الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R M.1798-2
(2021/02)

خصائص التجهيزات الراديوية عالية التردد لتبادل البيانات الرقمية والبريد الإلكتروني في الخدمة المتنقلة البحرية

السلسلة M

الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة

الاتحاد الدولي للاتصالات ITU

تمهيد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد لمدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها.

ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

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

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

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

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

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

النشر الإلكتروني
جنيف، 2021

© ITU 2021
جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذا المنشور بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التوصية ITU-R M.1798-2

خصائص التجهيزات الراديوية عالية التردد لتبادل البيانات الرقمية والبريد الإلكتروني في الخدمة المتنقلة البحرية

(2021-2010-2007)

مجال التطبيق

تصف هذه التوصية الأنظمة الراديوية العاملة في نطاقي الموجات الهكتومترية والديكامترية (MF/HF) وبروتوكولات نقل البيانات في نطاق الموجات الديكامترية (HF) المستعملة حالياً في الخدمة المتنقلة البحرية (MMS) لتبادل البيانات والبريد الإلكتروني على ترددات التذييل **17** من لوائح الراديو وعلى ترددات خلاف ترددات التذييل **17** من لوائح الراديو، بما يوفر إمكانية وظيفية مشابهة للطباعة المباشرة ضيقة النطاق (NBDP) والعديد من الخواص الأخرى.

كما يرد وصف لطريقة توفير التشغيل البيني للمستعمل بشفافية كاملة.

مصطلحات أساسية

نطاق الموجات الديكامترية، الخدمة المتنقلة البحرية، تبادل البيانات، البريد الإلكتروني

المختصرات/المصطلحات

Access provider	شركة تعرض على الزبون توصيلاً بالشبكة الراديوية IPBC *(Company which proposes a connection to IPBC radio network to customer)*
ACK	الإشعار بالاستلام *(Acknowledge receipt)*
ARQ	طلب التكرار الأوتوماتي *(Automatic repeat request)*
AWGN	الضوضاء الغوسية البيضاء الإضافية *(Additive white gaussian noise)*
CF	عامل الذروة *(Crest factor)*
CL	طول ثابت *(Constant length)*
CM	مدير الاتصالات *(Communication manager)*
CR	معدل الشفرة *(Code rate)*
CRC	التحقق من الإطناب الدوري *(Cyclic redundancy check)*
CRSs	محطات راديوية ساحلية *(Coastal radio stations)*
CS	إشارات التحكم *(Control signals)*
CW	موجة مستمرة *(Continuous wave)*
DBPSK	التشكيل بزحزحة الطور الإثنيني التفاضلي *(Differential binary phase shift keying)*
DPSK	التشكيل بزحزحة الطور التفاضلي *(Differential phase shift keying)*
DQPSK	التشكيل بزحزحة الطور التربيعي التفاضلي *(Differential quadrature phase shift keying)*
DSP	معالجة الإشارة الرقمية *(Digital signal processing)*
FEC	التصحيح الأمامي للأخطاء *(Forward error correction)*
FFT	تحويل فورييه السريع *(Fast Fourier transform)*

FSK	التشكيل بزحزحة التردد *(Frequency shift keying)*
GLN	شبكة الوصلة العالمية *(Global link network)*
GMDSS	النظام العالمى للاستغاثة والسلامة في البحر *(Global maritime distress and safety system)*
GPS	النظام العالمى لتحديد الموقع *(Global positioning system)*
IFFT	تحويل فورييه السريع العكسى *(Inverse fast Fourier transform)*
IMO	المنظمة البحرية الدولية *(International Maritime Organization)*
IP	بروتوكول الإنترنت *(Internet protocol)*
IPBC	بروتوكول الإنترنت الخاص باتصالات السفن *(Internet protocol for boat communication)*
IPBC radio network	الشبكة الراديوية التي تكونها كافة الخلايا الراديوية المكرسة لحركة البروتوكول IPBC *(Radio network achieved by whole of the radio cells dedicated for IPBC traffic)*
IRS	محطة استقبال المعلومات *(Information-receiving station)*
ISS	محطة إرسال المعلومات *(Information-sending station)*
LEN	الطول *(Length)*
Maritime HF band	مدى الترددات HF (4-30 MHz) الذي ينقسم إلى نطاقات فرعية HF تكرس للحركة البحرية *(HF frequency range (4-30 MHz) which is divided in HF sub-band dedicated for maritime traffic)*
MMS	الخدمة المتنقلة البحرية *(Martime mobile service)*
Mobile station	مجموعة من معدات السفينة مصممة للاتصالات بخلية راديوية *(Set of ship equipment designed to communicate into a radio cell)*
NAK	لا يوجد إشعار بالاستلام *(Not acknowledged)*
NAVAREA	منطقة ملاحية *(Navigational area)*
NAVTEX	تلكس ملاحى (اسم النظام) *(Navigational Telex (the system name))*
NCC	مركز التحكم في الشبكة *(Network control centre)*
NBDP	الطباعة المباشرة ضيقة النطاق *(Narrow-band dirct printing)*
OFDM	تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد *(Orthogonal frequency division multiplexing)*
OSI	التوصيل البينى للأنظمة المفتوحة *(Open systems interconnection)*
PEP	قدرة غلاف الذروة *(Peak envelope power)*
PIB	جسر بروتوكول الإنترنت Pactor *(Pactor IP-Bridge)*
PMC	انضغاط ماركوف الزائف *(Pseudo-Markov compression)*
PTP	من نقطة إلى نقطة *(Point to point)*
QAM	تشكيل الاتساع التربيعى *(Quadrature amplitude modulation)*
QoS	جودة الخدمة *(Quality of service)*
Radio cell	منطقة تغطية كهربائية راديوية لمرسل محطة ساحلية ولقناة إرسال راديوية في أحد النطاقات الفرعية HF البحرية *(Radio electric coverage area for a transmitter of a coast station, and for a radio transmission channel in an HF maritime sub-band)*

Radio transmission channel	دعم مادي يمكن من نقل البيانات؛ ويتسم هذا الدعم بتردد مركزي في أحد النطاقات الفرعية HF البحرية وعرض نطاق يبلغ 10-20 kHz *(Physical support which allows data transport; this support is characterized by a central frequency in a maritime HF sub-band and a bandwidth of 10-20 kHz)*
RF	تردد راديوي *(Radio frequency)*
RMS	جذر متوسط التربيع *(Root mean square)*
RS	ريد–سولومون *(Reed-Solomon)*
RTT	وقت الذهاب والإياب *(Round-trip time)*
SES	محطة أرضية على سفينة *(Ship earth station)*
SLs	مستويات السرعة *(Speed levels)*

توصيات وتقارير قطاع الاتصالات الراديوية ذات الصلة

التوصية ITU-R F.1487 – اختبار مودمات الموجات الديكامترية (HF) في عروض نطاق تصل إلى 12 kHz تقريباً باستخدام محاكيات القناة الأيونوسفيرية

التوصية ITU-R M.476 – تجهيزات الإبراق بطباعة مباشرة في الخدمة المتنقلة البحرية

التوصية ITU-R M.625 – تجهيزات الإبراق بطباعة مباشرة التي تستعمل التعرف الأوتوماتي في الخدمة المتنقلة البحرية

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن استعمال أجهزة الراديو المحددة بالبرمجيات سيعود في المستقبل بمنافع اقتصادية وتقنية وفوائد بشأن فعالية استعمال الطيف ومن ثم ينبغي أن تتوفر إمكانية إدخال استعمال أجهزة الراديو تلك دون الحاجة إلى تغييرات تنظيمية أخرى؛

ب) أن خدمة البيانات عالية السرعة عبر أجهزة الراديو عالية التردد قد تكون مفيدة للرسوم البيانية منخفضة المستوى ولتحديث الأنظمة الإلكترونية لعرض الخرائط والمعلومات؛

ج) أن خدمات البيانات عالية التردد ستحسِّن من الكفاءة التشغيلية والسلامة البحرية؛

د) أن إدخال تكنولوجيا رقمية جديدة في الخدمة المتنقلة البحرية (MMS) لن يلحق الضرر باتصالات الاستغاثة والسلامة في نطاقات الموجات الهكتومترية (MF) والديكامترية (HF)، بما في ذلك تلك التي حددتها الاتفاقية الدولية للحفاظ على الحياة البشرية في البحر لعام 1974 في نسختها المعدلة؛

هـ) أن الاستعمال المحدود للطباعة المباشرة ضيقة النطاق (NBDP) مستمر بالنسبة لاتصالات الاستغاثة في المناطق القطبية (A4)، حيث أنه لا توجد تغطية من شبكات السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض توفر خدمة للمجتمع البحري؛

و) أن خدمات البيانات عالية التردد قد تحتاج إلى عروض نطاقات أكبر من 3 kHz؛

ز) أن نظام البيانات البحري عالي التردد الذي يوفر توصيلاً أوتوماتياً مع موردي خدمات الإنترنت سيحسِّن من فعالية تداول الحركة؛

ح) أن للترددات العالية إمكانية توفير تغطية أكبر في المنطقة الملاحية القطبية عن نظام نداء الزمرة المعزز لشركة Inmarsat أو التلكس الملاحي NAVTEX بالتردد 518 kHz؛

ط) أن هناك حاجة مستمرة إلى التشغيل البيني الرقمي بين سفينة وأخرى؛

ي) أن التوسع المستمر في خدمات البيانات الرقمية البحرية عالية التردد سيولّد طلباً متزايداً على طيف الترددات المتنقلة البحرية للتذييل **17** من لوائح الراديو (RR)؛

ك) أنه يمكن استعمال معايير متعددة للبريد الإلكتروني لتشجيع التطور التكنولوجي ومن ثم تشجيع التنافس المستمر بما قد يعود بالفائدة على المستعملين من التقدم المستمر في التكنولوجيا مع مراعاة الحاجة إلى التشغيل البيني بين الشبكات، خاصة لأغراض الاستغاثة والسلامة في المستقبل وتوزيع معلومات السلامة البحرية،

وإذ يدرك

أ) أن هناك حاجة إلى تحديد الخصائص التقنية للأنظمة والتجهيزات الراديوية عالية التردد من أجل تبادل البيانات عالية التردد والبريد الإلكتروني على الترددات المتنقلة، بما في ذلك ترددات التذييل **17** من لوائح الراديو؛

ب) أن هناك خدمات قائمة ومتنامية عالمياً وإقليمياً للبريد الإلكتروني بالتردد العالي تعمل على ترددات التذييل **17** من لوائح الراديو والترددات المتنقلة من خارج التذييل 17 من لوائح الراديو (يتفق استعمال الترددات المتنقلة من خارج التذييل **17** من لوائح الراديو في الخدمة المتنقلة البحرية مع قواعد الاتحاد الدولي للاتصالات)،

وإذ تلاحظ

أ) أن خصائص خدمات البيانات عالية التردد الموضحة في الملحقات 2 و3 و4 و5 يمكن اعتبار أنها تفي بمتطلبات تبادل البيانات الرقمية والبريد الإلكتروني في الخدمة المتنقلة البحرية[1]،

توصي

1 بأنه ينبغي تحقيق التشغيل البيني للنظام بالنسبة لإرسال رسائل البيانات في الاتجاهين من السفينة إلى الساحل ومن الساحل إلى السفينة وذلك على مستوى بروتوكول الإنترنت (IP) (انظر الملحق 1)؛

2 بأن الأمثلة على خدمات البيانات البحرية عالية التردد وخصائصها وبروتوكولات المودمات الواردة في الملحقات 2 و3 و4، ينبغي أن تستعمل في أنظمة إرسال واستقبال البيانات من وإلى السفن باستخدام الترددات العالية؛

3 بأنه تحقيقاً للتشغيل البيني بين سفينة وأخرى والتوافق مع التجهيزات الحالية للنظام العالمي للاستغاثة والسلامة في البحر (GMDSS)، ينبغي أن يكون بمقدور النظام إجراء الاتصالات أوتوماتياً طبقاً للتوصيتين ITU-R M.476 وITU-R M.625 في أسلوبي التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC) وطلب التكرار الأوتوماتي (ARQ)؛

4 بأنه في حالة استعمال هذا النظام في النظام العالمي للاستغاثة والسلامة في البحر (GMDSS)، ينبغي له الوفاء بالمتطلبات المطبقة للمنظمة البحرية الدولية (IMO).

---

[1] مع الإقرار بالحاجة إلى الامتثال للفصل VII من لوائح الراديو.

الملحق 1

التشغيل البيني للنظام

1 مقدمة

يصف هذا الملحق نظام التشغيل البيني (من السفينة إلى الساحل ومن سفينة إلى أخرى) ويقدم تفاصيل عن الأنظمة الثلاثة للبريد الإلكتروني عالي التردد الواردة في الملحقات 2 و3 و4.

وفي الملحق 5، يُقترح نظام للتبادل واسع النطاق للبيانات بالموجات الديكامترية (HF) من أجل نظام اتصالات من نقطة إلى نقطة.

2 التشغيل البيني للنظام

من السفينة إلى الساحل

يتم الحفاظ على التشغيل البيني في الاتجاه سفينة– ساحل من خلال مورد خدمات إنترنت على مستوى بروتوكول الإنترنت (IP). ونموذجياً، تقوم السفينة بإدخال رسالة بريد إلكتروني بمرفقات أو بدون في نظام البريد الإلكتروني ثم يتم النقر على زر "أرسل" بالطريقة المألوفة للجميع. وينطبق ذلك على أي موقع ومن طرف إلى آخر في أي وقت.

من الساحل إلى السفينة

في نظام على شاكلة النظام الموضح في هذه التوصية، لا توجد شواغل خاصة بالتشغيل البيني في جزء المستعمل الموجود على الساحل. حيث يمكن للراسل الموجود على الساحل ويرغب في إرسال رسالة بريد إلكتروني لسفينة أن يقوم ببساطة بما يلي:

- النقر على زر "رد"؛ أو
- توجيه الرسالة إلى العنوان shipname@xxx.com أو callsign@xxx.com.

وسيتم تسليم رسالة البريد الإلكتروني عبر النظام الذي تستعمله السفينة. وفي حالة وجود عطل في النظام، يتم إعادة تسيير الرسالة أوتوماتياً عبر نظام بديل. وتعتمد هذه القرارات المؤتمتة على محتويات قاعدة بيانات شاملة. وبناءً على ذلك، قد تسلم رسالة البريد الإلكتروني عبر نظام عالي التردد أو نظام بديل قائم على السواتل. وفي حالة وجود عطل كامل للنظام أو مشكلة في العنوان أو عدم التسليم لسبب ما، يتم تنبيه مشغلي خدمة دعم النظام واتخاذ إجراء الإصلاح. ويضمن ذلك عدم انشغال المستعملين الموجودين على الساحل بالنظام أو الشبكة التي تستعملها السفينة. حيث يلزمهم فقط توجيه الرسالة إلى العنوان السليم والنقر على زر "أرسل".

الملحق 2

بروتوكول مودم خدمات البيانات عالية التردد
باستعمال تعدد الإرسال بالتقسيم التعامدي للتردد

نظرة عامة

يصف هذا الملحق معمارية مودم تعدد الإرسال بالتقسيم التعامدي للتردد (OFDM) لقناة عالية التردد باستعمال معالجة الإشارة رقمياً (DSP). كما تقدم تعريف ووصف خوارزمية التنفيذ. ويضم ذلك تعريف البروتوكول والمشكل ومزيل التشكيل. ويوجز الجزء الأخير كيفية اختيار واستعمال الترددات بصورة فعالة من حيث استخدام الطيف.

ويوجد نهجان أساسيان لتنفيذ مودم عريض النطاق بموجة حاملة وحيدة وبموجات حاملة متعددة. والمودم OFDM الموصوف والمستعمل عبارة عن النهج متعدد الموجات الحاملة. والميزة الرئيسية لاستعمال نهج الموجات الحاملة المتعددة أنه لا توجد حاجة إلى مسوٍ لتقدير قناة الخبو لأن عرض نطاق الموجة الحاملة الجزئية صغير ويمكنه تحمل خبو متوسط. ولذا يعتبر نهج الموجات الحاملة المتعددة أقل تعقيداً في التنفيذ. كما تم اختيار نهج الموجات الحاملة المتعددة بحيث تصبح الموجات الحاملة الجزئية الإفرادية مماثلة للنظام DATAPLEX ضيق النطاق. ويتمثل عيب نهج الموجات الحاملة المتعددة في أنه أكثر حساسية إزاء تخالف الترددات وضوضاء الطور للمذبذب.

بروتوكول المودم عالي التردد (HF)

المقدمة

تستعمل موجة OFDM، 32 موجة حاملة لإرسال 32 فدرة كل 1 520 ms. وكما هو الحال في إرسالات بروتوكول TOR بالتوصية ITU-R M.625، يعتبر البروتوكول OFDM بمثابة بروتوكول اتصالات تعدد إرسال نصف مزدوج حيث إنه في أي وقت معين تكون واحدة من المحطات محطة إرسال المعلومات (ISS) والمحطة الأخرى هي محطة استقبال المعلومات (IRS). وتكون دورة التوقيت الأساسية ثابتة على أن تحدد محطة النداء الأصلية أو المحطة MASTER توقيت الدورة.

وتصف هذه التوصية في الأجزاء التالية دورة التوقيت الأساسية للبروتوكول OFDM وأنساق الفدرات والعمليات الأساسية للوصلة مثل OVER وEND وإنشاء الوصلة.

التشكيل بتعدد الإرسال بالتقسيم التعامدي للتردد

تستعمل الموجة OFDM، 32 تردد موجة حاملة مركزها عند 1 700 Hz. ويرد وصف كامل لشكل الموجة في الأجزاء التالية التي تصف المشكل ومزيل التشكيل.

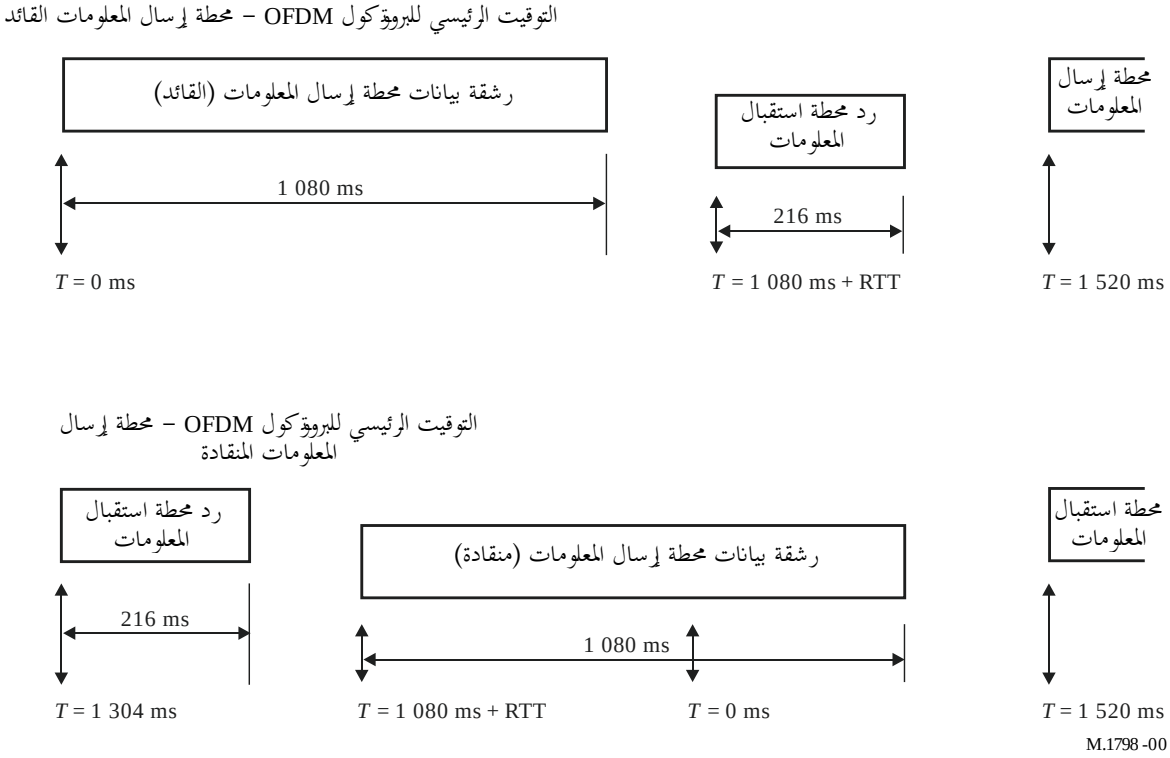
وتستعمل جميع إرسالات OFDM، 32 موجة حاملة ($N = 32$)، وموجة ذات أربعة أطوار ($M = 4$) حيث تقوم محطة إرسال المعلومات بإرسال فدرة بيانات طويلة لكل موجة حاملة بإجمالي 32 فدرة بيانات في كل رشقة. وتجيب محطة استقبال المعلومات بعدد 32 موجة حاملة ($N = 32$) ورشقة قصيرة ذات أربعة أطوار ($M = 4$) تحتوي على بايتتين لكل موجة حاملة بإجمالي 64 بايتة.

توقيت الرتل

كما هو الحال في البروتوكول TOR للتوصية ITU-R M.625، يعد البروتوكول OFDM بمثابة بروتوكول تعدد إرسال نصف مزدوج حيث تكون واحدة من المحطات محطة إرسال المعلومات وتكون الأخرى محطة استقبال المعلومات. وعند التوصيل، يكون زمن دورة OFDM ثابتاً عند 1 520 ms؛ وترسل محطة إرسال المعلومات رشقة بيانات طويلة مدتها 1 080 ms وتجيب محطة استقبال المعلومات برشقة إجابة قصيرة مدتها 216 ms. ويرد أدناه ملخص لدورة التوقيت الأساسية عند المحطة القائد MASTER بالنسبة لمحطة إرسال المعلومات القائد MASTER ومحطة إرسال المعلومات المنقادة SLAVE.

