدة لكل وحدة معدّل رموز دون موجات دليلية.

المـــرفق 1

EN 302 307 V1.1.2

_____