الاتحـــــــــــاد الدولـــــــــــي للاتصـــــــــــالات

ITU-T

قطاع تقييس الاتصالات
في الاتحاد الدولي للاتصالات

J.83
(2007/12)

السلسلة J: الشبكات الكبلية وإرسال إشارات تلفزيونية وبرامج صوتية وإشارات أخرى متعددة الوسائط

الإرسال الرقمي للإشارات التلفزيونية

الأنظمة الرقمية المتعددة البرامج لخدمات التلفزيون والصوت والبيانات من أجل التوزيع الكبلي

التوصية ITU-T T.J.83

الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-T J.83

الأنظمة الرقمية المتعددة البرامج لخدمات التلفزيون والصوت والبيانات من أجل التوزيع الكبلي

ملخص

تغطي التوصية ITU-T J.83 تعريف هيكل التأطير، وتشفير القناة والتشكيل لإشارات البرامج الرقمية المتعددة في خدمات التلفزيون والصوت والبيانات التي توزعها الشبكات الكبلية.

وتضم هذه التوصية أربعة ملحقات (الملحقات A وB وC وD) توفر المواصفات للأنظمة الكبلية الأربعة للتلفزيون الرقمي المقدمة إلى قطاع تقييس الاتصالات. ويبين ذلك أن عدداً من الأنظمة الكبلية للتلفزيون الرقمي قد طُور ونُفذ بصورة مؤقتة قبل اضطلاع الاتحاد الدولي للاتصالات بمسعى التقييس هذا.

وتوصي هذه التوصية القائمين على تنفيذ خدمات رقمية جديدة متعددة البرامج على شبكات الكبل الحالية والمستقبلية باستخدام أحد الأنظمة التي يرد لها توصيف هيكل التأطير وتشفير القناة والتشكيل في الملحقات A وB وC وD.

التسلسل التاريخي

الصيغة	التوصية	تاريخ الموافقة	لجنة الدراسات	معرِّف هوية وحيد*
1.0	ITU-T J.83	1995-10-24	9	11.1002/1000/1366
1.1	ITU-T J.83 (1995) Amd. 1	1996-10-18	9	11.1002/1000/3914
2.0	ITU-T J.83	1997-04-22	9	11.1002/1000/4012
2.1	ITU-T J.83 (1997) Amd. 1	2006-11-29	9	11.1002/1000/8928
3.0	ITU-T J.83	2007-12-14	9	11.1002/1000/9301

* للنفاذ إلى التوصية، اطبع العنوان الإلكتروني http://handle.itu.int/ في حقل العنوان بمتصفح الويب الخاص بك، متبوعاً بمعرف الهوية الفريد للتوصية. على سبيل المثال، http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en.

تمهيد

الاتحاد الدولي للاتصالات وكالة متخصصة للأمم المتحدة في ميدان الاتصالات وتكنولوجيات المعلومات والاتصالات (ICT). وقطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) هو هيئة دائمة في الاتحاد الدولي للاتصالات. وهو مسؤول عن دراسة المسائل التقنية والمسائل المتعلقة بالتشغيل والتعريفة، وإصدار التوصيات بشأنها بغرض تقييس الاتصالات على الصعيد العالمي.

وتحدد الجمعية العالمية لتقييس الاتصالات (WTSA) التي تجتمع مرة كل أربع سنوات المواضيع التي يجب أن تدرسها لجان الدراسات التابعة لقطاع تقييس الاتصالات وأن تُصدر توصيات بشأنها.

وتتم الموافقة على هذه التوصيات وفقاً للإجراء الموضح في القرار 1 الصادر عن الجمعية العالمية لتقييس الاتصالات.

وفي بعض مجالات تكنولوجيا المعلومات التي تقع ضمن اختصاص قطاع تقييس الاتصالات، تُعد المعايير اللازمة على أساس التعاون مع المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (ISO) واللجنة الكهرتقنية الدولية (IEC).

ملاحظة

تستخدم كلمة "الإدارة" في هذه التوصية لتدل بصورة موجزة سواء على إدارة اتصالات أو على وكالة تشغيل معترف بها.

والتقيد بهذه التوصية اختياري. غير أنها قد تضم بعض الأحكام الإلزامية (بهدف تأمين قابلية التشغيل البيني والتطبيق مثلاً). ويعتبر التقيّد بهذه التوصية حاصلاً عندما يتم التقيّد بجميع هذه الأحكام الإلزامية. ويستخدم فعل "يجب" وصيغ ملزمة أخرى مثل فعل "ينبغي" وصيغها النافية للتعبير عن متطلبات معينة، ولا يعني استعمال هذه الصيغ أن التقيّد بهذه التوصية إلزامي.

حقوق الملكية الفكرية

يسترعي الاتحاد الانتباه إلى أن تطبيق هذه التوصية أو تنفيذها قد يستلزم استعمال حق من حقوق الملكية الفكرية. ولا يتخذ الاتحاد أي موقف من القرائن المتعلقة بحقوق الملكية الفكرية أو صلاحيتها أو نطاق تطبيقها سواء طالب بها عضو من أعضاء الاتحاد أو طرف آخر لا تشمله عملية إعداد التوصيات.

وعند الموافقة على هذه التوصية، كان الاتحاد قد تلقى إخطاراً بملكية فكرية تحميها براءات الاختراع يمكن المطالبة بها لتنفيذ هذه التوصية. ومع ذلك، ونظراً إلى أن هذه المعلومات قد لا تكون هي الأحدث، يوصى المسؤولون عن تنفيذ هذه التوصية بالاطلاع على قاعدة البيانات الخاصة ببراءات الاختراع في مكتب تقييس الاتصالات (TSB) في الموقع http://www.itu.int/ITU-T/ipr/.

© ITU 2019

جميع الحقوق محفوظة. لا يجوز استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي وسيلة كانت إلا بإذن خطي مسبق من الاتحاد الدولي للاتصالات.

جدول المحتويات

الصفحة

1 مجال التطبيق 1
2 المراجع 1
3 المصطلحات والتعاريف 1
4 الرموز والأسماء المختصرة 2
1.4 الرموز 2
2.4 المختصرات 3
5 الأنظمة الرقمية المتعددة البرامج من أجل التوزيع الكبلي 4
الملحق A – النظام A الرقمي المتعدد البرامج 6
1.A مقدمة 6
2.A المواصفة 6
الملحق B – النظام B الرقمي المتعدد البرامج 7
1.B مقدمة 7
2.B مفهوم النظام الكبلي 7
3.B طبقة النقل MPEG-2 8
4.B تأطير النقل MPEG-2 8
5.B التصحيح الأمامي للأخطاء 12
6.B التشكيل وإزالة التشكيل 25
الملحق C – النظام C الرقمي المتعدد البرامج 27
1.C مقدمة 27
2.C مفهوم النظام الكبلي 27
3.C طبقة النقل MPEG-2 28
4.C هيكل التأطير 28
5.C تشفير القنوات 29
6.C التشكيل 31
الملحق D – النظام D الرقمي المتعدد البرامج 37
1.D مقدمة 37
2.D مفهوم النظام الكبلي 37
3.D طبقة النقل MPEG-2 38
4.D هيكل التأطير 38
5.D تشفير القناة 40
6.D التشكيل 45
7.D المستقبل الكبلي للنظام 16-VSB 46
8.D الأساليب الأخرى للنظام VSB 47
بيبليوغرافيا 55

مقدمة

بلغ تطور التكنولوجيات الرقمية الجديدة اليوم النقطة التي يكون من الواضح عندها أنها تتيح للأنظمة الرقمية توفير مزايا كبيرة، مقارنة بالتقنيات التماثلية التقليدية، من حيث نوعية الصورة والصوت، وكفاءة الطيف والقدرة، ومرونة الخدمات، وتقارب الوسائط المتعددة، وربما انخفاض تكاليف المعدات. وعلاوة على ذلك، فإن استعمال التوزيع الكبلي لتقديم إشارات فيديوية وسمعية إلى أفراد المشاهدين والمستمعين يستمر بالنمو، وأصبح بالفعل الشكل السائد للتوزيع في أجزاء كثيرة من العالم. ومن الواضح أيضاً أن هذه الفوائد المحتملة يمكن تحقيقها على نحو أفضل من خلال وفورات الإنتاج الكبير الناجمة عن الاستعمال الواسع النطاق للأجهزة الرقمية المصممة لتكون قابلة للتنفيذ بسهولة على البنية التحتية القائمة والتي تستفيد من عدد كبير من أوجه التآزر المحتملة مع الأنظمة السمعية البصرية ذات الصلة.

وتشجع الإدارات وشركات التشغيل الخاصة التي تخطط لإدخال خدمات الكبل للتلفزيون الرقمي على التفكير في استعمال أحد الأنظمة الواردة في الملحقات A وB وC وD، وعلى البحث عن الفرص لتحقيق المزيد من التقارب، بدلاً من وضع نظام مختلف يقوم على التكنولوجيات ذاتها.

وقد تضمنت الطبعة الثانية (1997) لهذه التوصية التعديل 1 (1996/10) الذي أحدث التغييرات التالية بالنسبة للطبعة الأولى للتوصية.

أ) يشتمل الملحق B على مواصفة للإرسال 256-QAM؛

ب) في الملحق B، جرى تحديد أسلوبين متمايزين للتشغيل يتعلقان بمقدرة التشذير، يعرفان باسم *المستوى 1* و*المستوى 2*. يخصص المستوى 1 للإرسال 64-QAM فقط وهو أسلوب موجود بالفعل في الطبعة الأولى للملحق B. أما الأسلوب 2 فيشمل نمطي الإرسال 64-QAM و256-QAM، وبإمكانه توفير تشذير متغير لكل من مخططي التشكيل.

ج) في الطبعة الأولى للملحق D، جرى تعريف 24 بتة تحدد الأسلوب VSB (النطاق الجانبي المتبقي) للبيانات في الإطار وتحديد أسلوبين هما: 16-VSB Cable و8-VSB Terrestrial (تشفير شبكي). وفي الطبعة الثانية، جرى تعريف ثلاثة أساليب أخرى من النوع VSB هي: 2-VSB و4-VSB و8-VSB.

وأدخلت الطبعة الثالثة (2007) لهذه التوصية تحسينات على التشكيل بإضافة الأسلوبين 128 QAM و256 QAM في الملحق A والأسلوب 256 QAM في الملحق C.

الأنظمة الرقمية المتعددة البرامج لخدمات التلفزيون والصوت والبيانات من أجل التوزيع الكبلي

1 مجال التطبيق

يشمل نطاق هذه التوصية تعريف هيكل التأطير وتشفير القناة والتشكيل لإشارات البرامج الرقمية المتعددة للتلفزيون والصوت والبيانات التي توزعها شبكات الكبل (مثل أنظمة التلفزيون الكبلي (CATV)) ربما في أسلوب تعدد الإرسال بتقسيم التردد. وهناك توصية ثانية تحدد خصائص الإرسال المتعلقة بإشارات البرامج الرقمية المتعددة التي توزع عبر شبكات الهوائي الجماعي للاستقبال التلفزيوني الساتلي (SMATV).

الملاحظة 1 – يفترض أن يتشكل دخل النظام من طبقة النقل MPEG-2؛ وهذا ما يوفر بعض السعة لنقل البيانات المساعدة في قناة الذهاب، التي يمكن استعمالها لتلبية احتياجات الخدمات التفاعلية (لا يندرج وصف توفير قناة العودة وخصائصها ضمن نطاق هذه التوصية).

وبما أن طبقة النقل MPEG-2 تتميز بدرجة عالية من المرونة، فمن الممكن تشكيلها لتقديم أي تركيبة مطلوبة من إشارات التلفزيون والصوت والبيانات (سواء كان الصوت متعلقاً أو غير متعلق بمحتوى إشارة الفيديو، ومع مختلف مستويات الجودة الممكنة). ويمكن أيضاً تخصيص طبقة النقل بكاملها لتقديم البرامج الصوتية، رغم أنها لا تحقق بالضرورة الأداء الأمثل بالنسبة لهذا التطبيق.

ويمكن أن تتناول إحدى التوصيات في المستقبل الحالة الخاصة بتوصيل إرسال متعدد يتضمن إشارات صوتية فقط.

تهدف هذه التوصية إلى ضمان حصول مصممي ومشغلي شبكات التلفزيون الكبلي (مثلاً CATV) التي تنقل إشارات البرامج المتعددة على المعلومات التي يحتاجونها لإنشاء شبكات مُرضية تماماً والمحافظة عليها. كما أنها توفر المعلومات التي يحتاجها مصممو ومصنّعو المعدات (بما في ذلك المستقبِلات) اللازمة لإشارات البرامج الرقمية المتعددة التي توزعها شبكات الكبل.

الملاحظة 2 – لقد نُظِّم هيكل هذه التوصية ومحتواها بحيث يسهل استعمالها على من ألِفوا مواد المصدر الأصلي؛ ولذا لم يُطبَّق فيها الأسلوب المعتاد في توصيات قطاع تقييس الاتصالات.

2 المراجع

تتضمن التوصيات التالية لقطاع تقييس الاتصالات وغيرها من المراجع أحكاماً تشكل من خلال الإشارة إليها في هذا النص جزءاً لا يتجزأ من هذه التوصية. وقد كانت جميع الطبعات المذكورة سارية الصلاحية في وقت النشر. ولما كانت جميع التوصيات والمراجع الأخرى تخضع إلى المراجعة، يرجى من جميع المستعملين لهذه التوصية السعي إلى تطبيق أحدث طبعة للتوصيات والمراجع الأخرى الواردة أدناه. وتُنشر بانتظام قائمة توصيات قطاع تقييس الاتصالات السارية الصلاحية. والإشارة إلى وثيقة ما في هذه التوصية لا يضفي على الوثيقة في حد ذاتها صفة التوصية.

[1] Recommendation ITU-R BO.1211 (1995), *Digital multi-programme emission systems for television, sound and data services for satellites operating in the 11/12 GHz frequency range*.

[2] Recommendation ITU-T H.222.0 (1995) | ISO/IEC 13818-1:1996, *Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems*.

[3] European Telecommunications Standards Institute (ETSI) EN 300 429 V1.2.1 (1998-04), *Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for cable systems*.

3 المصطلحات والتعاريف

لا تستخدم مصطلحات وتعاريف غير اعتيادية في هذه التوصية.

4 الرموز والأسماء المختصرة

1.4 الرموز

تستخدم هذه التوصية الرموز التالية:

α عامل التناقص *(Roll-off factor)*

A_k، B_k (البتات الأكثر دلالة عند خرج محوّل البايتة إلى m بايتة)
(Most Significant Bits at the output of the Byte to m-tuple converter)

byte ثماني بتات *(Eight bits)*

f_0 تردد القناة المركزي *(Channel centre frequency)*

f_N تردد نيكويست *(Nyquist frequency)*

$g(x)$ متعددة الحدود المولدة لشفرة ريد–سولومون (RS) *(RS code generator polynomial)*

$G_{(256)}$ متعددة الحدود المولدة لبدائية الحقل RS *(RS primitive field generator polynomial)*

$G_{(16)}$ متعددة الحدود المولدة للتوزيع العشوائي *(Randomizer generator polynomial)*

I عمق التشذير (بايتات) *(Interleaving depth (bytes))*

I، Q المكونتان المطاورة والتربيعية للإشارة المشكّلة
(In-phase, Quadrature phase components of the modulated signal)

j دليل الفرع *(Branch index)*

k عدد البايتات المقابلة لعدد n من الرموز *(Number of bytes mapped into n symbols)*

m الإرسال QAM بمستوى مرفوع إلى القوة 2m: 4، 5، 6 للأساليب 16-QAM، 32-QAM، 64-QAM، على التوالي *(Power of 2m-level QAM: 4,5,6 for 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, respectively)*

M عمق فرع المشذر التلافيفي من أجل j = 1، M = N/I
(Convolutional interleaver branch depth for j = 1, M = N/I)

ms ملليثانية *(millisecond)*

n عدد الرموز المقابلة لعدد k من البايتات *(Number of symbols mapped from k bytes)*

N طول الإطار المحمي من الخطأ (بايتات) *(Error protected frame length (bytes))*

$p(x)$ متعددة الحدود المولدة للحقل RS *(RS field generator polynomial)*

$PN(x)$ تتابع شبه عشوائي، يحدده العدد الذي يلي الرمز
(Pseudorandom sequence, identified by the number following the symbol)

q عدد البتات: 2، 3، 4 للأساليب 16-QAM، 32-QAM، 64-QAM، على التوالي
(Number of bits: 2,3,4 for 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, respectively)

R تتابع موزع عشوائياً *(Randomized sequence)*

r_m تموّج داخل النطاق (dB) *(In-band ripple)*

R_s معدل الرموز المقابل لعرض نطاق نيكويست الثنائي الجانب للإشارة المشكلة
(Symbol rate corresponding to bilateral Nyquist bandwidth of modulated signal)

R_u معدل البتات المفيدة بعد معدد إرسال النقل MPEG-2
(Useful bit rate after MPEG-2 transport multiplexer)

$R_{u'}$ معدل البتات بعد المشفر الخارجي RS *(Bit rate after RS outer coder)*

T عدد البايتات التي يمكن تصحيحها في رزمة RS محمية من الخطأ
(Number of bytes which can be corrected in RS error-protected packet)

T_s دورة الرموز *(Symbol period)*

2.4 المختصرات

تستخدم هذه التوصية المختصرات التالية:

ATM أسلوب النقل اللامتزامن *(Asynchronous Transfer Mode)*

BB النطاق الأساسي *(BaseBand)*

BER نسبة الخطأ في البتات *(Bit Error Ratio)*

bps بتة في الثانية *(Bits per second)*

CATV التلفزيون الكبلي *(Community Antenna Television)*

C/N نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء *(Carrier to Noise ratio)*

DTVC التلفزيون الكبلي الرقمي *(Digital Television by Cable)*

FEC التصحيح الأمامي للأخطاء *(Forward Error Correction)*

FIFO نمط الخدمة بحسب ترتيب الوصول *(First In First Out)*

HEC التحكم في خطأ الرأسية *(Header Error Control)*

HEX ستة عشري *(Hexadecimal)*

IF التردد المتوسط *(Intermediate Frequency)*

IRD مفكك الشفرة المدمج في المستقبِل *(Integrated Receiver Decoder)*

LSB البتة الأقل دلالة *(Least Significant Bit)*

MMDS نظام التوزيع متعدد النقاط ومتعدد القنوات *(Multichannel Multipoint Distribution System)*

MPEG فريق خبراء الصور المتحركة *(Moving Picture Experts Group)*

MSB البتة الأكثر دلالة *(Most Significant Bit)*

MUX تعدد الإرسال *(Multiplex)*

P التعادلية *(Parity)*

PDH تراتب رقمي شبه متزامن *(Plesiochronous Digital Hierarchy)*

PN ضوضاء شبه عشوائية *(Pseudorandom Noise)*

ppm أجزاء في الثانية *(Parts per million)*

PRBS تتابع اثنيني شبه عشوائي *(PseudoRandom Binary Sequence)*

QAM التشكيل الاتساعي التربيعي *(Quadrature Amplitude Modulation)*

QEF شبه خالية من الخطأ *(Quasi Error Free)*

RF تردد راديوي *(Radio Frequency)*

RS شفرة Reed-Solomon *(Reed-Solomon)*

SMATV تلفزيون بهوائي جماعي للاستقبال الساتلي *(Satellite Master Antenna Television)*

SNR نسبة الإشارة إلى الضوضاء *(Signal-to-Noise Ratio)*

sps رمز في الثانية *(Symbols per second)*

Sync إشارة التزامن *(Synchronizing signal)*

TBD يحدّد لاحقاً *(To Be Determined)*

TDM تعدد الإرسال بتقسيم الزمن *(Time Division Multiplex)*

TS تدفق النقل *(Transport Stream)*

VLSI التكامل على نطاق واسع جداً *(Very Large Scale Integration)*

VSB نطاق جانبي متبقّ *(Vestigial SideBand)*

XOR الدالة OR الحصرية *(Exclusive OR)*

2-VSB نطاق جانبي متبقي ثنائي المستوى *(2 level VSB)*

4-VSB نطاق جانبي متبقي رباعي المستويات *(4 level VSB)*

8-VSB نطاق جانبي متبقي ثماني المستويات *(8 level VSB)*

16-VSB نطاق جانبي متبقي ستة عشري المستويات *(16 level VSB)*

5 الأنظمة الرقمية المتعددة البرامج من أجل التوزيع الكبلي

توصي هذه التوصية القائمين على تنفيذ خدمات البرامج الرقمية المتعددة على شبكات الكبل الحالية والمستقبلية باستخدام أحد الأنظمة التي يرد لها توصيف هيكل التأطير وتشفير القناة والتشكيل في الملحقات A وB وC وD. وترد في الجدول 1 مقارنة بين هذه المواصفات تشير إلى المزايا المشتركة.

الجدول 1 – مقارنة بين المواصفات بشكل موجز تشير إلى المزايا المشتركة

البند		الملحق B	الملحق A	الملحق C	الملحق D
إشارات الدخل		تدفق النقل MPEG-2 معدّل. يستبدل المجموع التدقيقي التعادلي ببايت المزامنة، ما يوفر وظيفة محسنة لتحديد الرزم وقدرة على كشف الأخطاء مستقلة عن طبقة FEC. (انظر 4.B)	تدفق النقل MPEG-2 (انظر الفقرة 5 في المرجع [3]، 3.C، 3.D)		
هيكل التأطير		يتألف إطار FEC من ذيلية إشارة تزامن مؤلفة من 42 أو 40 بتة تلي 60 أو 88 كتلة RS، تتضمن الكتلة الواحدة منها 128 رمزاً. يتألف الرمز RS من 7 بتات. وبالتالي يوجد في الإطار FEC ما مجموعه 802 53 أو 888 78 بتة لكل من 64-QAM أو 256-QAM على التوالي. (انظر 3.5.B)	يستند تنظيم التأطير على هيكل رزم النقل MPEG-2 (انظر الفقرة 6 في المرجع [3]، 4.C، 4.D)		
تشفير القناة	التوزيع العشوائي	متعددة حدود من ثلاث كلمات للتتابع شبه العشوائي: $x^3 + x + \alpha^3$ فوق مجال غالوا GF 128. (انظر 4.5.B)		متعددة حدود من 15 بتة للتتابع الاثنيني شبه العشوائي: $1 + x^{14} + x^{15}$ (انظر الفقرة 1.7 في المرجع [3]، 1.5.C)	متعددة حدود من 16 بتة للتتابع الاثنيني شبه العشوائي: $1 + x + x^3 + x^6 + x^7 + x^{11} + x^{12} + x^{13} + x^{16}$. (انظر 1.5.D)
	التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC)	تشفير متسلسل، RS (128, 122) GF 256 مع تشفير تلافيفي. (انظر 1.5.B)		RS (204, 188) GF 256 (انظر الفقرة 2.7 في المرجع [3]، 2.5.C)	RS (207, 187) GF 256 (انظر 2.5.D)
	التشذير	عمق التشذير التلافيفي: I = 128، 64، 32، 16، 8 J = 1، 2، 3، 4، 5، 6، 7، 8، 16. (انظر 2.5.B)		عمق التشذير التلافيفي: I = 12. (انظر الفقرة 3.7 في المرجع [3]، 3.5.C)	عمق التشذير التلافيفي: I = 52. (انظر 3.5.D)

الجدول 1 – مقارنة بين المواصفات بشكل موجز تشير إلى المزايا المشتركة

البند		الملحق B	الملحق A	الملحق C	الملحق D
التشكيل	التقابل بين البايتات والرموز	انظر 5.5.B	انظر الفقرة 8 في المرجع [3]، 1.6.C		انظر 1.6.D
	التشفير التفاضلي	انظر 5.5.B	انظر الفقرة 8 في المرجع [3]، 2.6.C		لا يوجد
	التشفير الشبكي	انظر 5.5.B	لا يوجد		
	عرض النطاق	MHz 6	MHz 8	MHz 6	
	الكوكبة	64-QAM أو 256-QAM الشكل 18.B أو 19.B.	16-QAM، 32-QAM، 64-QAM، 128-QAM 256-QAM (انظر الفقرة 9 في المرجع [3])	64-QAM، 256-QAM الشكل 7.C	2-VSB، 4-VSB 8-VSB، 16-VSB
	عامل التناقص	18% أو 12% لكل من 64-QAM أو 256-QAM على التوالي. (انظر 1.6.B)	15% (انظر الفقرة 9 في المرجع [3])	13% انظر 4.6.C	11,5% انظر 3.6.D
	خصائص مرشاح النطاق الأساسي	الجدول 2.B	انظر الملحق A في المرجع [3]	الشكل 8.C	الشكل 11.D

الملحق A

النظام A الرقمي المتعدد البرامج

(يشكل هذا الملحق جزءاً أساسياً من هذه التوصية)

1.A مقدمة

يستمد هذا الملحق من العمل الذي أجري في مشروع الإذاعة الفيديوية الرقمية (DVB)، وهو عبارة عن تحالف تقوده الصناعة يضم أكثر من 260 من الهيئات الإذاعية والمصنعين ومشغلي الشبكات ومطوري البرمجيات والهيئات التنظيمية وغيرها في أكثر من 35 بلداً في مختلف بلدان العالم ممن التزموا بتصميم معايير عالمية لتقديم الخدمات الرقمية للتلفزيون والبيانات في العالم. وقد اعتمدته اللجنة التقنية المشتركة (JTC) لاتحاد الإذاعات الأوروبية (EBU) واللجنة الأوروبية للتقييس الكهرتقني (CENELEC) والمعهد الأوروبي لمعايير الاتصالات (ETSI) بوصفه المعيار الأوروبي (EN) 429 300 [3].

وهو يصف هيكل التأطير وتشفير القناة والتشكيل (يشار إليه باسم "النظام" لأغراض هذا الملحق) للتلفزيون الرقمي المتعدد البرامج الموزع بالكبل. ويمكن استخدام النظام بشفافية مع نظام التشكيل/تشفير القناة المستخدم في التلفزيون الساتلي الرقمي المتعدد البرامج.

يستند النظام إلى التدفق MPEG-2 (انظر المرجع [2]) فيما يخص بتشفير المصدر وتعدد إرسال النقل مع إضافة اصحيح أمامي مناسب للأخطاء (FEC). كما أنه يستند إلى التشكيل الاتساعي التربيعي (QAM). ويتيح وجود كوكبات للأنظمة 16-QAM أو 32-QAM أو 64-QAM أو 128-QAM أو QAM-256.

يصمم التصحيح الأمامي للأخطاء في النظام لتحسين نسبة الخطأ في البتات (BER) من 10^{-4} إلى مدى يتراوح بين 10^{-10} و10^{-11}، ما يضمن عملية "شبه خالية من الخطأ" (QEF) يحدث فيها خطأ واحد خلال ساعة واحدة من الإرسال.

2.A المواصفة.

يطبق نص المعيار ETSI EN 300 429 [3] في هذا الملحق A مع إدخال التعديلات الواردة أدناه.

1.2.A فقرة "تمهيد" غير مرقمة

لا تطبق الفقرة الاستهلالية بعنوان "تمهيد" في سياق هذا الملحق.

الملحق B

النظام B الرقمي المتعدد البرامج

(يشكل هذا الملحق جزءاً أساسياً من هذه التوصية)

1.B مقدمة

يصف هذا الملحق هيكل التأطير وقناة التشفير والتشكيل لنظام توزيع تلفزيون رقمي متعدد الخدمات خاص بقناة كبلية. ويمكن استخدام النظام بشفافية مع التوزيع من قناة ساتلية، لأن كثيراً من الأنظمة الكبلية يتغذى مباشرة من الوصلات الساتلية. وتغطي المواصفة كلاً من النظامين 64-QAM و256-QAM، علماً بأنه لا يوجد فرق بين مزايا مخطّطَيِ التشكيل هذين. وحيث يوجد اختلافات، ستتم تغطية التفاصيل المتعلقة بكل مخطط للتشكيل على حدة.

يستند تصميم التشكيل والتشذير والتشفير إلى اختبار الأنظمة الكبلية في أمريكا الشمالية وتحديد خصائصها. ويكون التشكيل عبارة عن تشكيل اتساعي تربيعي بكوكبة من الإشارات مؤلفة من 64 نقطة (64-QAM) أو من 256 نقطة (256-QAM)، ومرسل قابل للاختيار. ويقوم التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC) على طريقة تشفير تسلسلي تولد كسب تشفير عالٍ بدرجة معتدلة من التعقيد والتكاليف. وقد صمم النظام FEC بحيث يعطي الأداء الأفضل في العمليات شبه خالية من الخطأ عند عتبة يكون فيها معدل حدوث الأخطاء في الخرج بنسبة خطأ واحد خلال 15 دقيقة.

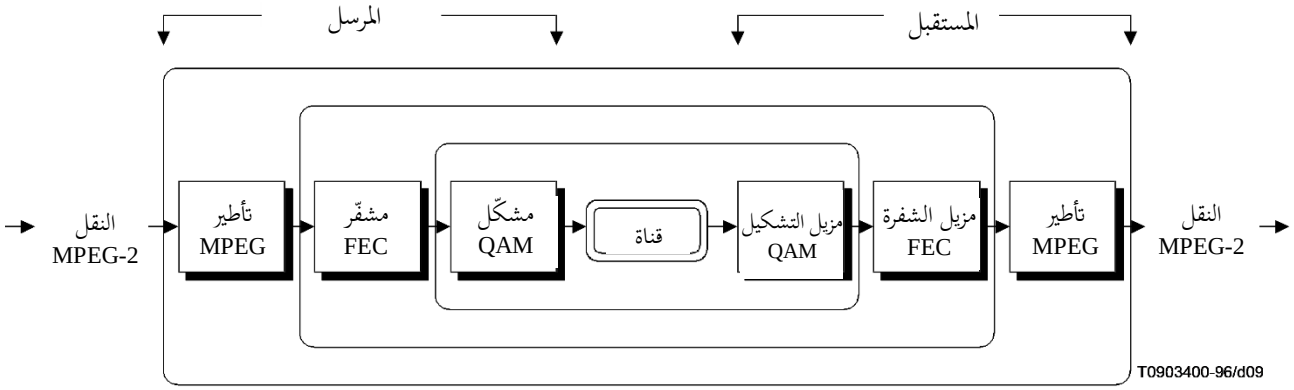
ومن المفترض أن يشكل النقل MPEG-2 نسق بيانات الدخل إلى التشكيل والتشفير. ومع ذلك، فإن الطريقة المستخدمة في تزامن MPEG لا ترتبط بطريقة تزامن التصحيح FEC. وعلى سبيل المثال، يمكّن ذلك النظام من نقل رزم أسلوب النقل اللاتزامني (ATM) بسهولة من دون نزامن الأسلوب ATM. وفي الواقع يمكن مزامنة الأسلوب ATM بواسطة آليات مزامنة محددة للأسلوب ATM.