ملاحظة – الزمن RTT عبارة عن زمن البث ذهاباً وإياباً ومعالجة المحطة المنقادة SLAVE.

ويتم تحديد مرجع لزمن الدورة OFDM ($T = 0$) من جانب المحطة القائد MASTER عند بدء الوصلة. وبالنسبة لمحطة إرسال المعلومات، تقوم المحطة القائد MASTER عادة ببدء الإرسال عند $T = 0$ على أن يتم استقبال رد المحطة المنقادة SALVE بالكامل داخل فاصل استقبال قدره 440 ms عقب رشقة بيانات المحطة القائد MASTER التي تبلغ مدتها 1 080 ms مباشرة. وتقوم المحطة المنقادة SLAVE بإرسال رد محطة استقبال المعلومات عادة بأقصى سرعة ممكنة بعد استقبالها لنهاية رشقة محطة إرسال المعلومات القائد MASTER. وعندما تكون المحطة القائد MASTER هي محطة استقبال المعلومات، يبدأ رد محطة استقبال المعلومات الذي مدته 216 ms زمن دورة من 1 304 إلى 1 520 ms بحيث تحدث نهاية الرد في نفس وقت نهاية رشقة بيانات محطة إرسال البيانات MASTER. وتبدأ رشقة بيانات المحطة المنقادة SLAVE في نفس الوقت خلال الدورة الذي ترد فيه محطة استقبال المعلومات المنقادة SLAVE. وتتبع فلسفة توقيت دورة البروتوكول OFDM المثال المحدد في التوصية ITU-R M.625، فيما عدا أن زمن دورة البروتوكول OFDM يسمح بزمن مسير أكبر (224 ms مقابل 170 ms) بين المحطتين الواصلتين.



نسق فدرة خدمة إرسال المعلومات

يستعمل البروتوكول OFDM فدرة محطة إرسال المعلومات الموضحة أدناه لإرسال كل من بايتات البيانات ورسائل التحكم إلى محطة استقبال المعلومات. ويقوم كل إرسال لمحطة إرسال المعلومات بإرسال فدرة بيانات واحدة على كل موجة من 32 موجة حاملة بإجمالي 32 فدرة للرشقة الطويلة. وحيث إن محطة إرسال المعلومات ترسل كحد أقصى 32 فدرة مع 10 بايتات لكل فدرة كل 1 520 ms، فإن الحد الأقصى الناتج لكمية البيانات العابرة بالنسبة لبروتوكول OFDM مع $N = 32$ و$M = 4$ يبلغ نحو 210 بايتة أي 1 684 bit/s.

فدرة بيانات مخدمة إرسال المعلومات

SEQ_NR | LEN	DATA	CRC
(11 بتة) (5 بتات)	(10 بايتات)	(بايتتان)

الحقل **SEQ_NR** – رقم تتابع الفدرة وهو حقل من 11 بتة ويبدأ من 1 إلى 0x7FF
الرقم 0x000 يعني نبذ هذه الفدرة
الحقل **LEN** – من 0 إلى 10 رقم بايتات البيانات الصالحة في الفدرة
الرقم 31 يرسل فدرة التحكم CONTROL
الحقل **DATA** – تكون بايتات البيانات من 0 إلى 10 عندما تكون LEN من 0 إلى 10
تكون فدرة التحكم CONTROL عندما تكون LEN 31
الحقل **CRC** – تتابع (CRC) من 16 بتة.

تبدأ كل فدرة بيانات برقم تتابع من 11 بتة (SEQ_NR) يستعمل للترتيب السليم للفدرات عند نهاية محطة استقبال المعلومات للوصلة. ويتدرج رقم التتابع في الزيادة من 1 إلى 047 2 (0x7FF) مع كل إرسال لبيانات جديدة أو فدرة تحكم بحيث يمكن لمحطة استقبال المعلومات إعادة بناء إرسال البيانات بأكمله بعرض الفدرات بالترتيب السليم عند نهاية الاستقبال. ويعود رقم التتابع للتناقص من 047 2 إلى 1 بعد الانتهاء من تشفير الفدرة رقم 047 2. ويظهر رقم تتابع فدرة التحكم عندما يلزم فك تشفير فدرة التحكم. ويضبط رقم التتابع على 1 عند بدء الوصلة ولا يتم تغييره أثناء حالات OVER.

ويجب أن تتأكد محطة إرسال المعلومات أثناء الاتصال أنه لا يوجد أكثر من العدد الأقصى لفدرات رقم التتابع MAX_SEQ_NR_DIFF متأخرة في أي وقت، حيث MAX_SEQ_NR_DIFF عبارة عن قيمة قابلة للبرمجة أقل من (047 2 – 64) أي 983 1. وبعبارة أخرى، يجب أن يكون الفرق بين أقدم وأحدث رقم تتابع فدرة في أي رشقة طويلة لمحطة إرسال المعلومات أقل من أو يساوي MAX_SEQ_NR_DIFF. والمقصود بهذا القيد هو الحد من عدد الفدرات المخزنة عند نهاية محطة استقبال المعلومات وللسماح للاتصال "بالاستدراك" إذا ولسبب ما استمرت فدرة أو أكثر في الفشل في تفكيك الشفرة بدون أخطاء عند نهاية محطة استقبال المعلومات.

ويسمح البروتوكول لمحطة إرسال المعلومات بتكرار الفدرات في نفس الرشقة الطويلة. وإذا وصلت محطة إرسال المعلومات إلى الفرق الأقصى MAX_SEQ_NR_DIFF بين أقدم وأحدث رقم تتابع فدرة في أي رشقة طويلة محددة، فإنه ينبغي تكرار الفدرات الأقدم في الفواصل المتاحة المتبقية بالرشقة الطويلة لتحسين احتمال استقبال الفدرة بشكل سليم. ويمكن لمحطة إرسال المعلومات أن تكرر في أي وقت الفدرات الحالية في حال عدم وجود فدرات بيانات جديدة معلقة.

ورقم التتابع 0000 عبارة عن حالة خاصة. ففي حالة إرسال فدرة برقم التتابع 0000، فإنه يمكن لمحطة استقبال المعلومات نبذ هذه الفدرة دون إجراء أي عمليات لفك التشفير. وعند نهاية إرسال محطة إرسال المعلومات، على سبيل المثال، يمكن استعمال الفدرات ذات رقم التتابع 0000 للملء بالنسبة لجميع الفدرات بعد الفدرة الأخيرة المحتوية على بيانات صالحة. وستظهر أهمية الفدرة 0000 بوضوح فيما بعد عند مناقشة تشغيل الطلب الأوتوماتي للتكرار ARQ عندما تطلب محطة إرسال المعلومات إعادة إرسال فدرات بيانات فاسدة. ولا تحتاج محطة إرسال المعلومات عند إرسالها فدرة 0000 إلى إعادة إرسال هذه الفدرة إذا أرسلت محطة استقبال المعلومات خطأ بالنسبة لهذه الفدرة. ويلاحظ أنه يمكن كذلك لمحطة إرسال المعلومات تكرار الفدرات الحالية بدلاً من إرسال الفدرات 0000.

ويعمل الحقل (LEN) ذو البتات الخمس لغرضين. فإذا كان الحقل LEN عبارة عن رقم بين 0 و10، فإنه يشير إلى عدد بايتات البيانات الصالحة في جزء البيانات DATA من الفدرة. ويجب إغفال البايتات التي تلي بايتات الحقل LEN الأولى في جزء البيانات DATA من الفدرة. ويلاحظ أن القيمة 00 عبارة عن طول فدرة البيانات الصالحة التي يمكن استعمالها لإرسال فدرة خاملة أو فدرة لا تحتوي على بيانات. وخلافاً لفدرة التتابع 0000، يجب إعادة إرسال الفدرة الخاملة إذا أرسلت محطة استقبال المعلومات خطأ بشأن هذه الفدرة.

وعند ضبط الحقل LEN على 31، فإن الفدرة تكون معرفة كفدرة تحكم CONTROL وتدرج رسالة تحكم في جزء البيانات من الفدرة. وكما هو الحال في فدرات البيانات، إذا أرسلت محطة استقبال المعلومات خطأ عند استقبال هذه الفدرة، فإنه يجب هنا إعادة إرسالها. وعلاوة على ذلك، يمكن لمحطة إرسال المعلومات تكرار فدرات التحكم CONTROL في نفس الرشقة الطويلة مثلما يمكنها تكرار فدرات البيانات. وبالطبع، يجب أن يكون للفدرة المكررة نفس رقم تتابع الفدرة.

والمحقق CRC ذو 16 بتة والموجود في نهاية جميع الفدرات عبارة عن باق متعدد الحدود عياري لقطاع التقييس بالاتحاد الدولي للاتصالات محسوب عبر الفدرة بالكامل من بداية حقل رقم التتابع إلى نهاية حقل البيانات. وبعد جمع المحقق CRC مع 0xFFFF في بوابة الجمع المنطقية XOR، ترسل بايتتا المحقق CRC، على أن ترسل البايتة الأقل أولاً وذلك عند نهاية الفدرة. ويتم عند موضع محطة استقبال المعلومات تدميث المحقق CRC على القيمة 0xFFFF وباقي المحقق CRC المحسوب بدءاً من بايتة رقم التتابع حتى نهاية الفدرة يساوي 0xF0B8 في حال عدم حدوث أخطاء.

فدرات البيانات

في فدرات البيانات بمحطة إرسال المعلومات في البروتوكول OFDM، تضبط المعلمة LEN على عدد بايتات البيانات الصالحة في الفدرة: من 0 إلى 10 بايتة.

فدرات بيانات تعدد الإرسال بالتقسيم التعامدي للتردد

SEQ_NR | LEN	DATA	CRC
(11 بتة) (5 بتات)	(10 بايتات)	(بايتتان)

LEN – 00 إلى 10 بايتات بيانات صالحة

ويمكن لفدرات البيانات في أي رشقة لمحطة إرسال المعلومات أن تخصص لموجات حاملة بأي ترتيب. ومحطة استقبال المعلومات ملزمة بإعادة تجميع رسالة البيانات الأصلية بالترتيب السليم استناداً إلى أرقام التتابع في فدرات البيانات.

وإذا لم يكن لدى محطة إرسال المعلومات الفدرات الكافية لملء جميع الفواصل البالغ عددها 64 فاصلاً، فإنه يمكنها تكرار الفدرات الحالية في الفواصل المتبقية بدءاً من الفدرة الأقدم. وتتيح الفدرات المكررة لمحطة استقبال المعلومات فرصة ثانية لفك تشفير جميع الفدرات بدون أخطاء. ويمكن من ناحية أخرى لمحطة إرسال المعلومات أن تملأ الفدرات التي لا تحتاج إليها بفدرات لها رقم التتابع 0000 حيث سيتم نبذ هذه الفدرات عند نهاية محطة استقبال المعلومات.

ويجب ألا يكون لدى محطة إرسال المعلومات في أي وقت عدد من أرقام تتابع الفدرات المتأخرة أكبر من MAX_SEQ_NR_DIFF حيث إن القيمة MAX_SEQ_NR_DIFF عبارة عن قيمة قابلة للبرمجة. ويعني ذلك أن الفرق بين رقم التتابع الأقدم ورقم التتابع الأحدث في أي رشقة طويلة لمحطة إرسال المعلومات يجب أن يكون أقل من أو يساوي MAX_SEQ_NR_DIFF على أن يراعى تكرار العد عند 047 2.

فدرات التحكم

يرسل البروتوكول OFDM رسائل التحكم بضبط الحقل LEN على 31 وتحميل الأمر في البايتة الأولى من حقل البيانات DATA. ويضبط حقل رقم التتابع على الرقم التالي المتاح. ويعاد إرسال جميع أرتال التحكم إذا فشلت محطة استقبال المعلومات في فك تشفير الفدرة بدون أخطاء.

وللبروتوكول OFDM ثلاث رسائل تحكم: MY_CALL وOVER وEND.

فدرة التحكم في تعدد الإرسال بالتقسيم التعامدي للتردد

SEQ_NR | 11111	CONTROL | IDLE FILL PATTERN	CRC
(11 بتة) (5 بتات)	(بايتة واحدة) (9 بايتات)	(بايتتان)

الحقل **SEQ_NR** – رقم تتابع من 11 بتة، لا يمكن أن يكون 0000

الحقل **LEN** – يكون 31 بالنسبة لفدرة التحكم

الحقل **CONTROL** – شفرة تحكم تكون OVER أو END

الحقل **IDLE FILL PATTERN** – 10101010 (يكرر 9 مرات)

يمكن لمحطة إرسال المعلومات إرسال فدرات التحكم في أي وقت ويجب على محطة استقبال المعلومات أن تتعرف على أمر التحكم لحظة ظهوره في البيانات المتسلسلة التي أعيد بناءها. فمثلاً عند إرسال الأمر ISS OVER، فإنه لا ينبغي إرسال أي فدرات بيانات بأرقام تتابع أكبر من الأمر OVER حيث ستصبح محطة إرسال المعلومات باختصار محطة استقبال معلومات. وينبغي أن تولد محطة إرسال المعلومات فدرة الأمر لمرة واحدة فقط وإن كان يمكنها تكرار فدرة التحكم تلك في فواصل الموجات الحاملة غير المخصصة.

ويرد أدناه شكل شفرات بايتات التحكم CONTROL.

CONTROL – OVER (0x86)

1 0 0 0 0 1 1 0

CONTROL – END (0x98)

1 0 0 1 1 0 0 0

CONTROL – MYCALL (0xE0)

1 1 1 0 0 0 0 0

كما يرد أدناه الشكل النمطي لفدرتي التحكم OVER وEND:

فدرة التحكم OVER

SEQ_NR | 11111	10000110	IDLE FILL PATTERN	CRC

فدرة التحكم END

SEQ_NR | 11111	10011000	IDLE FILL PATTERN	CRC

رشقة الحيازة للبروتوكول لتعدد الإرسال بالتقسيم التعامدي للتردد

ترسل محطتا إرسال واستقبال المعلومات نغمة 1 700 Hz قبل بداية كل رشقة. وتستعمل هذه النغمة لتحديد تخالف التردد.

نسق رد محطة استقبال المعلومات

عندما تكون المحطة هي محطة استقبال المعلومات، فإنها تستقبل 32 فدرة بيانات من محطة إرسال المعلومات كل 1 520 ms وترد بإشارة إشعار استلام (ACK) أو إشارة إشعار بعدم الاستلام (NAK) بالنسبة لكل فدرة من هذه الفدرات. وعلاوة على ذلك، يرسل رد محطة استقبال المعلومات أو أمر التحكم في الوصلة لتحويل اتجاه الاتصال وإنهاء الاتصال. وترسل رسالة رد محطة استقبال

المعلومات كفدرة OFDM قصيرة مدتها 216 ms في نسق من 32 موجة حاملة (N = 32) ذات أربعة أطوار (M = 4). وترسل بايتتان لكل موجة حاملة؛ وتخصص بايتتان لكل موجة حاملة في كل فدرة من فدرات البيانات على نفس الموجة الحاملة في إرسال الرشقة الطويلة من محطة إرسال المعلومات.

وعلى كل موجة حاملة، توجد شفرة واحدة فقط لرد محطة استقبال المعلومات لفدرة البيانات المستقبلة من محطة إرسال المعلومات على نفس الموجة الحاملة.

BLOCK 1
RESPONSE
(16 بتة)

وترسل محطة إرسال المعلومات شفرات الرد التالية:

ACK/NAK

FORCED_OVER

END_ACK

وأي رد خلاف الردود أعلاه يعالج كما لو تم تلقي إشعار استلام سالب NAK. ويرد في هذا الجزء تشفير كل شفرة رد من هذه الردود مع وصف مختصر.

إشعار بالاستلام/إشعار بعدم الاستلام

تقوم محطة استقبال المعلومات بفك شفرة وحساب المحقق CRC لكل فدرة من 32 فدرة بيانات الواردة في الرشقة الطويلة لمحطة إرسال المعلومات. وإذا أشار المحقق CRC أن الفدرة قد تم استقبالها بدون أخطاء، ترد محطة استقبال المعلومات بالإشعار ACK على نفس الموجة الحاملة. وفي حال اكتشاف خطأ، يرسل إشعار استلام سالب NAK. وعند نهاية محطة إرسال المعلومات، يشير الإشعار ACK إلى الإرسال الناجح للفدرة وتخرج الفدرة من صف الإرسال. ويجبر إشعار الاستلام السالب NAK من جهة أخرى محطة إرسال المعلومات على إعادة إرسال الفدرة على موجة حاملة مختلفة. وإذا استقبلت محطة استقبال المعلومات فدرة تحتوي على رقم تتابع تم إرسال إشعار باستلامه بالفعل، فإنها ترسل إشعار استلام ACK آخر وتستبعد الفدرة. ويعالج أي رد غير معروف من جانب محطة إرسال المعلومات كما لو كان إشعاراً سالباً بالاستلام NAK.

شفرة الإشعار ACK (0x56A9)

0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1

شفرة الإشعار السالب NAK (0xA956)

1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0

تستعمل ردود ACK/NAK من جانب محطات إرسال واستقبال المعلومات للحكم على نوعية الوصلة ولتحديد متى يتم إيقافها. ويتم الحصول مع البروتوكول OFDM على 32 رداً ACK/NAK في كل دورة ويعتبر تحديد متى يتم إسقاط الوصلة أمراً أكثر تعقيداً إلى حد بعيد. وبالنسبة للتنفيذ الأولي للبروتوكول OFDM، يستخدم عدد من الفدرات المتتابعة بحيث لا يفك تشفير أي من الفدرات بشكل سليم ومن ثم يتزايد عداد الخطأ. فإذا تابعت محطتا إرسال واستقبال المعلومات دورات الإرسال MAX_BLK_ERR بدون فدرة واحدة للإشعار ACK، فإنه يتم إيقاف الوصلة، حيث MAX_BLK_ERR قيمة قابلة للبرمجة. وقيمة MAX_BLK_ERR التي تساوي 20 تقابل نحو 30 ثانية. وأي فدرة للإشعار ACK تعيد عداد الخطأ إلى الصفر.

الرد FORCED_OVER

وتتحكم محطة إرسال المعلومات في البروتوكول OFDM نمطياً في التبديل من محطة إرسال المعلومات إلى محطة استقبال المعلومات بإرسال فدرة التحكم OVER إلى محطة استقبال المعلومات على موجة حاملة واحدة أو أكثر. ومع ذلك، يمكن لمحطة استقبال المعلومات التحول إلى أمر التحكم OVER قسراً بإرسال كلمة الشفرة FORCED_OVER. ولتحاشي مشكلة وجود فدرة بيانات معلقة، يتم إرسال كلمة الشفرة FORCED_OVER فقط عند استقبال الفدرة الأخيرة من محطة إرسال المعلومات على هذه الموجة الحاملة بدون أخطاء.

شفرة الرد FORCED_OVER (0x6A95)

0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1

الرد END_ACK

ترسل محطة استقبال المعلومات كلمة الشفرة END_ACK رداً على فدرة التحكم END المرسلة من محطة إرسال المعلومات للإشارة إلى إنهاء الوصلة. وترسل الكلمة END_ACK رداً على كل فدرة تحكم END من محطة إرسال المعلومات لضمان استقبال محطة إرسال المعلومات كلمة شفرة الإشعار. وعند استقبال محطة إرسال المعلومات لرسالة رد END_ACK واحدة أو أكثر، فإنها تتحول في الحال إلى وضع STANDBY حتى لو كانت هناك فدرات بيانات متأخرة لم يخطر باستلامها. وتستعمل محطة استقبال المعلومات الرد END_ACK لإنهاء الوصلة قسراً في الحال.

شفرة الرد END_ACK (0x956A)

1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0

تشغيل تعدد الإرسال بالتقسيم التعامدي للتردد

يجري في هذا الجزء مناقشة عمليات تبادل البروتوكول الهامة بين محطتي إرسال واستقبال المعلومات. ويؤلف هنا بين البيانات وفدرات التحكم وكلمات شفرات الردود والتي تم تعريفها في الجزء السابق لإنشاء البروتوكول OFDM. ويصف هذا الجزء التبادل بين محطتي إرسال واستقبال المعلومات خلال عمليات نقل فدرة البيانات وتغيير اتجاه الوصلة وتغيير سرعتها وإنهاء الوصلة ونداءات الوصلة.

التبادل بين محطتي إرسال واستقبال المعلومات

خلال وصلة OFDM تكون واحدة من المحطات محطة إرسال للمعلومات ISS والأخرى محطة استقبال المعلومات IRS. وترسل محطة إرسال المعلومات فدرات البيانات وترسل محطة استقبال المعلومات الإشعار باستلام هذه الفدرات في حال استقبالها بدون أخطاء. وتشير الردود بكلمات الشفرة ACK وNAK المرسلة من محطة استقبال المعلومات على محطة إرسال المعلومات بما هي الفدرات الواجب إرسالها في الرشقة التالية.

ونظراً لأن البروتوكول OFDM يرسل 32 فدرة في الرشقة، لذا يجب تحديد إجراء لتخصيص فدرات البيانات لترددات الموجات الحاملة لأشكال موجات محددة. وتملأ بايتات بيانات الإرسال فدرات بيانات سعة كل منها 10 بايتات ويشير رقم التتابع لكل فدرة إلى ترتيب هذه الفدرات. وعند بناء رتل إرسال فعلي، تخصص فدرات البيانات الإفرادية، بالترتيب، بدءاً من الفدرة الأولى على الموجة الحاملة الأولى، ثم الفدرة الثانية على الموجة الحاملة الثانية وهكذا حتى يخصص لعدد 32 فدرة إرسال الأولى موجة حاملة. ويرد أدناه تخصيصات فدرات الإرسال لإرسال أول نموذجي.

وتبدأ أرقام تتابع الفدرات بالفدرة 0001 في فدرة البيانات الأولى بعد إنشاء الوصلة، وتتزايد هذه الأرقام مع كل فدرة إرسال يتم بناءها حتى نهاية الوصلة. وبعد الفدرة رقم 047 2 يعود رقم التتابع للبدء من الفدرة 0001 ثانية.

رشقة إرسال تعدد الإرسال بالتقسيم التعامدي للتردد لمحطة إرسال المعلومات

الموجة الحاملة 1	الفدرة 0001	CRC
الموجة الحاملة 2	الفدرة 0002	CRC
الموجة الحاملة 3	الفدرة 0003	CRC
الموجة الحاملة 4	الفدرة 0004	CRC
…	…	…
الموجة الحاملة 30	الفدرة 0030	CRC
الموجة الحاملة 31	الفدرة 0031	CRC
الموجة الحاملة 32	الفدرة 0032	CRC

إذا تم فك تشفير جميع الفدرات بدون أخطاء، ترسل محطة استقبال المعلومات رداً قصيراً برشقة تحتوي على إشعار ACK لكل فدرة بيانات على كل موجة حاملة. ولا تأخذ الإشعارات ACK أرقام تتابع.

رشقة رد تعدد الإرسال بالتقسيم التعامدي للتردد لمحطة استقبال المعلومات

الموجة الحاملة 1	إشعار ACK (للفدرة 1)
الموجة الحاملة 2	إشعار ACK (للفدرة 2)
الموجة الحاملة 3	إشعار ACK (للفدرة 3)
الموجة الحاملة 4	إشعار ACK (للفدرة 4)
…	…
الموجة الحاملة 30	إشعار ACK (للفدرة 30)
الموجة الحاملة 31	إشعار ACK (للفدرة 31)
الموجة الحاملة 32	إشعار ACK (للفدرة 32)

عند اكتشاف فدرة بيانات فاسدة، ترسل محطة استقبال المعلومات رداً بإشعار سالب NAK بشأن هذه الفدرة على نفس الموجة الحاملة. وتقوم محطة إرسال المعلومات بإعادة إرسال كل فدرة بيانات لا تخطر محطة استقبال المعلومات باستلامها، بما في ذلك تلك الفدرات التي لم يفك تشفير رد صالح لها من محطة استقبال المعلومات. ولتعظيم فرصة نجاح نقل الفدرة في المرة التالية، تقوم محطة إرسال المعلومات بإعادة إرسال الفدرات على موجة حاملة يكون قد أخطر فيها باستلام الفدرة الأخيرة بشكل سليم. فمثلاً، تخصص إعادة إرسال الفدرات أولاً للموجات الحاملة التي تم فيها الإخطار باستلام الفدرتين في الدورة السابقة، ثم الموجات الحاملة التي تم فيها الإخطار باستلام فدرة واحدة فقط في الدورة السابقة. وينبغي لتحريك فدرات البيانات مواصلة حركة البيانات حتى لو حدث حجب لموجة حاملة أو أكثر من جرّاء التداخل. وتضاف فدرات جديدة في فواصل الفدرات المتاحة المتبقية، حيث يتم البدء أولاً بالموجات الحاملة التي تم فيها الإخطار باستلام كلتا الفدرتين من قبل ثم الموجات الحاملة التي تم فيها الإخطار باستلام فدرة واحدة من قبل. وفي حال عدم وجود فدرات جديدة، يمكن استعمال الفدرات الحالية، بدءاً من أقدم رقم تتابع، وذلك لملء الفواصل المتاحة من الموجات الحاملة.

فمثلاً، لو نظرنا للحالة التي يكون لدينا فيها أربع موجات حاملة وفسدت فدرتان، فإن محطة إرسال المعلومات تقوم بإعادة إرسال الفدرات كما يلي:

محطة إرسال المعلومات

الموجة الحاملة 1	فدرة البيانات 0001	CRC
الموجة الحاملة 2	فدرة البيانات 0002	CRC
الموجة الحاملة 3	فدرة البيانات 0003	CRC
الموجة الحاملة 4	فدرة البيانات 0004	CRC

محطة استقبال المعلومات

الموجة الحاملة 1	إشعار ACK (للفدرة 1)
الموجة الحاملة 2	**إشعار NAK (للفدرة 2)**
الموجة الحاملة 3	إشعار ACK (للفدرة 3)
الموجة الحاملة 4	**إشعار NAK (للفدرة 4)**

محطة إرسال المعلومات

الموجة الحاملة 1	فدرة البيانات 0002	CRC
الموجة الحاملة 2	فدرة البيانات 0005	CRC
الموجة الحاملة 3	فدرة البيانات 0004	CRC
الموجة الحاملة 4	فدرة البيانات 0006	CRC

محطة استقبال المعلومات

الموجة الحاملة 1	إشعار ACK (للفدرة 2)
الموجة الحاملة 2	إشعار ACK (للفدرة 5)
الموجة الحاملة 3	إشعار ACK (للفدرة 4)
الموجة الحاملة 4	إشعار ACK (للفدرة 6)

ويلاحظ أن الفدرات المعاد إرسالها تنتقل إلى مواضع الفدرات التي تكون الفدرة قد أخطر باستلامها في الدورة الأخيرة. وفي الحالة أعلاه، ترسل فدرة البيانات 0007 باعتبارها الفدرة الأولى في الموجة الحاملة 4 بدلاً من الموجة الحاملة 2 لأن هناك خطأ في موضع الموجة الحاملة 2 في الرشقة الأخيرة. ومن المنطقي ملء المواقع "الجيدة" أولاً وترك المواقع المرسل بشأنها إشعار استلام سالب (NAK) من قبل للنهاية وذلك لزيادة احتمال نقل الفدرة بنجاح. وإذا حدث تغليف كامل للموجة الحاملة بقناع نتيجة لقدر من التداخل على القناة أو نتيجة لقيود على عرض النطاق على واحدة من الموجات الراديوية، ينبغي أولاً تخصيص فدرات بيانات جديدة لهذه الموجات الحاملة العابرة. ويبين المثال أدناه كيفية تطبيق ذلك على الحالة البسيطة التي لدينا:

محطة إرسال المعلومات

الموجة الحاملة 1	فدرة البيانات 0001	CRC
الموجة الحاملة 2	فدرة البيانات 0002	CRC
الموجة الحاملة 3	فدرة البيانات 0003	CRC
الموجة الحاملة 4	فدرة البيانات 0004	CRC

محطة استقبال المعلومات

الموجة الحاملة 1	**إشعار NAK (للفدرة 1)**
الموجة الحاملة 2	إشعار ACK (للفدرة 2)
الموجة الحاملة 3	إشعار ACK (للفدرة 3)
الموجة الحاملة 4	**إشعار NAK (للفدرة 4)**

محطة إرسال المعلومات

الموجة الحاملة 1	فدرة البيانات 0005	CRC
الموجة الحاملة 2	فدرة البيانات 0001	CRC
الموجة الحاملة 3	فدرة البيانات 0004	CRC
الموجة الحاملة 4	فدرة البيانات 0006	CRC

محطة استقبال المعلومات

الموجة الحاملة 1	إشعار ACK (للفدرة 5)
الموجة الحاملة 2	إشعار ACK (للفدرة 1)
الموجة الحاملة 3	إشعار ACK (للفدرة 4)
الموجة الحاملة 4	**إشعار NAK (للفدرة 6)**

وفي هذا المثال، تخصص فدرات جديدة للموجتين 1 و4 الأخيرة نظراً لأن هاتين الموجتين أظهرتا خطأً على دورة الإرسال السابقة. وإذا فشلت الموجة الحاملة 4 في نقل الفدرات نتيجة لقيد بشأن عرض النطاق، يعاد إرسال الفدرتين 12 و13 ما دامت كل الفدرات السابقة قد نقلت بدون أخطاء.

وفي حال عدم وجود بيانات لإرسالها، يمكن لمحطة إرسال المعلومات إرسال فدرات مع رقم تتابع للفدرة يساوي 0000، وتقوم محطة استقبال المعلومات بإغفال هذه الفدرات ولا تكون هناك حاجة إلى إعادة إرسالها إذا أعادت محطة استقبال المعلومات إشعاراً سالباً (NAK) بشأن هذه الفدرات. وكما يتبيّن أدناه، يمكن أيضاً لمحطة إرسال المعلومات تكرار الفدرات الحالية مع البدء بالأقدم، وذلك في الفواصل المتبقية لزيادة احتمال استقبال الفدرة بدون أخطاء.

وإذا كان لدى محطة إرسال المعلومات أقل من 32 فدرة للإرسال، يمكن لمحطة إرسال المعلومات تكرار الفدرات الحالية في فدرات الموجات الحاملة المتاحة المتبقية. ونظراً لأن محطة استقبال المعلومات يجب أن تستعمل رقم التتابع لإعادة بناء قطار البايتات التسلسلي، فإن أي فدرة ثانية يكون لها نفس رقم تتابع الفدرة سيتم إغفالها. ويوفر تكرار الفدرات في الرشقة الطويلة لمحطة إرسال المعلومات فرصة ثانية لاستقبال الفدرة بدون أخطاء.

محطة إرسال المعلومات

الموجة الحاملة 1	فدرة البيانات 0001	CRC
الموجة الحاملة 2	فدرة البيانات 0002	CRC
الموجة الحاملة 3	فدرة البيانات 0003	CRC
الموجة الحاملة 4	فدرة البيانات 0004	CRC

محطة استقبال المعلومات

الموجة الحاملة 1	**إشعار NAK (للفدرة 1)**
الموجة الحاملة 2	إشعار ACK (للفدرة 2)
الموجة الحاملة 3	إشعار ACK (للفدرة 3)
الموجة الحاملة 4	**إشعار NAK (للفدرة 4)**

ويوجد لدى محطة إرسال المعلومات في هذا المثال 5 فدرات للإرسال وهي تكرر الفدرات من 1 إلى 3 في الفدرات المتبقية. وفي نهاية محطة استقبال المعلومات، يرسل إشعار سالب (NAK) بشأن فدرة البيانات الأولى 0001 ولكن يتم استقبال النسخة الثانية بدون أخطاء. ولا تحتاج محطة إرسال البيانات إلى إعادة إرسال فدرة البيانات 0001. ويرسل إشعار سالب (NAK) بشأن النسخة الثانية من فدرة البيانات 0003 وإن كانت النسخة الأولى منها قد استقبلت بنجاح؛ ولا يلزم قيام محطة إرسال المعلومات بإعادة إرسال هذه الفدرة. ويلاحظ أن فدرة البيانات 0004 قد أرسل إشعار سالب (NAK) بشأنها ومن ثم يلزم قيام محطة إرسال المعلومات بإعادة إرسال هذه الفدرة نظراً لأنها أرسلت لمرة واحدة في الرشقة الطويلة.

ولا تُجرى أي محاولة من جانب محطة استقبال المعلومات للمقارنة بين نسخ الفدرات ذات رقم التتابع الواحد. ويفترض أن الفدرة الأولى التي يتم استقبالها مع تحقق CRC سليم تكون فدرة صالحة وتصطف هذه الفدرة انتظاراً للخروج إلى المنفذ التسلسلي. وينبغي أيضاً لمحطة استقبال المعلومات أن ترسل إشعاراً ACK بشأن جميع الفدرات التي يتم استقبالها بدون أخطاء حتى لو كانت فدرات مكررة.

التحكم في التدفق

لا يحتوي البروتوكول OFDM على أي شفرات محددة للتحكم في تدفق مستوى الوصلة لكي تسمح لمحطة استقبال المعلومات بوقف إرسال الفدرات من محطة إرسال المعلومات. ومع ذلك، يعتبر التحكم في التدفق ضرورياً، إذا كانت محطة استقبال المعلومات غير قادرة على تفريغ دارئات فدرات الاستقبال نتيجة لتفعيل التحكم في تدفق منفذ تسلسلي أو منفذ USB خارجيين. فإذا أوقف التحكم الخارجي في التدفق استقبال خرج البيانات لفترة ممتدة من الوقت، يمكن لدارئات استقبال محطات استقبال المعلومات أن تمتلئ بحيث لا تترك أي مكان لتخزين فدرات بيانات جديدة من محطات إرسال المعلومات.

وعندما تحتاج محطة استقبال المعلومات إلى إبطاء معدل نقل فدرات محطة إرسال المعلومات، يمكنها إرسال إشعار سالب (NAK) بشأن جزء من جميع فدرات الرشقة الطويلة لمحطة إرسال المعلومات حتى لو كان التحقق CRC الخاص بالفدرات سليماً. وفي حال إرسال إشعار سالب (NAK) بشأن جميع الفدرات، فإن محطة إرسال المعلومات تقوم بتكرار جميع الفدرات في الرشقة الطويلة التالية. ويلاحظ أن إيقاف نقل بيانات الوصلة باستخدام الإشعارات السالبة (NAK) لفترة طويلة يمكنه أن يؤدي بالمحطة ISS إلى إجهاض الوصلة.

تحويل اتجاه الوصلة OVER

يمكن استهلال تحويل اتجاه الوصلة OVER من طرف المحطة ISS أو المحطة IRS. وتطلب المحطة ISS تحويل اتجاه الوصلة OVER بإرسال أمر التحكم OVER كفدرة من فدرات بيانات الرشقة الطويلة. ويمكن للمحطة ISS طلب تحويل الاتجاه OVER في أي وقت ولكن ينبغي لها التوقف عن بناء فدرات بيانات إرسال جديدة بعد إصدار الأمر OVER. وعند تلقي المحطة IRS لأمر التحكم OVER، تقوم بالفحص للتحقق من أن جميع أرقام تتابع فدرات البيانات حتى رقم تتابع فدرة التحكم OVER قد تم استقبالها. وفي حال عدم وجود فدرات مفقودة، ترسل المحطة IRS رسالة الرد FORCED_OVER بدلاً من الإشعار ACK بالنسبة لجميع الفدرات التي تم تفكيك شفرتها بشكل سليم والإشعار السالب (NAK) بالنسبة للفدرات الفاسدة. وفي حال وجود فدرات مفقودة، تواصل المحطة IRS إرسال رسائل الرد ACK/NAK إلى أن يتم استقبال جميع الفدرات المفقودة بشكل سليم، ثم ترسل رسالة الرد FORCED_OVER بدلاً من الإشعار ACK بالنسبة لجميع الفدرات التي تم تفكيك شفرتها بشكل سليم. ويلاحظ أنه لا يوجد ضمان بأن يتم إرسال إشعار باستلام الفدرات ذات أرقام التتابع التي تلي الفدرة OVER قبل حدوث تحول في اتجاه الوصلة OVER. ويجب على طرف المحطة ISS مواصلة تتبع الفدرات المتأخرة.

وينبغي أن تملأ المحطة ISS جميع فدرات البيانات بعد الأمر OVER بفدرات تحتوي على رقم التتابع 0000 حيث إن هذه الفدرات لا يلزم إعادة إرسالها بينما يتم انتظار بدء المحطة IRS للتتابع OVER. كما يمكن للمحطة ISS تكرار فدرات البيانات الحالية في الفواصل المتاحة المتبقية.

ويمكن للمحطة IRS إجراء تحويل OVER قسراً في أي وقت بإرسال رسالة رد FORCED_OVER واحدة على الأقل بدلاً من الإشعار ACK عند الرد على رشقة طويلة للمحطة ISS. وعند اكتشاف المحطة ISS للرسالة FORCED_OVER، تعكس اتجاه الوصلة في الحال مع مواصلة تتبع الفدرات التي لم يرد إشعار باستلامها. وترسل جميع الفدرات المتأخرة بعد التحويل OVER التالي.

محطة إرسال المعلومات

الموجة الحاملة 1	فدرة البيانات 0005	CRC
الموجة الحاملة 2	فدرة البيانات 0006	CRC
الموجة الحاملة 3	فدرة التحكم 0007 OVER	CRC
الموجة الحاملة 4	فدرة البيانات 0000	CRC

محطة استقبال المعلومات

الموجة الحاملة 1	إشعار ACK (للفدرة 5)
الموجة الحاملة 2	إشعار ACK (للفدرة 6)
الموجة الحاملة 3	إشعار ACK (للفدرة 7)
الموجة الحاملة 4	**إشعار سالب NAK (للفدرة 8)**

محطة إرسال المعلومات

الموجة الحاملة 1	فدرة البيانات 0000	CRC
الموجة الحاملة 2	فدرة البيانات 0001	CRC
الموجة الحاملة 3	فدرة البيانات 0004	CRC
الموجة الحاملة 4	فدرة البيانات 0000	CRC

محطة استقبال المعلومات

الموجة الحاملة 1	**إشعار سالب NAK**
الموجة الحاملة 2	FORCED_OVER
الموجة الحاملة 3	FORCED_OVER
الموجة الحاملة 4	**إشعار سالب NAK**

محطة استقبال المعلومات

الموجة الحاملة 1	إشعار سالب NAK
الموجة الحاملة 2	إشعار سالب NAK
الموجة الحاملة 3	إشعار سالب NAK
الموجة الحاملة 4	إشعار سالب NAK

محطة إرسال المعلومات

الموجة الحاملة 1	فدرة البيانات 0010	CRC
الموجة الحاملة 2	فدرة البيانات 0011	CRC
الموجة الحاملة 3	فدرة البيانات 0012	CRC
الموجة الحاملة 4	فدرة البيانات 0013	CRC

محطة استقبال المعلومات

الموجة الحاملة 1	إشعار ACK (للفدرة 10)
الموجة الحاملة 2	إشعار ACK (للفدرة 11)
الموجة الحاملة 3	إشعار ACK (للفدرة 12)
الموجة الحاملة 4	إشعار ACK (للفدرة 13)

إنهاء الوصلة (END)

يمكن لكل من المحطة ISS أو المحطة IRS إنهاء البروتوكول OFDM. ونمطياً، تنهي المحطة ISS الوصلة بإرسال فدرة تحكم END واحدة كفدرة تالية بعد آخر فدرة بيانات. وعند استقبال المحطة IRS لفدرة التحكم END، تتحقق من أن جميع فدرات البيانات ذات أرقام التتابع حتى فدرة التحكم END قد تم استقبالها. وفي حال عدم وجود فدرات عالقة (متأخرة)، ترسل المحطة IRS رشقة قصيرة مع ضبط جميع الفواصل على END_ACK. وفي حال وجود فدرات عالقة، تستمر المحطة IRS في إرسال رسائل الرد ACK/NAK إلى أن يتم استقبال جميع الفدرات العالقة بشكل سليم. ويلاحظ أن أي فدرات بيانات ترسلها المحطة ISS بأرقام تتابع بعد الرقم الوارد في الفدرة END يتم نبذها.

وينبغي للمحطة ISS أن تشفر جميع الفدرات بعد رسالة التحكم END باستعمال رقم التتابع 0000 بحيث لا يتم إعادة إرسالها.

وعند تلقي المحطة ISS أربع رسائل أو أكثر من رسائل الرد END_ACK في فدرة قصيرة، توقف الإرسال في الحال وتعود لوضع STANDBY. وتكرر المحطة IRS الرتل END_ACK مرتين بعد استقبال آخر فدرة تحكم END للتأكد من أن المحطة ISS تستقبل الرسالة END_ACK.

وتصدر المحطة IRS رسالة الرد END_ACK عندما ترغب في إنهاء الوصلة قسراً. وعند استقبال المحطة ISS لرسالة الرد END_ACK، توقف الإرسال في الحال وتعود إلى وضع STANDBY حتى لو كانت هناك فدرات بيانات عالقة.

محطة إرسال المعلومات

الموجة الحاملة 1	فدرة البيانات 0005	CRC
الموجة الحاملة 2	فدرة البيانات 0006	CRC
الموجة الحاملة 3	فدرة التحكم END 0007	CRC
الموجة الحاملة 4	فدرة البيانات 0000	CRC

محطة استقبال المعلومات

الموجة الحاملة 1	إشعار ACK (للفدرة 5)
الموجة الحاملة 2	إشعار ACK (للفدرة 6)
الموجة الحاملة 3	إشعار ACK (للفدرة 7)
الموجة الحاملة 4	**إشعار سالب NAK (للفدرة 8)**

محطة إرسال المعلومات

الموجة الحاملة 1	فدرة البيانات 0000	CRC
الموجة الحاملة 2	فدرة البيانات 0000	CRC
الموجة الحاملة 3	فدرة البيانات 0000	CRC
الموجة الحاملة 4	فدرة البيانات 0000	CRC

محطة استقبال المعلومات

الموجة الحاملة 1	END_ACK
الموجة الحاملة 2	END_ACK
الموجة الحاملة 3	END_ACK
الموجة الحاملة 4	END_ACK

محطة استقبال المعلومات

الموجة الحاملة 1	END_ACK
الموجة الحاملة 2	END_ACK
الموجة الحاملة 3	END_ACK
الموجة الحاملة 4	END_ACK

إنهاء وصلة تعدد الإرسال بالتقسيم التعامدي للتردد

النداء CALLING

تنشأ الوصلة DATAPLEX عندما تنادي المحطة القائد محطة بعيدة باستعمال شفرة نداء CALLING من 9 بايتات ترسل بنسق التشكيل بزحزحة التردد 100 (FSK). وتحدد شفرة تزامن مفردة من بايتتين في بداية الفدرة فدرة النداء CALLING وكذلك توقيت الوصلة. وتتكرر فدرة النداء CALLING هذه كل 020 1 ms، زمن الدورة DATAPLEX.

ويرسل النداء الانتقائي SELCAL للمحطة البعيدة في 4,5 بايتة بترزيم رقمين SELCAL لكل بايتة؛ ويجب أن يكون لجميع النداءات الانتقائية (SELCAL) 9 أرقام بقيم من 0x0 إلى 0x9. وتختار البتات الأربع الأدنى من آخر بايتة نداء SELCAL نسق الوصلة ويكمل نسق النداء ذو البايتة الواحدة، بايتة النمط، جزء البيانات الخاص بفدرة النداء CALLING. ويضاف مجموع تدقيقي من بايتة واحدة للتحقق من أن نسق النداء قد تم استقباله بدون أخطاء.