وهناك أسلوبان يتوفر لهما الدعم: الأسلوب 1 وله معدل رموز قدره 5,057 Msymbols/s والأسلوب 2 وله معدل رموز قدره 5,361 Msymbols/s. وعادة يستخدم الأسلوب 1 للتشكيل 64-QAM والأسلوب 2 للتشكيل 256-QAM. ويكون النظام متوافقاً مع عمليات التنفيذ في المستقبل لمخططات تتسم بمعدلات أعلى للبيانات وتستخدم تمديدات أعلى مرتبة للتشكيل QAM.

2.B مفهوم النظام الكبلي

يختص تشفير القناة والإرسال بوسط معين أو بقناة للاتصالات. وتعتبر الإحصاءات المتوقعة لأخطاء القناة وخصائص التشوه حاسمة الأهمية في تحديد تصحيح المناسب للأخطاء وإزالة التشكيل المناسبة. وتعتبر القناة الكبلية، بما في ذلك الألياف البصرية، بالدرجة الأولى قناة خطية بعرض نطاق محدود، وذات توليفة متوازنة من الضوضاء البيضاء والتداخل والتشوه المتعدد المسارات. ويعد التشكيل الاتساعي التربيعي (QAM)، مقترناً بتسوية تكييفية وتشفير تسلسلي، مناسباً تماماً لهذا التطبيق وهذه القناة.

ويبين الشكل 1.B المخطط الوظيفي الطبقي الأساسي لمعالجة الإرسال الكبلي. وتحدد الفقرات الفرعية التالية هذه الطبقات من "الخارج" إلى الداخل، ومن منظور جانب الإرسال.



الشكل 1.B – المخطط الوظيفي للإرسال الكبلي

3.B طبقة النقل MPEG-2

يرد تعريف طبقة النقل MPEG-2 في المرجع [2]. وتتألف طبقة النقل لبيانات MPEG-2 من رزم من 188 بايتة، تخصص منها بايتة واحدة لأغراض المزامنة، وثلاث بايتات لرأسية تتضمن معلومات التعريف والتخليط والتحكم، يليها 184 بايتة للمعيار MPEG-2 أو للبيانات المساعدة.

4.B تأطير النقل MPEG-2

تأطير النقل MPEG-2 هو أقرب طبقة معالجة إلى الخارج. وتتوفر على شكل وسيلة متينة لتوصيل مزامنة رزم MPEG إلى خرج المستقبِل. تتلقى كتلة المعالجة هذه تدفق بيانات النقل MPEG-2 المؤلف من تدفق متواصل من رزم ذات طول ثابت قدره 188 بايتة. يرسل تدفق البيانات هذا بطريقة تسلسلية بدءاً بالبتة الأكثر دلالة. ويفترض أن تكون البايتة الأولى مخصصة لإشارة التزامن وقيمتها 47_{HEX}.

وقد أُعدّت بايتة التزامن لأغراض تعيين حدود الرزم. وأُدرج في نظام الإرسال الكبلي طبقة إضافية للمعالجة لتوفير وظيفة إضافية من خلال استعمال سعة بايتة إشارة التزامن هذه الحاملة للمعلومات. وتستبدل بايتة إشارة التزامن هذه بمجموع تدقيقي تعادلي هو عبارة عن coset شفرة كاملة خطية لاختبار تعادلية الاستجابة النبضية المحدودة، ما يوفر وظيفة محسنة لتعيين حدود الرزم، وقدرة على كشف الأخطاء مستقلة عن طبقة التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC).

يُحتسب المجموع التدقيقي التعادلي على البايتات المجاورة البالغ عددها 187 بايتة، ما يشكل محتويات رزم MPEG-2 التي تسبقها مباشرة (ناقص بايتة التزامن). ويمكن عندئذ توفير تزامن الرزم وكشف الأخطاء في آن معاً. ويقوم مفكك الشفرة بحساب مجموع تدقيقي انزلاقي على تدفق البيانات التسلسلية باستخدام كشف كلمة شفرة صالحة لكشف بداية الرزمة. وبمجرد تحديد حالة تراصف مقفلة، فإن غياب كلمة شفرة صالحة في المكان المنتظر سوف يدل على خطأ في الرزم. ويمكن تحديد علم الخطأ المتعلق بالرزمة السابقة على أنه البيانات التي خرجت من مفكك الشفرة. ويجب إعادة إدراج كلمة إشارة التزامن العادية بدلاً من المجموع التدقيقي لتوفير تدفق معياري لبيانات MPEG-2 على شكل خرج.

يُحسب المجموع التدقيقي عن طريق تمرير بتات الحمولة النافعة البالغ عددها 1496 بتة عبر سجل الزحزحة للتغذية الراجعة الخطية (LFSR) على النحو الوارد في المعادلة التالية:

$$f(x) = [1 + x^{1497} b(x)] / g(x)$$

حيث:

$$g(x) = 1 + x + x^5 + x^6 + x^8$$

و $b(x) = 1 + x + x^3 + x^7$

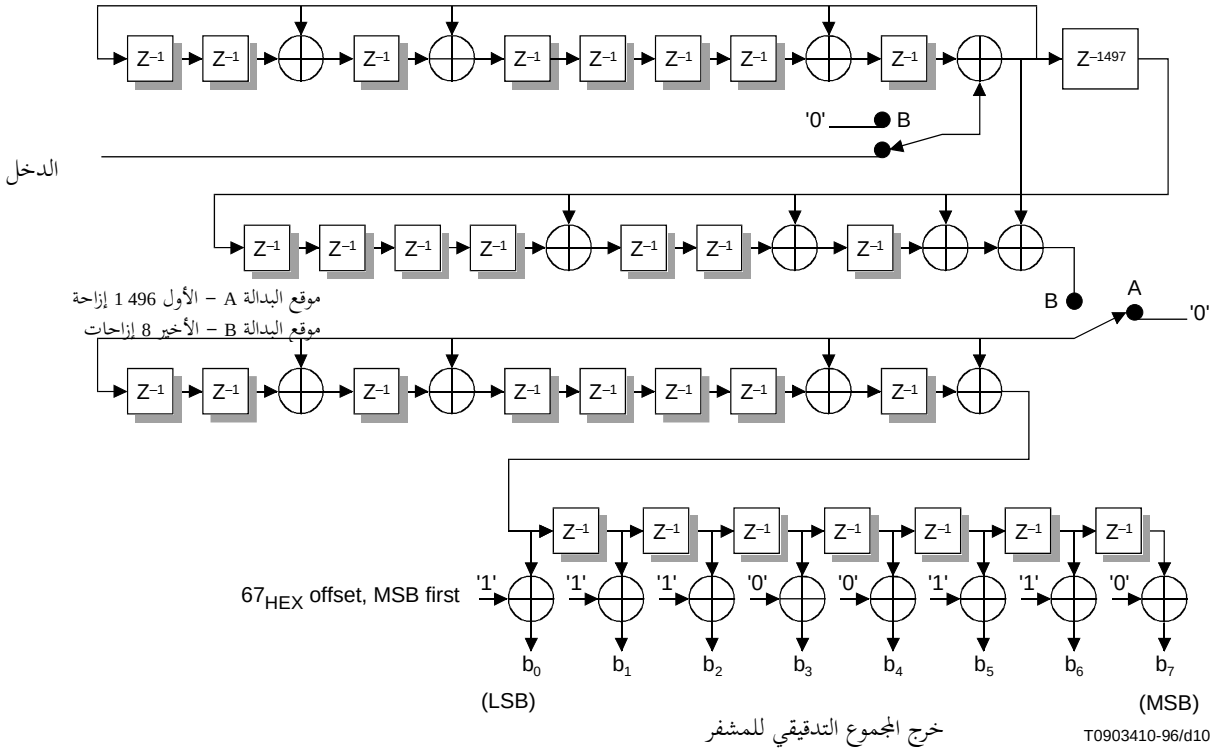
يوضح الشكلان 2.B و3.B هذه البنية الحاسوبية. ويفترض أن تكون جميع عمليات الجمع بمقاس 2. وبالنسبة لعملية التشفير، يستهل أولاً سجل الإزاحة الخطي بتغذية ارتجاعية (LFSR) بحيث تحتوي جميع عناصر الذاكرة على قيمة صفرية. ثم تزاح البتات البالغ عددها 496 1 بتة التي تشكل الحمولة النافعة لرزم تدفق النقل MPEG-2 إلى داخل السجل LFSR. ويضبط دخل المشفر على الصفر بعد استقبال بتات البيانات البلغ عددها 496 1 بتة، علماً بأنه يلزم ثمانية إزاحات إضافية للحصول على خرج تتابعي مؤلف من البتات الثمانية المحسوبة للأعراض. بعد ذلك يجب تمرير النتيجة المؤلفة من 8 بتات عبر دالة ترشيح إضافية g(x) ذات استجابة نبضية محدودة (تستهل بحالة كلها أصفار قبل إدخال بتات الأعراض الثمانية) لتوليد مجموع تدقيقي للمشفر. يضاف إلى نتيجة هذا المجموع التدقيقي تخالف قدره 67_{HEX} لتحسين خصائص الترابط الذاتي، ما يعطي نتيجة قدرها 47_{HEX} أثناء عملية فك شفرة الأعراض حين تتوفر كلمة شفرة صالحة. بعد ذلك يرسل المجموع التدقيقي النهائي المؤلف من 8 بتات مع التخالف المضاف بدءاً بالبتة الأكثر دلالة بعد بتات الحمولة النافعة البالغ عددها 496 1 بتة لتنفيذ مشفّر نظامي.

يمكن لمفكك الشفرة أن يستخدم مصفوفة اختبار التعادلية لتحديد مجموع تدقيقي صالح. ولهذا الغرض يمكن أيضاً استخدام مولّد الأعراض كما هو مبين في الشكل 3.B. وقد صممت الشفرة بحيث أنه عند ضرب البايتات المناسبة البالغ عددها 188 الخاصة بالرزمة المعدلة لتدفق النقل MPEG-2 (التي تشمل المجموع التدقيقي المرتبط بها) بمصفوفة اختبار التعادلية، يستدل على كلمة شفرة صالحة حين تكون نتيجة الضرب المحسوبة بقيمة 47_{HEX}. ويشمل كل عمود من الأعمدة الثمانية لمصفوفة اختبار التعادلية "P" متجهاً مؤلفاً من 497 1 بتة، يشار إليه فيما يلي بالحرف "C". ويرد تعريف هذا المتجه في الشكل 4.B.

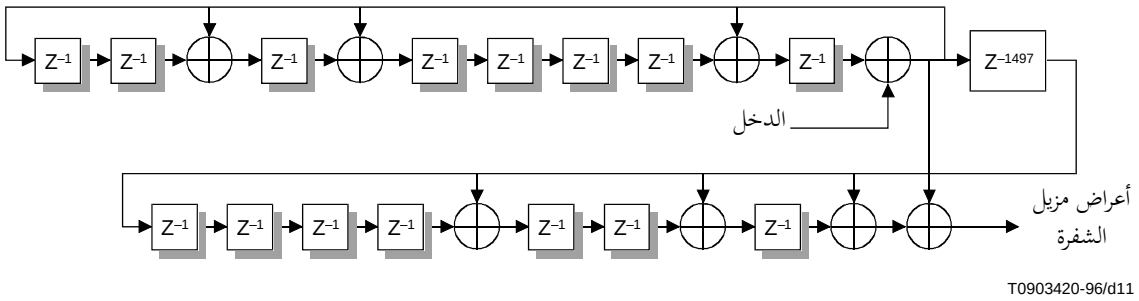
وانطلاقاً من العمود الموجود في أقصى يسار المصفوفة "P"، يتكرر العمود "C" المؤلف من 497 1 بتة في الأعمدة التالية للمصفوفة "P"، مع إزاحته للأسفل بموقع بتة واحدة. وتملأ مواقع البتات غير المشغولة في العمود بأصفار، كما هو مبين في الشكل 5.B.

يلاحظ أن حساب المجموع التدقيقي يتم على أساس البايتات السابقة البالغ عددها 187 بايتة وليس على أساس البايتات البالغ عددها 187 بايتة التي لم ترد بعد إلى مفكك شفرة مإشارة تزامن MPEG-2. وهذا الأمر مناقض للمفهوم التقليدي لهيكل رزم MPEG-2، حيث إن بايتة إشارة التزامن توصف عادة بأنها البايتة الأولى في الرزمة المستقبلة.

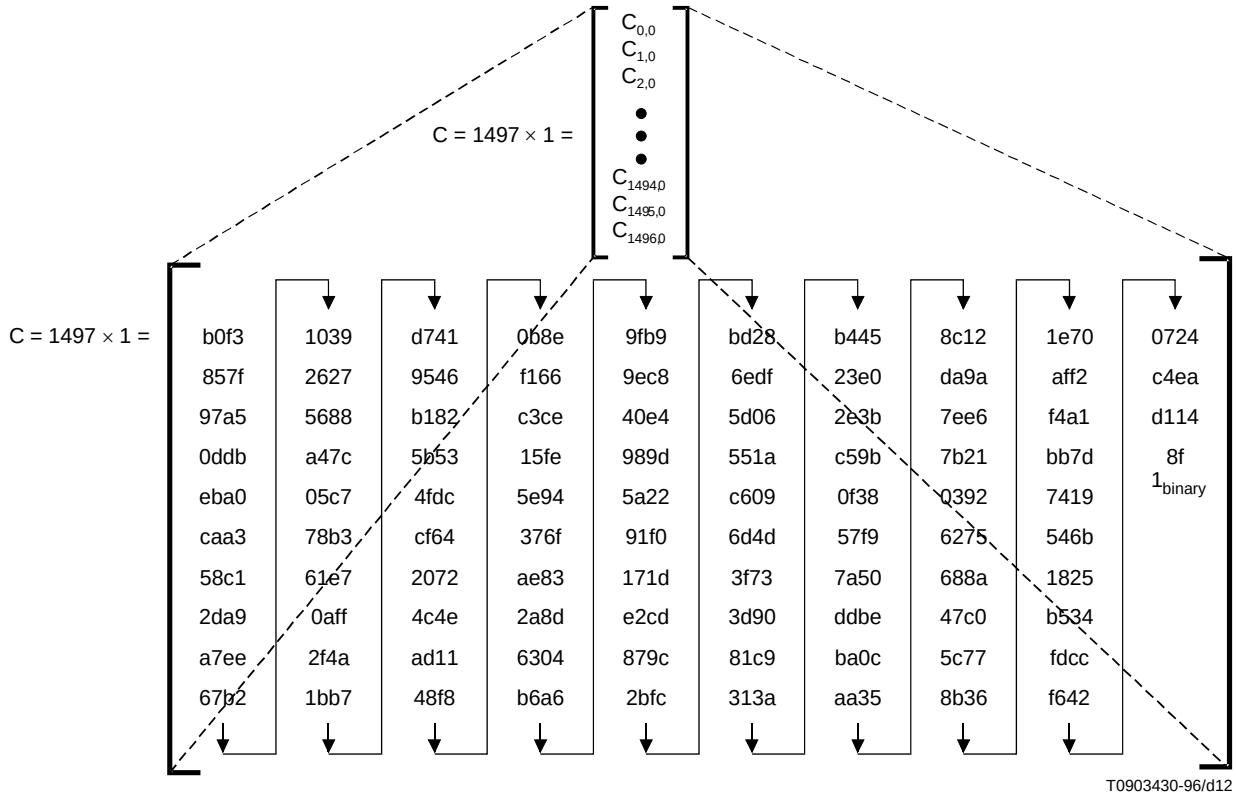
أما المتّجه المستقبل "R" فهو عبارة عن بيانات MPEG-2 المؤلفة من 187 بايتة تليها بايتة المجموع التدقيقي، وبذلك يصبح المجموع 504 1 بتة. ويتم ضرب المتجه "R" (بمقاس 2) بمصفوفة احتبار التعادلية "P"، مما بفضي إلى متجه "S" يبلغ طوله 8 بتات كما هو مبين في الشكل 6.B.



الشكل 2.B – مولد المجموع التدقيقي لمشفر بايتة إشارة التزامن MPEG-2



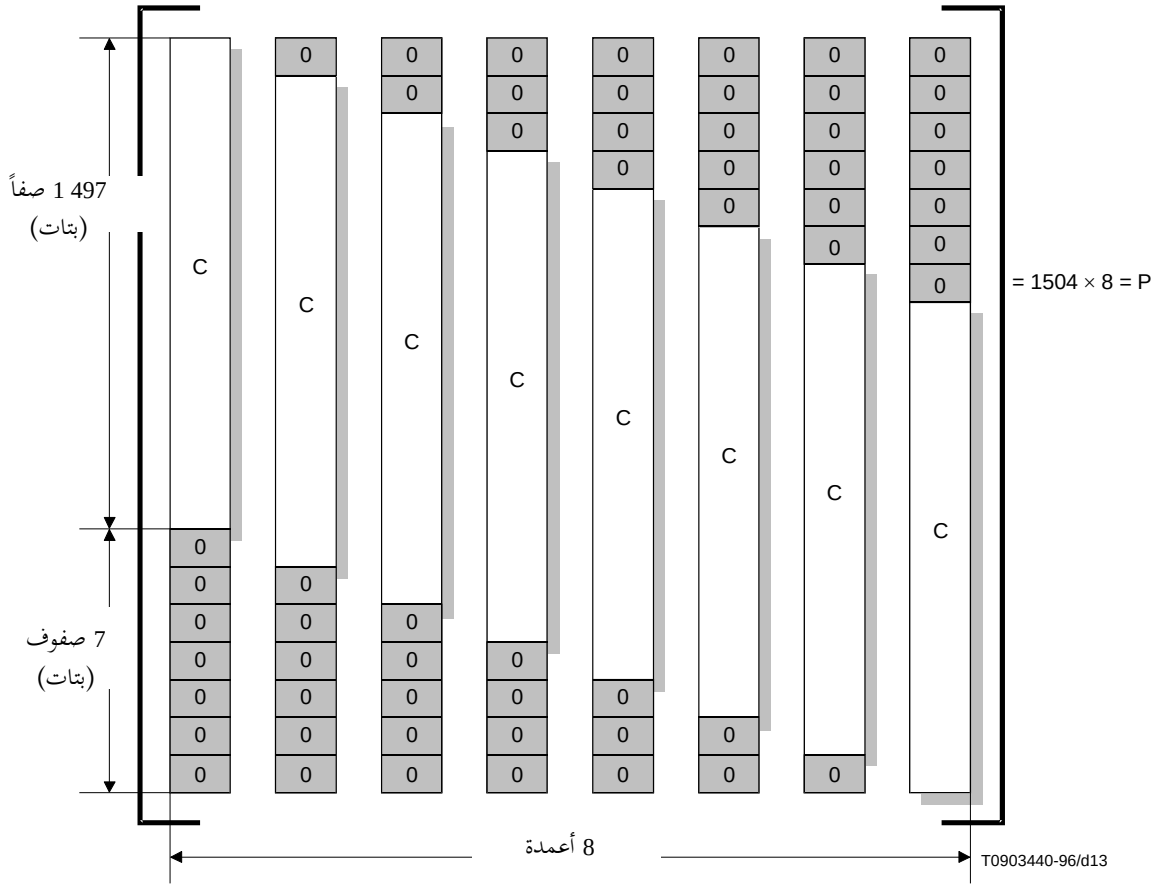
الشكل 3.B – مولد الأعراض لمشفر إشارة التزامن MPEG-2



جميع البنود بالنسق الستة عشري مالم يذكر خلاف ذلك

الشكل 4.B – المتجه العمود "C" (يتكرر داخل مصفوفة اختبار التعادلية)

مصفوفة اختبار التعادلية "P"



الشكل 5.B – بنية مصفوفة اختبار التعادلية "P"

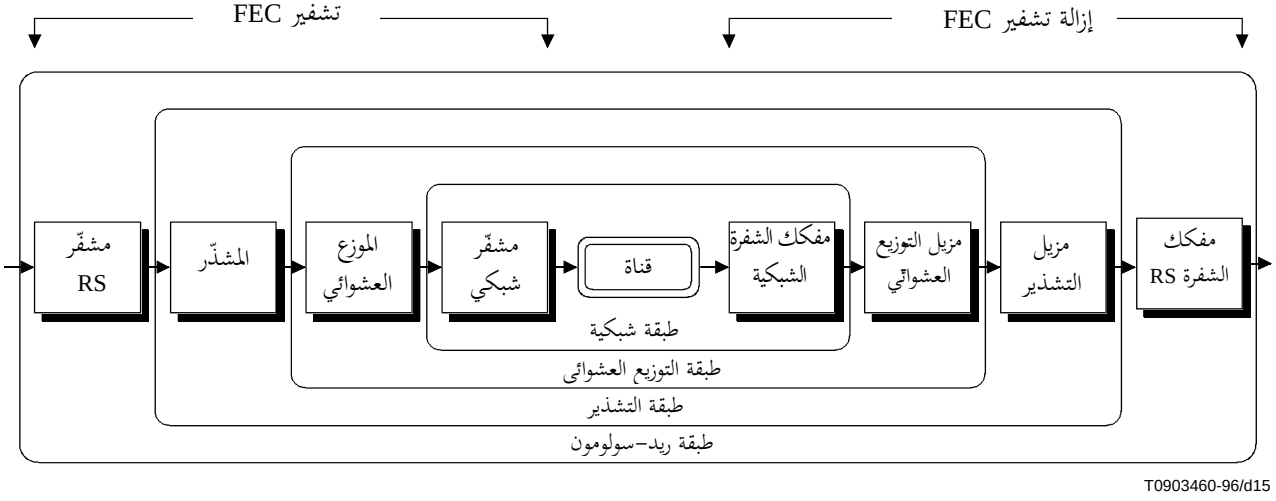
الشكل 6.B – ضرب متجه MPEG-2 المستقبل بمصفوفة اختبار التعادلية

يستدل على المجموع التدقيقي الصالح حين يكون $\mathbf{S = [0100, 0111] = 47_{HEX}}$.

وفيما يتعلق بنقل بروتوكولات نقل غير النقل MPEG-2، مثل أسلوب النقل اللامتزامن (ATM)، تزال هذه الطبقة الخارجية أو يتم تجاوزها. فالتصحيح الأمامي للأخطاء يقبل البيانات ويسلمها دون فرض قيود على البروتوكول. ويمكن الاستعاضة عن قسم التأطير بقسم ملائم لبروتوكول النقل البديل إذا تطلب أحد التطبيقات ذلك. وتنفذ جميع الأجزاء الأخرى من هذه المواصفة (التشكيل، التشفير، التشذير) على النحو المبين أدناه. وبالنسبة لحالة الأسلوب ATM، فليس هناك حاجة لطبقة تأطير. ذلك أن التحكم في خطأ رأسية الأسلوب ATM يوفر عادة تأطيراً ملائماً للرزم وكشفاً للأخطاء. وبالتالي تنقل التدفقات المتساوية التزامن للأسلوب ATM بشفافية من دون مزيد من تغليف رزم MPEG أو شبه MPEG.

5.B التصحيح الأمامي للأخطاء

يتألف تعريف التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC) من أربع طبقات للمعالجة، كما هو مبين في الشكل 7.B. ولا توجد ارتباطات ببروتوكول بيانات الدخل في أي من طبقات التصحيح FEC. ويكون تزامن التصحيح FEC داخلياً وشفافاً تماماً. ويتم توصيل أي تتابع من البيانات من دخل المشفر إلى خرج مفكك الشفرة.



الشكل 7.B – طبقات المعالجة في التصحيح الأمامي للأخطاء

يستخدم القسم المتعلق بالتصحيح الأمامي للأخطاء أنواعاً مختلفة من خوارزميات تصحيح الخطأ وأساليب التشذير لنقل البيانات بشكل موثوق عبر القناة الكبلية.

- تشفير ريد–سولومون (RS) – يوفر تشفيراً وفك تشفير كتلياً لتصحيح عدد من الرموز يصل إلى ثلاثة داخل كتلة RS.
- التشذير – يوزع الرموز على نحو متساو، ما يوفر الحماية من إرسال دفعة من أخطاء الرموز إلى مفكك شفرة RS.
- التوزيع العشوائي – يوزع البيانات عشوائياً في القناة للسماح بمزامنة مزيل التشكيل QAM بصورة فعالة.
- التشفير الشبكي – يوفر تشفيراً تلافيفياً وإمكانية استعمال فك تشفير شبكي بقرار مبرمج لأخطاء القناة العشوائية.

ويرد تعريف هذه الطبقات الأربع في الفقرات الفرعية التالية.

1.5.B تشفير ريد–سولومون (RS)

إن تدفق النقل MPEG-2 هو عبارة عن تشفير ريد–سولومون (RS) باستخدام شفرة (128, 122) فوق مجال غالوا GF(128). ولهذه الشفرة القدرة على تصحيح عدد من أخطاء الرموز يصل إلى ثلاثة t = 3 في كل كتلة RS. وتستخدم شفرة RS ذاتها في كل من أسلوبي التشكيل 64-QAM و256-QAM. ومع ذلك يختلف نسق إطار التصحيح FEC باختلاف نمط التشكيل، على النحو المبين في فقرة فرعية لاحقة.

يرد وصف تنفيذ مشفر ريد–سولومون في هذه الفقرة الفرعية. ويستخدم مشفر نظامي لتطبيق شفرة ريد–سولومون ممددة (128, 122) فوق مجال غالوا GF(128)، مع t = 3. وفيما يلي بدائية متعددة الحدود المستخدمة لتشكيل المجال فوق GF(128):

$$p(x) = x^7 + x^3 + 1$$

حيث:

$$p(x) = 0$$

ومتعددة الحدود المولدة التي يستخمها المشفر هي:

$$g(x) = (x+\alpha)(x+\alpha^2)(x+\alpha^3)(x+\alpha^4)(x+\alpha^5)$$
$$= x^5 + \alpha^{52}x^4 + \alpha^{116}x^3 + \alpha^{119}x^2 + \alpha^{61}x + \alpha^{15}$$

يتألف دخل متعددة حدود الرسالة إلى المشفر من 122 رمزاً يتألف كل منها من 7 بتات ويرد وصفه أدناه:

$$m(x) = m_{121}x^{121} + m_{120}x^{120} + \ldots + m_1x + m_0$$

يتم أولاً ضرب متعددة حدود الرسالة هذه بالكمية x^5، ثم تقسم على متعددة الحدود المولدة g(x) لتشكيل باقٍ يرد وصفه فيما يلي:

$$r(x) = r_4x^4 + r_3x^3 + r_2x^2 + r_1x + r_0$$

يشكل هذا الباقي خمسة رموز تعادلية تجمع بعد ذلك مع متعددة حدود الرسالة لتشكيل كلمة شفرة مؤلفة من 127 رمزاً تعتبر مضاعفاً مزدوجاً لمتعددة الحدود المولدة.

ويرد الآن وصف كلمة الشفرة المولّدة في متعددة الحدود التالية:

$$c(x) = m_{121}x^{126} + m_{120}x^{125} + m_{119}x^{124} + \ldots + r_4x^4 + r_3x^3 + r_2x^2 + r_1x + r_0$$

ويكون لكلمة الشفرة الصالحة جذور عند قيم α مرفوعة إلى الأس واحد إلى خمسة.

ويتم توليد رمز التعادلية الموسع (c_) عن طريق حساب كلمة الشفرة عند α مرفوعة إلى الأس ستة.

$$c_ = c(\alpha^6)$$

يستخدم هذا الرمز الموسع لتشكيل آخر رمز في كتلة ريد–سولومون التي تم إرسالها. بعد ذلك تظهر كلمة الشفرة الموسعة على النحو التالي:

$$\hat{c} = xc(x) + c_$$

$$= m_{121}x^{127} + m_{120}x^{126} + \cdots + m_1x^7 + m_0x^6 + r_4x^5 + r_3x^4 + r_2x^3 + r_1x^2 + r_0x + c_$$

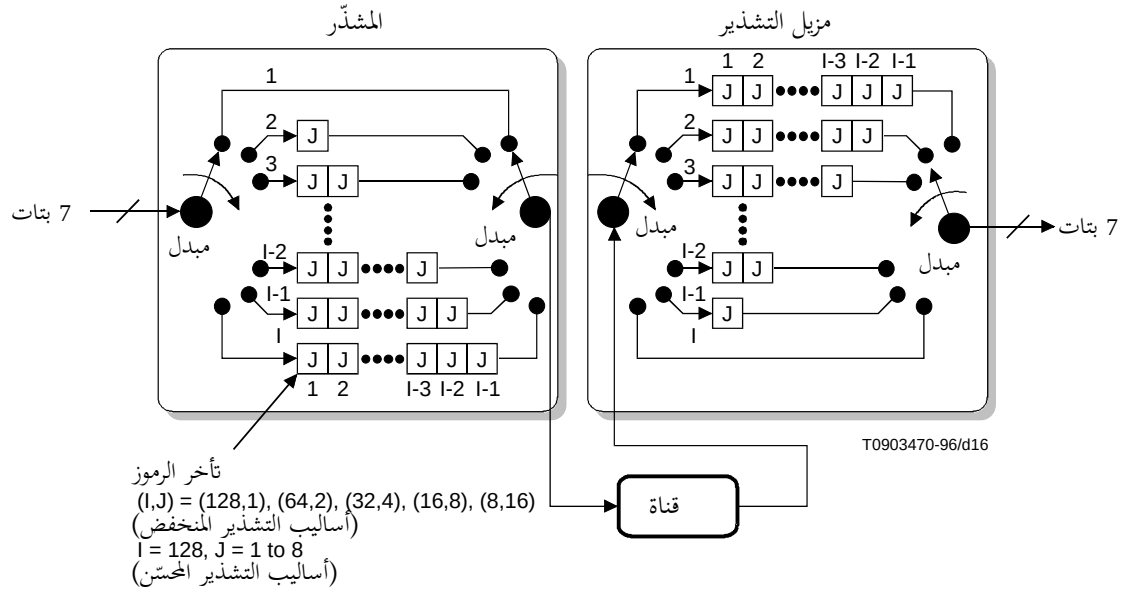
وترد فيما يلي بنية كتلة ريد–سولومون التي توضح مرتبة خرج الرموز المرسلة من مشفر ريد–سولومون:

$$m_{121}m_{120}m_{119}\ldots m_1m_0r_4r_3r_2r_1r_0c_ \text{ (order sent is left to right)}$$

2.5.B التشذير

يُدرج التشذير في المودم بين التشفير الكتلي RS والموزع العشوائي للسماح بتصحيح دفعة الأخطاء الناجمة عن الضوضاء. ويستخدم مشذر تلافيفي في أسلوبي التشكيل 64-QAM و256-QAM على السواء.

يوضح الشكل 8.B التشذير التلافيفي. ففي بداية أحد أطر التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC) المحدد في فقرة فرعية لاحقة، يبدأ موقع مبدّل التشذير عند أعلى فرع ويتزايد بقيمة تردد رمز RS، بحيث يتشكل رمز واحد على خرج كل موقع. وباستخدام مشذر تلافيفي، تتم إزاحة رموز شفرات RS بشكل تتابعي داخل صفيف من عدد I من السجلات (يبلغ عرض كل سجل 7 بتات بحيث يتلاءم مع حجم رمز RS). يختزن كل سجل من السجلات المتتابعة عدداً من الرموز يفوق ما يختزنه السجل السابق بقيمة J. ولا يوجد تأخير على المسار الأول للمشذر، بينما تبلغ فترات التأخير على المسار الثاني عدد J من الرموز، وفترات التأخير على الثالث عدد 2*J من الرموز، وهلم جرّا حتى نصل إلى المسار رقم J الذي تبلغ فيه فترات التأخير عدد J*(I – 1) من الرموز. وينعكس ذلك بالنسبة لمزيل التشذير في مفكك شفرة الكبل (Cable Decoder) بحيث يكون التأخير الصافي لكل رمز RS متماثلاً عبر المشذر ومزيل التشذير. وتسبب رشقة الضوضاء في القناة سلسلة من الرموز السيئة. تنتشر هذه الرموز فوق عدد كبير من كتل RS بواسطة مزيل التشذير بحيث تبقى محصلة أخطاء الرموز في كل كتلة ضمن نطاق قدرة مفكك الشفرة RS على التصحيح.



الشكل 8.B – المخطط الوظيفي للتشذير

وفيما يتعلق بالقدرة على التشذير، يمكن تحديد أسلوبين للتشغيل يشار إليهما فيما يلي *بالمستوى 1 والمستوى 2*.

يخصص *المستوى 1* للإرسال 64-QAM فقط. ويتلائم هذا الأسلوب مع القاعدة القائمة لأجهزة فك الشفرة الرقمية التقليدية للتشكيل 64-QAM فقط. وأثناء التشغيل بالمستوى 1، يتم توفير عمق واحد للشذير، وتحديداً I = 128 وJ = 1.

يشمل *المستوى 2* أسلوبي الإرسال 64-QAM و256-QAM، وهو قادر على توفير تشذير متغير لكلا مخططي التشكيل. ويشمل ذلك أعماق تشذير مضخمة ومصغرة على السواء بالنسبة للتشكيلة الاسمية 64-QAM (المستوى 1). وترسل أربع بتات للبيانات داخل النطاق أثناء فترة إشارة التزامن الخاصة بالإطار FEC لنقل معلمات التشذير إلى المستقبل الخاص بقناة معينة.

ويرد في الجدول 1.B وصف لمعلمات التشذير المتعلقة بالتشغيل بالمستوى 1، مع ما يرتبط بها من كمون ورشقة الحماية. ويرد في الجدول 2.B وصف لفك تشفير كلمة التحكم داخل النطاق المؤلفة من 4 بتات وتحويلها إلى معلمات التشذير I وJ المتعلقة بالتشغيل بالمستوى 2، وأيضاً مع ما يرتبط بها كمون ورشقة الحماية.

الجدول 1.B – التشذير بالمستوى 1

كلمة التحكم (4 بتات)	I (عدد التفريعات)	J (الزيادة)	رشقة الحماية	الكمون
xxxx	128	1	µs 95	ms 4,0

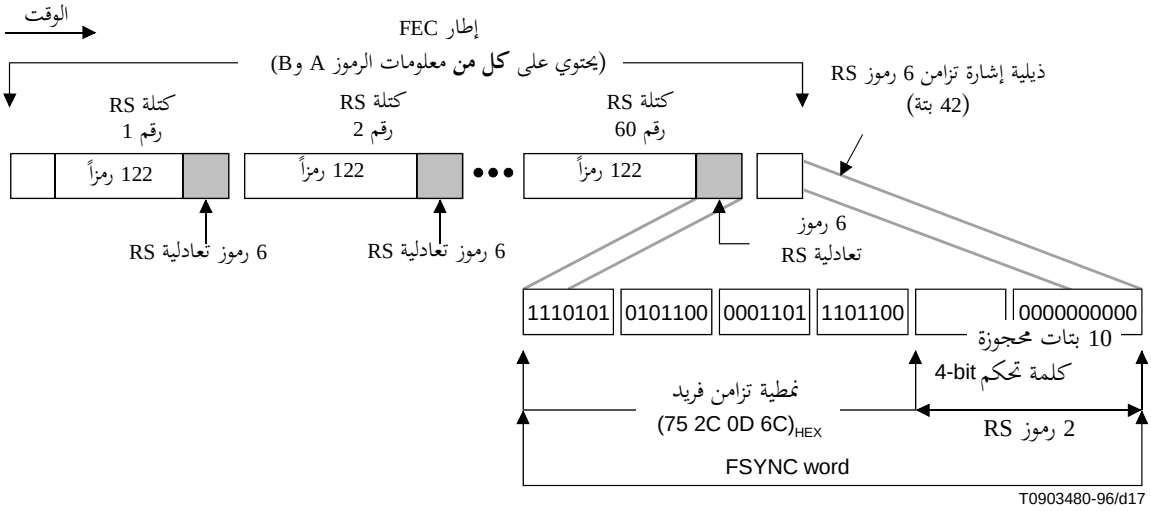
الجدول 2.B – التشذير بالمستوى 2

كلمة التحكم (4 بتات)	I (عدد التفريعات)	J (الزيادة)	رشقة الحماية 64-QAM/256-QAM	الكمون 64-QAM/256-QAM
0001	128	1	95 µs /66 µs	4,0 ms/2,8 ms
0011	64	2	47 µs /33 µs	2,0 ms/1,4 ms
0101	32	4	24 µs /16 µs	0,98 ms/0,68 ms
0111	16	8	12 µs /8,2 µs	0,48 ms/0,33 ms
1001	8	16	5,9 µs /4,1 µs	0,22 ms/0,15 ms
1011	محجوز			
1101	محجوز			
1111	محجوز			
0000	128	1	95 µs /66 µs	4,0 ms/2,8 ms
0010	128	2	190 µs /132 µs	8,0 ms/5,6 ms
0100	128	3	285 µs /198 µs	12 ms/8,4 ms
0110	128	4	379 µs /264 µs	16 ms/11 ms
1000	128	5	474 µs /330 µs	20 ms/14 ms
1010	128	6	569 µs /396 µs	24 ms/17 ms
1100	128	7	664 µs /462 µs	28 ms/19 ms
1110	128	8	759 µs /528 µs	32 ms/22 ms

3.5.B تتابع تزامن الإطار

تقوم ذيلية تتابع تزامن الإطار بتعيين حدود إطار التصحيح FEC، وتوفر التشفير RS المتزامن والتشذير والتوزيع العشوائي. بالإضافة إلى ذلك، تكون المجموعات الشبكية الخاصة بالتشكيل 256-QAM فقط متراصفة مع إطار التصحيح FEC. ولا يقوم تأطير التصحيح FEC بمزامنة رزمة MPEG الخاصة بمفكك الشفرة الشبكية. وتكون كتلة RS وبنى الرموز المؤلفة من 7 بتات متراصفة مع نهاية الإطار بالنسبة لأسلوبي التشكيل 64-QAM و256-QAM على السواء.

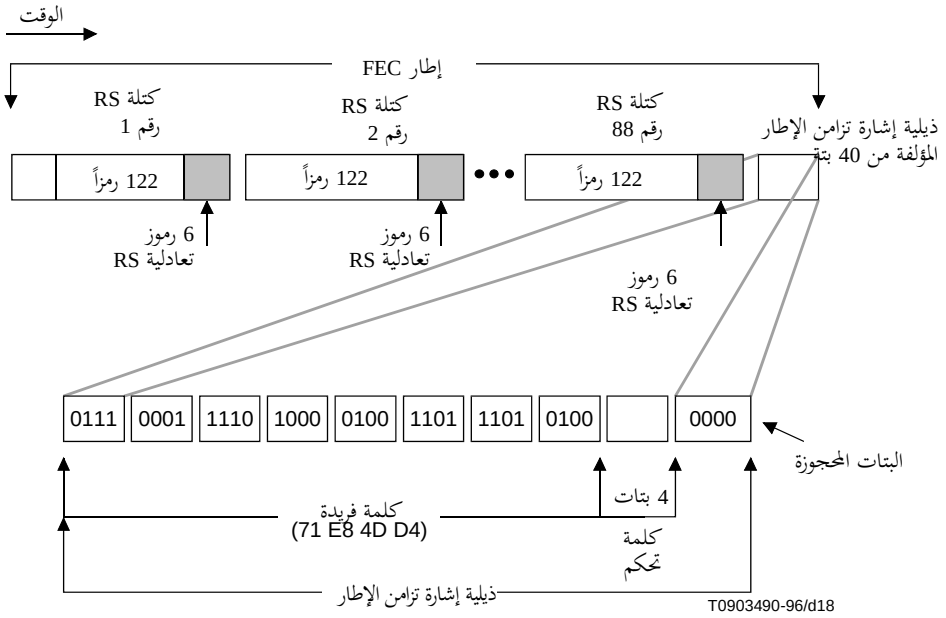
بالنسبة للتشكيل 64-QAM، يتألف الإطار FEC من ذيلية إشارة التزامن التي تتألف من 42 بتة وترفق بنهاية 60 كتلة من كتل RS، تحتوي الكتلة الواحدة منها على 128 رمزاً. ويتألف كل رمز RS من 7 بتات. وبالتالي يوجد في هذا الإطار FEC ما مجموعه 760 53 من بتات البيانات و42 من بتات ذيلية إشارة تزامن الإطار. تحتوي الرموز الأربعة الأولى من ذيلية إشارة تزامن الإطار التي يتألف كل منها من 7 بتات على نمط تزامن "فريد" مؤلف من 28 بتة (1110101 0101100 0001101 1101100) أو $(75\ 2C\ 0D\ 6C)_{HEX}$. ويستعمل الرمزان المتبقيان (14 بتة) على النحو التالي: البتات الأربعة الأولى للتحكم بأسلوب التشفير، وتحجز 10 بتات وتضبط على الصفر. ويتم إدراج ذيلية إشارة تزامن الإطار بواسطة المشفر وكشفها بواسطة مفكك الشفرة. وتقوم الدوائر الكهربائية لمفكك الشفرة بالبحث عن هذا النمط وتحدد موقع حدود الإطار وأسلوب عمق التشذير عند إيجاده. ويبين الشكل 9.B إطار التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC) الخاص بالتشكيل 64-QAM.



الشكل 9.B – نسق رزم الإطار في التشكيل 64-QAM

وبالنسبة للتشكيل 256-QAM، يتألف الإطار FEC من ذيلية إشارة التزامن التي تتألف من 40 بتة وترفق بنهاية 88 كتلة من كتل RS، تحتوي الكتلة الواحدة منها على 128 رمزاً. ويتألف كل رمز RS من 7 بتات. وبالتالي يوجد في هذا الإطار FEC ما مجموعه 848 78 من بتات البيانات و40 من بتات ذيلية إشارة تزامن الإطار. وتقسم ذيلية إشارة تزامن الإطار المؤلفة من 40 بتة على النحو التالي: 32 بتة لتشكيل نمط تزامن "فريد" (0100 1101 1101 0100 1000 1110 0001 0111) أو $(71\ E8\ 4D\ D4)_{HEX}$، و4 بتات لتشكيل كلمة تحكم تحدد حجم المشذر المستعمل، و4 بتات لكلمة محجوزة تضبط على الصفر. ويبين الشكل 10.B إطار التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC) الخاص بالتشكيل 256-QAM.

تجدر الإشارة إلى أنه لا يوجد علاقة تزامن بين كتلة RS المرسلة ورزم بيانات النقل. ولذلك يتم تحقيق تزامن رزم التدفق MPEG-2 بشكل مستقل عن تزامن أطر RS. وهذا ما يجعل طبقة التصحيح FEC وطبقة النقل مفصولتين ومستقلتين عن بعضهما البعض.



الشكل 10.B – نسق رزم الإطار في التشكيل 256-QAM

4.5.B التوزيع العشوائي

يشكل الموزع العشوائي المبين في الشكل 11.B الطبقة الثالثة للمعالجة في المخطط الوظيفي للتصحيح الأمامي للأخطاء (FEC). وتكفل هذه الأداة توزيعاً متساوياً للرموز في الكوكبة، ما يسمح لمزيل التشكيل بالحفاظ على تثبيت مناسب. يضيف الموزع العشوائي فوق مجال غالوا GF(128) تتابعاً من رموز خاصة بالضوضاء شبه العشوائية (PN) يوجد في الرمز الواحد منها 7 بتات (أي دالة OR الحصرية للبتات) إلى الرموز الموجودة داخل إطار FEC لضمان الإرسال العشوائي للتتابع.

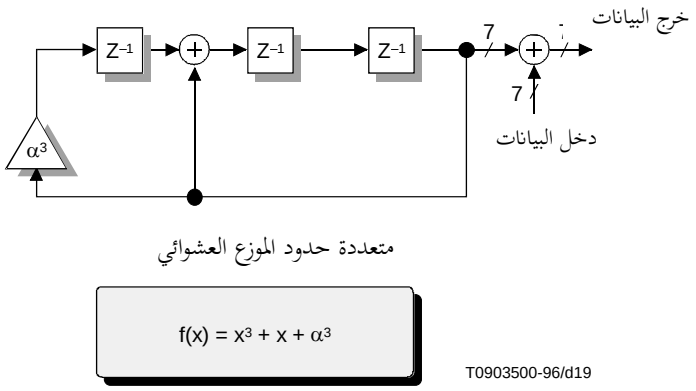
وبالنسبة لأسلوبي التشكيل 64-QAM و256-QAM، يبدأ عمل الموزع العشوائي أثناء ذيلية إطار FEC، ويتم تفعيله عند أول رمز يرد بعد الذيلية. وبالتالي فإن الذيلية بحد ذاتها ليست موزعة بشكل عشوائي، بينما تقوم قيمة الخرج التي تم استهلالها بالتوزيع العشوائي لأول رمز من رموز البيانات.

يعرف الاستهلال بأنه تحميل مسبق لحالة "كلها آحاد" في بنية الموزع العشوائي المبينة في الشكل 11.B. ويستعمل الموزع العشوائي سجل إزاحة خطي بتعذية ارتجاعية تحدده متعددة الحدود GF(128) على النحو التالي:

$$f(x) = x^3 + x + \alpha^3$$

حيث:

$$\alpha^7 + \alpha^3 + 1 = 0$$



الشكل 11.B – الموزع العشوائي (رمز مؤلف من 7 بتات)

5.5.B التشكيل بالتشفير الشبكي

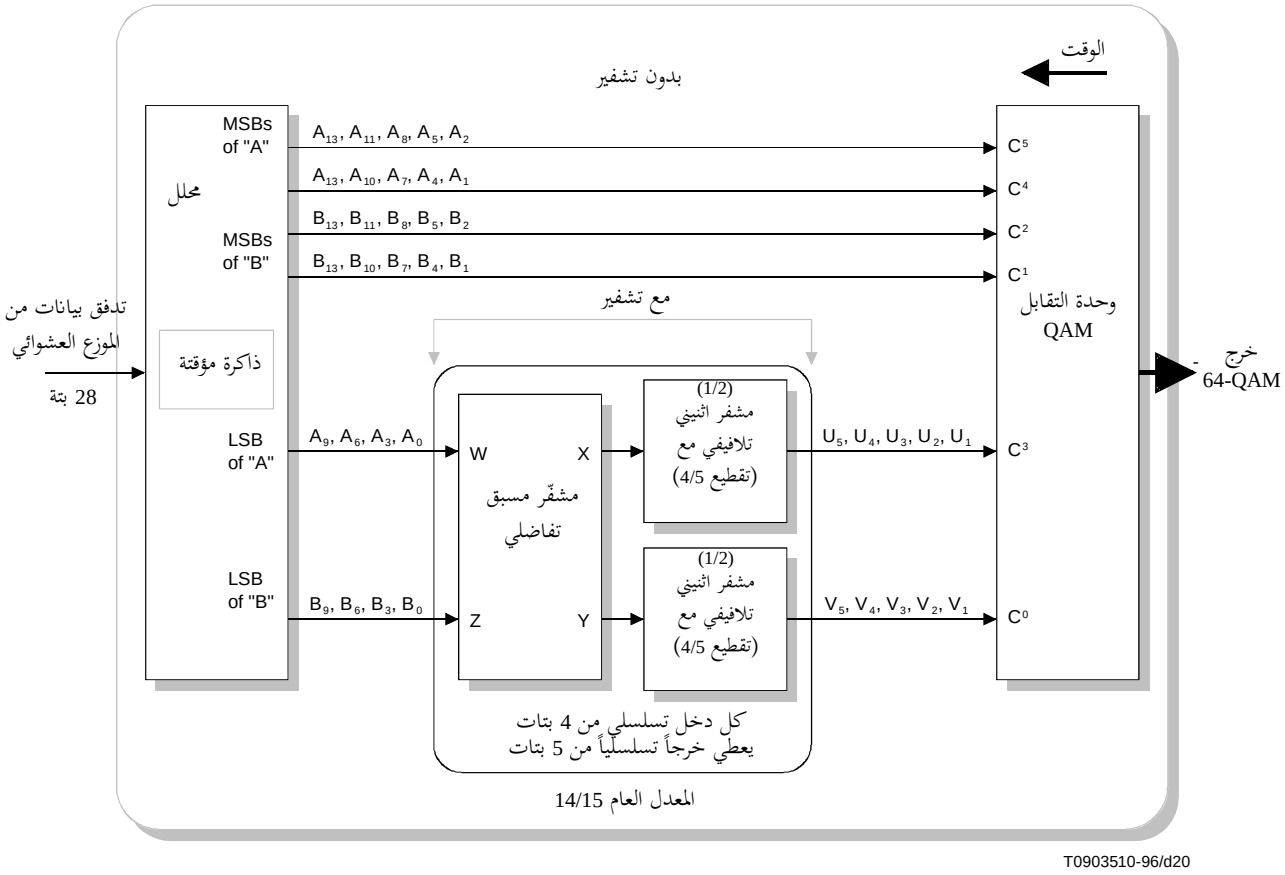
يستعمل التشفير الشبكي، باعتباره جزءاً من مخطط التشفير التسلسلي، من أجل الشفرة الداخلية. وهو يسمح بإدخال زيادات لتحسين عتبة نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) عن طريق زيادة كوكبة الرموز من دون زيادة معدل الرموز. لذلك يطلق عليه بشكل أدق عبارة "التشكيل بالتشفير الشبكي".

1.5.5.B أسلوب التشكيل 64-QAM

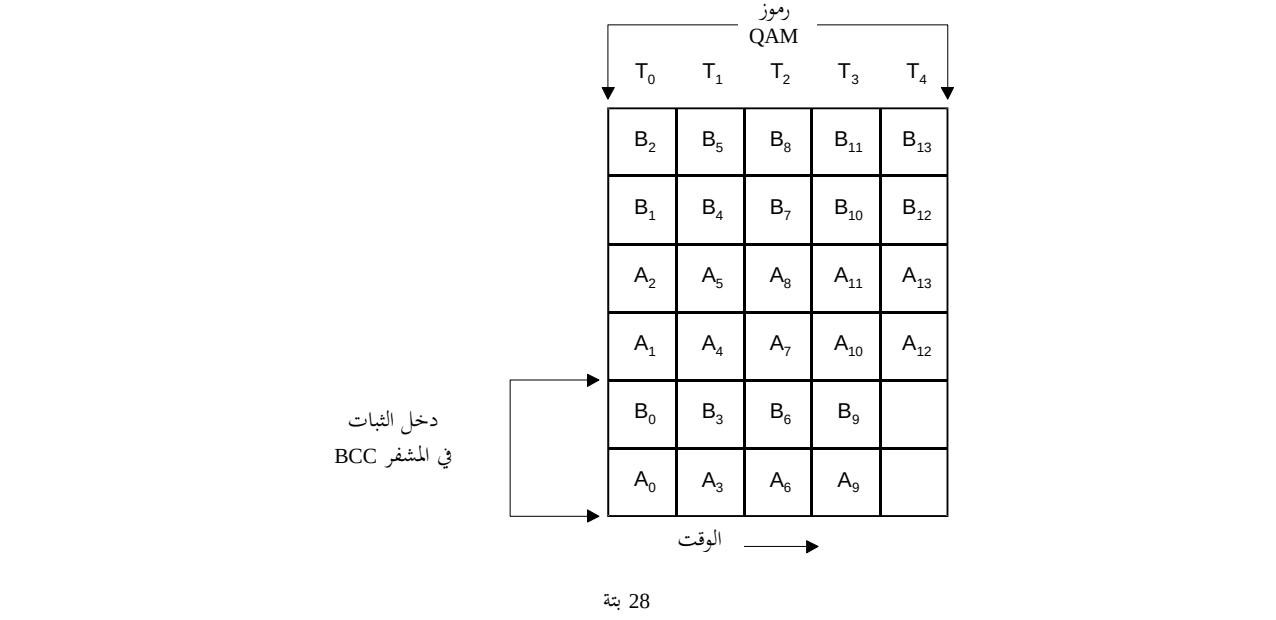
بالنسبة للتشكيل 64-QAM، يكون دخل المشكّل بالتشفير الشبكي عبارة عن تتابع مؤلف من 28 بتة تشكل أربعة رموز RS يتألف الرمز الواحد منها من 7 بتات، وتوصف بأزواج من الرموز 'A' والرموز 'B'. ويبين الشكل 12.B المخطط الوظيفي لمشكّل 64-QAM بالتشفير الشبكي. وتخصص جميع البتات البالغ عددها 28 بتة لمجموعة شبكية تشكل 5 رموز QAM، كما هو مبين في الشكل 13.B.

ومن بين بتات الدخل البالغ عددها 28 بتة والتي تشكل مجموعة شبكية، يقوم مشفر تلافيفي اثنيني (BCC) بشكل منفصل بتشفير كل مجموعة من مجموعتين مؤلفتين من 4 بتات من تدفقات البتات المشفرة مسبقاً بشكل تفاضلي في المجموعة الشبكية. يولّد كل مشفر تلافيفي اثنيني 5 بتات مشفرة، كما هو مبين في الشكل 12.B. وترسل البتات المتبقية إلى وحدة التقابل من دون تشفير. وهذا ما يوفر خرجاً إجمالياً قدره 30 بتة. وبالتالي يصبح معدل الشفرة العام للتشكيل 64-QAM بالتشفير الشبكي 14/15.

تتشكل المجموعة الشبكية من رموز RS على النحو التالي: بالنسبة للرموز 'A'، تقرأ رموز RS من البتة الأكثر دلالة إلى البتة الأقل دلالة $A_1, A_2, A_4, A_5, A_7, A_8, A_{10}$ و$A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_0, A_3, A_6, A_9$. وتشكل البتات الأربعة الأكثر دلالة في الرمز الثاني دخل المشفّر BCC، واحدة بعد الأخرى، بدءاً بالبتة الأقل دلالة. وتشكل البتات المتبقية في الرمز الثاني وجميع بتات الرمز الأول دخل وحدة التقابل من دون تشفير. أما البتات الأربعة التي أرسلت إلى المشفّر BBC فتوفر 5 بتات مشفرة هي U_1, U_2, U_3, U_4, U_5. وتتكرر العملية نفسها بالنسبة لبتات الرموز "B". ويمكن 12.B. وبالنسبة للتشكيل 64-QAM، فإن المجموعة الشبكية الواحدة تتسع بسهولة لـ 4 رموز RS، وفي هذه الحالة يمكن لكلمة إشارة التزامن أن تشغل جميع مواقع البتات داخل المجموعة الشبكية.



الشكل 12.B – المخطط الوظيفي للمشكّل 64-QAM بالتشفير الشبكي



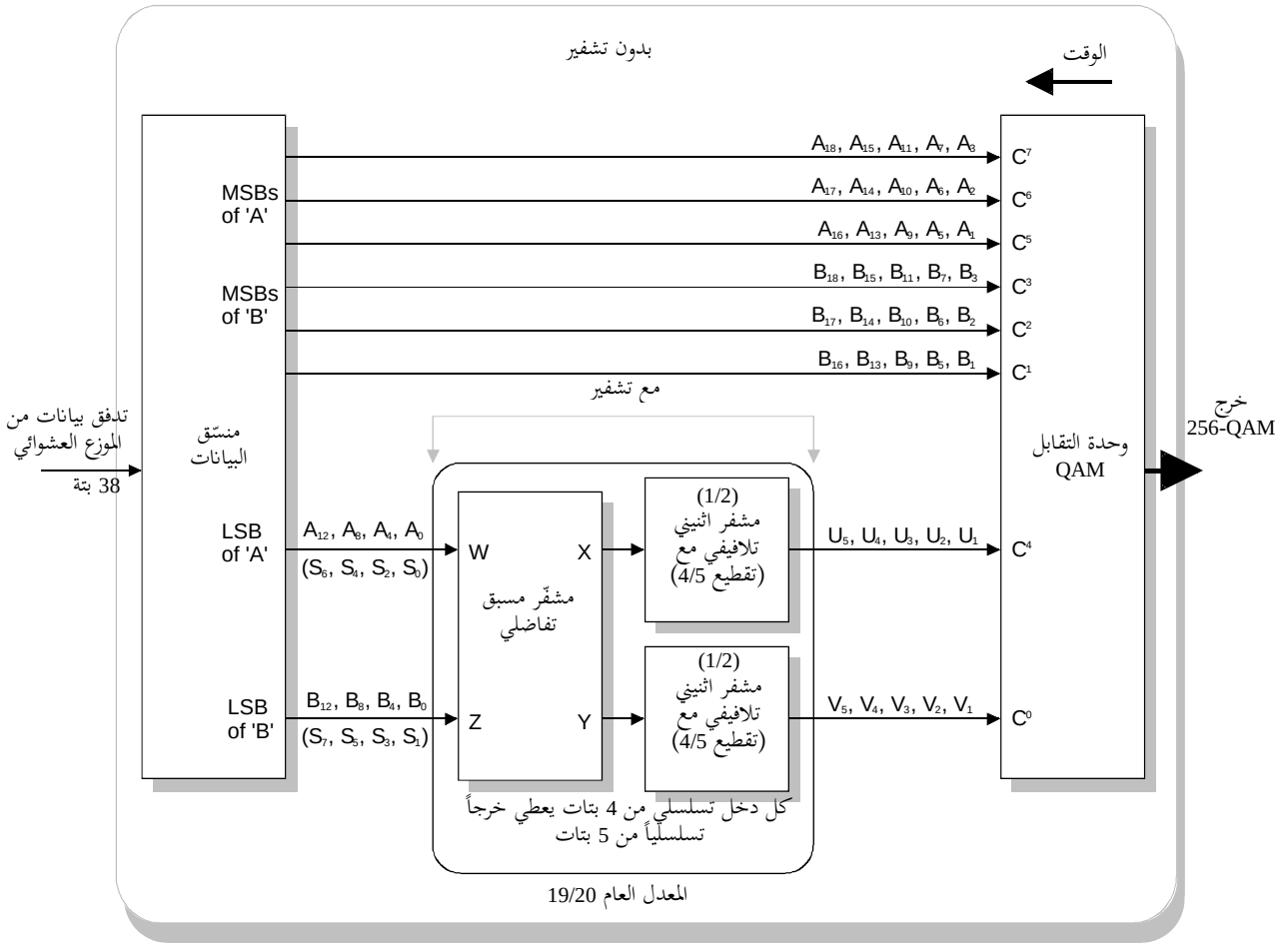
ترتيب رموز RS بالنسبة لبتات المجموعة الشبكية

الشكل 13.B – المجموعة الشبكية للتشكيل 64-QAM

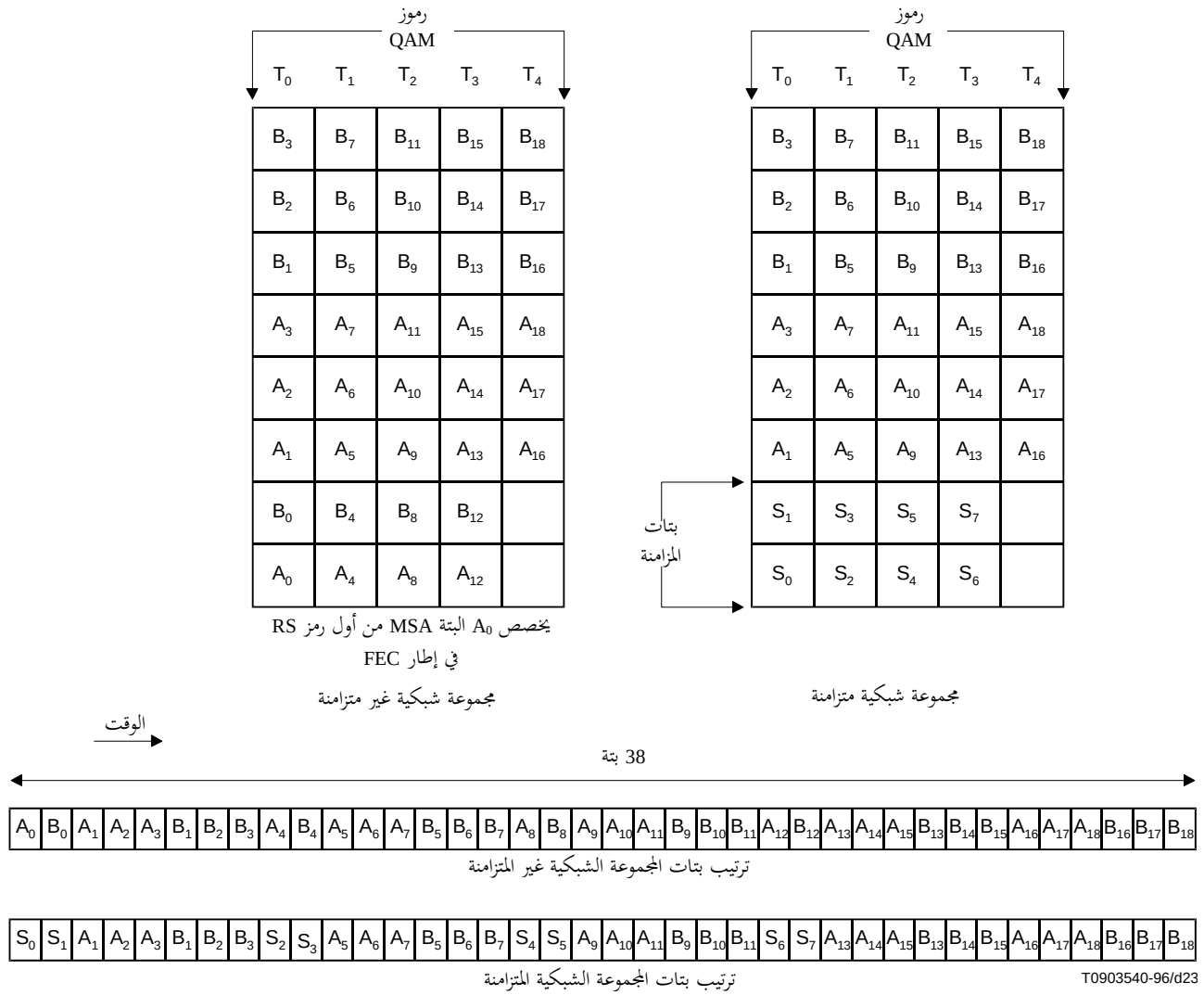
2.5.5.B أسلوب التشكيل 64-QAM

في التشكيل 256-QAM، يستخدم تشفير شبكي مماثل باستعمال نفس المشفّر BCC الذي استعمل في التشكيل 64-QAM، مع نفس المولد ذي المعدل 1/2 ونفس مصفوفة التقطيع 4/5. ويبين الشكل 14.B المشكّل 256-QAM بالتشفير الشبكي. وفي هذه الحالة تكون جميع المعلومات المتعلقة بإشارة تزامن الإطار FEC مدمجة فقط في مواقع البتات المشفرة تلافيفياً في المجموعة الشبكية كما هو مبين في الشكل 15.B.