وعند استقبال محطة خاملة لفدرة نداء CALLING مع النداء الانتقائي SELCAL المحلي ومجموع التدقيق السليم، يمكن أن تبدأ وصلة DATAPLEX باستعمال النسق المحدد بواسطة محطة النداء. وبعد استقبال شفرة التحكم بالإشعار الخاص بالوصلة، فإن أول فدرة بيانات ترسلها المحطة القائد تحتوي على النداء SELCAL1 للمحطة القائمة بالنداء في فدرة تحكم MYCALL. وتتبع هذه الفدرة اتفاقية فدرات التحكم الموضحة آنفاً فيما عدا أن البايتة MYCALL يتبعها النداء SELCAL للمحطة القائد المرسل باستخدام رقمين SELCAL لكل بايتة. وبعد إرسال إشعار باستلام هذه الفدرة الأولى في وصلة DATAPLEX من النمط FSK أو التشكيل بزحزحة الطور التفاضلي (DPSK)، تبدأ الوصلة في التبادل العادي للبيانات بين المحطتين ISS وIRS.

ويلاحظ أن رقم التتابع يضبط على 0001 للفدرة الأولى المرسلة بواسطة المحطة القائد MASTER والمحطة المنقادة SLAVE بعد تحول الوصلة إلى البروتوكول OFDM.

فدرة التحكم CALLING

CKSUM	TYPE	SC9 | RATE	SC7 | SC8	SC5 | SC6	SC3 | SC4	SC1 | SC2	00110101	10101100

الملاحظة 1 – SC1 إلى SC9 هي الأرقام التسعة للنداء SELCAL، لكل رقم منها 4 بتات، [من 0x0 إلى 0x9]

المعدل (RATE) = نسق الوصلة (2 = FSK200؛ 3 = FSK100؛

4 = DPSK600؛ 5 = DPSK400؛ 6 = DPSK200؛

8 = OFDM (*N* = 32، *M* = 4)، 14 = OFDM (N=256، M=4 و16 و64)، أنظر الملحق 5)

النمط (TYPE) = قيمة من 8 بتات تمرر إلى التطبيق في رسالة حالة طلب الوصلة

CKSUM = 00 – (مجموع البايتات من SC2|SC1 إلى TYPE)

وفي المثال التالي، تطلب المحطة القائد وصلة باستخدام المعدل (RATE) لنسق البروتوكول OFDM، 8 ($N = 32$ و$M = 4$) وترسل المحطة البعيدة إشعاراً باستلام طلب الوصلة.

محطة إرسال المعلومات محطة استقبال المعلومات

فدرة نداء CALLING (FSK100)--->

CKSUM	TYPE	8	SELCAL	CALLING

(تم استقبال ندائي SELCAL بنجاح؛ الوصلة بالنسق FSK200)

بدء وصلة OFDM --->

LINK_ACK

فدرة نداء CALLING (FSK100) <---

CKSUM	TYPE	8	SELCAL	CALLING

بدء وصلة OFDM --->

LINK_ACK

محطة إرسال المعلومات – تعدد الإرسال بالتقسيم التعامدي للتردد (الدورة تتغير إلى 1 520 ms)

الموجة الحاملة 1	MYCALL 0001	CRC
الموجة الحاملة 2	MYCALL 0001	CRC
الموجة الحاملة 3	MYCALL 0001	CRC
الموجة الحاملة 4	MYCALL 0001	CRC

محطة إرسال المعلومات – تعدد الإرسال بالتقسيم التعامدي للتردد

الموجة الحاملة 1	إشعار ACK (للفدرة 1)
الموجة الحاملة 2	إشعار ACK (للفدرة 2)
الموجة الحاملة 3	إشعار ACK (للفدرة 3)
الموجة الحاملة 4	إشعار ACK (للفدرة 4)

وتبدأ عملية التوصيل في النسق DATAPLEX FSK100 وتتحول إلى البروتوكول OFDM بعد أن تستقبل المحطتان ISS وIRS رشقة الحيازة DPSK بشكل سليم. ويتغير زمن دورة البروتوكول من 1 020 إلى 1 520 ms بعد تلقي المحطة ISS شفرة الرد LINK_ACK من المحطة IRS.

ويعد التغيير في زمن الدورة نقطة حاسمة في بروتوكول التوصيل، حيث يمكن حدوث حالتي خطأ محتملتين؛ الأولى، أن المحطة ISS قد لا تسمع شفرة الرد CS1 للمحطة IRS والثانية، أن المحطة IRS قد لا تسمع الرشقة الطويلة الأولى للمحطة ISS بالبروتوكول OFDM.

وقد تكون هناك حالات تدعم فيها القناة النسق FSK100 وإن كانت لا تدعم البروتوكول OFDM. وعندما تكرر المحطة ISS أو المحطة IRS الرشقة الطويلة للبروتوكول OFDM (المحطة ISS) أو الرد CS1 (المحطة IRS) عدد مرات يساوي MAX_OFDM_LINK دون إقامة الوصلة OFDM بنجاح، فإنه يجب على كل من المحطة ISS والمحطة IRS إجهاض الوصلة والعودة إلى وضع STANDBY. والقيمة MAX_OFDM_LINK عبارة عن قيمة لإعادة تجربة العد قابلة للبرمجة.

ويرد أدناه عرض لمثال تفشل فيه المحطة ISS في فك تشفير شفرة الرد CS1 الأولى من المحطة IRS. وتكرر المحطة ISS الرشقة DPSK_ACK على دورات مدة كل منها 1 020 ms انتظاراً للرد CS1 فيما تنتظر المحطة IRS الرشقة الطويلة OFDM الأولى.

محطة إرسال المعلومات خدمة استقبال المعلومات

تم التحويل بنجاح --->

CS0

رشقة الحيازة DSPK (T = 0 ms) <---

DPSK_ACQ

<--- DPSK ACQ OK (T = 720 ms + RTT)

CS1

محطة إرسال المعلومات تفشل في فك تشفير الشفرة CS1! تكرر الرشقة DPSK_ACQ

رشقة الحيازة DPSK (T = 1 020 ms) <---

DPSK_ACQ

رشقة الحيازة DPSK (T = 2 040 ms) <---

DPSK_ACQ

رشقة الحيازة DPSK (T = 4 080 ms) <---

DPSK_ACQ

<--- DPSK ACQ OK (T = 720 ms + RTT + 4 080 ms)

CS1

محطة إرسال المعلومات – تعدد الإرسال بالتقسيم التعامدي للتردد (تغيير زمن الدورة إلى 2 672 ms)

الموجة الحاملة 1	فدرة البيانات 0001	CRC
الموجة الحاملة 2	فدرة البيانات 0002	CRC
الموجة الحاملة 3	فدرة البيانات 0003	CRC
الموجة الحاملة 4	فدرة البيانات 0004	CRC

محطة استقبال المعلومات – تعدد الإرسال بالتقسيم التعامدي للتردد

الموجة الحاملة 1	إشعار ACK (للفدرة 1)
الموجة الحاملة 2	إشعار ACK (للفدرة 2)
الموجة الحاملة 3	إشعار ACK (للفدرة 3)
الموجة الحاملة 4	إشعار ACK (للفدرة 4)

وفي المثال التالي، تفشل المحطة IRS في فك تشفير الرشقة الطويلة OFDM الأولى من المحطة ISS. وتبدأ المحطة ISS في إرسال رشقات طويلة OFDM وإن كانت المحطة IRS لا تستقبل أي رشقة جيدة إلى الوقت الذي يلي تكرارها لشفرة الرد CS1. ويلاحظ أن شفرة المحطة IRS الثانية ترسل خلال الوقت الذي ترسل فيه المحطة ISS الرشقة الطويلة OFDM الثانية.

محطة إرسال المعلومات **محطة استقبال المعلومات**

تم التحويل بنجاح --->

CS0

رشقة الحيازة DPSK (T = 0 ms) <---

DPSK_ACQ

DPSK ACQ OK (T = 720 ms + RTT) --->

CS1

محطة إرسال المعلومات – تعدد الإرسال بالتقسيم التعامدي للتردد (تغيير الدورة إلى 2 672 ms)

إرسال رشقة طويلة OFDM (T = 0 ms) <---

الموجة الحاملة 1	فدرة البيانات 0001	CRC
الموجة الحاملة 2	فدرة البيانات 0002	CRC
الموجة الحاملة 3	فدرة البيانات 0003	CRC
الموجة الحاملة 4	فدرة البيانات 0004	CRC

محطة استقبال المعلومات تفشل في فك تشفير فدرة تعدد الإرسال بالتقسيم التعامدي للتردد! تكرار الشفرة CS1

إرسال رشقة طويلة OFDM (T = 2 672 ms) <---

الموجة الحاملة 1	فدرة البيانات 0001	CRC
الموجة الحاملة 2	فدرة البيانات 0002	CRC
الموجة الحاملة 3	فدرة البيانات 0003	CRC
الموجة الحاملة 4	فدرة البيانات 0004	CRC

DPSK ACQ OK (T = 720 ms + RTT + 4 080 ms) --->

CS1

إرسال رشقة طويلة OFDM (T = 5 344 ms) <---

الموجة الحاملة 1	فدرة البيانات 0001	CRC
الموجة الحاملة 2	فدرة البيانات 0002	CRC
الموجة الحاملة 3	فدرة البيانات 0003	CRC
الموجة الحاملة 4	فدرة البيانات 0004	CRC

محطة استقبال المعلومات – تعدد الإرسال بالتقسيم التعامدي للتردد

---> إرسال رشقة قصيرة OFDM (1 080 ms + RTT + 5 344 ms)

الموجة الحاملة 1	إشعار ACK (للفدرة 1)
الموجة الحاملة 2	إشعار ACK (للفدرة 2)
الموجة الحاملة 3	إشعار ACK (للفدرة 3)
الموجة الحاملة 4	إشعار ACK (للفدرة 4)

الوصف الوظيفي

المشكل

الوارد في الشكل 1 هو معمارية المشكل. وتستعمل عدد من المعلمات المدرجة في الجدول 1 لتعريف المشكل. ويتم أولاً أنساق بتات المعلومات، $x_1(n)$، التي يساوي طولها $N*L*\log2(M)$ إلى عدد N من الأرتال وبتات $x_2(m, n)$ على النحو المبين في الشكل 3 بالنسبة لقيمة $M = 4$. ولكل قناة من القنوات المتوازية N ذات الطول $\log2(M)*L$ تخلط إلى البتات $x_2(m, n)$. ويجري تقابل لهذه الأرتال المخلوطة بعد ذلك مع L بواسطة عدد N من الرموز، البتات $x_4(m, n)$، وتشفر تفاضلياً إلى رموز، البتات $x_5(m, n)$. وللمساعدة على التزامن، يضاف تتابع حجمه S من الرموز حيث ينتج عدد $(L + S)$ في عدد N من الرموز، $x_6(m, n)$. وتطبق $x_6(m, n)$ على دخل محول فوريه السريع العكسي المركب (IFFT) حيث ينتج في الخرج البتات $x_7(m, n)$ بمعدل عينات $fs1$. ويضاف تمديد دوري للرموز ذات الطول P بحيث ينتج في الخرج $(L + S)$ مضروباً في $(N + P)$ من العينات، $x_8(m, n)$. وتحول العينات بعد ذلك من التوازي إلى التوالي للحصول على إشارة مركبة $x_9(n)$ بمعدل عينات $fs2$ وطول $(L + S)*(N + P)$. ويتم بعد ذلك الاستكمال الداخلي للإشارة المشكلة بالمعدل R بحيث ينتج عينات $(L + S)*(N + P)*R$، $x_{10}(n)$ بمعدل عينات $fs3$. ويقوم محول رفع بتحويل الإشارة المشكلة المركبة في النطاق الأساسي إلى إشارة حقيقية في نطاق التمرير، $x_{11}(n)$، كدخل لمحول من رقمي إلى تماثلي (D/A). ويرد أدناه تفاصيل الفدرات الإفرادية.

الجدول 1

وصف معلمات المشكل

المعلمة	الوصف
N	الطول IFFT
P	طول التمديد في العينات
M	رتبة النسق PSK
L	عدد الرموز المتوازية في الرشقة
R	معدل الاستكمال الداخلي
S	عدد رموز التزامن
Fs	معدل العينات (Hz)

تصميم اختيار المعلمات

ولخرج المشكل طيف سمعي عرض نطاقه عند 3 dB يتراوح من 300 إلى 3 000 Hz وتردد مركزي 1 700 Hz. ويرد في الجدول 2 قيم معلمات المشكل لعدد 6 توليفات محتملة للمعلمات. ويكون عدد أطوار PSK، M، إما 4 أو 8. وعدد الموجات الحاملة الفرعية (N) يمكن تشكيله على النحو التالي $N = 16$ أو 32 أو 64 ويتم اختياره بحيث يكون عرض النطاق الناتج للقنوات الفرعية أو معدل الرموز أقل من 200 Hz. ويتم اختيار معدل عينات الكودك السمعي CODEC بحيث يفي بمعيار نيكويست ويكون ثابتاً عند المعدل $Fs = 8$ kHz. ويكون معدل وحدة الاستكمال الداخلي ثابتاً عند $R = 3$ بحيث ينتج معدل رموز كلي يبلغ 3/8 000 = 2 666,66 Hz وعرض نطاق للإشارة بنفس القيمة تقريباً. والقيم المختارة لمودم التردد العالي هي $N = 32$ و$M = 4$.

الجدول 2

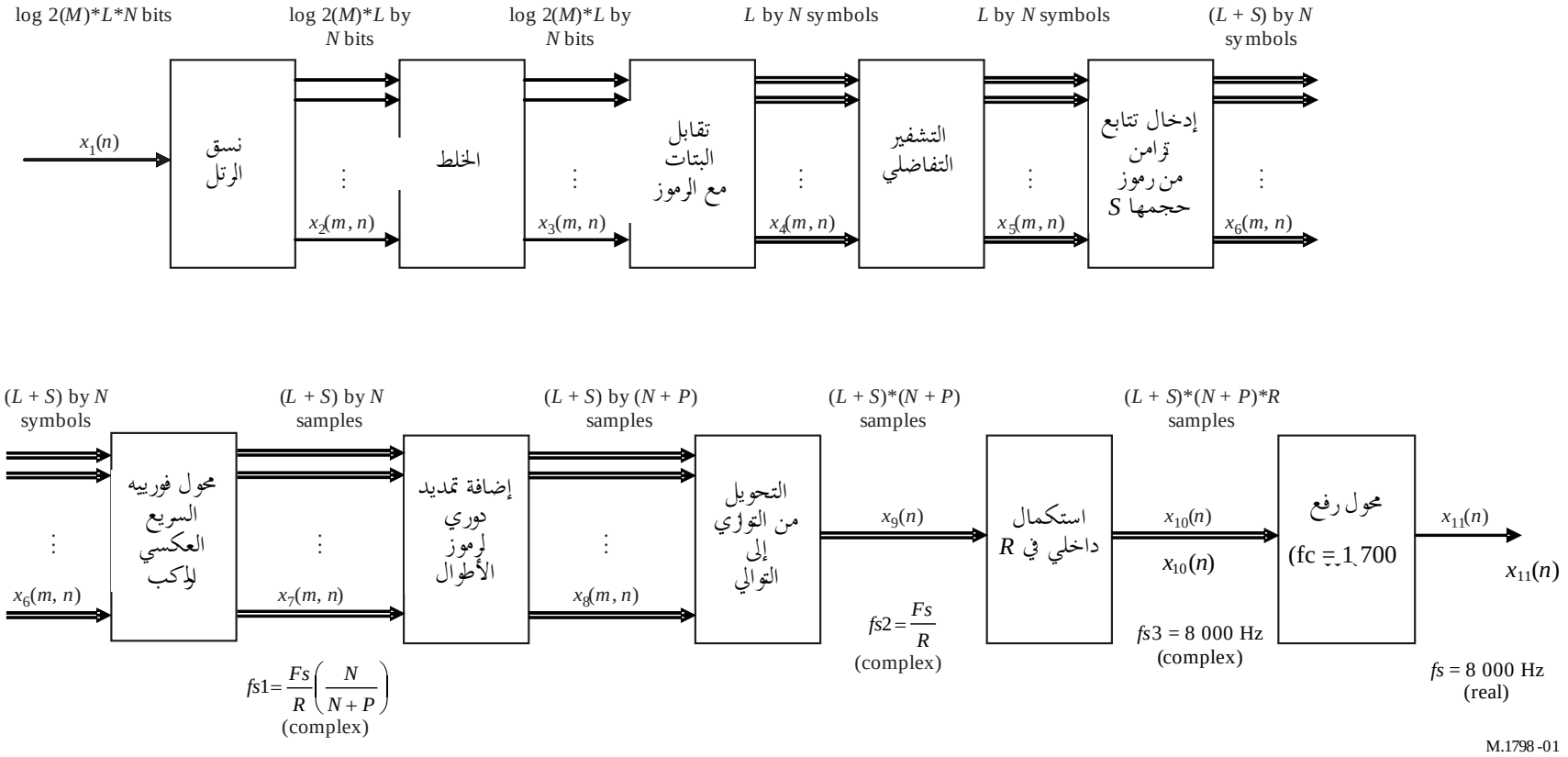
قيم معلمات المشكل

Fs	***S***	***R***	***L*** **short**	***L*** **long**	***M***	***P***	***N***
8 000	8	3	32	288	4	2	16
8 000	4	3	16	144	4	4	32
8 000	2	3	8	72	4	8	64
8 000	8	3	32	288	8	2	16
8 000	4	3	16	144	8	4	32
8 000	2	3	8	72	8	8	64

ويحدد نسق الرتل بحيث يتم إرسال 64 رتلاً في كل رشقة طويلة مهما كانت قيمة N. وبالنسبة للحالة $N = 32$، يتم إرسال رتلين على كل قناة من 32 قناة فرعية. ويرد في الجدول 3 موجز للمعلمات والقيم الفعالة للصبيب.

الشكل 1

مشكل البروتوكول OFDM



الجدول 3

معلمات مودم تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد

	4 = *M* **32 = *N***
معدل عينات الخرج (*Fs*) (عينة/ث)	8 000
حجم محول فوريه IFFT (*N*)	32
طول التمديد (*P*) (ث)	4
معدل الاستكمال الداخلي (*R*)	3
رموز البيانات في الرشقة (*L*)	144
رموز التزامن في الرشقة (*S*)	4
الأطوار المشكّلة (*M*)	4
معدل العينات في خرج المحول IFFT (عينة/ث)	2 370,3704
الدخل من البتات	9 216
الدخل من الرموز	4 608
دخل الرموز إلى المحول IFFT	4 736
معدل العينات بالتمديد (عينة/ث)	2 666,6667
طول الرشقة (ث)	1,998
الصبيب الأولي (bit/s)	4 612,6126
معدل رموز القناة (عينة/ث)	83,333333
رموز التزامن في الرشقة القصيرة (*S*)	4
رموز البيانات في الرشقة القصيرة (*L*)	16
طول الرشقة القصيرة (ث)	0,27
التأخير في الانتشار (ث)	0,224
المباعدة بين الرشقات (ث)	2,492
عدد البايتات في كل رتل	36
بايتات الرأسية	4
بايتات المحقق CRC	4
الصبيب الفعلي (bit/s)	2 876,4045
عامل الاستخدام	0,6235955

تم اختيار قيمة *P* بحيث يكون طول الرشقة (ث) أكبر من الحد الأقصى لامتداد تأخير القناة HF. وبفرض امتداد أقصى قدره 2 ms (انظر التوصية ITU-R F.1487)، فإن عدد العينات المطلوبة عند المعدل *Fs* = 8 000 Hz يكون 16 على الأقل. وفي حالة *N* = 32، يكون التمديد 1,5 ms (*P* = 4).

وباستعمال القيم المختارة لمعلمات المودم، نتحصل على نتائج تحليل الصبيب الواردة في الجدول 4. وتمرر الإشارة المولدة بمشكّل البروتوكول OFDM عبر قناة HF باستعمال النموذج المحدد في التوصية ITU-R F.1487. وتجرى جميع عمليات المحاكاة باستعمال 6 400 رتل أو 100 رشقة.

الجدول 4

نتائج محاكاة الصبيب لأطوال تمديد مختلفة

حجم المحول FFT (*N*)	التمديد (*P*)	الأطوار (*M*)	صبيب قناة *جيدة* (bit/s)	صبيب قناة *متوسطة* (bit/s)	صبيب قناة *رديئة* (bit/s)
32	4	4	2 088,3	1 632,2	467,7
32	8	4	1 906,6	1 547,8	1 076,5
32	16	4	1 561,9	1 481,4	519,6

وتتعلق المعلمات المتبقية التي يجب اختيارها للمودم بأطوال الرشقات أو بكم المعلومات أو البتات الإضافية المستعملة في الرشقة. والبروتوكول المختار للمودم OFDM هو ARQ وهو مثل البروتوكول المستعمل مع DATAPLEX فيما عدا أن عدد الإشعارات لكل رشقة يضرب في 64. ويتحدد اختيار معلمتي طول الرشقة L وS في الجدول 3 من تحليل أداء البروتوكول ARQ.

ويمكن تمثيل أداء بروتوكول ARQ باستخدام العامل (η) وهو عبارة عن جزء الوقت الذي لا يكون فيه الإرسال خاملاً، على افتراض أنه يوجد دائماً رتل يتعين إرساله. ويكون هذا العامل في حالة الإرسال والاستقبال بدون أخطاء كما يلي:

$$\eta = \frac{T_f}{T_f + 2\tau + T_p + T_a} \quad (1)$$

حيث:

T_f: طول الرتل

τ: تأخير الانتشار في اتجاه واحد

T_p: زمن معالجة الرتل

T_a: طول رشقة الإشعار بالاستلام.

والقيمة القصوى للمعامل η تساوي 1، حيث تشير إلى الاستخدام الأقصى. ومن شأن اختيار المعلمات التي تعظم η أن يصل بأداء المخطط ARQ إلى أعلى مستوى.

وبالنسبة لقناة يوجد احتمال أن يحدث فيها إرسال غير ناجح لرتل بيانات أو إشعار، P_f، يكون معامل الاستخدام كما يلي:

$$\eta = \frac{T_f}{\left(T + T_f\right)\frac{P_f}{1 - P_f} + \left(T_f + 2\tau + T_p + T_a\right)} \quad (2)$$

حيث T هي زمن إعادة الإرسال. ويلاحظ أنه بالنسبة إلى $P_f = 0$، فإن المعادلة (2) تصبح المعادلة (1). ومن طرائق تحديد معلمات البروتوكول ARQ تثبيت قيم T وτ وT_p وT_a واختيار القيمة T_f المثلى بالنسبة لاحتمال محدد P_f.

وبفرض أنه بالنسبة لقيمة $N = 64$، تحتاج الرشقة القصيرة إلى $L = 8$ رموز لإرسال الإشعار و$S = 2$ رمزان للتزامن. وفي حالة $N = 32$ و$N = 16$، يتم اختيار المعلمات بحيث تعطي نفس الطول (ms) المتحصل عليه في حالة $N = 64$. ويؤدي ذلك إلى رشقة قصيرة بطول $T_a = 270$ ms. وبافتراض قيمة للحد الأقصى من تأخير الانتشار في اتجاه واحد $\tau = 110$ ms، كما هو الحال في DATAPLEX، وهو ما يسمح بمسافة في اتجاه واحد تزيد عن 625 20 ميلاً. ويعتبر زمن معالجة الرتل T_p أقل بكثير من المعلمات الأخرى ويضبط على 100 ms في هذا التحليل.

ويؤدي معدل رموز كلي fs = 2 666,6 Hz مع M = 4 وN = 64 إلى معدل بتات فعال للقنوات الفرعية R_b، حيث R_b = log 2(M)*fs/N = 83,33 Hz. ويكون عدد البتات في الرتل كالتالي:

$$N_b = R_b T_f \quad (3)$$

واحتمال خطأ الرتل:

$$P_f = P_e N_b \quad (4)$$

حيث P_e هو احتمال خطأ البتة. ويكون زمن إعادة الإرسال كالتالي:

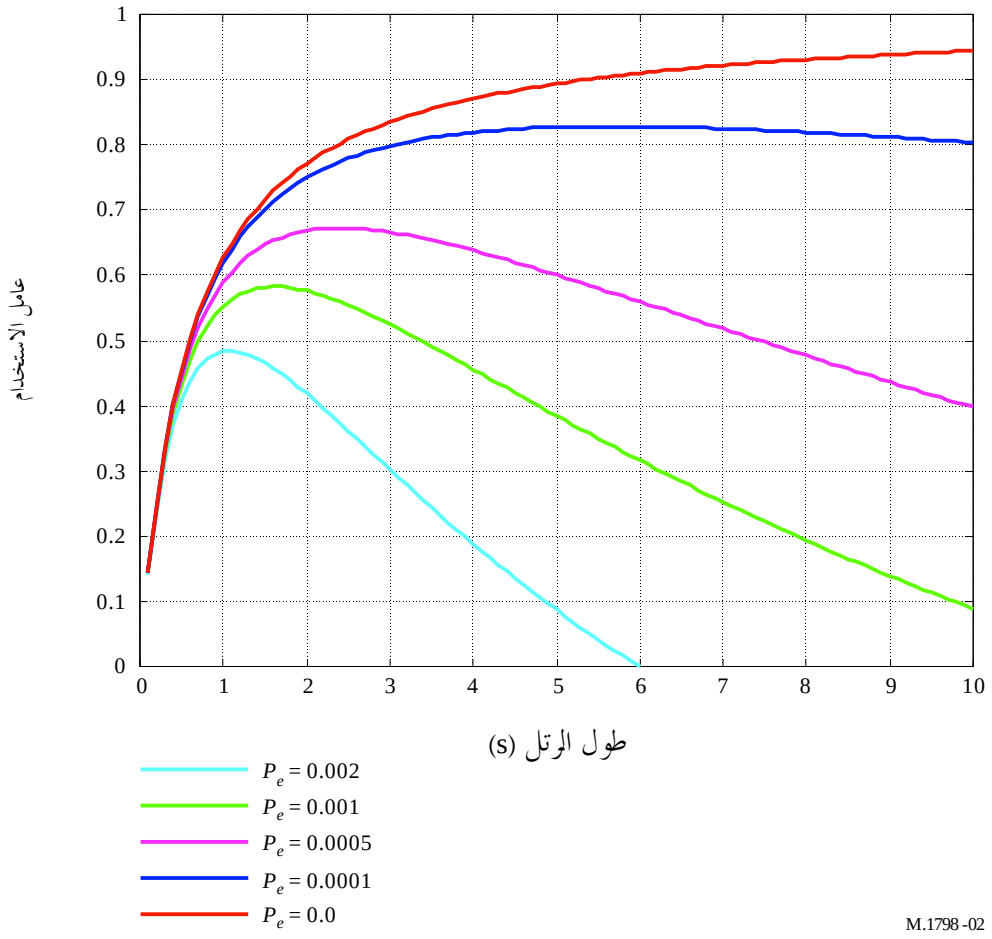
$$T = T_f + T_a + \tau \quad (5)$$

ويتضمن إجراء الوصول إلى الوضع الأمثل استعمال المعادلة (2) وإيجاد القيمة القصوى للعامل η بدلالة T_f لاحتمال معين P_e.

ويبيّن الشكل 2 منحنيات الاستمثال لقيم لاحتمال خطأ البتة تساوي P_e = 0,002 و0,001 و0,0005 و0,0001 و0,0. والمحاولة الأولى عند اختيار حجم الرشقة تتم بجعل طول الرتل يساوي تقريباً الطول نفسه بالنسبة إلى DATAPLEX. وبالنسبة للرشقة الطويلة، فإن اختيار قيمة L = 144 بالنسبة لقيمة N = 32 يؤدي إلى طول للرشقة يبلغ 1,998 كما هو مبين في الجدول 3. وبالنسبة لحجم الرشقة هذا البالغ 1,998، فإن عامل الاستخدام الناتج يتم استمثاله لقيمة لاحتمال البتة تساوي نحو P_e = 0,001.

الشكل 2

استخدام طلب التكرار الأوتوماتي بتعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد



نسق الرتل الطويل

تتكون كل رشقة من 64 رتلاً لكل رقم تتابع من 16 بتة (SEQ_NUM)، وبتات معلومات (INFORMATION)، وشفرة تحقق دورية للإطناب من 16 بتة. وبالنسبة لقيمة $M = 4$، توجد 14 بايتة معلومات بالنسبة لحجم إجمالي للرتل يبلغ 18 بايتة. ويبيّن الشكل 3 هيكل الرتل عند قيمة $M = 4$. والدخل إلى وحدة أنساق الرتل هو $\log 2(M)*L*N$ (بتات) والخرج أرتال متوازية عددها N بحجم $\log 2(M)*L$ (بتات).

التحقق الدوري من الإطناب

للتحقق مما إذا كان الرتل المستقبل يحتوي على أي أخطاء، يستعمل التحقق الدوري من الإطناب. والتحقق CRC هو نفسه المستعمل في DATAPLEX ويرسل في كل رتل من 64 رتلاً في الرشقة الطويلة. والتحقق CRC عبارة عن متعدد حدود عياري لقطاع تقييس الاتصالات بالاتحاد الدولي للاتصالات مكون من 16 بتة مع مولد.

$$x^{16} + x^{12} + x^5 + 1 \tag{6}$$

أرقام التتابع

يدرج رقم تتابع من 16 بتة في بداية كل رتل من 64 رتلاً في الرشقة. وتستخدم هذه الأرقام لتحدد للمستقبل ترتيب الأرتال من أجل التحويل من التوازي إلى التوالي. كما تتيح أرقام التتابع إمكانية عدم استعمال جميع الأرتال البالغ عددها 64 رتلاً في الرشقة للإرسال. ويؤول توليد التتابع إلى طبقة البروتوكول وهو خارج نطاق هذه التوصية.

الشكل 3

هيكل الرتل عندما تكون $M = 4$

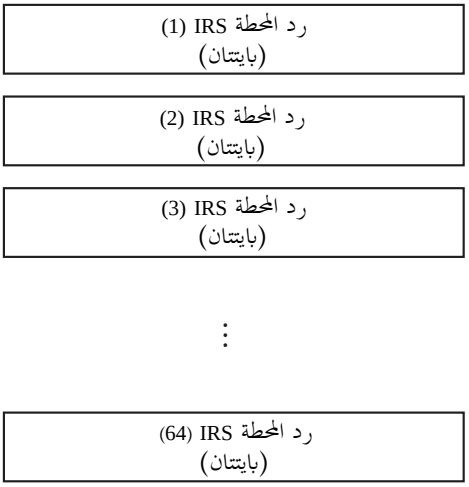
M.1798-03

نسق الرتل القصير

تستخدم الأرتال القصيرة كإشعارات للرتل الطويل ولها نفس الوظيفة كتلك الخاصة بسمات الرد لمحطة استقبال المعلومات في DATAPLEX. ولا يلزم وجود رقم تتابع أو تحقق CRC. والوارد في الشكل 4 عبارة عن أنساق للرتل عندما تكون $M = 4$. وفي DATAPLEX، يكون طول رد المحطة IRS يساوي 8 بتات. وبالنسبة إلى المودم OFDM، يكون رد المحطة IRS أطول ويكون طوله 16 أو 24 بتة، ويؤدي ذلك إلى خواص أفضل للترابط المتبادل لرد المحطة IRS عنه في DATAPLEX.

الشكل 4

هيكل الرتل عندما تكون M = 4



المخلط

يتم خلط كل رتل من الأرتال البالغ عددها 64 رتلاً في كل رشقة لغرضين نافعين. حيث ينتج عن الخلط نماذج بتات لها خواص إحصائية مما يجعل أداء خوارزميات التزامن أفضل. وهناك أثر آخر للخلط في المودم OFDM وهو إدخال الترتيب العشوائي لأطوار القنوات الفرعية. وحيث إن التشكيل OFDM عبارة عن مجموع لإشارات عددها N إفرادية محددة النطاق، لذا فإن الترتيب العشوائي للأطوار يقلل من النسبة القدرة الذروة إلى القدرة المتوسطة للإشارة المشكّلة. وبدون الخلط، يوجد احتمال أكبر لتوليد نبضات عابرة باتساعات كبيرة، على الرغم من وجود إمكانية أيضاً لحدوث هذه النبضات العابرة بالنسبة للاتساع مع الخلط.

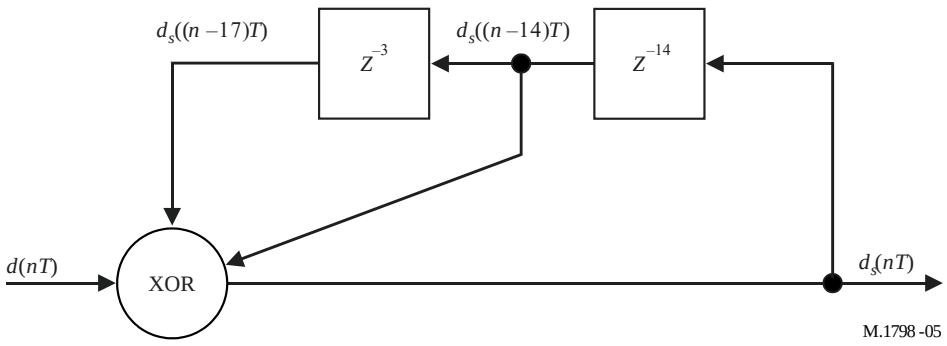
ويتم تعريف المخلط بمتعددة الحدود $1 + x^{14} + x^{17}$ أو بمعادلة ارتدادية:

$$d_s(nT) = d(nT) \text{ XOR } d_s((n-14)T) \text{ XOR } d_s((n-17)T \quad (7)$$

ولتنفيذ المخلط، يلزم وجود مسجل 17–حالة إلى جانب وظيفة جمع بوحدة الجمع المنطقية XOR كما هو مبين في الشكل 5.

الشكل 5

مخلط البتات



ولتحاشي احتمال حدوث نفس نموذج الخلط على أرتال أخرى، يختلف طور البدء الأولي لكل رتل من الأرتال البالغ عددها 64 رتلاً بمقدار تكرار وحيد. وبالنسبة للرتل الأول، فإن تدميث مسجل الحالة على القيمة 0 يجعل الدخل عبارة عن النموذج المتغير 0/1 مع تكرار ضبط طور البدء 18 مرة. ويتم خلط الأرتال التالية بنفس الطريقة فيما عدا زيادة عدد مرات التكرار بمقدار 1 كل مرة. وللاقتصاد في الوقت المنقضي في المعالجة، يمكن حفظ مسجلات الحالة الأولية في جدول وقراءتها عند تدميث المخلط لكل رتل.

التقابل بين البتات والرموز

بالنسبة لقيمة $M = 4$، توجد أربع قيم محتملة للطور حيث يقابل كل طور بتتين أو رمزاً واحداً. ويجري تقابل البتات أولاً مع الرموز الممثلة بقيم الطور كما هو وارد في الجدول 5. وتعرض طريقة أخرى لتمثيل الرموز في شكل اتساعي I وQ لإشارة مركبة. ويلاحظ أن الأطوار تنتشر عبر فترة قدرها $\pi/2$ بالنسبة إلى $M = 4$. والوارد في الشكل 6 عبارة عن تمثيل ثنائي الأبعاد للتقابل.

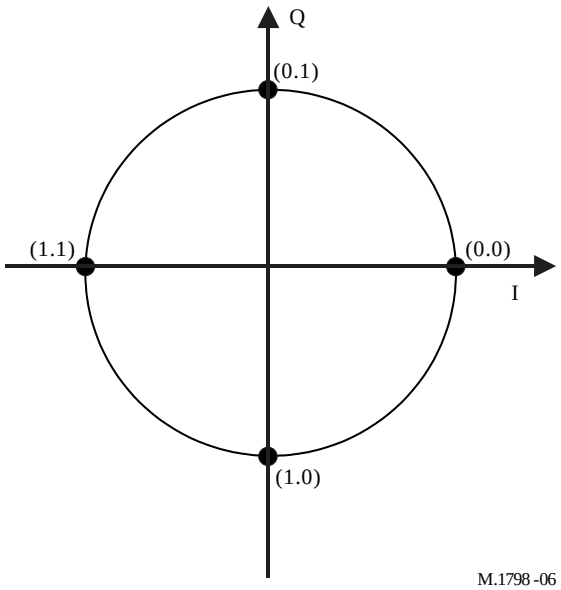
الجدول 5

تقابل البتات مع الرموز بالنسبة إلى M = 4

طور الخرج	قيمة Q	قيمة I	أزواج بتات الدخل x_b	
0	0	0	0	0
$\pi/2$	1	0	1	0
$\pi/2-$	1−	0	0	1
π	0	1−	1	1

الشكل 6

التقابل عندما تكون $M = 4$



التشفير التفاضلي

يتم إجراء تشفير تفاضلي للرموز الخارجة من عملية التقابل بين البتات والرموز كجمع تراكمي:

$$\psi(n) = [\psi(n-1) + \varphi(n)]_{mod\ 2\pi} \quad (8)$$

حيث $\psi(n)$ عبارة عن خرج الطور المشفر و$\varphi(n)$ هي طور عمليات التقابل الواردة في الجدول 5. والقيم المحتملة للطور المشفر تساوي [0، $\pi/2$، π، $3\pi/2$] بالنسبة لقيمة $M = 4$.

تتابع التزامن

للمساعدة على التزامن في مزيل التشكيل، تضاف الرموز S عند بداية كل رمز من الرموز N المتوازية قبل الدخول إلى المحول IFFT. وهناك طرائق يمكنها التزامن مع عدد قليل من الرموز يصل إلى رمزين أو حتى بدون رموز. وبالنسبة للأعداد الكبيرة من رموز التزامن، يكون تقدير التوقيت أفضل ولكن على حساب خفض الصبيب.

وتختلف منهجية التزامن بالنسبة للمودم OFDM عن المنهجية المستخدمة في المودم ذي الموجة الحاملة الوحيدة. حيث تستعمل معلومات التوقيت في المودم OFDM لتحديد متى يتم أخذ المحول FFT، على النقيض من متى يتم اعتيان الرموز الإفرادية. ويرد المزيد عن التزامن عند وصف مزيل التشكيل.

وتفيد طريقة التزامن الموصوفة في هذه التوصية من الإطناب الناتج عن تمديد الدورة، حيث تغني عن الحاجة إلى تتابع التزامن. ويدرج تتابع التزامن لإمكانية استخدامه في المستقبل.

محول فورييه السريع العكسي

يعتبر تحويل فورييه السريع العكسي (IFFT) هو وظيفة المعالجة الرئيسية في المشكل OFDM. وهو يؤلف جميع الإشارات الإفرادية المتوازية ويجعلها مستقلة إحصائياً. ويمكن إيجاد التحويل IFFT المركب من المعادلة:

$$x(n) = \frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{j2\pi nk/N};\ n = 0, 1, 2, \ldots N-1 \quad (9)$$

حيث N هو حجم المحول IFFT و$X(k)$ عبارة عن الرموز المدخلة و$x(n)$ عبارة عن عينات الخرج. ويلاحظ أن التحويل IFFT يُحسب في فدرات من N وبالتالي يحتاج إلى طول للدخل من مضاعفات N. كما يلاحظ أن طول الخرج هو نفسه طول الدخل ويساوي $(L + S)$ مضروباً في N من العينات. ويتحصل على معدل عينات خرج المحول IFFT من المعادلة:

$$fs1 = \frac{Fs}{R}\left(\frac{N}{N+P}\right) \quad (10)$$

التمديد الدوري

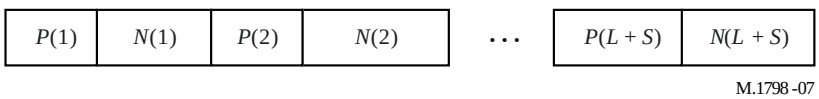
للتغلب على تأثيرات تعدد المسير في القناة عالية التردد HF، يوضع في مقدمة خرج المحول IFFT تمديد دوري طوله P يتألف من الخرج P الأخير لكل تنفيذ في المحول IFFT. ولهذا مردوده في الحفاظ على شرط الاستقلال الإحصائي للموجات الحاملة الفرعية مع وجود تعدد المسير، حيث يقلل من تأثير التداخل البيني بين الموجات الحاملة الفرعية. ويتم اختيار حجم P بناءً على قيمة قصوى لانتشار التأخير في القناة والقيم المختارة أعلاه هي $P = 4$ و8 عندما تكون $N = 32$.

التحويل من التوازي إلى التوالي

بعد إضافة السابقة الدورية، يتم تحويل العينات $(L + S) \times (N + P)$ من التوازي إلى التوالي حيث ينتج العينات $Fs/R = 8\,000/3 = 2\,666{,}67$ Hz. ويرد هذا الهيكل في الشكل 7.

الشكل 7

هيكل خرج العينة للتحويل من التوازي إلى التوالي



M.1798-07

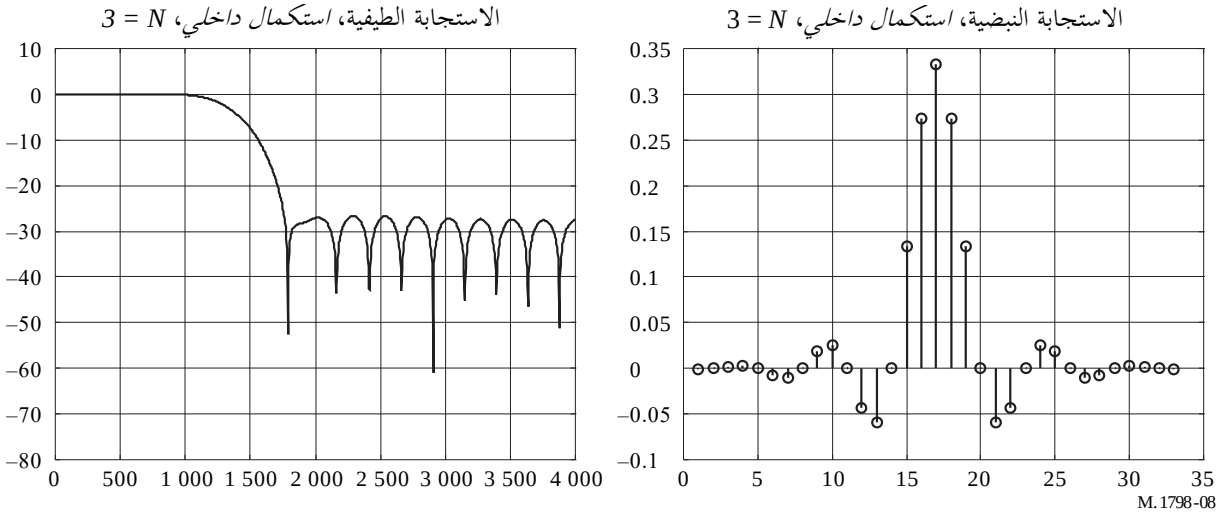
كل فدرة $N + P$ من العينات يمكن اعتبارها رمزاً وحيداً عريض النطاق مع اعتبار أن كل رشقة لديها $L + S$ من العينات.