وهناك نوعان مختلفان من المجموعات الشبكية في التشكيل 256-QAM: يشار إليهما فيما يلي باسم المجموعة *غير المتزامنة (non-sync)* والمجموعة *المتزامنة (sync)*. تولد كل مجموعة شبكية 5 رموز QAM في المشكّل، وتحتوي المجموعة غير المتزامنة على 38 بتة بيانات بينما تحتوي المجموعة المتزامنة على 30 بتة بيانات و8 بتات لإشارة التزامن. ويبين الشكل 15.B مجموعة شبكية غير متزامنة ومجموعة شبكية متزامنة. وبما أن كل إطار FEC يحتوي على 88 كتلة RS بالإضافة إلى 40 بتة لإشارة تزامن الإطار، فسيكون هناك ما مجموعه ما مجموعه 2 076 مجموعة شبكية في الإطار الواحد. من بين هذه المجموعات الشبكية، يوجد 2 071 مجموعة شبكية غير متزامنة و5 مجموعات شبكية متزامنة. وترد المجموعات الشبكية المتزامنة الخمس في نهاية الإطار. وتكون ذيلية إشارة تزامن الإطار متراصفة مع المجموعات الشبكية. وفي المشفّر، تكون المجموعة الشبكية مقسّمة إلى مجموعتين: تدفق بتات غير مشفر وتدفق بتات مشفر. تخصص البتة الأكثر دلالة في أول رمز RS في الإطار FEC إلى البتة الأولى في المجموعة الشبكية غير المتزامنة، كما هو مبين في الشكل 15.B. ويكون خرج كل مشفّر BCC عبارة عن بتات التعادلية الخمسة المسماة U_1 إلى U_5 وV_1 إلى V_5، على التوالي، كما هو مبين في الشكل 14.B.



الشكل 14.B – المخطط الوظيفي للمشكّل 256-QAM بالتشفير الشبكي



الشكل 15.B – المجموعتان الشبكيتان المتزامنة وغير المتزامنة في التشكيل 256-QAM

لتشكيل مجموعات شبكية من كلمات الشفرة RS، توضع كلمات الشفرة RS بشكل متسلسل يبدأ بالبتة الأكثر دلالة من الرمز الأول في كلمة الشفرة RS الأولى التي تلي ذيلية غشارة تزامن الإطار. وتوضع البتات في مواقع المجموعة الشبكية المأخوذة من رموز RS بالترتيب التالي: $A_0\ B_0\ A_1$ ... $B_3\ A_4\ B_4$ ... $B_{16}\ B_{17}\ B_{18}$ كما هو مبين في الشكل 15.B. وبالنسبة للمجموعات الشبكية المتزامنة، توضع البتات المأخوذة من رموز RS المتسلسلة بحيث تبدأ في الموقع A_1 بدلاً من A_0. وتحتوي المجموعات الشبكية الخمس الأخيرة في الإطار FEC على 8 بتات من أصل بتات إشارة التزامن البالغ عددها 40 بتة هي $S_0\ S_1$ ... S_7 في ذيلية إشارة تزامن الإطار المبينة في الشكل 10.B.

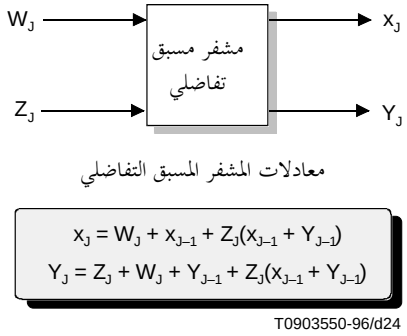
ومن بين بتات الدخل البالغ عددها 38 بتة والتي تشكل مجموعة شبكية، يقوم مشفر تلافيفي اثنيني (BCC) بشكل منفصل بتشفير كل مجموعة من مجموعتين مؤلفتين من 4 بتات من تدفقات البتات المشفرة مسبقاً بشكل تفاضلي في المجموعة الشبكية. يولد كل مشفّر تلافيفي اثنيني 5 بتات مشفرة كما هو مبين في الشكل 14.B. وترسل البتات المتبقية إلى وحدة التقابل QAM من دون تشفير. وهذا ما يوفر خرجاً إجمالياً قدره 40 بتة في المجموعة الشبكية الواحدة. وبالتالي يصبح معدل الشفرة العام للتشكيل 256-QAM بالتشفير الشبكي 19/20.

3.5.5.B التشفير المسبق اللامتغير دورانياً

يقوم المشفّر المسبق التفاضلي المبين في الشكل 16.B بتشفير شبكي لا يتغير بالدوران 90°. ويستخدم التشفير اللامتغير دورانياً في أسلوبي التشكيل 64-QAM و256-QAM على السواء. ويعتبر التعافي السريع من انزلاقات طور الموجة الحاملة أساسياً لوضع

تصميم متين للمودم. ويتطلب التشفير المتغير دورانياً إعادة تزامن التصحيح FEC عندما يحدث تتبع طور الموجة الحاملة تراصفاً تربيعياً، ما يؤدي إلى دفعة أخطاء عند خرج التصحيح FEC.

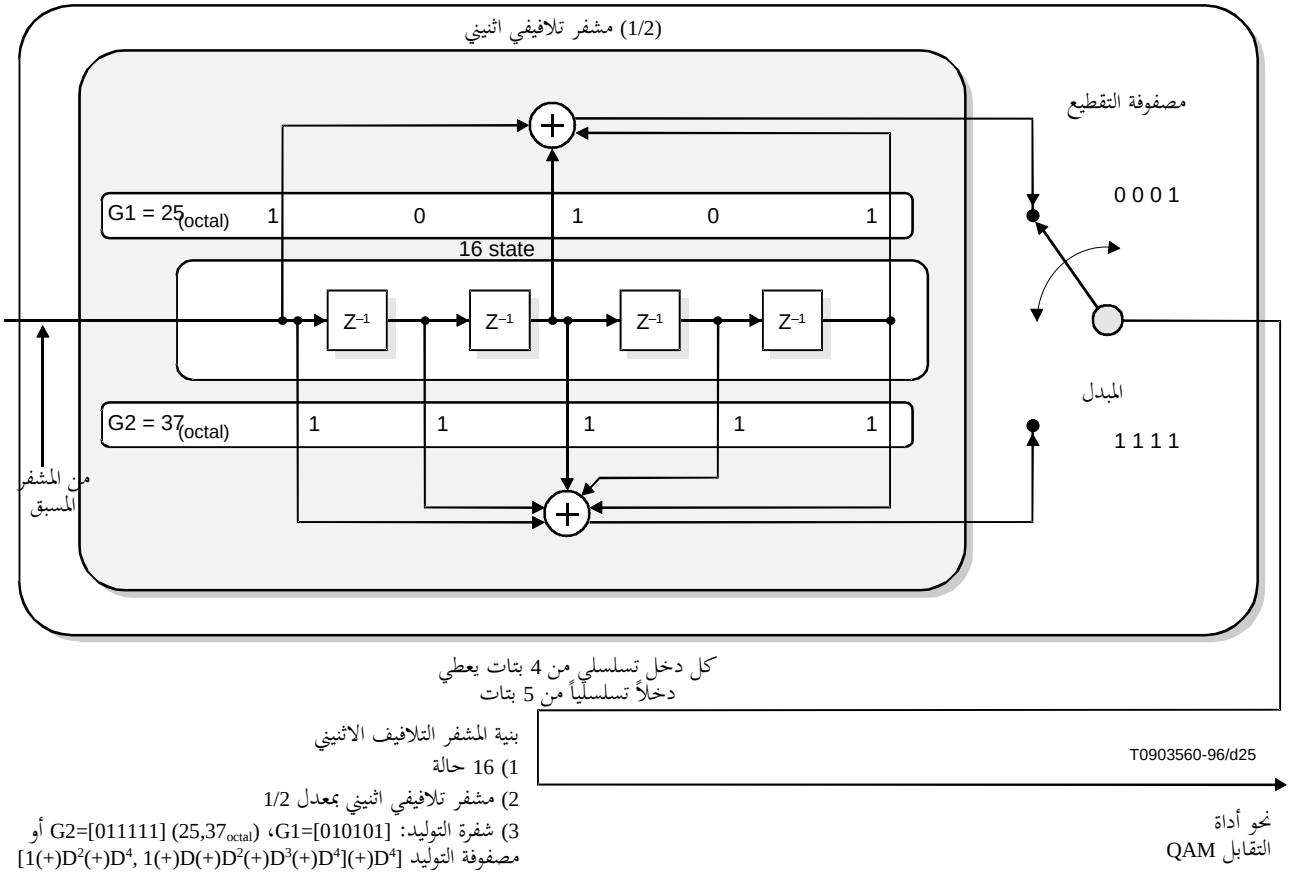
يسمح المشفّر المسبق التفاضلي بنقل المعلومات عن طريق تغير الطور، وليس عن طريق الطور المطلق. وبالنسبة للتشكيل 64-QAM، تشفر بشكل تفاضلي البتتان الثالثة والسادسة للرموز المؤلفة من 6 بتات، أما النسبة للتشكيل 256-QAM فتشفر بشكل تفاضلي البتتان الرابعة والثامنة. وإذا حجبنا البتتين الثالثة والسادسة في التشكيل 64-QAM كما هو مبين في الشكل 18.B (ويسميان C^3 وC^0) والبتتين الرابعة والثامنة في التشكيل 256-QAM كما هو مبين في الشكل 19.B (ويسميان C^4 وC^0)، يكون عدم تغير البتات المتبقية بدوران قدره 90° متأصلاً في تسمية كوكبة الرموز.



الشكل 16.B – المشفر المسبق التفاضلي

4.5.5.B المشفر التلافيفي الاثنيني

يشمل المشكّل بالتشفير الشبكي مشفّراً تلافيفياً اثنينياً بمعدل تقطيع قدره 1/2 يستعمل في إدخال زيادات في البتات الأقل دلالة للمجموعة الشبكية. والمشفر التلافيفي هو عبارة عن مشفر لا نظامي ذي 16 حالة ومعدل 1/2 مصحوباً بالمولّد G1 = 010 101 أو (25,37$_{octal}$) G2 = 011 111 أو بشكل مكافئ مصفوفة التوليد $[1 \oplus D^2 \oplus D^4, 1 \oplus D \oplus D^2 \oplus D^3 \oplus D^4]$. ففي بداية المجموعة الشبكية يكون مبدّل المشفر BCC أساساً في الموقع G1. ولكل بتة دخل ترد عند خط التأخير المتفرع، تتولد بشكل متسلسل بتتان (G1 تليها G2) عند الخرج وفقاً للمجموعة المصاحبة من معاملات المولّد. وفي كل مجموعة شبكية، تسهم 4 بتات للدخل في توليد 8 بتات مشفرة تلافيفياً. ويتم اختيار الخرج الزمني للمشفر وفقاً لمصفوفة التقطّع: [P1, P2] = [0001;1111] (يرمز "0" إلى عدم الإرسال، ويرمز "1" إلى الإرسال)، ما يولّد تدفقاً وحيداً من البتات المتسلسلة. وتقوم مصفوفة التقطّع بصورة أساسية بتحويل المشفر ذي المعدل 1/2 إلى المعدل 4/5، نظراً إلى بقاء 5 بتات مشفرة من أصل 8 بتات بعد التقطيع. ويوضح الشكل 17.B البنية الداخلية للمشفر المقطّع.



بنية المشفر التلافيف الاثنيني

1) 16 حالة

2) مشفر تلافيفي اثنيني بمعدل 1/2

3) شفرة التوليد: [010101]=G1، ($25,37_{octal}$) [011111]=G2 أو مصفوفة التوليد $[1(+)D^2(+)D^4, 1(+)D(+)D^2(+)D^3(+)D^4](+)D^4]$

حيث $Z^{-1}=D$

4) مصفوفة التقطيع [P1;P2] = [0001:1111]

الملاحظة 1 – يشير الصفر إلى عدم الإرسال
يشير 1 إلى الإرسال

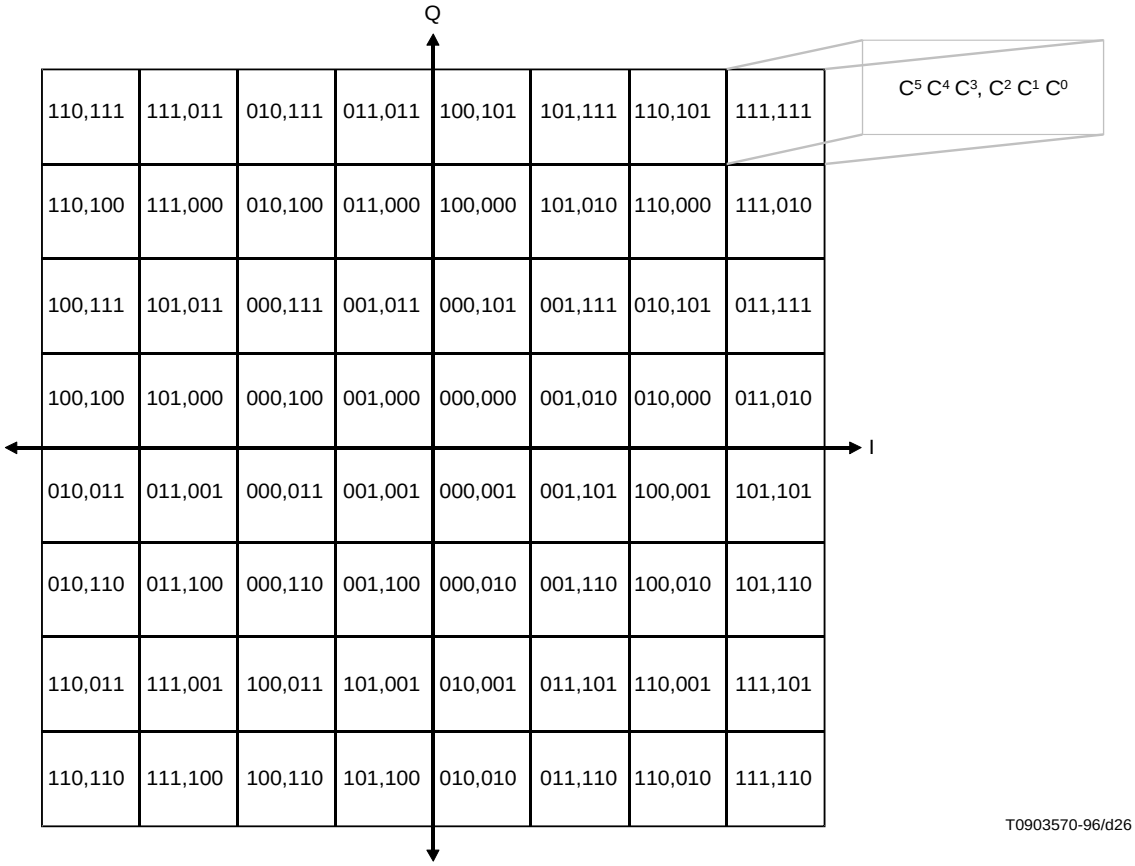
الملاحظة 2 – (+) تشير إلى عملية XOR

الشكل 17.B – المشفر التلافيفي الاثنيني المقطّع

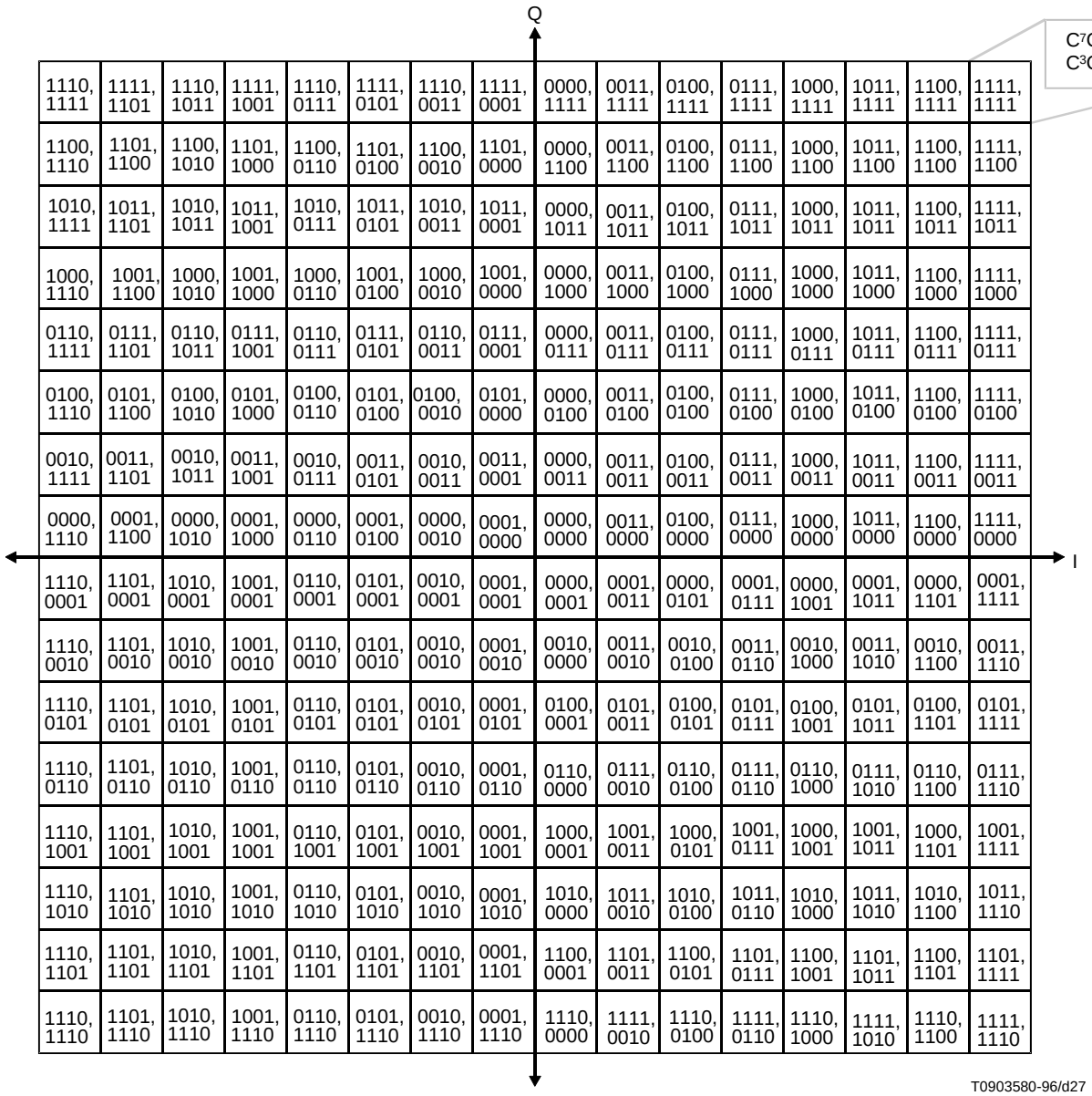
5.5.5.B تقابل كوكبات التشكيل QAM

في التشكيل 64-QAM، تستقبل وحدة التقابل QAM بيانات الرموز 'A' والرموز 'B' المشفرة وغير المشفرة والمؤلفة من 3 بتات من المشكّل بالتشفير الشبكي. وتَستخدم هذه البتات لمعالجة جدول بحث ينتج رمز الكوكبة المؤلف من 6 بتات. بعد ذلك يتم إرسال رمز الكوكبة المؤلف من 6 بتات إلى المشكّل 64-QAM حيث تتولد كوكبة الإشارات المبينة في الشكل 18.B.

وفي التشكيل 256-QAM، تستقبل وحدة التقابل QAM بيانات الرموز 'A' والرموز 'B' المشفرة وغير المشفرة والمؤلفة من 4 بتات من المشكّل بالتشفير الشبكي. وتَستخدم هذه البتات لمعالجة جدول بحث ينتج رمز الكوكبة المؤلف من 8 بتات. بعد ذلك يتم إرسال رمز الكوكبة المؤلف من 8 بتات إلى المشكّل 256-QAM حيث تتولد كوكبة الإشارات المبينة في الشكل 19.B.



الشكل 18.B – كوكبة التشكيل 64-QAM



الشكل 19.B – كوكبة التشكيل 256-QAM

6.B التشكيل وإزالة التشكيل

1.6.B خصائص التشكيل QAM

يلخص الجدول 3.B نسق الإرسال الكبلي المتعلق بالتشكيل 64-QAM والتشكيل 256-QAM. ويتضمن الجدول 4.B ملخصاً بالخصائص ذات الصلة بأساليب التشذير المتغير.

الجدول 3.B – نسق الإرسال الكبلي

المعلمة	نسق 64-QAM	نسق 256-QAM
التشكيل	64-QAM، تشفير لامتعير دورانياً	256-QAM، تشفير لامتعير دورانياً
حجم الرمز	3 بتات للبعد "I" و3 بتات للبعد "Q"	4 بتات للبعد "I" و4 بتات للبعد "Q"
نطاق الإرسال	54 إلى 860 MHz (الملاحظة)	54 إلى 860 MHz (الملاحظة)
المباعدة بين القنوات	6 MHz (الملاحظة)	6 MHz (الملاحظة)
معدل الرموز	5,056941 Msps ±5 ppm (الملاحظة)	5,360537 Msps ±5 ppm (الملاحظة)
معدل بتات المعلومات	26,97035 Msps ±5 ppm (الملاحظة)	38,81070 Msps ±5 ppm (الملاحظة)
الاستجابة الترددية	مرشاح الجذر التربيعي لجيب التمام المرفوع (عامل التناقص ≈ 0,18)	مرشاح الجذر التربيعي لجيب التمام المرفوع (عامل التناقص ≈ 0,12)
تأطير التصحيح FEC	ذيلية مزامنة من 42 بتة تلي 60 كتلة RS (انظر 3.5.B)	ذيلية مزامنة من 40 بتة تلي 88 كتلة RS (انظر 3.5.B)
تقابل كوكبات التشكيل QAM	6 بتات للرمز الواحد (انظر 5.5.B)	8 بتات للرمز الواحد (انظر 5.5.B)
ملاحظة – هذه القيم تخص مباعدة بين القنوات قدرها 6 MHz. ولا تزال المجموعات الإضافية من القيم المتعلقة بمباعدة مختلفة بين القنوات قيد الدراسة.		

الجدول 4.B – أساليب التشذير المتغير

	المستوى 1	المستوى 2
نسق QAM	64-QAM (انظر الجدول 3.B)	64-QAM أو 256-QAM (انظر الجدول 3.B)
التشذير	تشذير ثابت (انظر 2.5.B) I = 128 J = 1	تشذير متغير (انظر 2.5.B) I = 128,64,32,16,8 J = 1,2,3,4,5,6,7,8,16

2.6.B خرج التردد الراديوي للمشكّل QAM

تعطى إشارة QAM المشكلة بالأسلوب QAM بالمعادلة التالية:

$$s(t) = I(t) \times \cos(2\pi ft) + Q(t) \times \sin(2\pi ft)$$

حيث t تدل على الوقت، وf تدل على تردد الموجة الحاملة الراديوية، وحيث $I(t)$ و$Q(t)$ هما مكونتا رموز الكوكبة التربيعيتان للنطاق الأساسي المرشحتان بمرشاح نيكويست الأساسي.

الملحق C

النظام C الرقمي المتعدد البرامج

(يشكل هذا الملحق جزءاً أساسياً من هذه التوصية)

1.C مقدمة

يصف هذا الملحق هيكل التأطير وتشفير القناة والتشكيل لنظام رقمي متعدد البرامج بالتوزيع الكبلي.

يَستخدم هذا النظام تعدد إرسال النقل القائم على الأسلوب MPEG-2 (انظر المرجع [2])، ما يضمن قابلية التشغيل البيني مع وسائط أخرى من قبيل الإذاعة الرقمية، أو الشبكات الرقمية المتكاملة الخدمات (ISDN) أو الوسائط المرزّمة. ولا يختلف هيكل التأطير وتشفير القنوة عما هما عليه في الملحق A. كما أن مخططي التشكيل هما 64-QAM و256-QAM، علماً بأن معدل رموز QAM وعامل التناقص يحددان على النحو الأمثل لخطة القنوات 6 MHz.

كما يسمح النظام بمواصلة التطور نحو كوكبات أعلى مرتبة للتشكيل QAM، علماً بأن التعديلات المناسبة لتشفير القناة الخاص به وتقابل الرموز هي حالياً قيد الدراسة.

2.C مفهوم النظام الكبلي

يعرف النظام الكبلي بأنه المجموعة الوظيفية من المعدات التي تقوم بتكييف إشارات التلفزيون بالنطاق الأساسي لتتلاءم مع خصائص القناة الكبلية.

فعند طرف الكبل المخصص للاستقبال، قد ترد إشارة التلفزيون بالنطاق الأساسي من البث الإذاعي أو وصلات التوزيع الثانوي أو وصلات المساهمة أو مصادر البرامج المحلية.

وتطبق العملية التالية على النحو المبين في الشكل 1.C.

1.2.C ترابط النطاق الأساسي وإشارة التزامن

تقوم هذه الوحدة بتكييف بنية البيانات مع نسق مصدر الإشارة. ويجب أن يكون هيكل التأطير متوافقاً مع طبقة النقل MPEF-2 بما في ذلك بايتات إشارة التزامن.

2.2.C عكس إشارة التزامن 1 والتوزيع العشوائي

تقوم هذه الوحدة بعكس بايتة إشارة التزامن (sync 1) كل ثماني رزم، وفقاً لهيكل التأطير MPEG-2، وبتوزيع تدفق البيانات بشكل عشوائي لأغراض قولبة الطيف.

3.2.C مشفّر ريد–سولومون (RS)

تطبق هذه الوحدة شفرة ريد–سولومون مختزلة على كل رزمة نقل عشوائية لتوليد رزمة محمية من الخطأ. ويجب أن تطبق هذه الشفرة أيضاً على بايتة إشارة التزامن نفسها.