وحدة الاستكمال الداخلي

يستعمل مرشاح استكمال داخلي على شكل مرشاح FIR بطور خطي لتحويل معدل العينات من 2 666,67 Hz إلى 8 000 Hz. وتكون العينة الخرج عند المعدل المطلوب للمحول D/A. ويصمم المرشاح باستعمال تقنية تدنية الخطأ بالمربعات الصغرى مع نافذة هامنغ. ومعدل الاستكمال الداخلي $R = 3$ وطول المرشاح 33. ويبيّن الشكل 8 الاستجابة الطيفية والاستجابة النبضية. ويبيّن الشكل 9 طيف إشارة المشكّل في النطاق الأساسي.

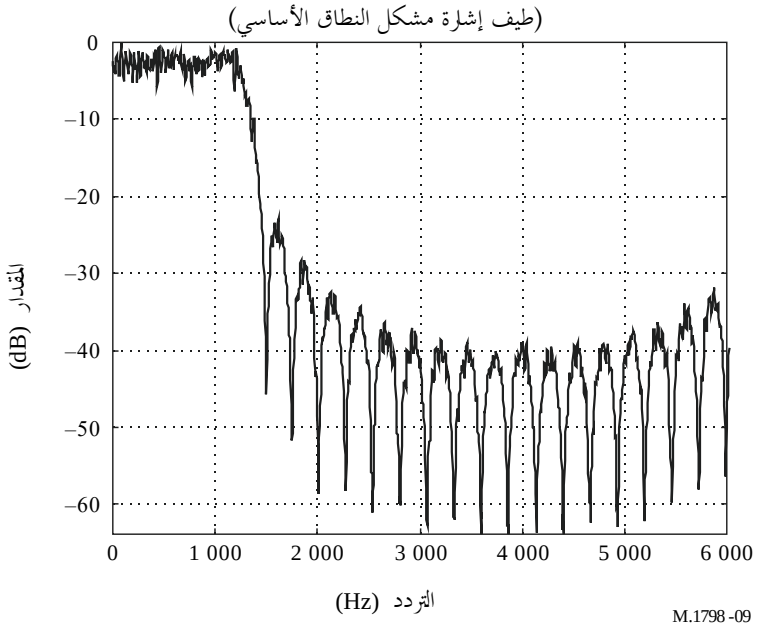
الشكل 8

استجابة مرشاح وحدة الاستكمال الداخلي



الشكل 9

استجابة مرشاح وحدة الاستكمال الداخلي

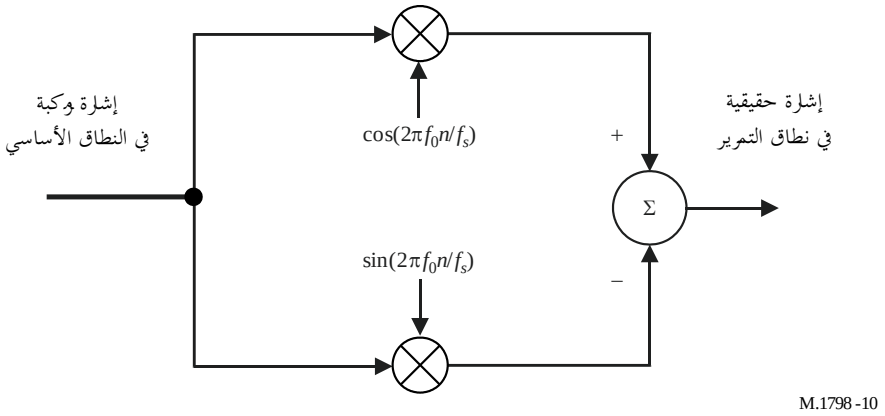


محول الرفع

يقوم محول الرفع بتحويل إشارة النطاق الأساسي إلى إشارة في نطاق التمرير من خلال مزجها بإشارتي جيب وجيب تمام عند تردد للموجة الحاملة f_c = 1 700 Hz والجمع كما هو مبين في الشكل 10. وتحول هذه العملية أيضاً الإشارة من إشارة مركبة إلى إشارة حقيقية على النحو المطلوب لدخل الجهاز الراديوي عالي التردد. ويطبق معدل عينات الخرج النهائي على المحول D/A قبل التزويد بإشارة تماثلية. ويُعرض في الشكل 11 طيف إشارة تعدد الإرسال OFDM.

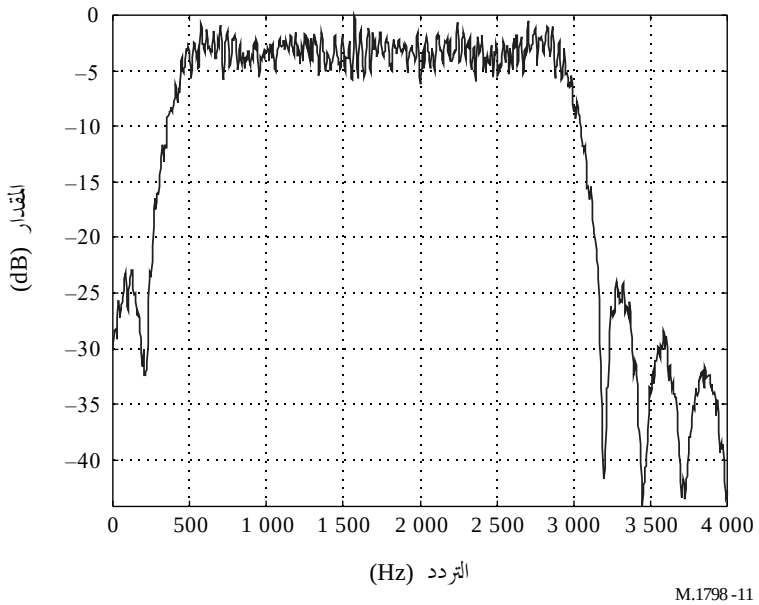
الشكل 10

محول الرفع



الشكل 11

طيف إشارة المشكل في نطاق التمرير



مزيل التشكيل

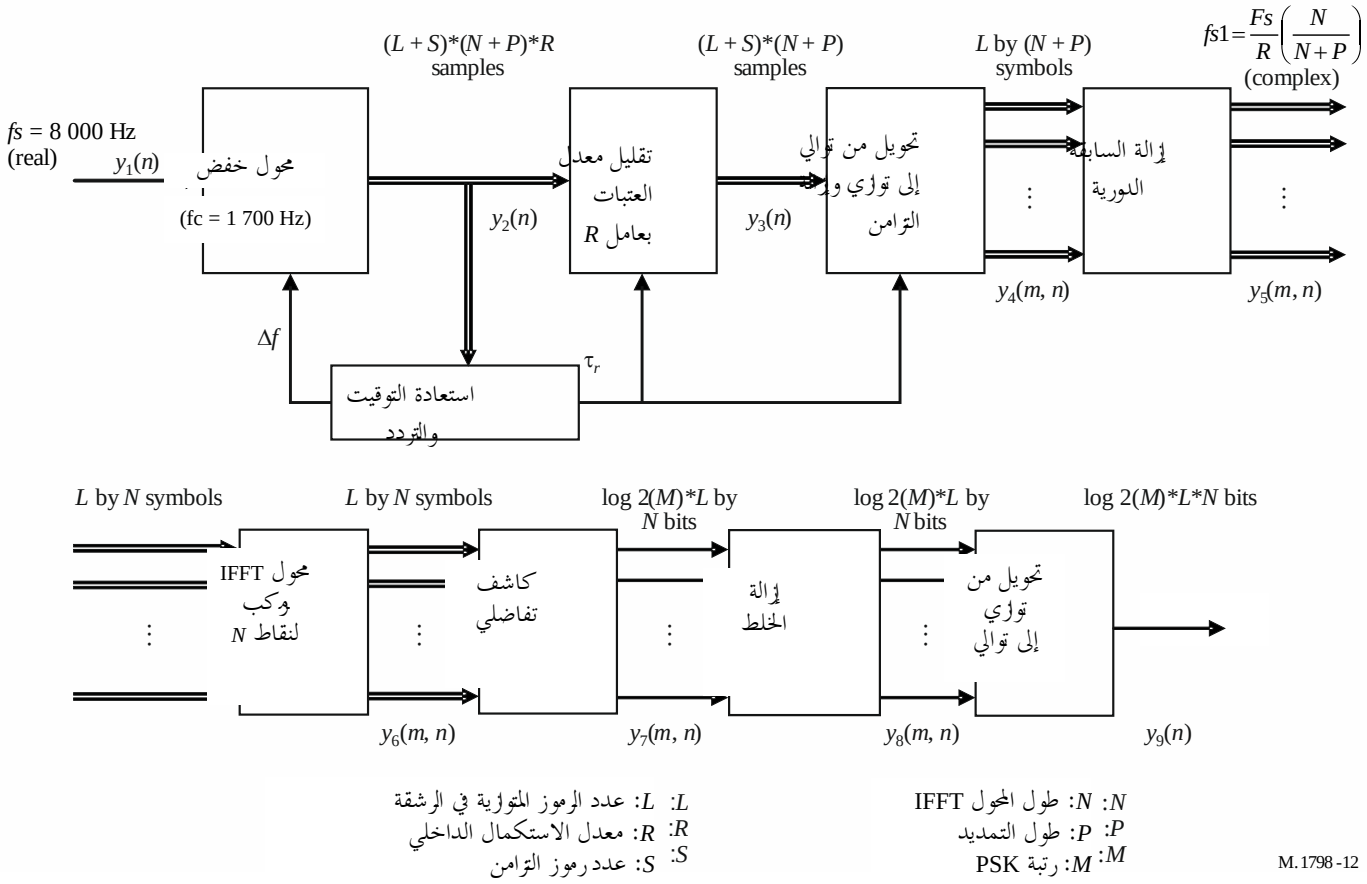
تُعرض في الشكل 12 معمارية مزيل التشكيل. حيث يتم خفض الإشارة الخارجة من المحول A/D، $y_1(n)$، بمعدل عينات 8 000 Hz وطول $(L + S)*(N + P)*R$، وتحويلها من إشارة حقيقية في نطاق التمرير إلى إشارة مركبة في النطاق الأساسي، $y_2(n)$، وتستعمل الإشارة المركبة، $y_2(n)$، أيضاً لاستعادة التوقيت والتردد. ويستعمل تخالف التردد، Δf، في محول الخفض وتستعمل استعادة التوقيت، τ_r، في اختيار الرمز الأولي في السابقة الدورية. ويتم تقليل معدل عينات خرج محول الخفض، $y_2(n)$، بمقدار R وتحويله إلى $(L + S)*(N + P)$ عينات، $y_3(n)$، وتزال بعد ذلك رموز التزامن ويحول الخرج من توالي إلى توازي إلى L في $(N + P)$ رمز، $y_4(m, n)$. ويلاحظ أنه عند هذه المرحلة من مزيل التشكيل توجد عينة واحدة لكل رمز، بحيث يمكن تبادل استخدام المصطلحين "رمز" و"عينة". وينتج عن إزالة السابقة الدورية الرموز L في N، $y_5(m, n)$ بمعدل عينات يساوي:

$$fs1 = \frac{Fs}{R}\left(\frac{N}{N+P}\right) \tag{11}$$

ويطبق بعد ذلك تحويل FFT مركب على الخرج $y_5(m, n)$ حيث ينتج الرموز L في N، $y_6(m, n)$. ويقوم بعد ذلك كاشف باستعادة الرموز باستخدام طريقة تفاضلية تستغني عن الحاجة إلى استعادة طور الموجة الحاملة وإن كانت لا تزال هناك حاجة إلى استعادة تردد الموجة الحاملة. ويستعاد تردد جميع الموجات الحاملة الفرعية في وقت واحد وهذا التردد غير مطلوب بالنسبة إلى الموجات الحاملة الإفرادية. ويتم الكشف إفرادياً على كل موجة من الموجات الحاملة الفرعية N. ويجري تقابل للرموز الخارجة من الكاشف مع البتات N by $\log 2(M)*L$، $y_7(m, n)$، باستخدام نفس التقابل المستخدم مع المشكل. ويجري خلط البتات باستعمال العملية العكسية للعملية المستعملة في المشكل بحيث تنتج بتات N by $\log 2(M)*L$، $y_8(m, n)$. وفي النهاية تحول البتات من توازي إلى توالي بحيث ينتج بتات $\log 2(M)*L*N$، $y_9(n)$. ويرد أدناه التفاصيل الخاصة بكل وحدة وظيفية.

الشكل 12

مزيل التشكيل للتشكيل بزحزحة الطور التفاضلي

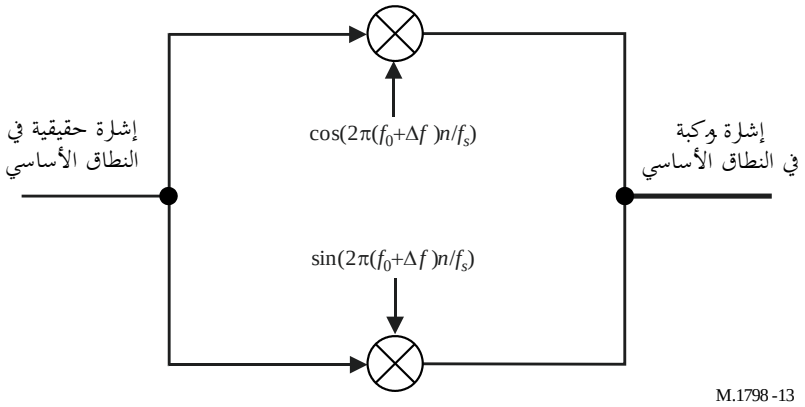


محول الخفض

يقوم محول الخفض المبيّن في الشكل 13 بعملية عكسية لمحول الرفع في المشكل فيما عدا أن تردد الموجة الحاملة يجري تحديثه تواؤمياً استناداً إلى خرج وحدات تقدير استعادة تردد الموجة الحاملة. ويُمزج دخل المحول بموجات جيبية مربعة عند تردد موجة حاملة مستعاد قيمته $f_0 + \Delta f$. وتردد الموجة الحاملة يساوي f_0 = 1 700 Hz، وتردد العينات f_s يساوي 8 000 Hz وتخالف التردد يساوي Δf. ويرد في الشكل 14 خرج الطيف الناتج. ويلاحظ أنه يوجد تكرار غير مرغوب في الطيف مركزه عند $2*f_0$ = 3 400 Hz حيث يتم إزالته في مرحلة المعالجة التالية:

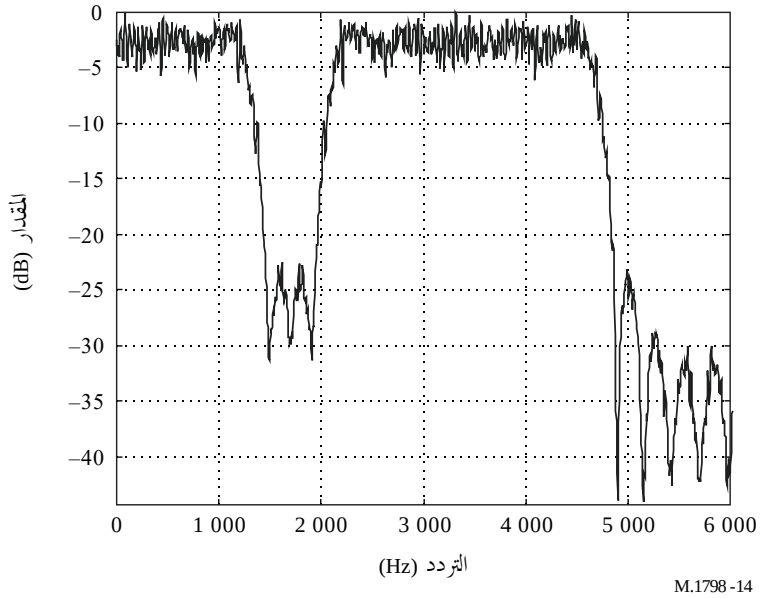
الشكل 13

محول الخفض



الشكل 14

طيف إشارة محول الخفض

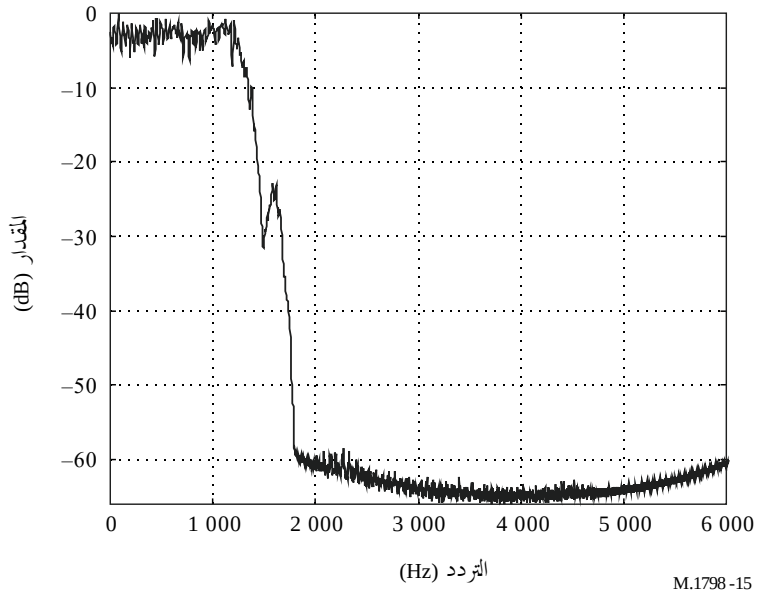


تقليل معدل العينات

يتم تقليل معدل عينات خرج محول الخفض المركب بمعامل $R = 3$ من معدل عينات يبلغ 8 000 Hz إلى معدل عينات يبلغ 8 000/3 = 2 666,67 باستعمال نفس المرشاح المستعمل للاستكمال الداخلي في المشكل. ويتم هنا بالإضافة إلى تقليل معدل العينات التخلص من تكرار النطاق الذي يقع مركزه عند 3 400 Hz بحيث تبقى إشارة النطاق الأساسي المركبة. والمبين في الشكل 15 عبارة عن طيف الخرج الناتج.

الشكل 15

طيف إشارة محول الخفض بعد ترشيحها



استعادة التوقيت والتردد

يوجد مظهران من مظاهر عدم اليقين في مزيل التشكيل. وهما وقت وصول الرمز OFDM وتردد الموجة الحاملة. ومن الجدول 3، فإن معدل العينات في النطاق الأساسي يساوي 2 666,7 عينة/ثانية ومعدل الرموز 83,33 رمز/ثانية. وينتج عن هذين المعدلين 16 عينة/رمزاً. وتستعمل طريقة استعادة التوقيت نغمة الرشقة الأولية لالتقاط توقيت العينة الأولية والعينات الموجودة وسط كل رمز. وتبلغ الاستبانة 1/16 من الرمز ويكون الوقت النموذجي للعينة عند 8 عينات في الرمز.

والمودم OFDM حساس لتخالف التردد ويجب أن تكون استعادة التردد دقيقة بحيث تكون هذه الدقة في حدود 1 Hz. وبمقدور خوارزمية استعادة التردد استعادة الترددات بدقة مع تخالف يصل إلى ±50 Hz.

ولتأمين إرسالات السفن خارج التردد، تقوم المستقبلات الموجودة على الساحل في الشبكة بالتتبع الأوتوماتي لإرسالات السفن خارج التردد، وذلك داخل حدود قانونية، من أجل استمثال الصبيب. ويجري تسجيل العمليات خارج التردد هذه ويتم تنبيه خدمة دعم العملاء لترتيب خدمة إصلاح للتجهيزات المحمولة على متن السفينة.

الانحطاط الناجم عن تخالف التردد

يمكن توضيح أهمية استعادة التردد في المودم OFDM عن طريق مقارنة الانحطاط الناجم عن تخالف تردد الموجة الحاملة وضوضاء الطور لفاينر لإشارات المودم OFDM متعدد الموجات الحاملة وإشارات موجة حاملة وحيدة. ويلي ذلك تحليل للنتائج بالنسبة للانحطاط في معدل خطأ البتات نتيجة لتخالف تردد الموجة الحاملة وضوضاء الطور عبر قناة ضوضاء غوسية بيضاء إضافية

(AWGN). ويُتحصل على النتائج الخاصة بكل من إشارات الموجة الحاملة الوحيدة والموجات الحاملة المتعددة وهي تظهر أن إشارات الموجات الحاملة المتعددة أكثر حساسية لكل معلمة من معلمتي الانحطاط.

$$D \approx \begin{cases} \frac{10}{\ln 10} \cdot \frac{1}{3}\left(\pi N \frac{\Delta F}{R}\right)^2 \frac{E_s}{N_0} & \text{OFDM} \\ \frac{10}{\ln 10} \cdot \frac{1}{3}\left(\pi \frac{\Delta F}{R}\right)^2 & \text{SC} \end{cases} \quad (12)$$

حيث N عدد قنوات OFDM و ΔF هو تخالف التردد بوحدات Hz وR ترمز إلى معدل الرموز. وكذلك يتحصل على النسبة إشارة إلى ضوضاء S/N من خلال النسبة E_s/N_0.

$$D \approx \begin{cases} \frac{10}{\ln 10} \cdot \frac{11}{60}\left(4\pi N \frac{\beta}{R}\right) \frac{E_s}{N_0} & \text{OFDM} \\ \frac{10}{\ln 10} \cdot \frac{1}{60}\left(4\pi \frac{\beta}{R}\right) \frac{E_s}{N_0} & \text{SC} \end{cases} \quad (13)$$

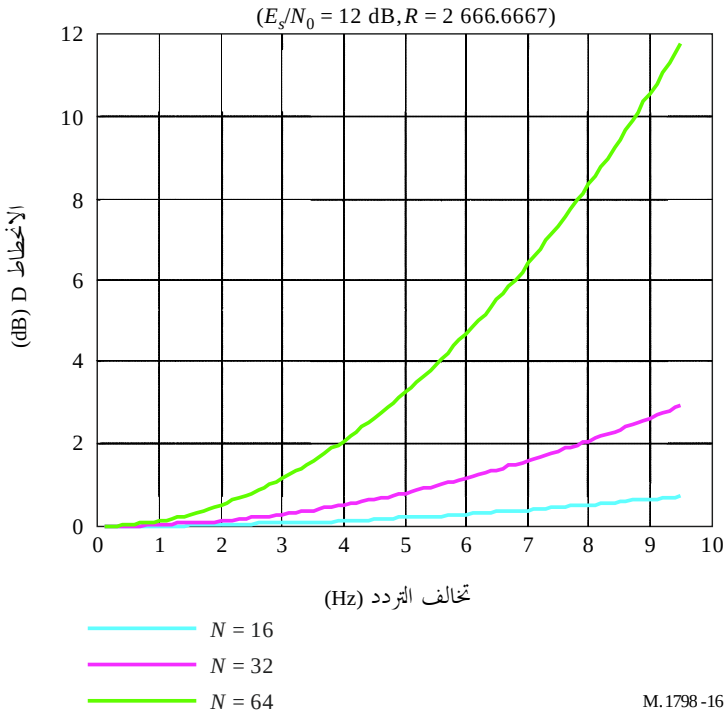
حيث β تتعلق باختلاف طور الموجة الحاملة θ من خلال العلاقة:

$$\sigma_\theta^2 = 4\pi\beta \quad (14)$$

وتنطبق هذه المعادلات على الإشارات المشكلة بالنمطين M-PSK وM-QAM. وبالنسبة لهذا التحليل، فإن القيمة المستهدفة لمعدل خطأ البتات تبلغ 10^{-3}، حيث تقابل في التشكيل 4-DPSK قيمة للنسبة E_s/N_0 تبلغ نحو 12 dB. ويبين الشكل 16 الانحطاط بالنسبة إلى المودم OFDM نتيجة لتخالف التردد. ويلاحظ أنه يوجد انحطاط أكبر كلما ازدادت قيمة N.

الشكل 16

الانحطاط بالنسبة إلى تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد نتيجة لتخالف التردد



التحويل من توالي إلى توازي

خرج عملية تقليل معدل العينات عبارة عن عينات مركبة $(L + S)*(N + P)$. وتزال رموز التزامن ويتم التحويل من توالي إلى توازي بحيث ينتج رموز L by $(N + P)$.

إزالة السابقة الدورية

تزال السابقة الدورية من الرموز L by $(N + P)$ بحيث ينتج رموز L by N.

محول فورييه السريع

يعتبر تحويل فورييه السريع (FFT) وظيفة المعالجة الرئيسية في مزيل التشكيل OFDM. ويمكن الحصول على تحويل فورييه السريع المركب من المعادلة:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi nk/N} \qquad k = 0, 1, 2, \ldots N-1 \tag{15}$$

حيث N عبارة عن حجم المحول FFT و$x(n)$ عبارة عن الرموز المدخلة و$X(k)$ عبارة عن عينات الخرج. ويلاحظ أن التحويل FFT يحسب في فدرات عددها N، وبالتالي يحتاج إلى طول دخل من مضاعفات N. ويلاحظ أيضاً أن طول الخرج هو نفسه طول الدخل ويساوي (L by N) عينة. ويمكن الحصول على معدل عينات خرج المحول FFT من المعادلة:

$$fs1 = \frac{Fs}{R}\left(\frac{N}{N+P}\right) \tag{16}$$

الكشف التفاضلي

يتم الكشف عن رموز الخرج من خلال الاختلافات في الطور، وذلك بدلاً من الطور المطلق للإشارة PSK، مما يعطيها الاسم DPSK. ويرد أدناه عملية الكشف عن رمز وحيد أو رموز متعددة.

الكشف التفاضلي لرمز وحيد

يمكن الحصول على التشفير التفاضلي لطور الرمز من المعادلة:

$$\varphi_k = \varphi_{k-1} + \Delta\varphi_k \tag{17}$$

ويتم الكشف عن الرموز المستقبلة، تعطى بواسطة r_k، باستعمال قاعدة اتخاذ القرار:

اختر $\Delta\hat{\varphi}_k$ إذا كان $\left\{ \mathrm{Re}\left\{ r_k r_{k-1}^* e^{-j\Delta\hat{\varphi}_k} \right\} \right.$ يساوي الحد الأقصى.

وتتكون عملية اتخاذ القرار في التشكيل M = 4-PSK من اختيار القيمة الأكبر بين القيم الأربع.

الكشف التفاضلي لرمزين

يمكن الحصول على تحسينات في عملية الكشف التفاضلي عن طريق اتخاذ قرار يستند إلى رموز متعددة بدلاً من رمز وحيد. وبالنسبة للقنوات AWGN، فإن معدل خطأ البتات BER يصل إلى المعدل BER الخاص بالكشف المترابط كلما زاد عدد الرموز المستعملة في الكشف التفاضلي.

وتكون قاعدة اتخاذ القرار بالنسبة لكاشف خاص برمزين كالتالي:

اختر $\Delta\hat{\varphi}_k$ و$\Delta\hat{\phi}_{k-1}$، إذا كان $\left\{ \mathrm{Re}\left\{ r_k r_{k-1}^* e^{-j\Delta\hat{\varphi}_k} + r_{k-1} r_{k-2}^* e^{-j\Delta\hat{\varphi}_{k-1}} + r_k r_{k-2}^* e^{-j(\Delta\hat{\varphi}_k + \Delta\hat{\varphi}_{k-1})} \right\} \right.$ يساوي الحد الأقصى.

وبالنسبة للحالة M = 4-PSK، يكون القرار اختيار القيمة الأكبر بين عدد من القيم يساوي M^2 أي من بين 16 قيمة.

مزيل الخلط

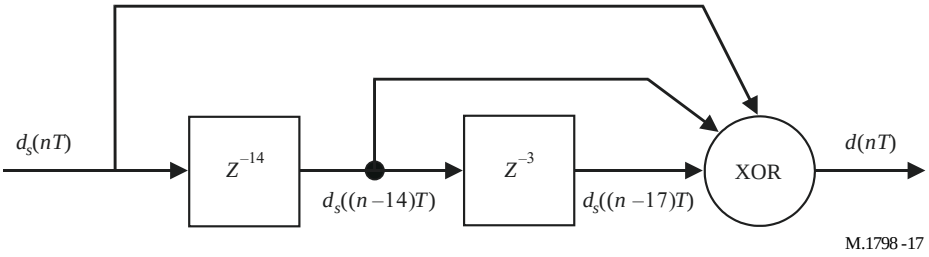
مزيل الخلط يقوم بعملية عكس المخلط ويعرف بمعادلة الارتداد:

$$d(nT) = d_s(nT) \text{ XOR } d_s((n-14)T) \text{ XOR } d_s((n-17)T) \quad (18)$$

ولتنفيذ مزيل الخلط، يلزم وجود مسجل 17–حالة إلى جانب وظيفة الجمع بوحدة الجمع المنطقية (XOR) كما هو مبين في الشكل 17.

الشكل 17

مزيل خلط البتات



وتحدد الأطوال الأولية لمزيل الخلط بنفس الطريقة المستعملة في المخلط، طالما يتم استعمال تطبيق المخلط.

التحويل من التوازي إلى التوالي

يتم تحويل البتات المتوازية $\log2(M)*L$ by N الخارجة من مزيل الخلط إلى بتات متوالية $\log2(M)*L*N$. ومن الممكن تنفيذ مفكك شفرة المحقق CRC قبل تحويله من توازي إلى توالي ما دام فك التشفير للمحقق CRC يجري على كل رتل من الأرتال المتوازية البالغ عددها 64 رتلاً في الرشقة، وإن كان يفضل إجراؤه كجزء من طبقة البروتوكول.

مفكك شفرة التحقق الدوري من الإطناب

يعتبر مفكك شفرة التحقق CRC معكوساً لمشفر CRC مع متعددة حدود المولد التالية:

$$x^{16} + x^{12} + x^5 + 1 \quad (19)$$

وفي حالة فشل التحقق CRC، يُرفض الرتل ويتولد طلب لإعادة الإرسال.

اختيار الترددات

في أي شبكة اتصالات عالمية لها عدة مئات من القنوات وما يزيد عن عشرين محطة وعدة آلاف من السفن تتبادل كم ضخم من البيانات، يكون من الأهمية بمكان وجود نظام كفء لاختيار الترددات. ويعتبر المعيار ALE MiL في استعماله الشائع غير كاف وغير ملائم بالمرة في هذه الحالة وغير فعال إلى حد كبير في استعمال الطيف.

وعلى ذلك، تقوم طريقة تستعمل أداة لتحليل الانتشار على متن السفينة باختيار الترددات من أجل المسح. وتستند قرارات الاختيار إلى الظروف الراهنة المحدثة ديناميا بالنسبة إلى ذلك التاريخ والوقت والموقع الجغرافي. ويعني ذلك أنه لا يوجد أي فاقد في الطيف من خلال التبادل الصوتي أو محاولة إقامة وصلات على قنوات ذات جودة رديئة. وتنظر السفينة مباشرة إلى القنوات المنتشرة وتبحث عن قناة متيسرة (غير مشغولة). وتسلم معلمات الانتشار الحالية إلى السفن عبر القناة "free signals".

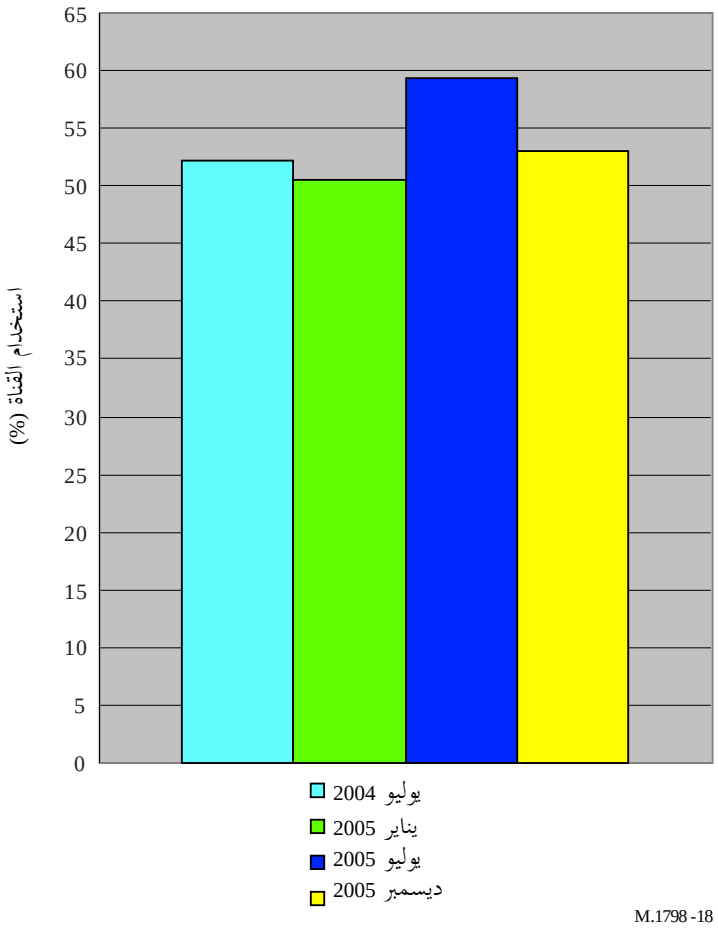
استعمال القنوات

تقوم السفن باستعمال القناة نمطياً لأي غرض لفترة تبدأ من أقل من دقيقة إلى 30 دقيقة. وتختلف الاتصالات من رشقات بيانات مختصرة لأغراض التتبع إلى الملفات الكبيرة. حيث إن التوليفة المشكلة من الملفات الكبيرة والعدد الكبير من الهواتف المتنقلة يعني أن

الترددات تكون مشغولة عادة وبصورة مستمرة. ويدفع ذلك إلى الحاجة إلى توزيعات حصرية وعدم إمكانية تقاسمها مع مستعملين آخرين أو خدمات أخرى. ومرفق سجل استعمال حديث لعقدة من الساحل (انظر الشكل 18). فإذا تم خفض الوقت المتاح الحالي في هذا الرسم البياني بمقدار الفترة الزمنية اليومية التي لم ينتشر فيها كل تردد من الترددات، فيمكن ملاحظة أن الإشغال سيقترب من النسبة 100%.

الشكل 18

النسبة المئوية لاستخدام القنوات



الملحق 3

نظام البريد الإلكتروني باستعمال البروتوكول Pactor-III، بما في ذلك النظام المستعمل في شبكة الوصلة العالمية

نمط الإرسال

يستعمل النظام نمط الإرسال 2K20J2D للاتحاد الدولي للاتصالات.

عرض النطاق

عرض النطاق المطلوب يساوي ضعف 3 kHz (قناة صوتية مزدوجة).

مكونات نظام الاتصال

للنظام المكونات التالية:

بروتوكول الإرسال

يستعمل النظام بروتوكول الإرسال الفعال والذي أثبت فعالية في التردد العالي PACTOR-III HF. ويبلغ الحد الأقصى للصبيب الخالص مع ضغط البيانات على الخط نحو 5 200 بتة/ثانية تقريباً. ويرد وصف لهذا البروتوكول في الفقرة 1.4.

بروتوكول الاتصالات T-BUS

يستعمل النظام بروتوكول الاتصالات T-BUS للتحكم في التجهيزات الراديوية العيارية للنظام العالمي للاستغاثة والسلامة في البحر في نطاقي الموجات الديكامترية والهكتومترية. ويستعمل البروتوكول T-BUS من جانب شركتي تصنيع الأجهزة الراديوية البحرية سكانتي "Skanti" وسيلور "Sailor" (وآخرون) في تجهيزاتهم الراديوية للنظام العالمي للاستغاثة والسلامة في البحر. وهناك صيغ عديدة للبروتوكول T-BUS، ويرد في الفقرة 2.4 وصف لبروتوكول اتصالات شركة سكانتي "Skanti".

المودم

يمكن استعمال أنماط مختلفة من المودمات طالما يمكنها إجراء الاتصالات RS-232 باستعمال البروتوكول T-BUS. ويستعمل النظام النرويجي المودمات PTC-II.

بديل للطباعة المباشرة ضيقة النطاق

بإمكان نظام البريد عالي التردد الاستعاضة حالياً عن الطباعة المباشرة ضيقة النطاق بالنسبة للاتصالات العامة، ومن المرجح أن يتم ذلك أيضاً بالنسبة لاتصالات الاستغاثة والسلامة في المستقبل.

1 البروتوكول PACTOR-III (وصف تقني بقلم هانز–بيتر هلفرت وتوماس رنك، SCS GmbH & Co. KG، هانو، ألمانيا)

1.1 مقدمة

كما هو الحال بالنسبة للبروتوكولين PACTOR-I وPACTOR-II، يعتبر البروتوكول PACTOR-III نظام إبراق ARQ متزامن بتعدد إرسال نصف مزدوج. وفي أسلوب التشغيل العياري، تتم تهيئة الوصلة الأولية باستعمال البروتوكول FSK (PACTOR-I)،

لتحقيق التوافق مع الأنظمة السابقة. وإذا كانت كلتا المحطتان مجهزتين بالبروتوكول PACTOR-III، فإنه يتم التبديل أوتوماتياً إلى هذا المستوى الأعلى للبروتوكول.

ولما كان البروتوكولان PACTOR-I وPACTOR-II قد وضعا للعمل ضمن عرض نطاق يبلغ 500 Hz، فقد صمم البروتوكول PACTOR-III أساساً للسوق التجاري لتوفير صبيب أعلى وتحسين المتانة باستخدام قناة كاملة بنطاق جانبي وحيد. ويستعمل في ظروف الانتشار المثلى كحد أقصى 18 نغمة بمباعدة 120 Hz فيما بينها. ويبلغ أعلى معدل للبتات الأولية المنقولة على الطبقة المادية للبروتوكول 600 3 بتة/ثانية، وهو ما يقابل معدل بيانات خالص للمستعمل قدره 722,1 2 بتة/ثانية بدون ضغط للبيانات. ونظراً لوجود أنواع مختلفة لضغط البيانات على الخط، فإن الصبيب الأقصى الفعال يعتمد على المعلومات المنقولة، وإن كان يتجاوز نمطياً 000 5 بتة/ثانية وهو ما يزيد في السرعة عن 4 أمثال السرعة في البروتوكول PACTOR-II. وعند القيم المنخفضة للنسبة إشارة إلى ضوضاء، يحقق البروتوكول PACOTR-III متانة أكبر مقارنة بالبروتوكول PACTOR-II.

ورمز الإرسال المخصص من الاتحاد الدولي للاتصالات للبروتوكول PACTOR-III هو 2K20J2D.

2.1 سويات السرعة وعرض النطاق

طبقاً لظروف الانتشار، يستخدم البروتوكول PACTOR-III ست سويات سرعة (SLs) مختلفة يمكن اعتبارها بروتوكولات فرعية مستقلة بتشكيل مميز وتشفير مميز للقنوات. ويبلغ معدل الرموز 100 بواد (bauds) على كل سويات السرعة. ويمكن استعمال حتى 18 نغمة بمباعدة 120 Hz فيما بينها. ويبلغ الحد الأقصى لعرض النطاق المشغول 2,2 kHz (من 400 إلى 600 2 Hz). ويبلغ التردد المركزي لكامل الإشارة 500 1 Hz. وترسل النغمة التي تمثل القناة "الأدنى" على تردد يبلغ 480 Hz، فيما تبلغ النغمة الأعلى 520 2 Hz. ونظراً لأن النغمات يتم تخطيها عند السويتين الأدنى للسرعة، فإن الثغرات بينها تزيد إلى N من المرات من القيمة 120 Hz في هذه الحالات. ويوضح الشكل 19 أرقام ومواضع القنوات المستعملة عند السويات المختلفة للسرعة.

وكما هو الحال في البروتوكول PACTOR-II، يتم تبديل قطار البيانات الرقمية الذي يشكل موجة حاملة تقديرية محددة إلى نغمة مختلفة مع كل دورة لنظام الإبراق ARQ من أجل زيادة كسب التنوع بإضافة تنوع إضافي للترددات. وبمراعاة أنه في الحالة الاعتيادية يتقابل رقم الموجات الحاملة للبيانات التقديرية مع أرقام النغمات المقابلة، فإن أسلوب التبديل يقوم بتخصيص الموجة الحاملة 0 مع النغمة 17 والموجة 1 مع النغمة 16 والموجة 2 مع النغمة 9 والموجة 3 مع النغمة 10 والموجة 4 مع النغمة 11 والموجة 5 مع النغمة 12 والموجة 6 مع النغمة 13 والموجة 7 مع النغمة 14 والموجة 8 مع النغمة 15. ويمكن اعتبار النغمتين 5 و12 مكافئتين للموجتين الحاملتين للبروتوكول PACTOR-II، حيث إنهما ينقلان رأسيات الرزمة المتغيرة وإشارات التحكم (انظر أدناه).

الشكل 19

أرقام ومواضع القنوات المستعملة عند سويات السرعة المختلفة

	CN	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
SL																			
1							x							x					
2					x		x		x			x		x		x			
3				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
4				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
5			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
6		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	TF	480	600	720	840	960	1 080	1 200	1 320	1 440	1 560	1 680	1 800	1 920	2 040	2 160	2 280	2 400	2 520

NC: رقم القناة
TF: تردد النغمة (Hz)
x: يدل على أن النغمة مستعملة في سوية السرعة المناظرة

M.1798-19

3.1 التشكيل والتشفير ومعدلات البيانات

بالنسبة للتشكيل، يطبق إما المخطط PSK الاثنيني التفاضلي (DBPSK) أو المخطط PSK التربيعي التفاضلي (DQPSK). وبعد تشذير البتات لرتل كامل من رزمة البيانات بأكملها، تستعمل شفرة تلافيفية بمعدل أمثل 1/2 مع طول مقيد (CL) يبلغ 7 أو 9. ومثل البروتوكول PACTOR-II، تشتق الشفرات ذات المعدلات الأعلى، أي المعدل 3/4 والمعدل 8/9، من هذه الشفرة بما يسمى التقطيع: قبل الإرسال، يتم "قطع" بعض بتات المعدل 1/2 التي شفرت قطار البتات أي حذفها ومن ثم عدم إرسالها. وفي جانب الاستقبال، يتم الاستعاضة عن البتات المقطوعة ببتات "خالية" قبل فك التشفير بمفكك تشفير المعدل 1/2. ولا يعالج مفكك الشفرة هذه البتات "الخالية" كالبتة "1" ولا البتة "0" ولكن كقيمة متوسطة تماماً. ومن ثم لا يوجد تأثير لهذه البتات على عملية فك التشفير. وكسب التشفير للشفرة التي يتم "تقطيعها" يطابق تقريباً كسب التشفير للشفرات الأشهر ذات المعدل المحدد 3/4 أو 8/9 مع طول مقيد مقارب بما يسمح باختيار مخطط "التقطيع" بعناية. وتتمثل الميزة الرئيسية لهذا النهج في أنه يمكن لمفكك شفرة بمعدل شفرة وحيد (في حالتنا هذه مفكك شفرة بمعدل 1/2) أن ينفذ نطاق عريض من الشفرات. ولذلك، فإن الشفرات المتقطعة تستعمل في الكثير من أنظمة الاتصالات الحديثة. ويستعمل في المودمات SCS مفكك شفرة Viterbi مع قرارات مرنة بالنسبة لجميع سويات السرعة، بحيث ينتج الحد الأقصى لكسب التشفير.

ويبين الشكل 20 التشكيل والطول المقيد (CL) ومعدل الشفرة (CR) للشفرة التلافيفية المطبقة، ومعدل البتات المادية (PDR)، أي معدل البتات الأولية التي تنقل على الطبقة المادية للبروتوكول، ومعدل البتات الخالصة (NDR)، أي معدل بتات المستعمل غير المضغوطة، بالإضافة إلى عامل الذروة (CF) للإشارة بالنسبة لسويات السرعة المختلفة.