4.2.C المشذر التلافيفي

تجري هذه الوحدة تشذيراً تلافيفياً بعمق I = 12 للرزم المحمية من الخطأ. وتبقى دورية (تواتر) بايتات إشارة التزامن بدون تغيير.

5.2.C التحويل من بايت إلى عدد m من البايتات

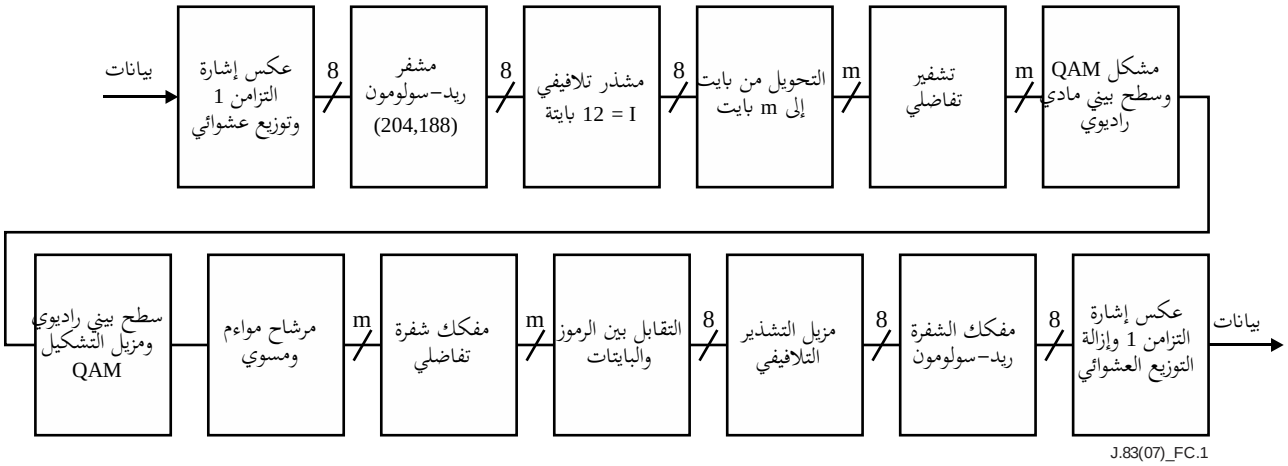
تقوم هذه الوحدة بتحويل البايتات التي يولّدها المشذّر داخل رموز QAM.

6.2.C التشفير التفاضلي

للحصول على كوكبة لا تتغير بالدوران، تطبق هذه الوحدة تشفيراً تفاضلياً للبتتين الأكثر دلالة (MSB) في كل رمز.

7.2.C التشكيل QAM والسطح البيني المادي

تقوم هذه الوحدة بترشيح الإشارتين I وQ قبل التشكيل QAM بمرشاح الجذر التربيعي لجيب التمام المرفوع. ويلي ذلك التوصيل البيني للإشارة المشكلة QAM بالقناة الكبلية للتردد الراديوي.



الشكل 1.C – تشكيلة النظام

8.2.C المستقبل الكبلي

يقوم مستقبِل النظام بمعالجة عكسية للإشارة، على النحو المبين في عملية التشكيل أعلاه، وذلك لاستعادة إشارة النطاق الأساسي.

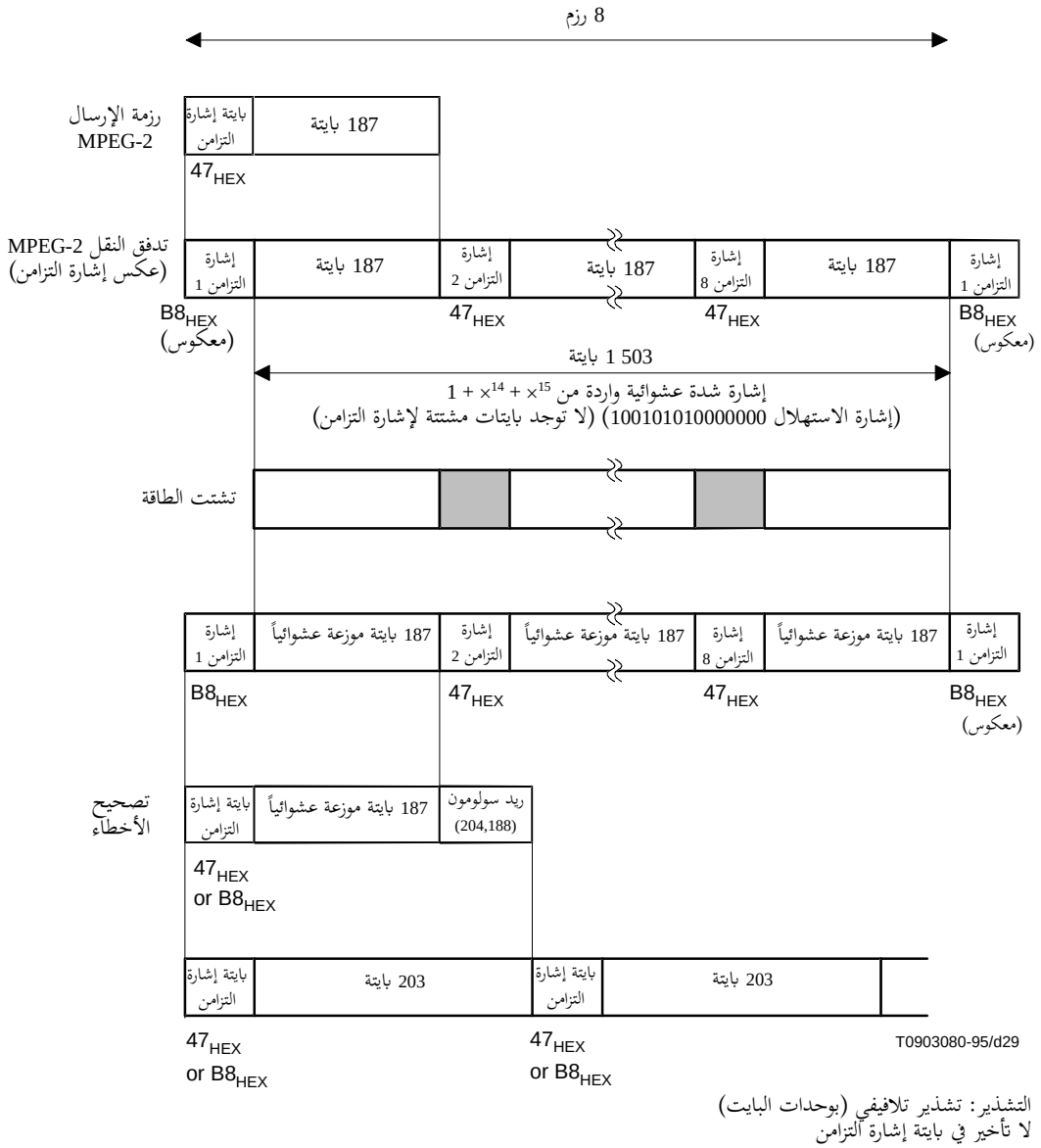
بالإضافة إلى ذلك، ينبغي تركيب مسوٍّ في المستقبل الكبلي لمنع زيادة أخطاء البتات الناجمة عن الانعكاس في النظام الكبلي.

3.C طبقة النقل MPEG-2

تستند طبقة النقل في النظام الرقمي المتعدد البرامج إلى النظام MPEG-2 (انظر المرجع [2]). ويتم تعدد إرسال النقل في رزمة تدفق النقل المؤلفة من 188 بايتة، طبقاً للنظام MPEG-2.

4.C هيكل التأطير

يجب أن يستند تنظيم التأطير إلى هيكل رزم النقل MPEG-2. ويظهر هيكل التأطير الخاص بالنظام في الشكل 2.C.



الشكل 2.C – تشكيلة إشارة الإرسال

5.C تشفير القنوات

لتحقيق المستوى الملائم للحماية من الخطأ واللازم لإرسال البيانات الرقمية بزاسطة الكبل، يجب استخدام تصحيح أمامي للأخطاء (FEC) يستند إلى تشفير ريد–سولومون. ويتم تحقيق الحماية من رشقة الأخطاء باستعمال التشذير.

1.5.C التوزيع العشوائي

يتم تنظيم تدفق دخل النظام في رزم ثابتة الطول (انظر الشكل 2.C)، وفقاً لمعدد إرسال النقل MPEG-2. ويبلغ مجموع طول رزمة معدد إرسال النقل MPEG-2 188 بايتة. ويشمل ذلك بايتة واحدة لكلمة إشارة التزامن.

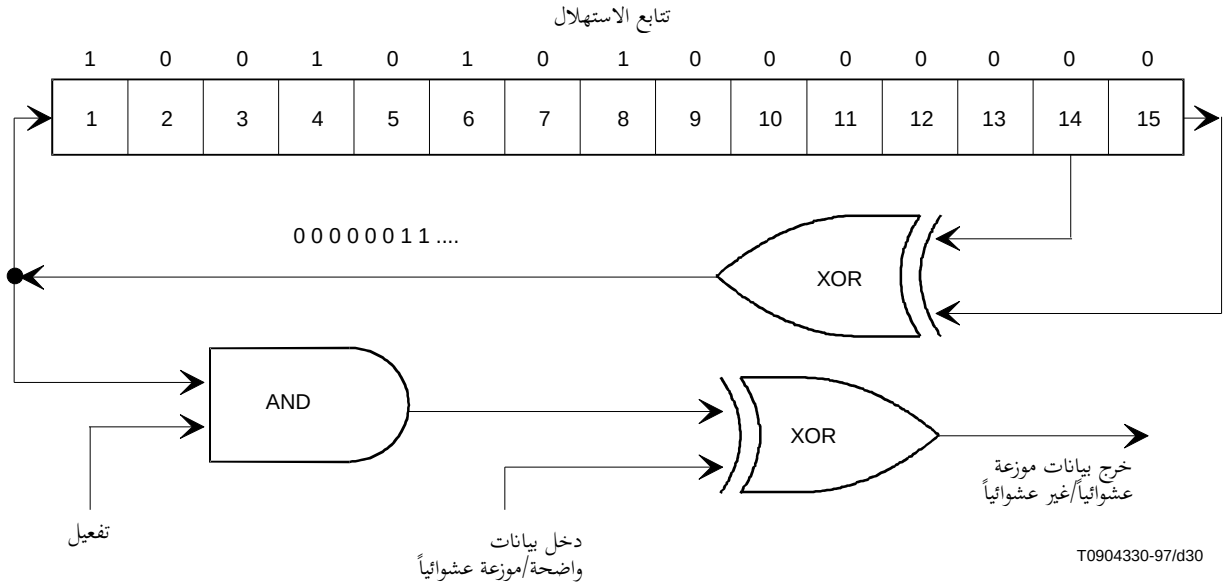
ولتوفير الحد الأقصى من التوافق مع الوسائط الأخرى وضمان انتقالات اثنينة ملائمة لاستعادة الميقاتية، يجب أن تكون البيانات عند خرج معدد إرسال النقل MPEG-2 موزعة عشوائياً وفقاً للتشكيلة المبينة في الشكل 3.C.

وتكون متعددة الحدود لمولد التتابع الاثنيني شبه العشوائي (PRBS) كما يلي:

$$1 + x^{14} + x^{15}$$

ويُستهل تحميل التتابع "100101010000000" في سجلات التتابع الاثنيني شبه العشوائي (PRBS)، كما هو مبين في الشكل 3.C، في بداية كل ثماني رزم نقل. ولتوفير إشارة استهلال لمزيل التخليط، يتم قلب بايتة إشارة تزامن MPEG-2 من أول رزمة نقل في مجموعة من ثماني رزم باتجاه البتات من 47_{HEX} إلى $B8_{HEX}$.

وتطبق البتة الأولى عند خرج المولد PRBS على البتة الأولى في البايتة الأولى بعد بايتة إشارة زامن MPEG-2 المقلوبة (أي $B8_{HEX}$). وللمساعدة في وظائف تزامن أخرى، أثناء بايتات إشارة تزامن MPEG-2 في رزم النقل السبعة التالية، يستمر توليد التتابع PRBS، ولكن مع تعطيل الخرج، مما يترك هذه البايتات دون توزيع عشوائي. وهكذا تكون فترة التتابع PRBS بمقدار 503 1 بايتات.



دخل بيانات (بدءاً بالبتة الأكثر دلالة): 1 0 1 | 1 1 0 0 0 | x x x | x x x x x .... |
تتابع PRBS: | | 0 0 0 | 0 0 0 1 1 .... |

الشكل 3.C – المخطط البياني للمخلّط/مزيل التخليط

2.5.C تشفير ريد–سولومون (RS)

تستخدم شفرة ريد–سولومون (204, 188) المختزلة في التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC). ويمكن تنظيم تشفير ريد–سولومون عن طريق إلحاق "0" في 51 بايتة قبل بايتة بيانات الدخل وحذفه بعد التشفير عند دائرة تشفير ريد–سولومون (255, 239) العامة الأغراض.

وتكون متعددة حدود مولد الشفرة كما يلي:

$$g(x) = (x+\lambda^0)(x+\lambda^1)(x+\lambda^2)\cdots(x+\lambda^{15})$$

حيث:

$$\lambda = 02_{HEX}$$

وتكون متعددة حدود مولد الحقل كما يلي:

$$p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$$

3.5.C المشذّر التلافيفي

وفقاً للمخطط الوارد في الشكل 4.C، يطبق التشذير التلافيفي بعمق I = 12 على الرزم المحمية من الخطأ.

ويمكن أن يتألف المشذر من I = 12 فرعاً، تكون موصولة بشكل دوري بتدفق بايتات الدخل بواسطة بدّالة الدخل. ويكون كل فرع عبارة عن سجل إزاحة بحسب ترتيب الوصول (FIFO) وخلايا بعمق (M j) (حيث N/I = 17 = M، وN = 204 = طول الرتل المحمي من الخطأ، وI = 12 = عمق التشذير، وj = دليل الفرع). وتحتوي الخلايا التي ترد بحسب ترتيب الوصول على بايتة واحدة، ويتم تزامن بدالات الدخل والخرج.

ولأغراض التزامن، تسيّر بايتات إشارة التزامن، المقلوبة وغير المقلوبة، دوماً في الفرع "0" من المشذر (ما يقابل 'صفر' تأخير).

ملاحظة – مزيل التشذير مماثل، من حيث المبدأ، للمشذر ولكن أدلة الفرع معكوسة (أي إن j = 0 تقابل أطول تأخير). ويمكن القيام بمزامنة مزيل التشذير بتسيير أول بايتة لإشارة التزامن تصادف في الفرع "0".

6.C التشكيل

1.6.C التقابل بين البايتات والإشارات

بعد التشذير التلافيفي، يجب إجراء تقابل دقيق بين البايتات والرموز. ويجب أن يعتمد التقابل على استعمال حدود البايتات في نظام التشكيل.

وفي كل حالة، تؤخذ البتة الأكثر دلالة في الرمز Z من البتة الأكثر دلالة في الرمز V. وفي المقابل، تؤخذ البتة التي تليها دلالة في الرمز من البتة التي تليها دلالة في البايت. وبالنسبة لحالة التشكيل 2^m-QAM، تجري العملية تقابلاً بين k بايت مع n رمز بحيث يكون لدينا:

$$8k = n \cdot m$$

ويوضح الشكل 5.C العملية المتعلقة بالحالة 64-QAM (حين يكون m = 6 وk = 3 وn = 4) والحالة 256-QAM (حين يكون m = 8 وk = 3 وn = 3).

2.6.C التشفير التفاضلي

بعد ذلك يتم تشفير البتتين الأكثر دلالة في كل رمز بشكل تفاضلي من أجل الحصول على كوكبة QAM لا تتغير بالدوران بزاوية $\pi/2$. ويعطى التشفير التفاضلي للبتتين الأكثر دلالة بواسطة العبارتين التاليتين:

$$I_k = \overline{(A_k \oplus B_k)} \cdot (A_k \oplus I_{k-1}) + (A_k \oplus B_k) \cdot (A_k \oplus Q_{k-1})$$

$$Q_k = \overline{(A_k \oplus B_k)} \cdot (B_k \oplus Q_{k-1}) + (A_k \oplus B_k) \cdot (B_k \oplus I_{k-1})$$

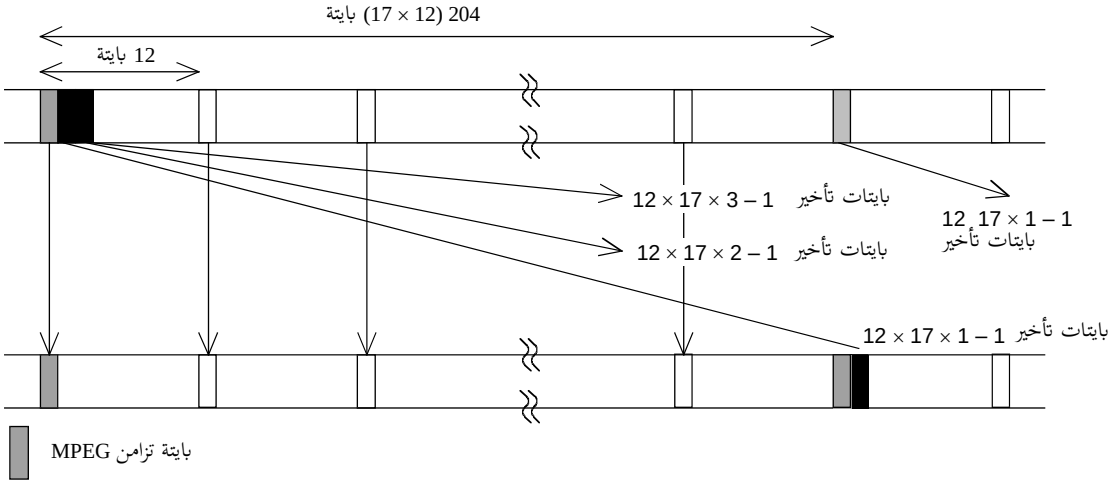
ويعطي الشكل 6.C مثالاً على تنفيذ تحويل البايتات إلى رموز في الحالتين 64-QAM و256-QAM.

3.6.C كوكبة التشكيل QAM

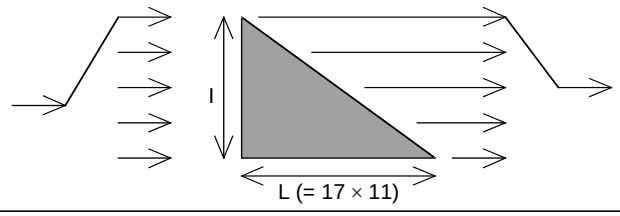
يمكن تكييف النظام مع مباعدة بين القنوات قدرها 6 MHz. ويرتبط مخطط التحويل من بايت إلى تشكيل الوارد في هذه الفقرة الفرعية ارتباطاً مباشراً بأسلوب التقابل بين البايتات والرموز الوارد في الشكل 1.6.C.

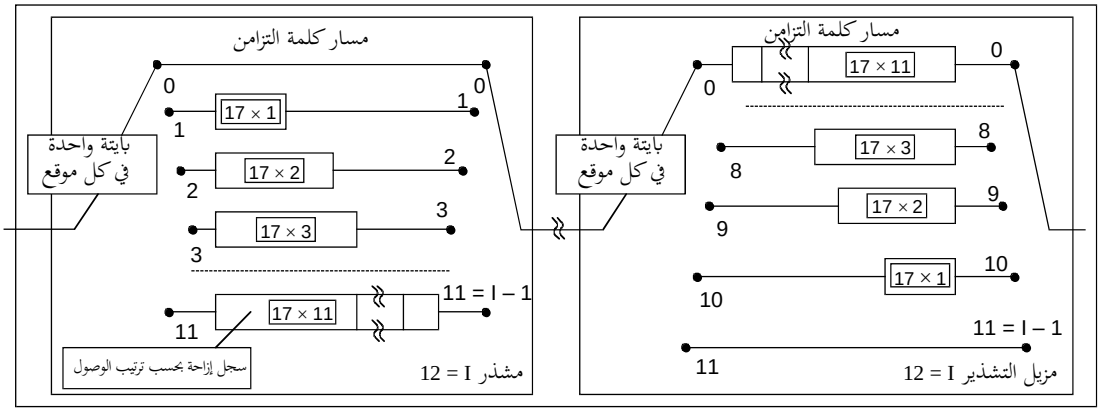
ويكون تشكيل النظام عبارة عن تشكيل اتساعي تربيعي (QAM) مؤلف من 64 نقطة (64-QAM) أو 256 نقطة (256-QAM) في المخطط البياني للكوكبة.

ويرد في الشكل 7.C المخطط البياني لكوكبة النظام في الحالتين 64-QAM و256-QAM.



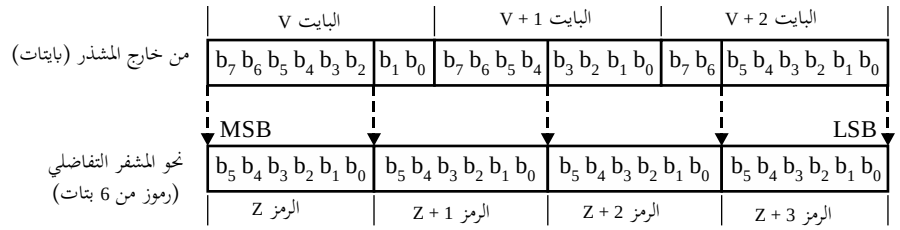
عمق التشذير	I (= 12)
التزامن	تسيير موجة قصيرة (الدورة I)
سعة الذاكرة المطلوبة	1/2 × I × L



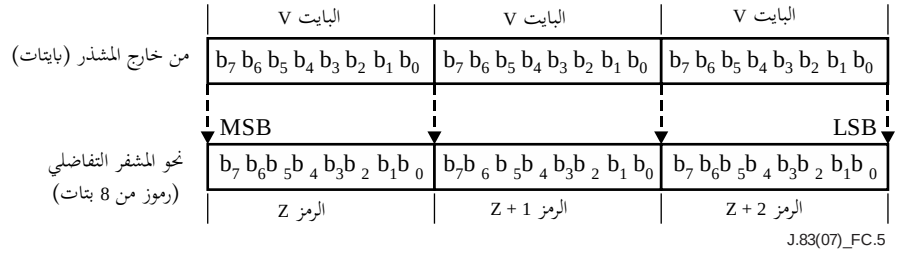


T0903100-95/d31

الشكل 4.C – تشكيلة التشذير



التحويل من بايتة إلى m بايتة



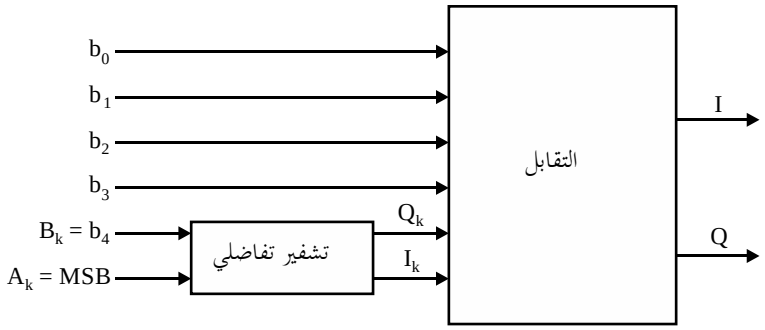
J.83(07)_FC.5

التحويل من بايتة إلى m بايتة

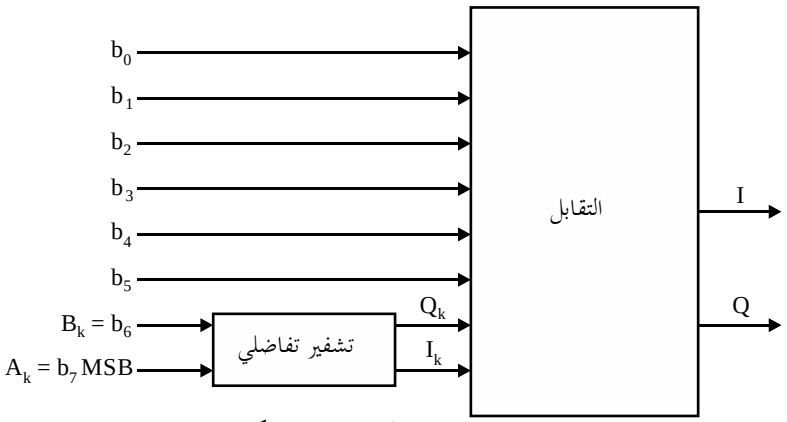
الملاحظة 1 – تعتبر b_0 أخر بتة أقل دلالة في كل باتية أو 8 بايتات.

الملاحظة 2 – في عمليات التحويل هذه، تعطي كل بايتة أكثر من عدد مضاعف عن m من البايتات، تدعى Z، Z+1، إلخ حيث يتم إرسال Z قبل Z+1

الشكل 5.C – التحويل من بايت إلى m بايت في أسلوبي التشكيل 64-QAM و256-QAM



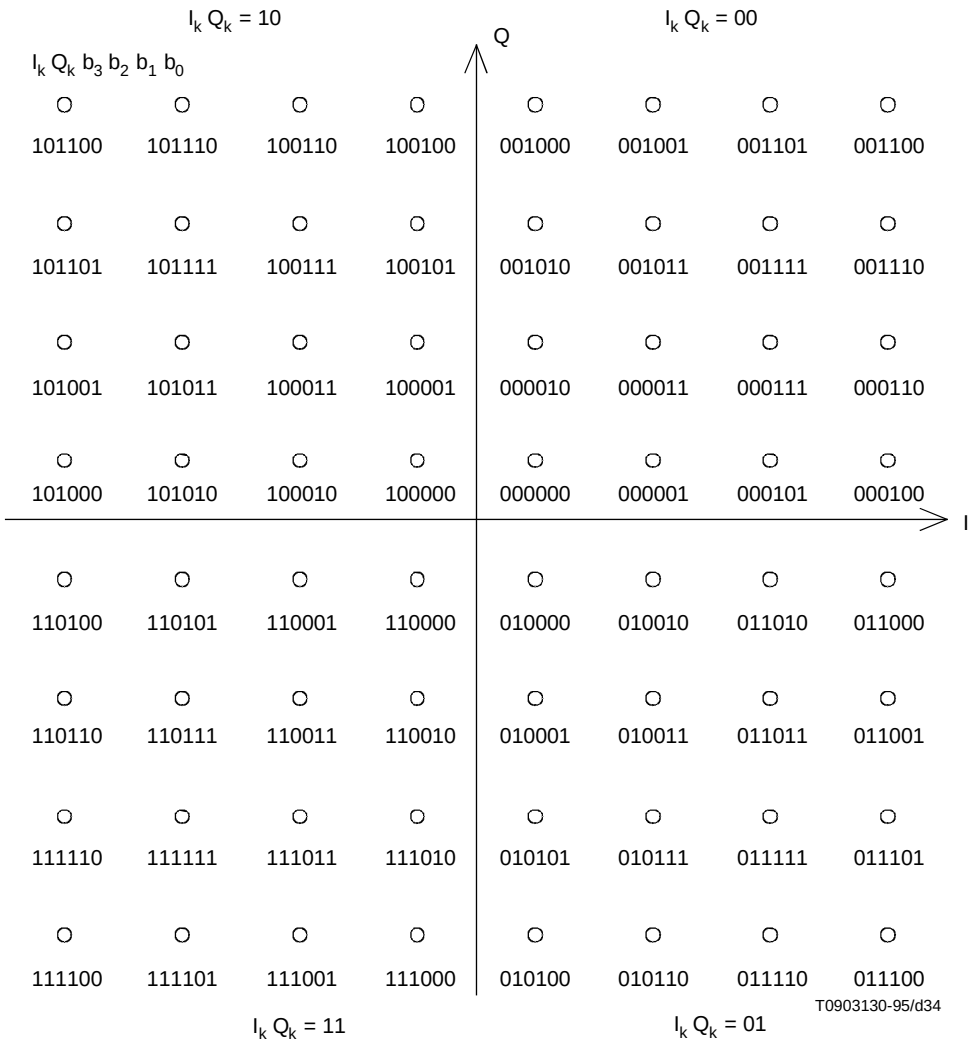
التحويل من بايتات إلى رموز في التشكيل 64-QAM



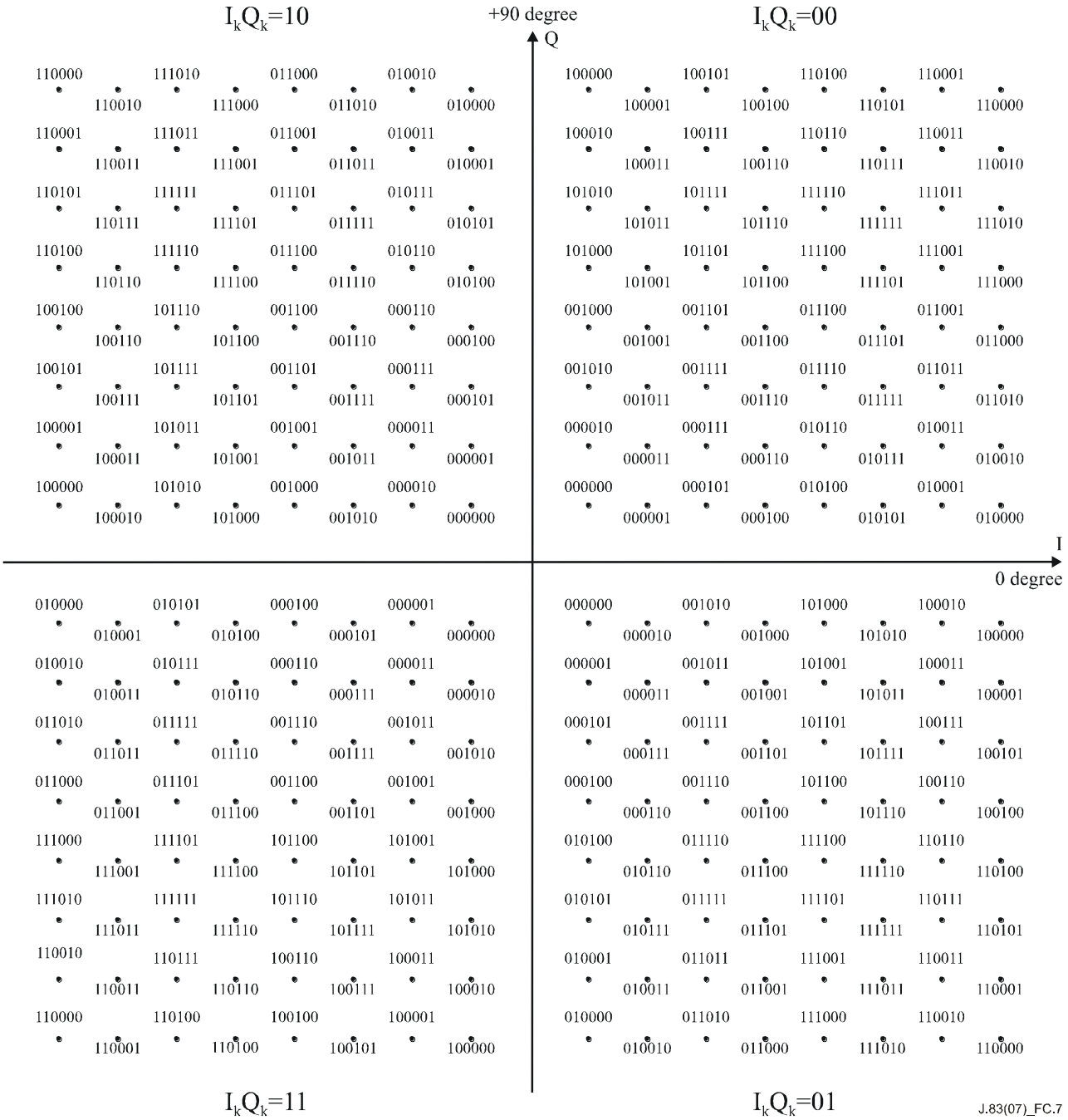
التحويل من بايتات إلى رموز في التشكيل 256-QAM

J.83(07)_FC.6

الشكل 6.C – مثال على تنفيذ تحويل البايتات إلى رموز والتشفير التفاضلي للبتتين الأكثر دلالة



الشكل 7.C – الجزء الأول: المخطط البياني للكوكبة في التشكيل 64-QAM



الشكل 7.C – الجزء الثاني: المخطط البياني للكوكبة في التشكيل 256-QAM

4.6.C عامل التناقص

قبل التشكيل، يجب ترشيح الإشارتين I وQ بمرشاح الجذر التربيعي لجيب التمام المرفوع. ويجب أن يكون عامل التناقص يقيمة 0,13. ويجب أن يكون لمرشاح الجذر التربيعي لجيب التمام المرفوع دالة نظرية محددة بالصيغة التالية.

$$H(f)=1 \text{ for} |f| < f_N(1-\alpha)$$

$$H(f)=\left[\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\sin\frac{\pi}{2f_N}\left[\frac{f_N-|f|}{\alpha}\right]\right]^{1/2} \text{ for } f_N(1-\alpha)\le|f|\le f_N(1+\alpha),\ H(f)=0 \text{ for} |f| > f_N(1+\alpha)$$

حيث:

$f_N = \frac{1}{2T_s} = \frac{R_s}{2}$ هو تردد نيكويست وعامل التناقص α يساوي 0,13

ملاحظة – ترد خصائص مرشاح الإرسال في الفقرة الفرعية التالية. وينطبق عامل التناقص في ظل ظروف تداخل الإشارات في القناة المجاورة (أي من إشارة تلفزيونية وما أشبه) والخصائص المحددة لمرشاح النطاق الأساسي.

5.6.C خصائص مرشاح النطاق الأساسي

يستعمل النموذج المعياري الوارد في الشكل 8.C كحد أدنى من متطلبات تنفيذ عتاد مرشاح نيكويست. يأخذ هذا النموذج المعياري في الاعتبار ليس فقط التقييدات المفروضة على تصميم المرشاح الرقمي، بل أيضاً القطع المصنوعة الواردة من مكونات المعالجة التماثلية في النظام (مثل التحويل من الرقمي إلى التماثلي، والترشيح التماثلي وما إلى ذلك).

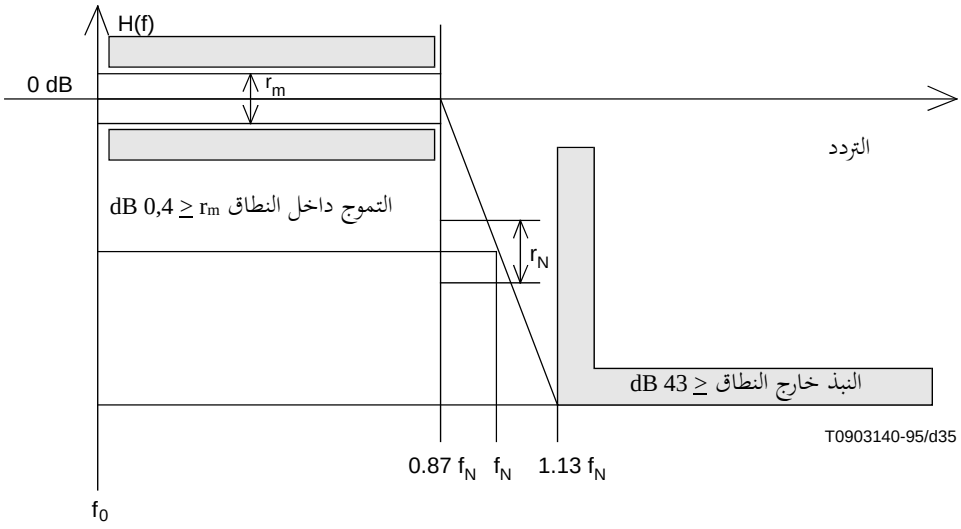
يجب أن تكون قيمة التموج داخل النطاق r_m في نطاق التمرير حتى $(1 - \alpha)f_N$ أقل من 0,4 dB. ويجب أن يكون النبذ خارج النطاق أكبر من 43 dB. ويجب أن يكون التموج r_N عند تردد نيكويست f_N أقل من 1,0 dB.≥

ويجب أن يكون المرشاح خطيّ الطور مع تموج تأخر المجموعة $T_s \geq$ 1,0 (ns) في نطاق التمرير حتى $(1 - \alpha)f_N$ و$T_s \geq$ 1,0 (ns) عند f_N.

حيث:

$T_s = \frac{1}{R_s}$ تمثل دورة الرمز

ملاحظة – تخضع قيم التموج داخل النطاق والنبذ خارج النطاق في هذا الملحق لظروف تشغيل الأنظمة الكبلية وقد تحتاج إلى مزيد من الدراسة.



f_N تردد نيكويست

الشكل 8.C – خصائص اتساع مرشاح نيكويست لنصف النطاق الأساسي

الملحق D

النظام D الرقمي المتعدد البرامج

(يشكل هذا الملحق جزءاً أساسياً من هذه التوصية)

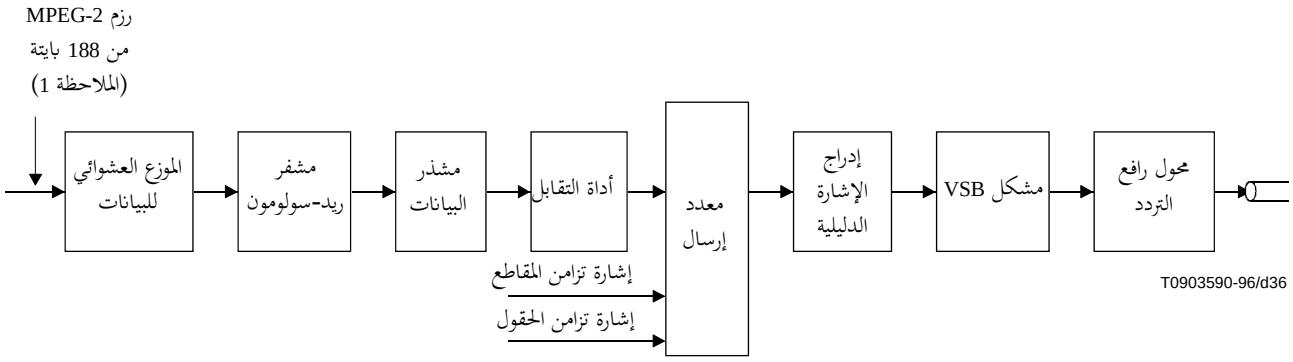
1.D مقدمة

يُستمد هذا الملحق من العمل الذي يتم الاضطلاع به في مجال الإذاعة التلفزيونية الرقمية للأرض في أمريكا الشمالية؛ وهو يصف هيكل التأطير وتشفير القناة والتشكيل في التوزيع الكبلي للتلفزيون الرقمي المتعدد البرامج، استناداً إلى تعدد إرسال النقل MPEG-2، وإلى الإرسال الرقمي في النطاق الجانبي المتبقي 16-VSB.

2.D مفهوم النظام الكبلي

يدعم النظام 16-VSB معدلاً اسمياً لبيانات الحمولة النافعة قدره 38,78 Mbit/s في قناة عرضها 6 MHz[1]. ويبين الشكل 1.D المخطط الوظيفي لمرسل كبلي نموذجي في النظام 16-VSB. ويعادل دخل النظام الفرعي للإرسال الوارد من النظام الفرعي للنقل تدفق بيانات تسلسلي اسمي قدره 38,78 Mbit/s مؤلفاً من رزم بحجم 188 بايتة، انظر المرجع [2] (بما في ذلك بايتة إشارة التزامن و187بايتة من البيانات)[1].

توزع البيانات الواردة بشكل عشوائي ثم تجهز لعملية التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC) بشكل تشفير ريد–سولومون (RS) (تضاف 20 بايتة تعادلية RS إلى كل رزمة)، وتشذير حقول البيانات بمعدل 1/12. ولا تطبق عمليتا التوزيع العشوائي والتصحيح FEC على بايتة إشارة التزامن في رزمة النقل، التي تتمثل في الإرسال بواسطة إشارة تزامن مقاطع البيانات في رزمة النقل. وبعد معالجة التوزيع العشوائي والتصحيح FEC، يتم التشذير التلافيفي للبايتات ثم تنسق رزم البيانات في أطر بيانات للإرسال وتضاف إليها إشارة تزامن مقاطع البيانات وإشارة تزامن حقول البيانات.



الملاحظة 1 – تُقدم بواسطة هيئات إذاعية للأرض أو سواتل أو منظمة محلية.

الملاحظة 2 – يشمل كبلات خاصة [الفنادق والمباني السكنية ومباني الملكية المشتركة والمدارس، – سلكية ونظام التوزيع متعدد النقاط متعدد القنوات (MMDS) – ولا سلكي بالموجات الصغرية].

الشكل 1.D – المرسل 16-VSB (كبل أو طرف الاستقبال في التلفويون SMAT – الملاحظة 2)

1 قيمة المعلمة لعرض نطاق قناة قدره 6 MHz؛ يمكن تعديل القيمة لتلائم عروض نطاق أخرى للقناة.

3.D طبقة النقل MPEG-2

يرد تعريف طبقة النقل MPEG-2 في المرجع [2]. وتتألف طبقة نقل بيانات MPEG-2 من رزم مكونة من 188 بايتة، تخصص إحداها لأغراض التزامن، وثلاث بايتات لرأسية تتضمن تحديد الخدمة ومعلومات التخليط والتحكم، يليها 184 بايتة للنظام MPEG-2 أو للبيانات المساعدة.

4.D هيكل التأطير

يبين الشكل 2.D كيفية تنظيم البيانات المعدّة للإرسال. ويتألف كل إطار بيانات من حقلين للبيانات، يحتوي كل منهما على 313 مقطعاً للبيانات. وأول مقطع بيانات في كل حقل بيانات هو عبارة عن إشارة تزامن فريدة (إشارة تزامن حقول البيانات) ويحتوي على تتابع رزم الإرسال الذي يستخدمه المسوّي في المستقبِل. ويحمل كل مقطع من مقاطع البيانات المتبقية وعددها 312 مقطعاً ما يعادل رزمتي نقل من 188 بايتة بالإضافة إلى المعدل الإضافي للتصحيح FEC. وترد البيانات الفعلية في كل مقطع بيانات من عدة رزم نقل نتيجة لتشذير البيانات. ويتألف كل مقطع بيانات من 832 رمزاً. ترسل الرموز الأربعة الأولى بشكل اثنيني وتوفر تزامن المقاطع. كما أن إشارة تزامن مقاطع البيانات هذه تمثل بايتة إشارة التزامن المتعلقة بكل من رزمتي النقل المتوافقتين مع MPEG والمؤلفتين من 188 بايتة. أما الرموز المتبقية في كل مقطع بيانات، وعددها 828 رمزاً، فتنقل بيانات تمثل مجموعتين من 187 بايتة بيانات يليها 20 بايتة ريد–سولومون (RS). وترسل الرموز البالغ عددها 828 رمزاً على شكل إشارات من 16 مستوى وتحمل بالتالي أربع بتات في الرمز الواحد. وبالتالي فإن كل مقطع بيانات ينقل عدداً من بتات البيانات يبلغ 828 × 4 = 3 312 بتة، ما يتطابق تماماً مع الشرط الذي يقضي بإرسال رزمتي نقل محميتين.

$$187 \text{ data bytes} + 20 \text{ RS parity bytes} = 207 \text{ bytes}$$

$$2 \times 207 \text{ bytes} \times 8 \text{ bits/byte} = 3312$$

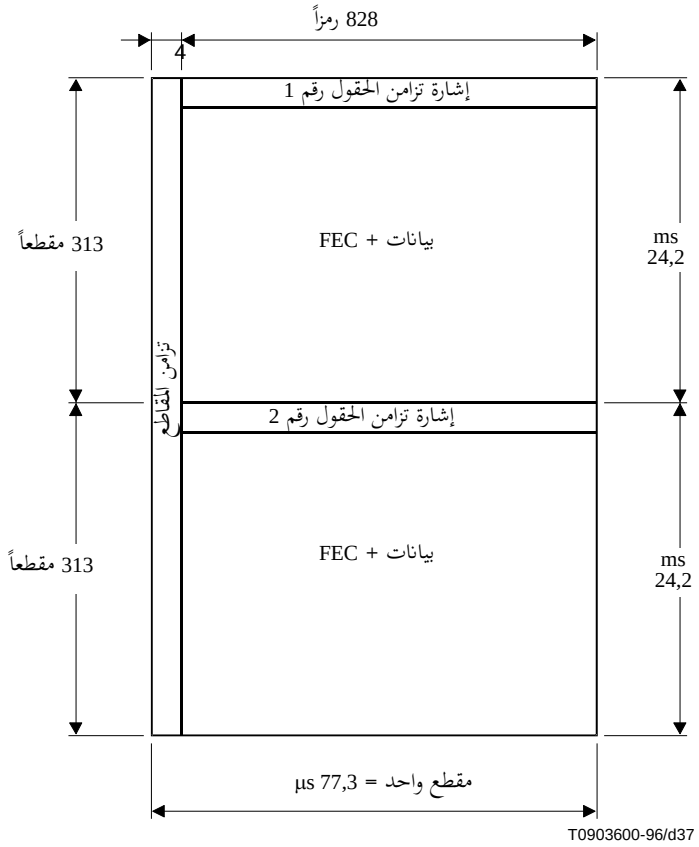
ويعطى معدل الرموز الدقيق بواسطة المعادلة التالية:

$$S_r(\text{MHz}) = 4.5/286 \times 684 = 10.76\cdots\text{MHz}^{1}$$

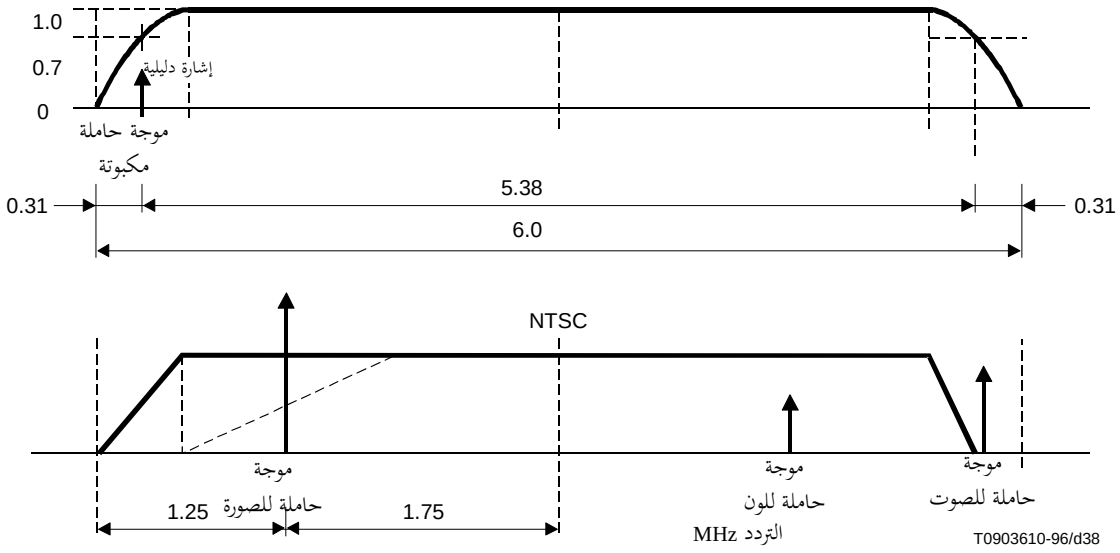
تستخدم الرموز المؤلفة من 16 مستوى مقترنةً بإشارة تزامن مقاطع البيانات وإشارة تزامن حقول البيانات لتشكيل إشارة حاملة وحيدة بأسلوب موجة حاملة مكبوتة. غير أنه قبل الإرسال يتم إلغاء معظم النطاق الجانبي الأدنى. ويكون الطيف الناتج مسطحاً، باستثناء حافتي النطاق حيث تنتج استجابة اسمية لجذر جيب التمام المرفوع في منطقتين انتقاليتين بعرض 620 kHz. ويبين الشكل 3.D[1] طيف الإرسال الاسمي في النطاق الجانبي المتبقي (VSB).

وعند تردد الموجة الحاملة المكبوتة، على بعد 310 kHz من حافة النطاق الدنيا، تضاف إشارة دليلية إلى هذه الإشارة.

ويمكن للنظام الكبلي أن ينقل أيضاً إشارات تلفزيونية معيارية على قنوات أخرى كما هو مبين في الشكل 3.D. ويكون متوسط القدرة الإسمية للإشارة VSB أقل بقيمة 6 dB من قدرة التزامن الذروية للإشارات التلفزيونية المعيارية التي تحملها القنوات المجاورة.



الشكل 2.D – إطار بيانات VSB



الشكل 3.D – انشغال قناتي VSB وNTSC

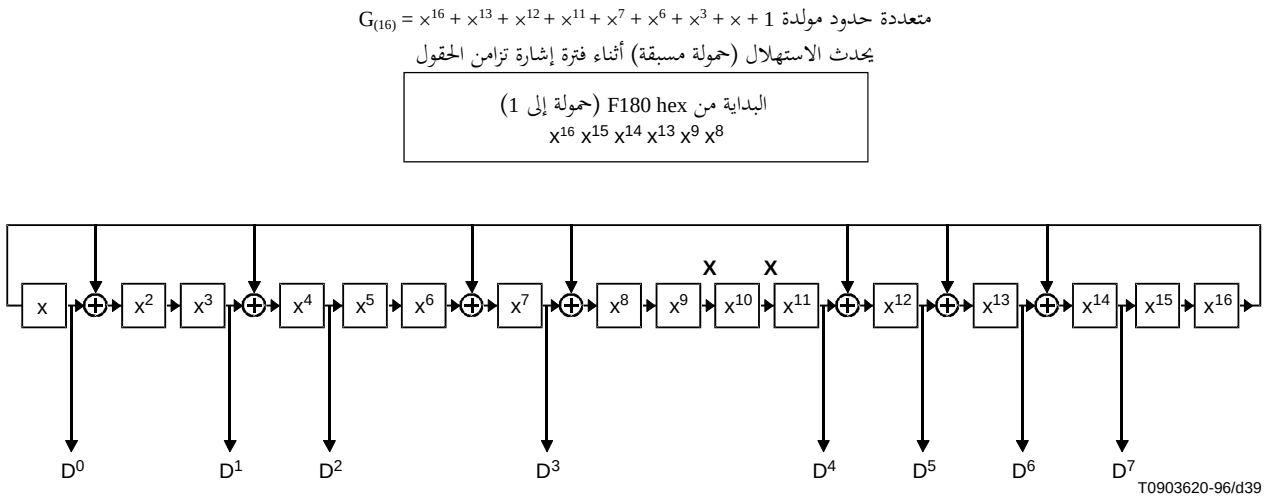
5.D تشفير القناة

1.5.D الموزع العشوائي للبيانات

يستعمل الموزع العشوائي للبيانات على جميع بيانات الدخل لتوزيع حمولة البيانات النافعة (ليس من بينها بايتة إشارة تزامن حقول البيانات أو بايتة إشارة تزامن مقاطع البيانات أو بايتة تعادلية شفرة RS). ويقوم الموزع العشوائي للبيانات بتطبيق الدالة XOR على جميع بايتات البيانات الواردة ذات التتابع الاثنيني شبه العشوائي (PRBS) الذي يبلغ طوله الأقصى 16 بتة ويستهل في بداية حقل البيانات. يتولد التتابع PRBS في سجل إزاحة من 16 بتة له 9 فروع للتغذية الارتجاعية. يتم اختيار ثمانية من نقاط خرج سجل الإزاحة لتشكيل البايتة الثابة للتوزيع العشوائي، حيث تستعمل كل بتة من هذه البايتة لتطبيق الدالة XOR على كل بتة على حدة من بتات بيانات الدخل. وتطبق الدالة XOR على بتات البيانات من البتة الأكثر دلالة (MSB) إلى البتة الأكثر دلالة ومن البتة الأقل دلالة (LSB) إلى البتة الأقل دلالة.

وتحدث التبدئة (الحمولة المسبقة) على F180 hex (حمولة 1) أثناء فترة إشارة تزامن مقاطع البيانات، وقبل المقطع الأول للبيانات.

ويبين الشكل 4.D متعددة الحدود المولدة للموزع العشوائي ونقطة التبدئة.



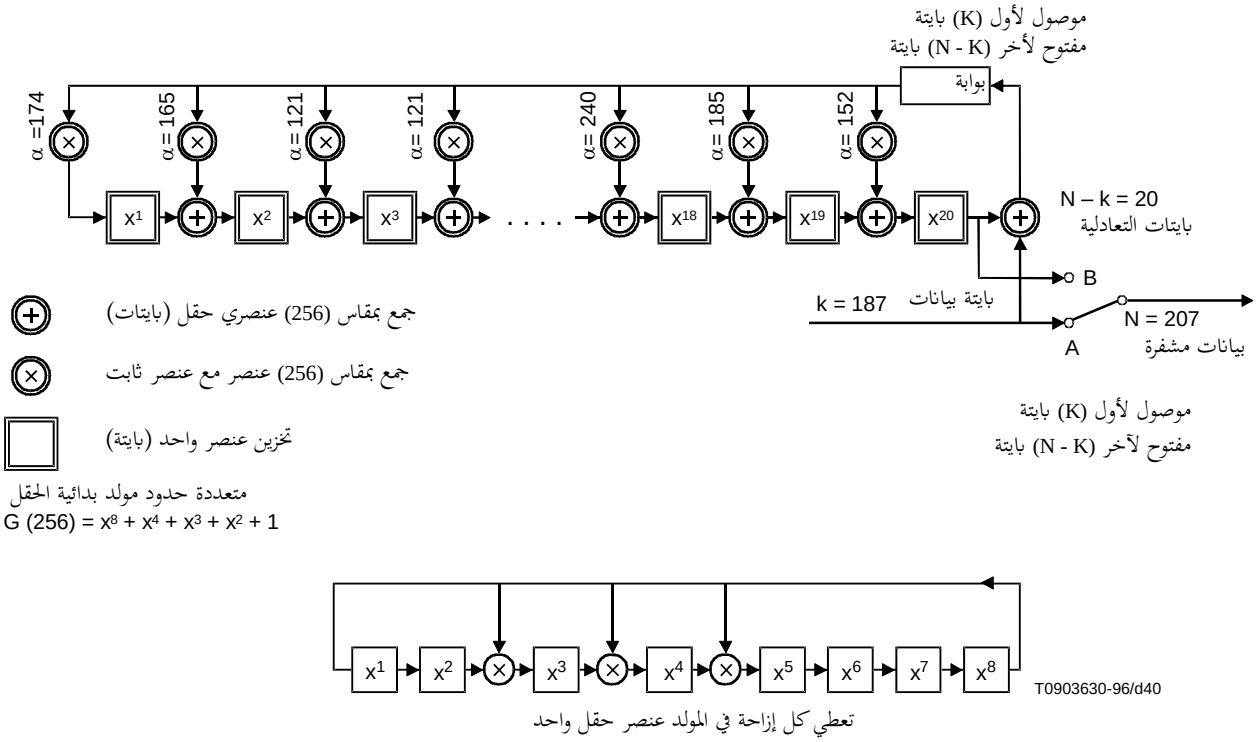
الشكل 4.D – متعددة الحدود المولدة للموزع العشوائي

2.5.D مشفر ريد–سولومون (RS)

إن شفرة RS المستعملة في النظام الفرعي للإرسال في النطاق الجانبي المتبقي (VSB) هي الشفرة (207, 187) t = 10. أما حجم كتلة بيانات RS فيبلغ 187 بايتة، مع إضافة 20 بايتة تعادلية RS إلى تصحيح الأخطاء. وتيتم إرسال كتلتين RS تتألف الواحدة منهما من 207 بايتات لكل مقطع بيانات.

ترسل 20 بايتة من بايتات التعادلية RS عند نهاية المجموعة المعنية المؤلفة من 187 بايتة. ويبين الشكل 5.D متعددة حدود مولد التعادلية ومتعددة حدود مولد حقول البدائية.

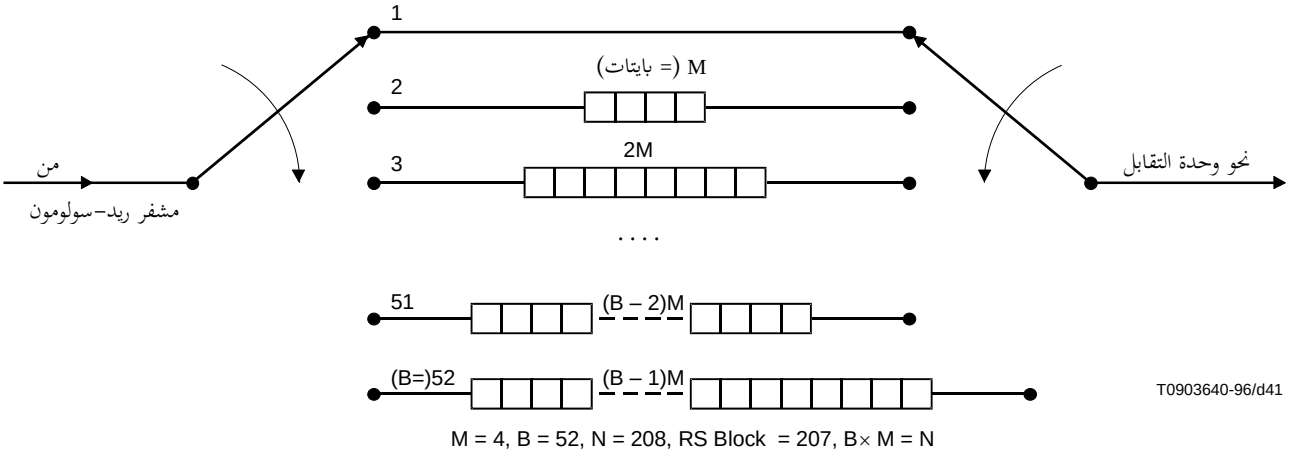
$$\prod_{i=0}^{i=2t-1}(x+\alpha^i) = x^{20} + x^{19}\alpha^{17} + x^{18}\alpha^{60} + x^{17}\alpha^{79} + x^{16}\alpha^{50} + x^{15}\alpha^{61} + x^{14}\alpha^{163} +$$
$$x^{13}\alpha^{26} + x^{12}\alpha^{187} + x^{11}\alpha^{202} + x^{10}\alpha^{180} + x^{9}\alpha^{221} + x^{8}\alpha^{225} + x^{7}\alpha^{83} +$$
$$x^{6}\alpha^{239} + x^{5}\alpha^{156} + x^{4}\alpha^{164} + x^{3}\alpha^{212} + x^{2}\alpha^{212} + x^{1}\alpha^{188} + \alpha^{190}$$
$$= x^{20} + 152\ x^{19} + 185\ x^{18} + 240\ x^{17} + 5\ x^{16} + 111\ x^{15} + 99\ x^{14} +$$
$$6\ x^{13} + 220\ x^{12} + 112\ x^{11} + 150\ x^{10} + 69\ x^{9} + 36\ x^{8} + 187\ x^{7} +$$
$$22\ x^{6} + 228\ x^{5} + 198\ x^{4} + 121\ x^{3} + 121\ x^{2} + 165\ x^{1} + 174$$



الشكل 5.D – متعددة حدود مولد التعادلية لشفرة ريد سولومون (207, 187) مع t = 10

3.5.D التشذير

المشذّر المستعمل في نظام الإرسال VSB هو عبارة عن مشذّر تلافيفي للبايتات مؤلف من 26 مقطعاً للبيانات. ويتوفر التشذير بعمق 1/12 تقريباً من حقل البيانات (عمق قدره 2 ms). ولا تشذّر إلا بايتات البيانات. وتتم مزامنة المشذر مع أول بايتة بيانات في حقل البيانات. ويبين الشكل 6.D المشذر التلافيفي.



الشكل 6.D – المشذّر التلافيفي

4.5.D إشارة تزامن مقاطع البيانات

تمر البيانات المتعددة المستويات عبر معدد إرسال يقوم بإدراج إشارات التزامن المختلفة (إشارة تزامن مقاطع البيانات وإشارة تزامن حقول البيانات).

تدرج إشارة تزامن مقاطع البيانات المؤلفة من 4 رموز ذات مستويين (اثنينة) في تدفق بيانات رقمي من 16 مستوى عند بداية كل مقطع بيانات. (يستعاض عن بايتة إشارة التزامن في MPEG بإشارة تزامن مقاطع البيانات) ويبين الشكل 7.D إشارة تزامن مقاطع البيانات المدرجة في بيانات عشوائية.

يتألف المقطع الكامل من 832 رمزاً: 4 رموز لإشارة تزامن مقاطع البيانات، و828 رمزاً للبيانات بالإضافة إلى التعادلية. وتكون إشارة تزامن مقاطع البيانات اثنينية (ذات مستويين). ويحدث نفس نمط إشارة التزامن بانتظام على فترات زمنية قدرها 77,3 µs، وهي الإشارة الوحيدة التي تتكرر بهذا المعدل. وبعكس البيانات، فإن الرموز الأربعة لإشارة تزامن مقاطع البيانات ليست بتشفير ريد–سولومون (RS)، كما أنها ليست مشذرة. ويكون نمط إشارة تزامن مقاطع البيانات من النوع 1001، كما هو مبين في الشكل 7.D.

5.5.D إشارة تزامن حقول البيانات

لا تقسم البيانات إلى مقاطع بيانات فحسب، بل أيضاً إلى حقول بيانات يتألف الحقل الواحد منها من 313 مقطعاً. يبدأ كل حقل بيانات (24,2 ms) بمقطع بيانات كامل في إشارة تزامن حقول البيانات، كما هو مبين في الشكل 8.D. ويمثل كل رمز بتة واحدة من البيانات (المستوى 2). ويرد فيما يلي تعريف للرموز البالغ عددها 832 رمزاً في هذا المقطع. انظر الشكل 8.D.

1.5.5.D إشارة التزامن

وهي تقابل إشارة تزامن مقاطع البيانات وتعرّف بأنها 1001.

2.5.5.D PN511

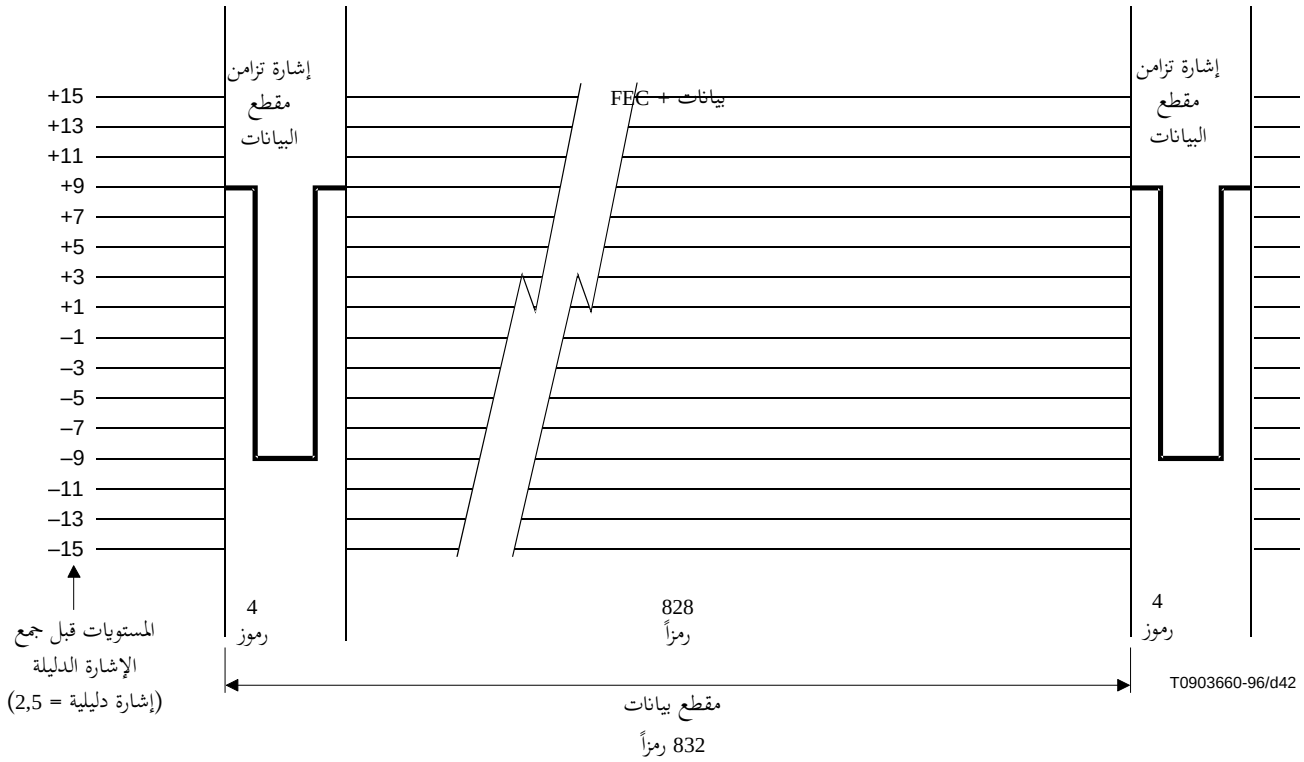
يعرّف هذا التتابع شبه العشوائي بأنه $x^9 + x^7 + x^6 + x^4 + x^3 + x + 1$ مع قيمة حمولة مسبقة قدرها 010000000.

ويبين الشكل 9.D مولّد التتابع PN511.

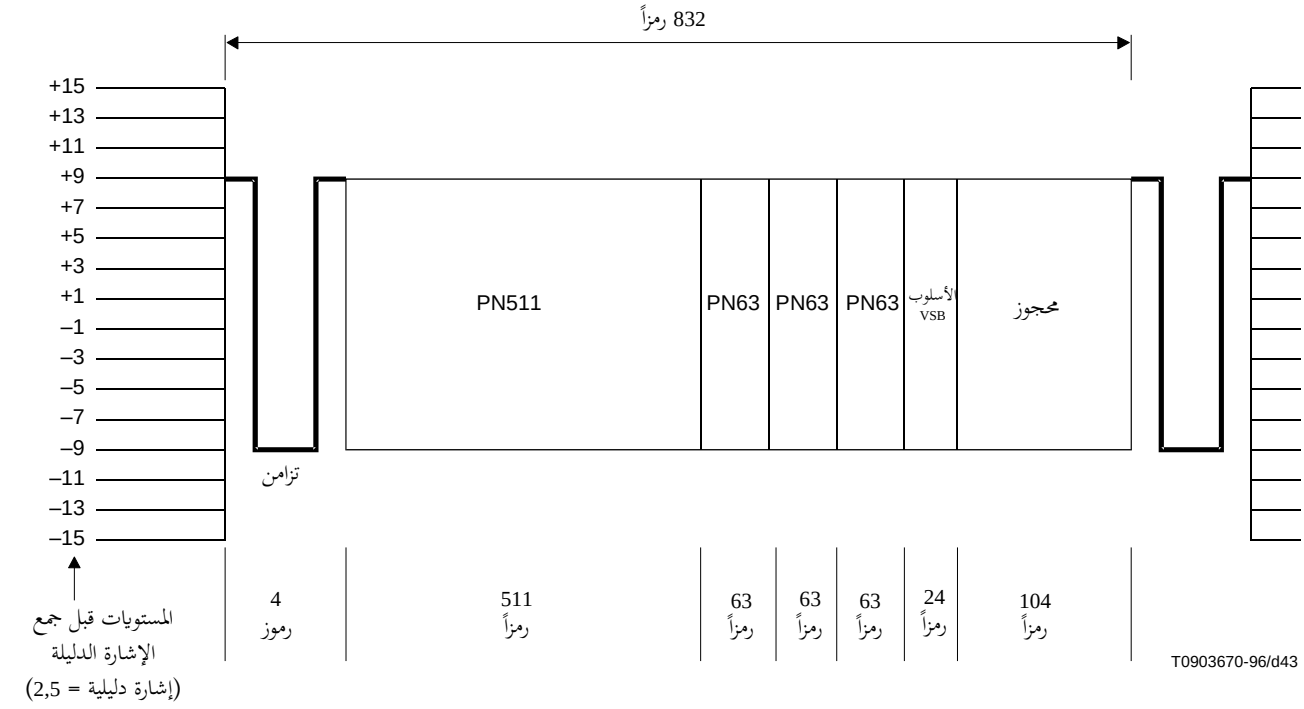
3.5.5.D PN63

يتكرر هذا التتابع شبه العشوائي ثلاث مرات. ويعرّف بأنه $x^6 + x + 1$ مع قيمة حمولة مسبقة قدرها 100111. ويتم عكس التتابع PN63 الأوسط في كل إشارة تزامن دون أخرى لحقول البيانات.

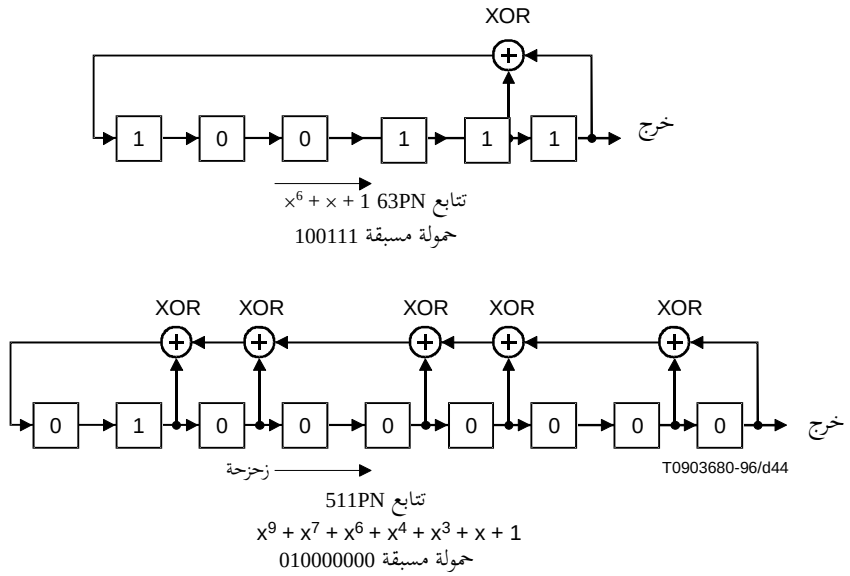
ويبين الشكل 9.D مولّد التتابع PN63.



الشكل 7.D – مقطع البيانات في النظام 16-VSB



الشكل 8.D – إشارة تزامن حقول البيانات في النظام 16-VSB



الشكل 9.D – مولدات التتابع PN لإشارة تزامن الحقول

4.5.5.D أسلوب النطاق الجانبي المتبقي (VSB)

تحدد هذه البتات البالغ عددها 24 بتة الأسلوب VSB للبيانات الموجودة في الإطار. وتحجز البايتتان الأوليان. ويكون نمط الملء المقترح 0000111100001111. وتحدد البايتة التالية كما يلي:

$$P\,A\,B\,C\ \overline{P\,A\,B\,C}$$

حيث P يتة التعادلية المزدوجة، وهي البتة الأكثر دلالة في البايتة، وA وB وC بتات الأسلوب الفعلية.

P A B C	
0 0 0 0	2 VSB
1 0 0 1	4 VSB
1 0 1 0	8 VSB
0 0 1 1	محجوز
1 1 0 0	16-VSB Cable
0 1 0 1	8-VSB Terrestrial (ملاحظة) (بالتشفير الشبكي)
0 1 1 0	محجوز
1 1 1 1	محجوز

ملاحظة – في أسلوب 8-VSB للأرض، تحدد البتات السابقة كما يلي:

$$0\,0\,0\,0\ \overline{P\,A\,B\,C}\ P\,A\,B\,C\,1\,1\,1\,1$$

5.5.5.D الحيّز المحجوز

تشكل البتات الأخيرة البالغ عددها 104بتات حيزاً محجوزاً. ويقترح ملء هذا الحيز بإكمال التتابع PN63.

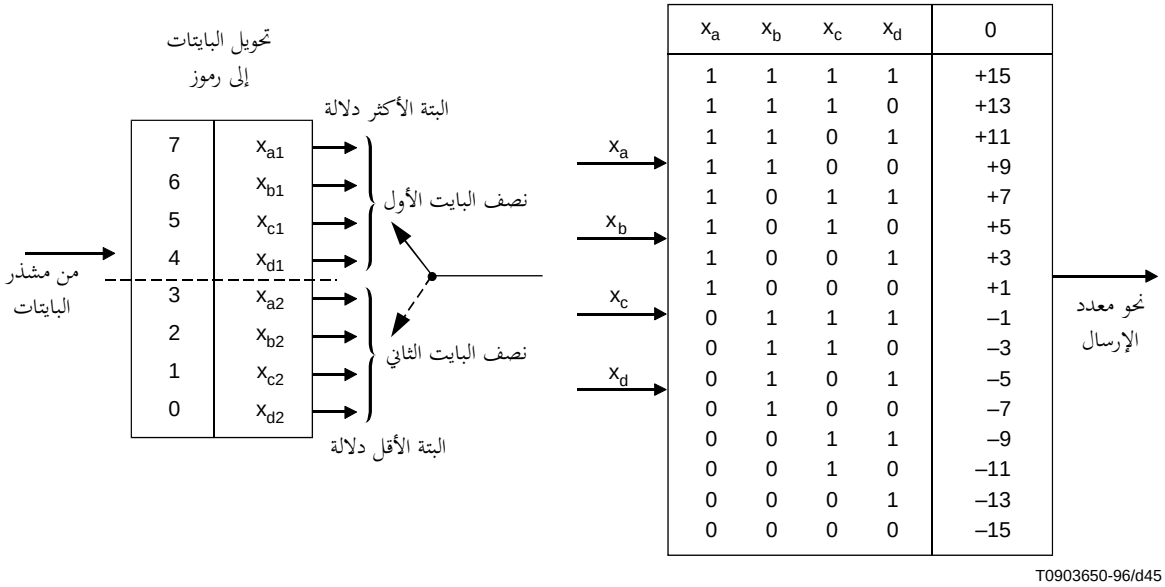
ويتم تحميل جميع التتابعات بشكل مسبق قبل بداية إشارة تزامن حقول البيانات.

وعلى غرار إشارة تزامن مقاطع البيانات، لا تكون إشارة تزامن حقول البيانات مشفرة بشفرة ريد–سولومون (RS)، كما أنها ليست مشذرة.

6.D التشكيل

1.6.D التقابل بين البتات والرموز

يبين الشكل 10.D التقابل بين نقاط خرج المشذر والمستويات الاسمية للإشارة (±1، ±3، ±5، ±7، ±9، ±11، ±13، ±15). وكما هو مبين في الشكلين 7.D و8.D، فإن المستويين الاسميين لإشارة تزامن مقاطع البيانات وإشارة تزامن حقول البيانات يتمثلان بالرقمين 9– و9+.



x_a	x_b	x_c	x_d	0
1	1	1	1	+15
1	1	1	0	+13
1	1	0	1	+11
1	1	0	0	+9
1	0	1	1	+7
1	0	1	0	+5
1	0	0	1	+3
1	0	0	0	+1
0	1	1	1	–1
0	1	1	0	–3
0	1	0	1	–5
0	1	0	0	–7
0	0	1	1	–9
0	0	1	0	–11
0	0	0	1	–13
0	0	0	0	–15

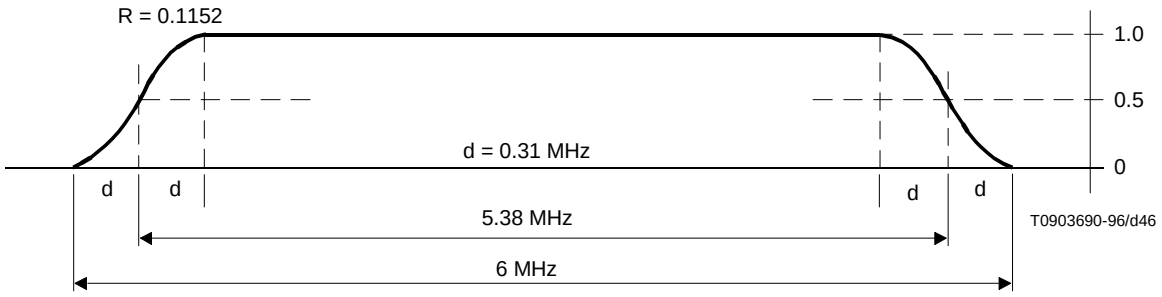
الشكل 10.D – وحدة التقابل في النظام 16-VSB

2.6.D جمع الإشارة الدليلية

تجمع إشارة دليلية متطاورة مع إشارة البيانات. ويكون تردد الإشارة الدليلية مماثلاً لتردد الموجة الحاملة المكبوتة كما هو مبين في الشكل 3.D. ويمكن توليد ذلك على النحو التالي. يضاف مستوى DC (رقمي) صغير (بيانات وإشارات تزامن) إلى كل رمز من رموز بيانات النطاق الأساسي الرقمي زائد إشارة التزامن (±1، ±3، ±5، ±7، ±9، ±11، ±13، ±15). وتكون قدرة الإشارة الدليلية أقل بقيمة 11,3 dB من القدرة المتوسطة لإشارة البيانات.

3.6.D طريقة تشكيل النظام 16-VSB

يستقبل مشكّل النظام VSB إشارة البيانات المركبة المؤلفة من 16 مستوى وذات المعدل 10,76 Msymbols/s (مجموع إشارة التزامن مع إشارة البيانات). ويستند أداء النظام الرقمي المتعدد البرامج إلى الاستجابة الاسمية لمرشاح جيب التمام المرفوع نيكويست خطي الطور في المرسل والمستقبل الموصولين على التسلسل، كما هو مبين في الشكل 11.D[1]. وتكون استجابة مرشاح النظام مسطحة على امتداد كامل النطاق، باستثناء وجود منطقة انتقالية عند كل طرف من طرفيه. وعادة تكون استجابة التناقص في المرسل عبارة عن استجابة مرشاح جذر جيب التمام المرفوع خطي الطور. ولا تزال التفاوتات المسموح بها، سواء داخل النطاق أو خارجه، قيد الدراسة.



الشكل 11.D – الاستجابة الاسمية لقناة النظام VSB
(مرشاح جيب التمام المرفوع خطي الطور نيكويست)

4.6.D التحويل الرافع للتردد

تتحقق عملية التشكيل عادة على تردد متوسط معين. بعد ذلك يحوّل التردد المتوسط المشكّل إلى تردد أعلى يمثل التردد النهائي الذي ينقله النظام الكبلي.

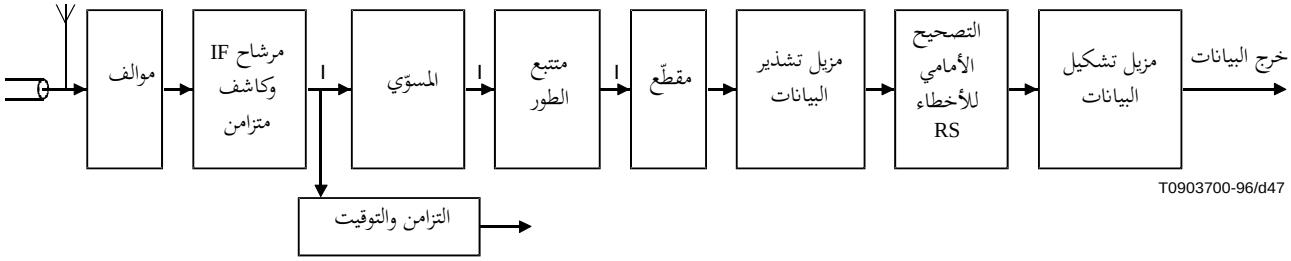
7.D المستقبل الكبلي للنظام 16-VSB

يظهر المستقبل الكبلي للنظام 16-VSB في الشكل 12.D. وتتم جميع الوظائف العكسية للمرسل داخل المستقبل: التحويل الخافض للتردد (الموالف) والكشف والتزامن واستعادة التوقيت وإزالة التشذير، والتصحيح الأمامي للأخطاء بشفرة ريد–سولومون وإزالة التوزيع العشوائي للبيانات.

بالإضافة إلى ذلك، يقوم المسوّي بإزالة التداخل بين الرموز مستفيداً من إشارة تزامن حقول البيانات بوصفها إشارة تدريب مرجعية، ويقلل متتبع الطور من أثر ضوضاء الطور في المذبذب المحلي للموالف. ويلي متتبع الطور مقطّع الرزم الذي يسترجع البيانات من الرموز المتعدة المستويات.

وتستعاد الموجة الحاملة لإزالة التشكيل من الإشارة الدليلية بينما تستعاد إشارة التزامن والميقاتية من إشارة تزامن المقاطع.

ويمكن تغذية المستقبل بإشارات أسلوب الكبل الواردة من نظام التوزيع الكبلي أو، إذا كان المستقبل مستقبلاً إذاعياً للأرض، من البث الإذاعي للأرض بالتشفير الشبكي للنظام 8-VSB، أو من مصادر كبلية خاصة (SMAT أو MMDS أو غير ذلك).



الشكل 12.D – مستقبل النظام 16-VSB

8.D الأساليب الأخرى للنظام VSB

1.8.D مقدمة

حددت الفقرة 4.5.5.D أعلاه بتات الأسلوب VSB في فترة إشارة تزامن البيانات في الأنظمة 2-VSB و4-VSB و8-VSB و16-VSB و8-VSB (بالتشفير الشبكي). وقد قدم كامل هذا الملحق حتى هذه الفقرة وصفاً لعمليات الأسلوب 16-VSB بما في ذلك رزم الدخل MPEG المؤلفة من 188 بايتة، وبنية إطار البيانات، والموزع العشوائي للبيانات، والتصحيح الأمامي للأخطاء ريد–سولومون، وتشذير البايتات، ووحدة التقابل، وإشارة تزامن مقاطع البيانات، وإشارة تزامن حقول البيانات، والتشكيل VSB، ومستقبل 16-VSB.

2.8.D لمحة عامة عن أساليب VSB

تشكل مجموعة أساليب VSB طائفة تتسم بدرجة عالية من العمليات الشائعة. ويستخدم كل أسلوب من أساليب VSB نفس تزامن معدل الرموز وقولبة الطيف وعرض نطاق القناة. ويعود الفرق بين الأساليب إلى التغير في بتات كل رمز والمعدل الناتج لبيانات الحمولة النافعة الذي يمكن تعديله. ويبين الجدول 1.D العلاقات بين هذه الأساليب.

الجدول 1.D – جدول المقارنة بين أساليب VSB

الأسلوب VSB	معدل بيانات النقل	التفاوت المسموح به في رشقة الضوضاء	عتبة C/N
2-VSB	Mbit/s 9,7	µsec 387	dB 10
4-VSB	Mbit/s 19,39	µsec 193	dB 16
8-VSB	Mbit/s 29,09	µsec 129	dB 22
16-VSB	Mbit/s 38,79	µsec 97	dB 28
8-VSB (شبكي)	Mbit/s 19,39	µsec 193	dB 15

وتتم معالجة كل واحد من أساليب VSB في الفقرات التالية.

3.8.D طبقة النقل MPEG-2

كما ورد في الفقرة 3.D أعلاه، توفر طبقة النقل رزماً مؤلفة من 188 بايتة.

4.8.D هيكل التأطير

يبين الشكل 2.D رموز البيانات ومقاطع البيانات وتنظيم حقول البيانات وهي أمور تشترك بها جميع أساليب VSB. ويبين الجدول 2.D العلاقة بين رزم MPEG-2 المحمية بالتصحيح الأمامي للأخطاء بشفرة ريد–سولومون ومقاطع البيانات وأساليب VSB.

الجدول 2.D – جدول المقارنة بين إطار البيانات وأسلوب VSB برزم MPEG

الأسلوب VSB	عدد البتات في الرمز	عدد البتات في المقطع	عدد رزم MPEG-2 المحمية بالتصحيح FEC في المقطع
2	1	828	½
4	2	1 656	1
8	3	2 484	1½
16	4	3 312	2
8T	2	1 656	1

5.8.D تشفير القناة

1.5.8.D الموزّع العشوائي للبيانات

يتحقق التوزيع العشوائي للبيانات بالنسبة للأنظمة 2-VSB و4-VSB و8-VSB و8-VSB (بالتشفير الشبكي) على النحو الوارد في الفقرة 1.5.D.

2.5.8.D المشفّر ريد–سولزمون

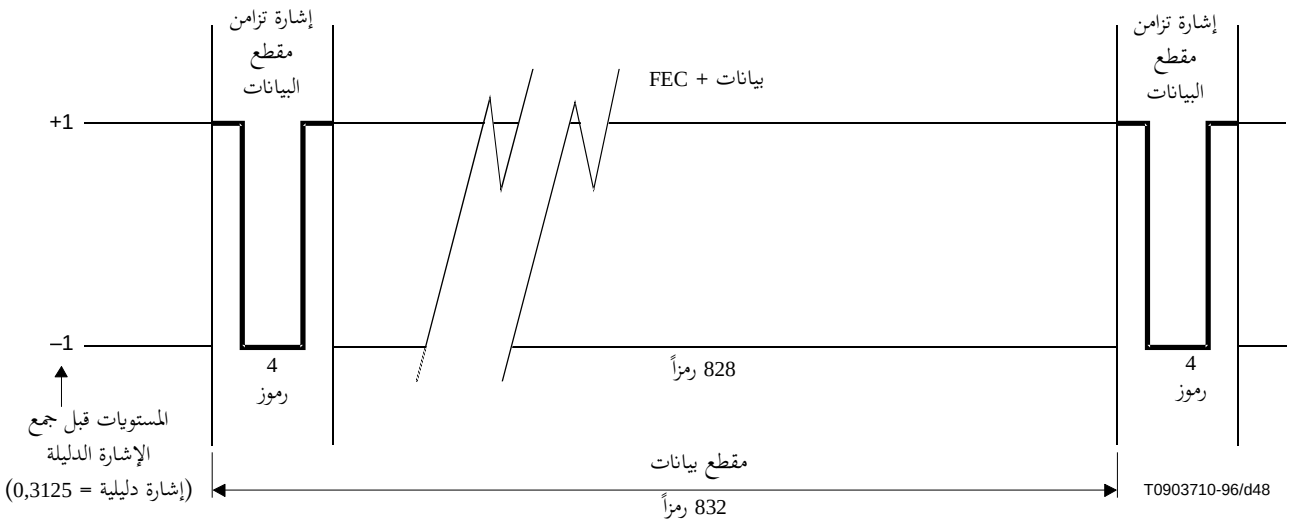
توصف عملية التصحيح الأمامي للأخطاء ريد–سولومون (RS) بالنسبة للأنظمة 2-VSB و4-VSB و8-VSB و8-VSB (بالتشفير الشبكي) على النحو الوارد في الفقرة 2.5.D.

3.5.8.D التشذير

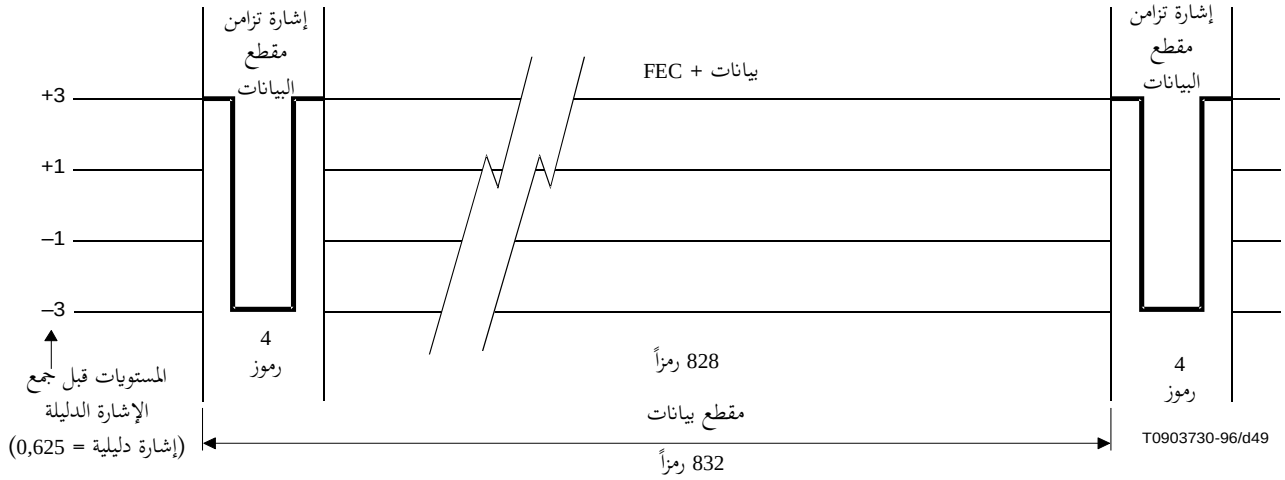
يوصف التشذير بالنسبة للأنظمة 2-VSB و4-VSB و8-VSB و8-VSB (بالتشفير الشبكي) على النحو الوارد في الفقرة 3.5.D. وبما أن معدلات البتات تختلف بتنوع أساليب VSB، فإن الأداء مع رشقات الضوضاء يتغير كما هو مبين في الجدول 1.D.

4.5.8.D إشارة تزامن مقاطع البيانات

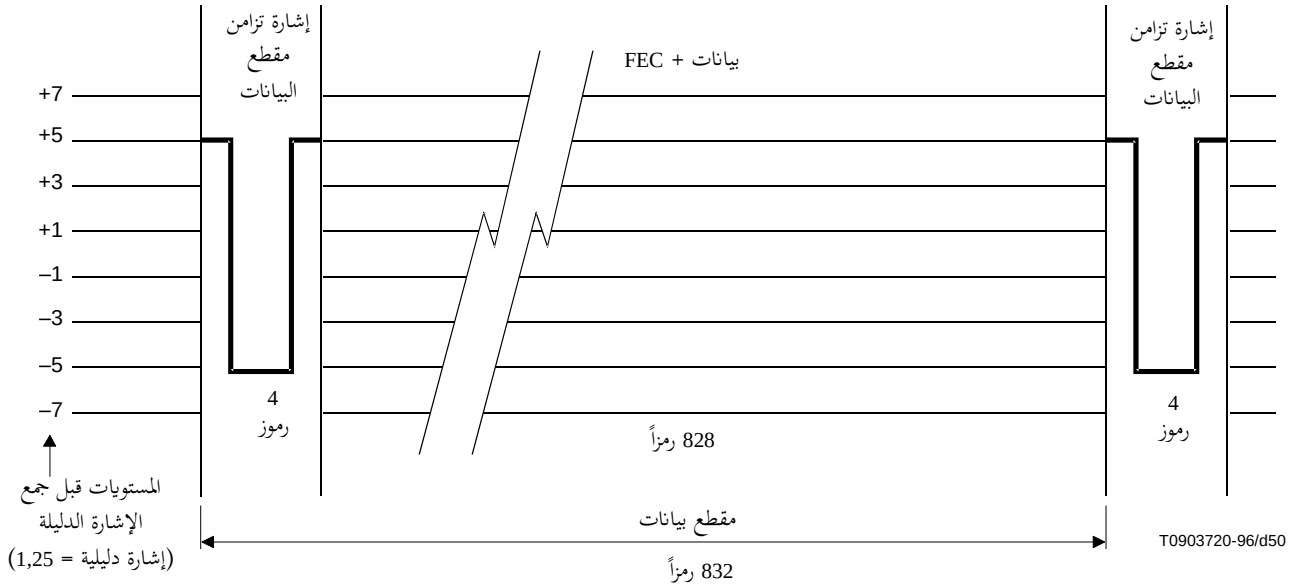
تكون إشارة تزامن مقاطع البيانات مشتركة بين جميع أنظمة VSB. وترد خصائص إشارة تزامن مقاطع البيانات في الفقرة 4.5.D. ومع ذلك، فإن إدراج إشارة التزامن في بيانات الرموز المتعددة المستويات يخضع للتغيير. ويظهر ذلك بالنسبة للأنظمة 2-VSB و4-VSB و8-VSB و8-VSB (بالتشفير الشبكي) في الأشكال 13.D و14.D و15.D و16.D على التوالي.



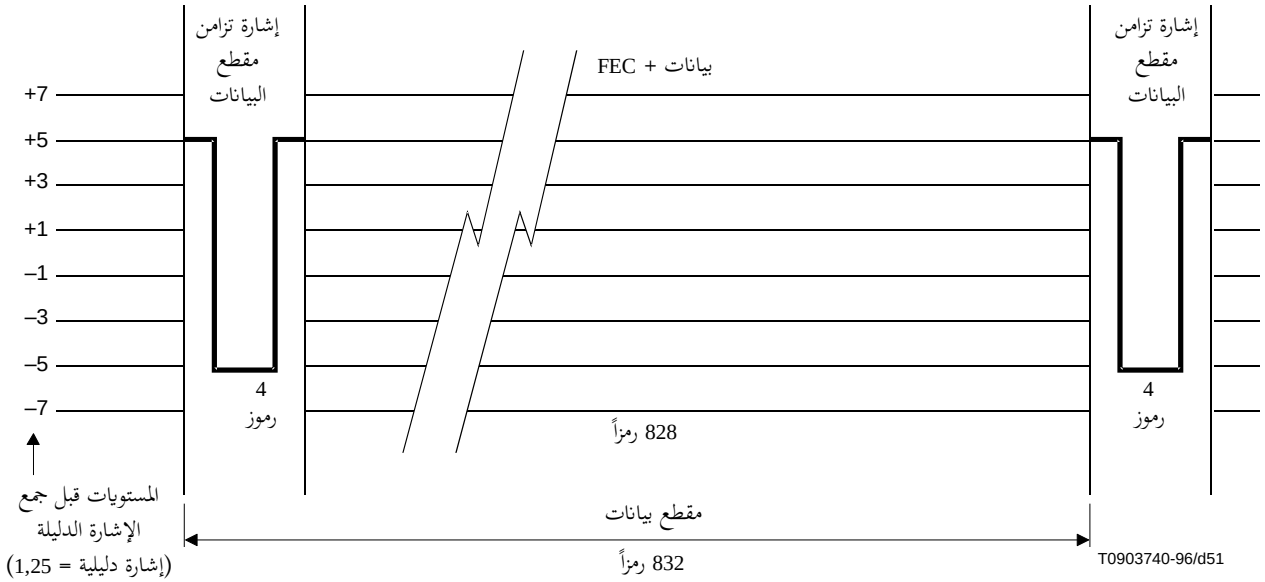
الشكل 13.D – مقطع البيانات في النظام 2-VSB



الشكل 14.D – مقطع البيانات في النظام 4-VSB



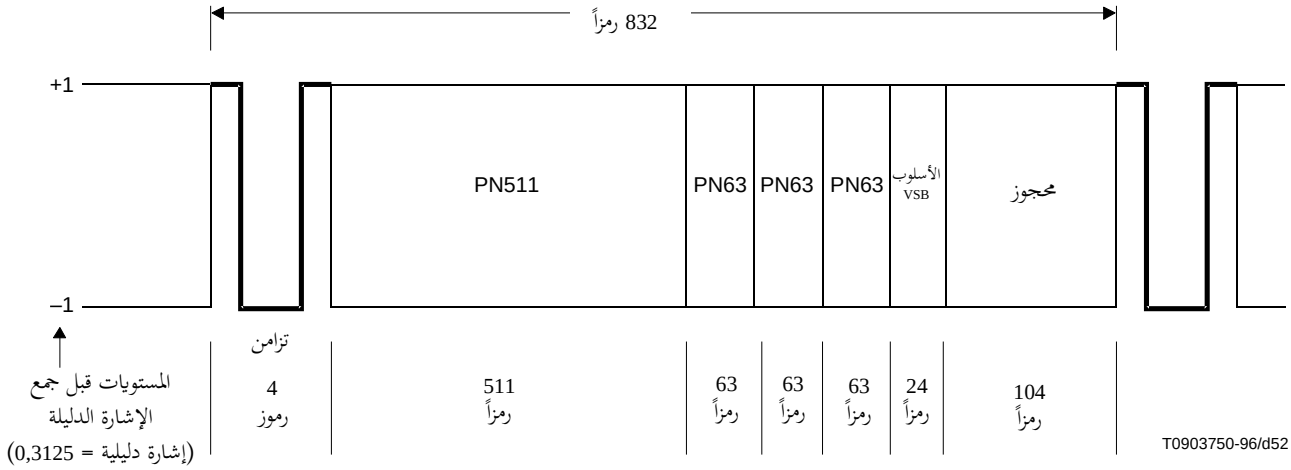
الشكل 15.D – مقطع البيانات في النظام 8-VSB



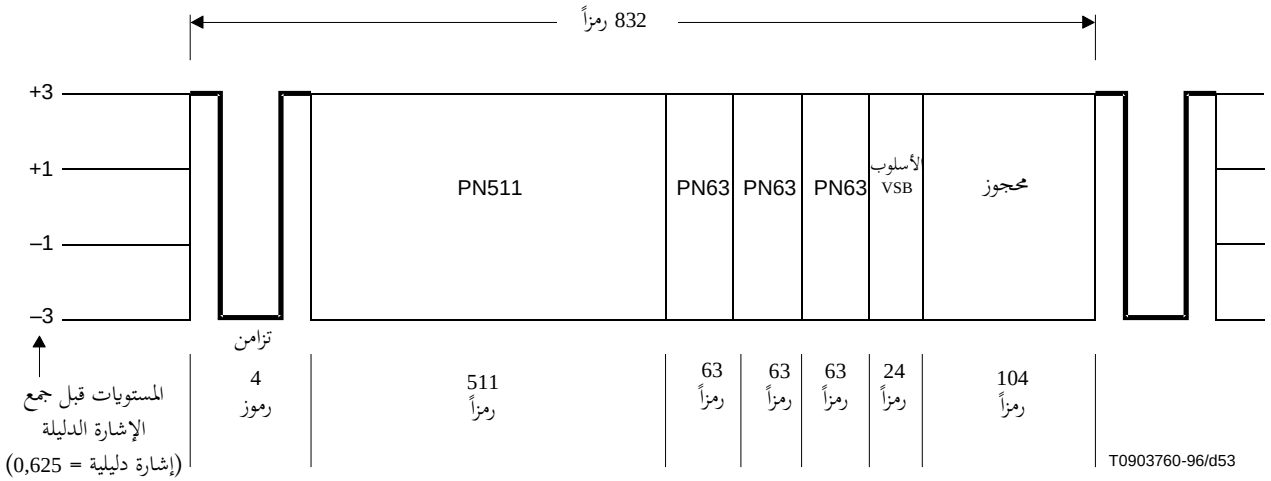
الشكل 16.D – مقطع البيانات في النظام 8-VSB (بالتشفير الشبكي)

5.5.8.D إشارة تزامن حقول البيانات

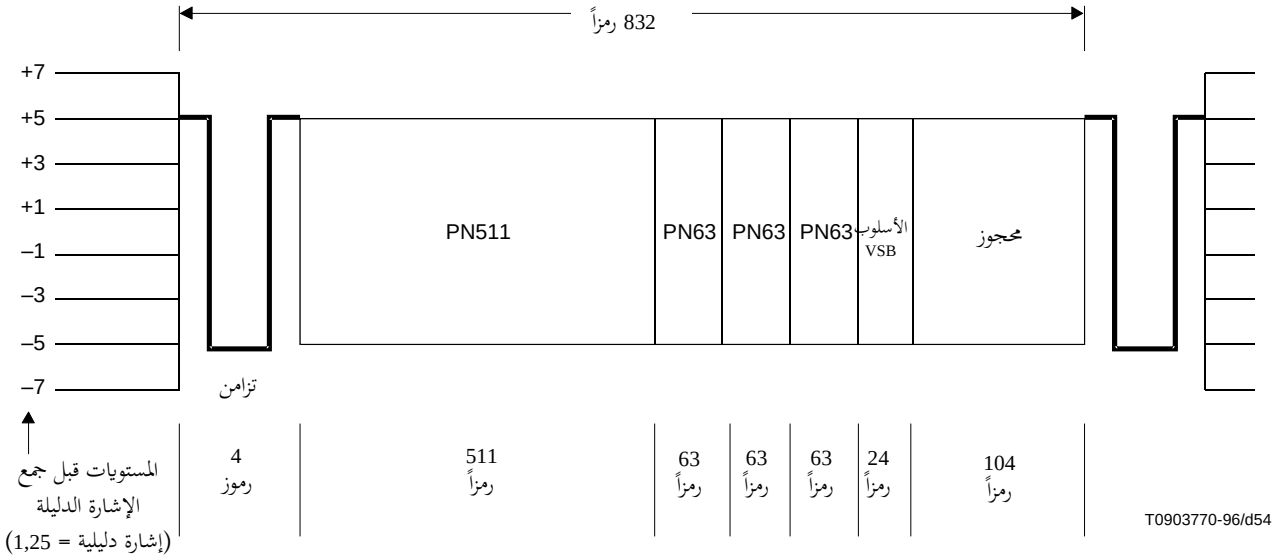
تكون إشارة تزامن حقول البيانات مشتركة بين جميع الأنظمة VSB. وترد خصائص إشارة تزامن حقول البيانات في الفقرة 5.5.D. ومع ذلك، وكما هو الحال في تزامن المقاطع فإن إدراج إشارة تزامن حقول البيانات في بيانات الرموز المتعددة المستويات يخضع للتغيير. ويظهر ذلك بالنسبة للأنظمة 2-VSB و4-VSB و8-VSB و8-VSB (بالتشفير الشبكي) في الأشكال 17.D و18.D و19.D و20.D على التوالي.



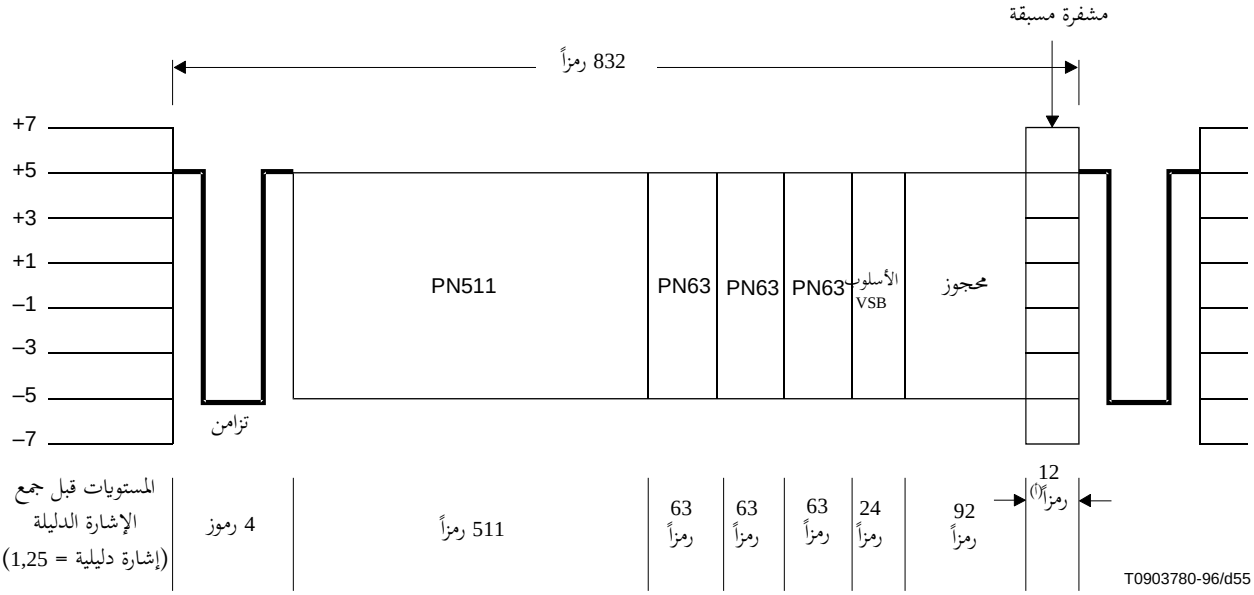
الشكل 17.D – إشارة تزامن حقول البيانات في النظام 2-VSB



الشكل 18.D – إشارة تزامن حقول البيانات في النظام 4-VSB



الشكل 19.D – إشارة تزامن حقول البيانات في النظام 8-VSB



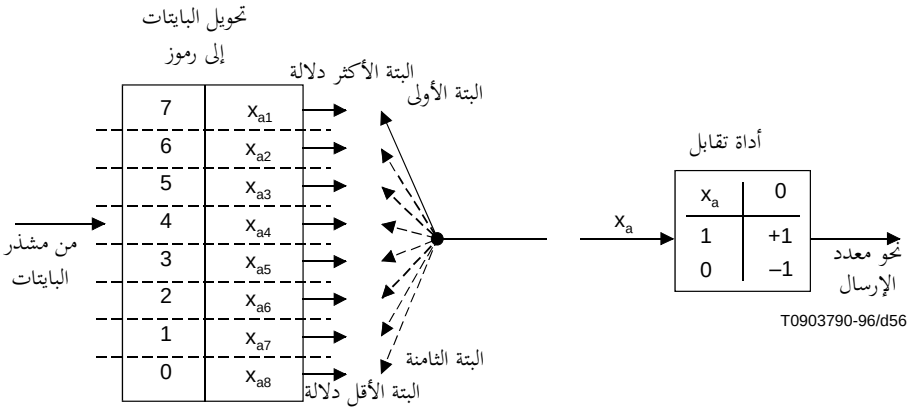
أ) في حالة التشفير الشكبي 8-VSB، تتكرر الرموز الأخيرة البالغ عددها 12 رمزاً في الرموز الأخيرة المحجوزة من إشارة تزامن الحقول والبالغ عددها 12.

الشكل 20.D – إشارة تزامن حقول البيانات في النظام 8-VSB (بالتشفير الشبكي)

6.8.D التشكيل

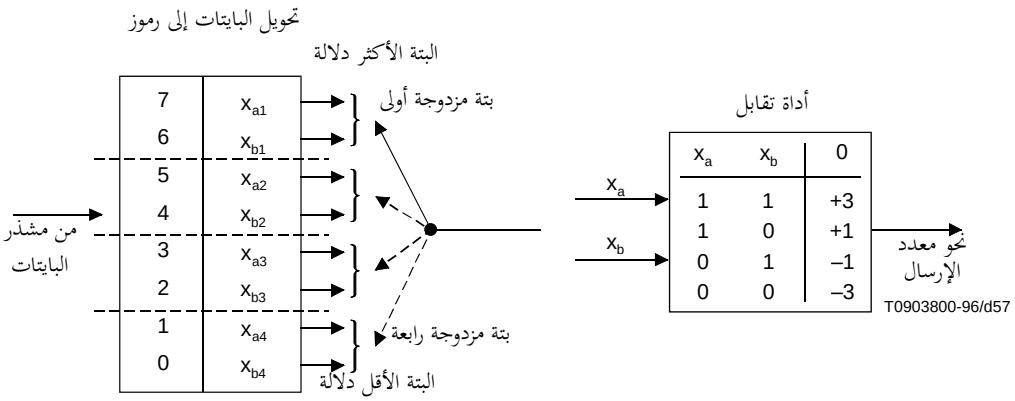
1.6.8.D التقابل بين البتات والرموز

يظهر التقابل بين البتات والرموز بالنسبة للأنظمة 2-VSB و4-VSB و8-VSB و8-VSB (بالتشفير الشبكي) في الأشكال 21.D و22.D و23.D و24.D على التوالي. وتساوي مستويات رموز البيانات ±1 في النظام 2-VSB، و±3 في النظام 4-VSB، و±1 و±3 و±5 و±7 في النظامين 8-VSB و8-VSB (بالتشفير الشبكي)[2].

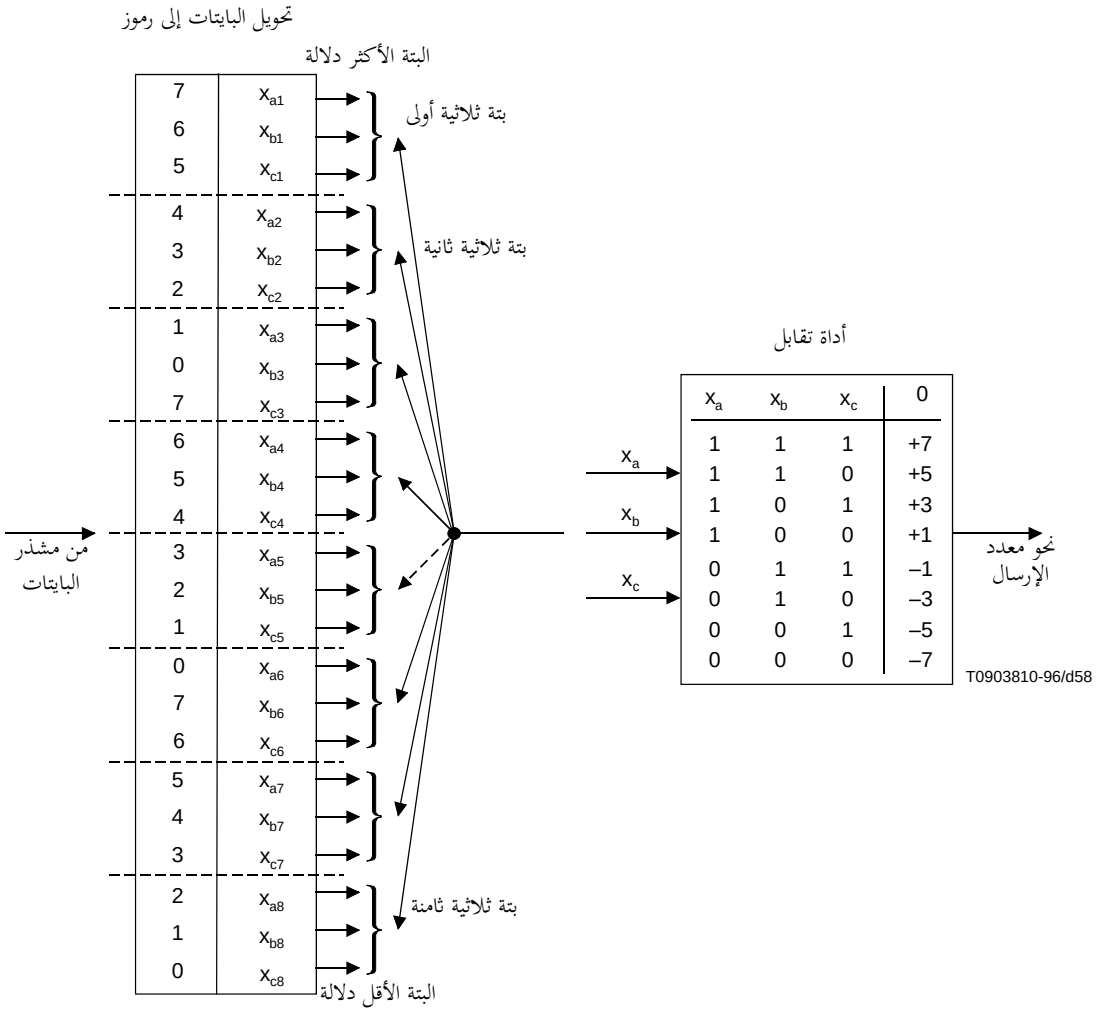


الشكل 21.D – وحدة التقابل في النظام 2-VSB

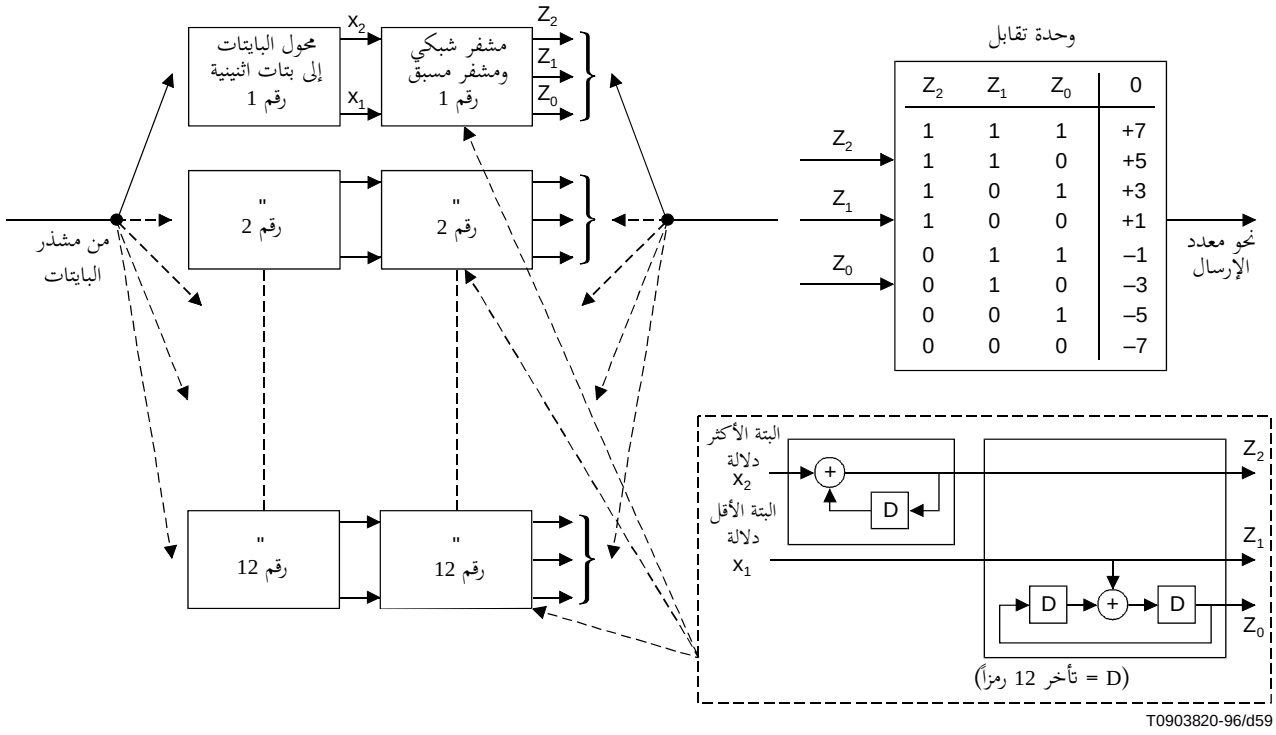
[2] يرد وصف مفصل للأسلوب 8-VSB (بالتشفير الشبكي) في المرجع [1].



الشكل 22.D – وحدة التقابل في النظام 4-VSB



الشكل 23.D – وحدة التقابل في النظام 8-VSB



الشكل 24.D – معدل التقابل في النظام 2-VSB (المشفر المسبق، المشفر الشبكي) = 2/3

2.6.8.D جمع الإشارة الدليلية

يمكن أن تجمع الإشارة الدليلية بنفس الطريقة التي وردت في الفقرة 2.6.D وذلك بإضافة مستوى DC صغير إلى رموز (بيانات وإشارات تزامن) النطاق الأساسي. ويكون المستوى DC بقيمة 0,3125 في النظام 2-VSB، و0,625 في النظام 4-VSB، و1,25 في النظامين 8-VSB و8-VSB (بالتشفير الشبكي).

ويظهر ذلك بالنسبة للأنظمة 2-VSB و4-VSB و8-VSB و8-VSB (بالتشفير الشبكي) في الأشكال 13.D و14.D و15.D و16.D على التوالي.

3.6.8.D طريقة التشكيل VSB

تتحقق طريقة التشكيل بالنسبة لجميع أنظمة VSB بالطريقة نفسها التي وردت في الفقرة 3.6.D. ويظهر شكل الاستجابة الكلية لتردد القناة في الشكل 11.D.

4.6.8.D التحويل الرافع للتردد

تتحقق طريقة التشكيل عادة على تردد متوسط معين. بعد ذلك يرفع التردد المتوسط المشكّل إلى تردد أعلى يمثل تردد القناة النهائي في نظام إرسال الترددات الراديوية.

7.8.D مستقبل النظام VSB

يتسم مستقبل النظام VSB بجميع الوظائف العكسية للمرسل. ويستدل المستقبِل على أسلوب الإرسال VSB بالطريقة الواردة في الفقرة 4.5.5.D. ثم تعدل وظائف المستقبل لتتكيف مع مختلف مستويات شرائح البيانات ومع المعدلات المتغايرة للبتات الواردة[3].

[3] يرد وصف مفصل لعملية الاستقبال في النظام 8-VSB (بالتشفير الشبكي) في المرجع [2].

بيبليوغرافيا

[b-1] Advanced Television Systems Committee (ATSC): *Digital television standard, Washington D.C., September 1995*.

[b-2] Advanced Televisions Systems Committee (ATSC): *Guide to the use of the ATSC digital standard, Washington D.C., October 1995*.

سلاسل التوصيات الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات

السلسلة A	تنظيم العمل في قطاع تقييس الاتصالات
السلسلة D	المبادئ العامة للتعريفة
السلسلة E	التشغيل العام للشبكة والخدمة الهاتفية وتشغيل الخدمات والعوامل البشرية
السلسلة F	خدمات الاتصالات غير الهاتفية
السلسلة G	أنظمة الإرسال ووسائطه والأنظمة والشبكات الرقمية
السلسلة H	الأنظمة السمعية المرئية والأنظمة متعددة الوسائط
السلسلة I	الشبكة الرقمية متكاملة الخدمات
السلسلة J	**الشبكات الكبلية وإرسال إشارات تلفزيونية وبرامج صوتية وإشارات أخرى متعددة الوسائط**
السلسلة K	الحماية من التداخلات
السلسلة L	إنشاء الكبلات وغيرها من عناصر المنشآت الخارجية وتركيبها وحمايتها
السلسلة M	إدارة الاتصالات بما في ذلك شبكة إدارة الاتصالات (TMN) وصيانة الشبكات
السلسلة N	الصيانة: الدارات الدولية لإرسال البرامج الإذاعية الصوتية والتلفزيونية
السلسلة O	مواصفات تجهيزات القياس
السلسلة P	نوعية الإرسال الهاتفي والمنشآت الهاتفية وشبكات الخطوط المحلية
السلسلة Q	التبديل والتشوير
السلسلة R	الإرسال البرقي
السلسلة S	التجهيزات المطرافية للخدمات البرقية
السلسلة T	المطاريف الخاصة بالخدمات التليماتية
السلسلة U	التبديل البرقي
السلسلة V	اتصالات البيانات على الشبكة الهاتفية
السلسلة X	شبكات البيانات والاتصالات بين الأنظمة المفتوحة ومسائل الأمن
السلسلة Y	البنية التحتية العالمية للمعلومات، والجوانب الخاصة ببروتوكول الإنترنت وشبكات الجيل التالي
السلسلة Z	اللغات والجوانب العامة للبرمجيات في أنظمة الاتصالات

طُبعت في سويسرا
جنيف، 2019