وتبين الأشكال التالية معدلات خطأ البتات بالنسبة لسويات السرعة المختلفة. وفي الشكل 21، ترجع المعدلات إلى الطاقة المقيسة لكل بتة (E_b/N_0). ونتيجة لاختلاف عدد النغمات (2-18) واختلاف مخططات التشكيل (DBPSK/DQPSK)، فإن هذا الشكل لا يظهر الأداء نسبة إلى النسبة إشارة إلى ضوضاء *S/N* في القناة. ولذلك فإن المعدلات في الشكل 22 أرجعت إلى النسبة إشارة إلى ضوضاء في القناة عند عرض نطاق للقناة (BW) يبلغ 3 kHz. وتغطي سويات السرعة المختلفة نطاق عريض من قيم النسبة إشارة إلى ضوضاء *S/N*. وللحصول على الصبيب الأقصى بالنسبة إلى سوية السرعة SL6، يلزم نسبة إشارة إلى ضوضاء في القناة قيمتها 14 dB.

الشكل 20

معلمات السويات المختلفة للسرعة

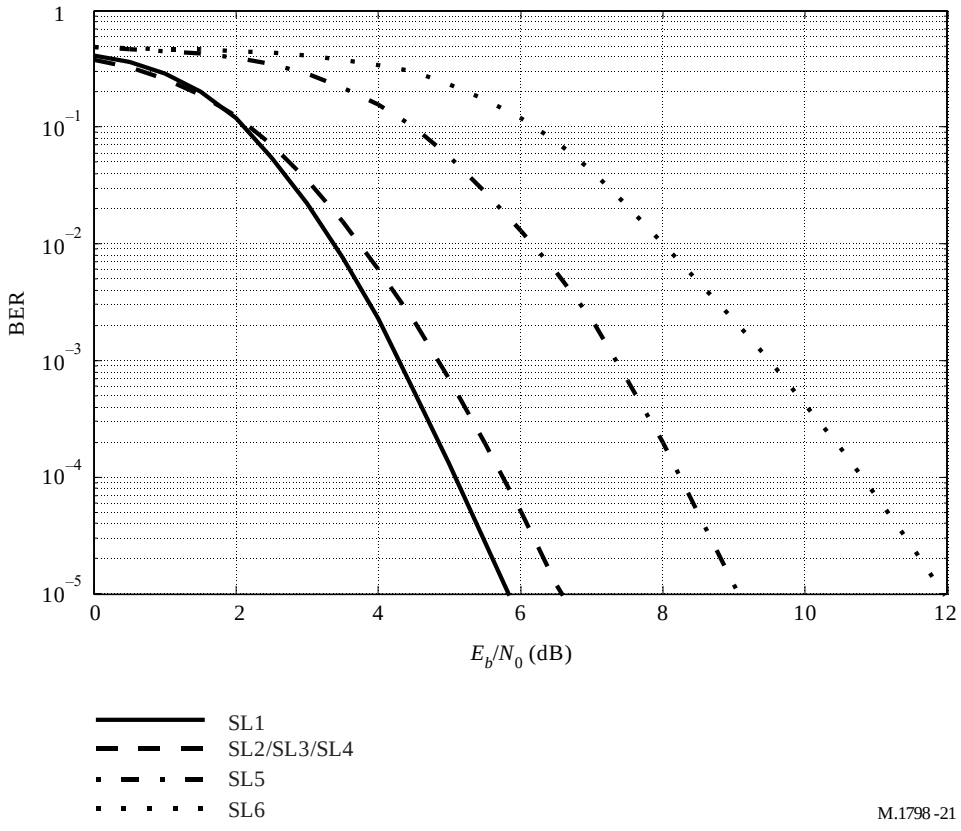
سوية السرعة (SL)	التشكيل	الطول المقيد (CL)	معدل الشفرة (CR)	معدل البتات المادية	معدل البتات الخالصة	عامل الذروة CF (dB)
1	DBPSK	9	1/2	200	76.8	1.9
2	DBPSK	7	1/2	600	247.5	2.6
3	DBPSK	7	1/2	1 400	588.8	3.1
4	DQPSK	7	1/2	2 800	1 186.1	3.8
5	DQPSK	7	3/4	3 200	2 039.5	5.2
6	DQPSK	7	8/9	3 600	2 722.1	5.7

M.1798-20

وتجدر الإشارة إلى أن الأداء بمعلومية الصبيب (bit/s) يعتمد على تنفيذ البروتوكول ARQ ولا يمكن أن يستخلص من معدلات البيانات المادية ومعدلات خطأ البتات. وستعرض قياسات الأداء أدناه.

الشكل 21

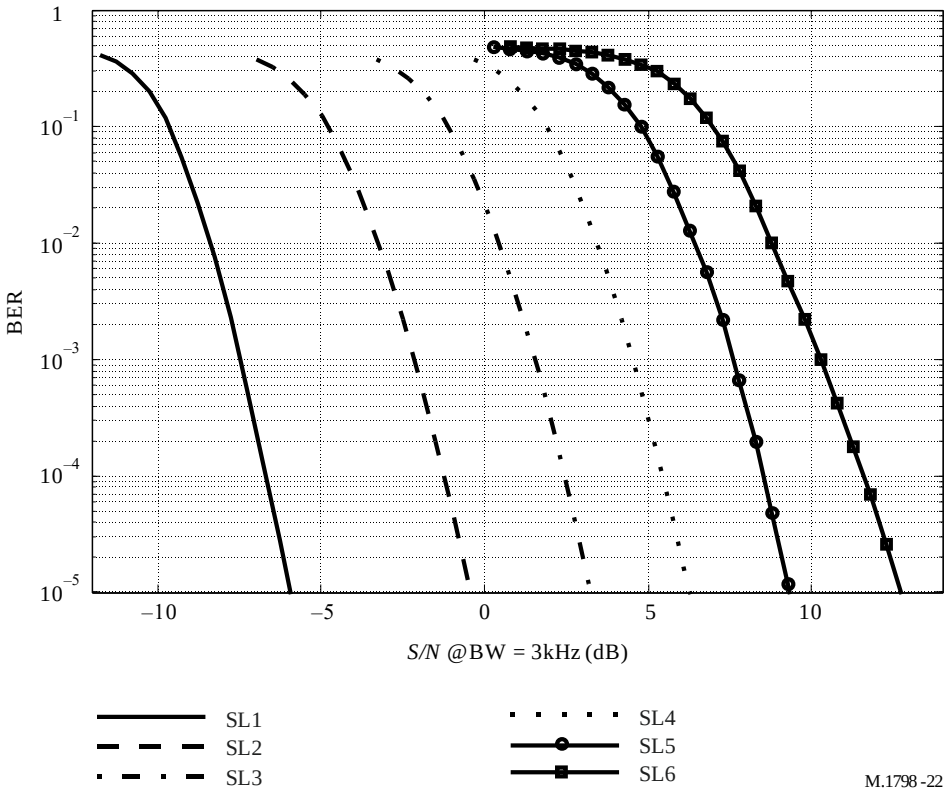
معدل خطأ البتات لسويات السرعة المختلفة بالنسبة إلى الطاقة لكل بتة



M.1798-21

الشكل 22

معدل خطأ البتات لسويات السرعة المختلفة بالنسبة إلى النسبة S/N في القناة



4.1 عامل الذروة وقدرة خرج المرسل

من بين الخصائص الأكثر أهمية لإشارة البروتوكول PACTOR-III انخفاض عامل الذروة (CF)، لا سيما مع سويات السرعة المنخفضة. ونظراً لأن معظم مكبرات القدرة عالية التردد تقيدها قدرة الذروة وتستعمل تحكم أوتوماتي في سوية قدرة الذروة، فإن البروتوكول PACTOR-III يوفر قدرة خرج مرسل أكبر بكثير مما توفره أساليب الموجات الحاملة المتعددة المماثلة، فعلى سبيل المثال، عندما تستعمل أساليب OFDM نفس مكبر القدرة، فإنها تزيد من النسبة *S/N* عند المستقبل. وحتى سوية السرعة SL4، تعتبر قيم CF مقاربة لنظيرتها في أساليب الموجة الحاملة الوحيدة حتى مع السويتين SL5 وSL6، فإن CF يقل بنحو 3 dB عن CF الخاص بأساليب OFDM النمطية، وبالتالي تضاعف من جذر متوسط تربيع القدرة المرسلة. وفي سياق الراديو الرقمي العالمي، ثبت أن أساليب الموجة الحاملة الوحيدة تعمل بشكل أفضل بكثير من أساليب OFDM إذا كان التشفير ضعيفاً (المعدل أكبر من 2/3)؛ ومن المعروف على نطاق واسع أن أساليب OFDM بدون تشفير تعتبر كارثة عند استعمالها عبر قنوات منتقاة بالتردد العالي. ومع وجود تشفير قوي (المعدل يقل عن أو يساوي 1/2)، فإن الأساليب OFDM تعمل بشكل أفضل قليلاً من أساليب الموجة الحاملة الوحيدة. وتعتمد هذه النتائج على فرضيتين:

أ) أن تكون قيمة جذر متوسط تربيع القدرة المرسلة متساوية في الأسلوبين، مما يعني أن تكون قدرة الذروة في الأسلوب OFDM أكبر بمقدار عدة وحدات dB من قدرة الذروة في أسلوب الموجة الحاملة الوحيدة؛

ب) أن يستعمل مسوٍ أمثل للتعليقات على القرار مع أسلوب الموجة الحاملة الوحيدة (لا يمكن استعمال مسوٍ من طراز MLSE لأن الاستجابة النبضية للقناة طويلة جداً).

وإذا تم تثبيت قدرة الذروة، فإن أسلوب الموجة الحاملة الوحيدة يعمل بشكل أفضل بالنسبة إلى جميع معدلات التشفير المعقولة، وإن كان المسو الأمثل للتعليقات على القرار المطلوب يمثل عائقاً لا يمكن تجنبه. والبروتوكول PACTOR-III مصمم بحيث يوفر فوائد للأسلوبين من خلال تدنية العامل CF وتجنب استعمال مسوٍ.

وتعمل المودمات SCS بقدرة ذروة ثابتة عند جميع سويات السرعة من أجل الاستغلال الأمثل لقدرة الخرج المتاحة لمكبرات القدرة عالية التردد المقيدة بقدرة الذروة. ولذلك، فإن جذر متوسط تربيع قدرة الخرج يتغير عند التبديل بين سويات السرعة نتيجة للقيم المختلفة للعامل CF. وتتغير النسبة *S/N* عند المستقبل تبعاً لذلك. ويجب أن يوضع ذلك في الاعتبار عند تفسير معدلات خطأ البتات المبينة في الشكل 22.

5.1 مدة الدورة

في الأسلوب القياسي، تكون مدة الدورة ARQ تساوي 1,25 ثانية (الدورات القصيرة) و3,75 ثانية (أسلوب البيانات) وهي تمثل واحداً من المتطلبات الضرورية للحصول على التوافق بسهولة مع معايير PACTOR السابقة. وفي هذا الأسلوب، ونتيجة لانتشار الإشارة وتأخيرات تبديل الأجهزة، فإن بإمكان البروتوكول PACTOR-III إقامة وصلات ARQ عبر مسافة قصوى تقارب 20 000 km. ومن أجل زيادة المسافة القصوى، يوجد أسلوب المسير الطويل، الذي يمكّن من إقامة الوصلات ARQ حتى مسافة قصوى تساوي 40 000 km مع مدة دورة تبلغ 1,4 ثانية (الدورات القصيرة) و4,2 ثانية (أسلوب البيانات)، على التوالي. وتستهل المحطة القائمة بالنداء الوصلة في أسلوب المسير الطويل بأن تعكس إشارة البايتة الأولى في النداء في رتل التوصيل FSK (للحصول على التفاصيل، راجع وصف البروتوكول PACTOR-I).

6.1 هيكل الرزم وإشارات التحكم

فيما عدا اختلاف أطوال حقول البيانات، فإن الهيكل الأساسي للرزمة PACTOR-III يماثل نظيره في الأسلوبين السابقين للبروتوكول PACTOR. وهو يتكون من رأسية الرزمة وحقل متغير للبيانات وبايتة حالة والمحقق CRC. ويستخدم نوعان للرأسية: رأسيات رزم من 16 متغيراً تتكون من 8 رموز يرسل كل رمز منها بالتبادل على النغمات 5 و12 لتشفير 4 بتات من المعلومات: البتة 0 تعرف حالة الطلب وتشير إلى رزمة مكررة. وتحدد البتتان 2 و3 سويات السرعة من 1 إلى 4 طبقاً للمنطق modulo-4، في حين يتم إجراء الكشف عن سويتي السرعة 5 و6 من خلال تحليل آخر لرأسيات الرزمة الثابتة. وتعطي البتة 4 مدة الدورة الحالية: "0" يعني دورة قصيرة و"1" يعني دورة بيانات. ويبيّن الشكل 23 الشفرات الست عشرية لرأسيات الرزم المتغيرة.

الشكل 23

تعاريف رأسيات الرزم المتغيرة (تستهل النغمات 5 و12)

VH0	0x1873174f	VH1	0xfc0f6047	VH2	0x0a4c7ea7	VH3	0x09bce11f
VH4	0x8e67c43c	VH5	0x7268a47b	VH6	0x842bba9b	VH7	0x87db2523
VH8	0x4d55aa6a	VH9	0xb15aca2d	VH10	0x4719d4cd	VH11	0x44e94b75
VH12	0x3ccd91a9	VH13	0xc0c2f1ee	VH14	0x3681ef0e	VH15	0x357170b6

M.1798-23

وتسبق النغمات المتبقية 1-4 و6-11 و13-18 برأسيات ثابتة تحدد خصائص النغمات المناظرة دون نقل أي معلومات إضافية. وهي تدعم تتبع التردد والذاكرة ARQ وأسلوب الاستماع والكشف عن سويتي السرعة 5 و6. ويعرض الشكل 24 الشفرات الست عشرية لرأسيات الرزم الثابتة.

الشكل 24

تعاريف رأسيات الرزم الثابتة (تستهل النغمات 1-4 و6-11 و13-18)

CH0	0xc324	CH1	0xf987	CH2	0xblc8	CH3	0xf370
CH4	0x801d	CH5	0x7c3d	CH6	0xd8f1	CH7	0x5a3c
CH8	0x792d	CH9	0x8397	CH10	0x33aa	CH11	0x5a3c
CH12	0x823c	CH13	0x073f	CH14	0xf798	CH15	0xd801

M.1798-24

ويتبع الرأسيات حقول بيانات تنقل معلومات المستعمل. ويجري نقل عدد 5 و23 و59 و122 و212 و284 بايتة حمولة نافعة في الدورة القصيرة و36 و116 و276 و556 و956 و1 276 بايتة حمولة نافعة في الدورة الطويلة على سويات السرعة الست المختلفة، على التوالي. وبعد إزالة تشذير وفك تشفير البيانات المنقولة بالكامل على جميع النغمات داخل دورة معينة، يتم الحصول على رزمة المعلومات الفعلية والتي تتكون من بيانات المستعمل وبايتة الحالة وبايتتين للمحقق CRC. وتميز بايتة الحالة الرزمة بعداد رزم من بتتين للكشف عن التكرارات (البتة 0 والبتة 1)، وتقدم معلومات بشأن ضغط بيانات المستعمل (البتات 2 و3 و4) وتقترح التغيير إلى أسلوب البيانات عندما تتجاوز كمية السمات الموجودة في دارئ الإرسال عدد معين (البتة 5)، وتشير إلى طلب تغيير الأسلوب (البتة 6) وتستهل بروتوكول إنهاء الوصلة (البتة 7). ولمزيد من التفصيل، راجع الرسم البياني أدناه. والجزء الأخير من الرزمة عبارة عن محقق CRC من 16 بتة تحسب طبقاً للمعيار CCITT-CRC16.

ويستعمل البروتوكول PACTOR-III نفس مجموعة إشارات التحكم الست التي تتكون كل إشارة منها من 20 بتة (CS) كما هو الحال في البروتوكول PACTOR-II. وهي ترسل آنياً على النغمات 5 و12 ولجميعها الحد الأقصى المحتمل لمسافة هامنغ التبادلية فيما بينها. ومن ثم فهي تصل إلى حد بلوتكن "Plotkin" تماماً وتمثل تشفيراً مثالياً. ويسمح ذلك باستعمال طريقة الترابط التبادلي للكشف عن إشارة التحكم، وهي ضرب من المرونة في القرار يؤدي إلى الكشف السليم حتى عن إشارات التحكم غير المسموعة، نتيجة لكسب الترابط العالي. وتستعمل إشارتا التحكم CS1 وCS2 لرزم الإشعارات بالاستلام/الطلبات وتلزم الإشارة CS2 بالتدخل القسري. وتتناول الإشارتان CS4 وCS5 تغييرات السرعة: حيث تطلب الإشارة CS4 زيادة للسرعة إلى السوية الأعلى التالية. في حين تعمل الإشارة CS5 كإشعار سالب (NAK) يطالب بتكرار للرزمة المرسلة سابقاً ويطالب في نفس الوقت بتقليل السرعة إلى السرعة الأقل التالية. والإشارة CS6 عبارة عن قلاب لطول الرزمة حيث تطالب بالتغيير إلى الدارات الطويلة إذا كانت الحالة الفعلية دورات قصيرة والعكس. وترسل جميع إشارات التحكم عادة في مخطط DBPSK للحصول على أقصى متانة.

ويوضح الشكل 25 تشغيل الإبراق PACTOR-III ARQ.

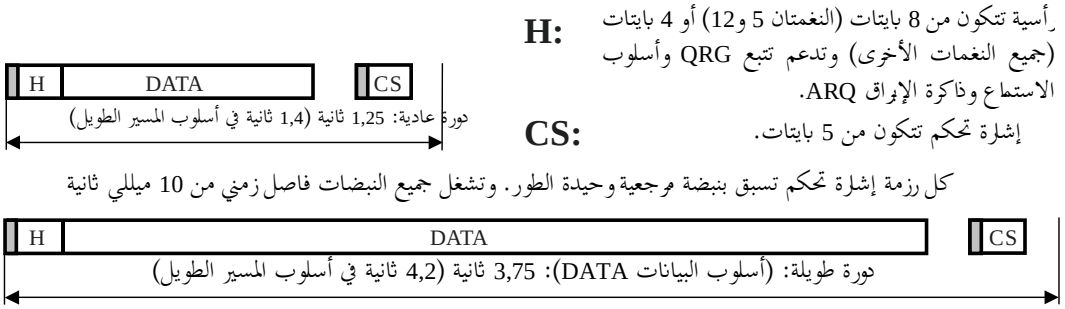
7.1 ضغط البيانات على الخط

كما هو الحال في أسلوبي البروتوكول PACTOR السابقين، يطبق أيضاً ضغط للبيانات أوتوماتياً في البروتوكول PACTOR-III، ويتشكل من تشفير هوفمان وتشفير المسح بالإضافة إلى انضغاط ماركوف الزائف (PMC)، (انظر أدناه). ويقوم النظام القائم بإرسال المعلومات (ISS) بالتحقق أوتوماتياً مما إذا كان استعمال واحد من أساليب ضغط البيانات المذكورة آنفاً أو استعمال الشفرة ASCII الأصلية هو الذي يؤدي إلى أقصر رزمة بيانات، وهو ما يتوقف على احتمال ظهور السمات. ولذلك لا توجد مخاطر خاصة بفقد قدرة الصبيب. وبالطبع لا يزال بمقدور البروتوكول PACTOR-III نقل أي معلومات إثنينية معينة، مثل البرامج أو الصور والملفات الصوتية. وفي حالة نقل بيانات إثنينية، يتم إبطال ضغط البيانات على الخط عادة أوتوماتياً نتيجة لتوزيع السمات. ويجري بدلاً من ذلك ضغط خارجي للبيانات في البرنامج الطرفي.

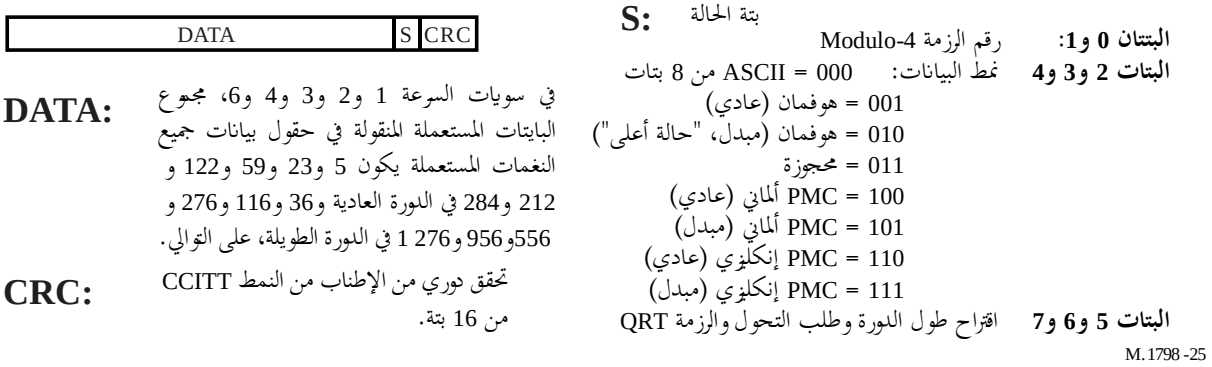
ويستخدم انضغاط هوفمان توزيع الاحتمال "أحادي الأبعاد"، للسمات في النصوص الخالصة. وكلما زاد تكرار ظهور السمة، كلما قصر رمز هوفمان لها. ويمكن الحصول على مزيد من التفاصيل بما في ذلك جدول الشفرة المستعمل في البروتوكولات PACTOR من وصف المعيار PACTOR-I.

الشكل 25

تشغيل طلب التكرار الأوتوماتي PACTOR-III



بعد إزالة التشذير وفك التشفير Viterbi لبيانات جميع النغمات، يتحصل على رزمة المعلومات الفعلية:



ويمكن اعتبار انضغاط ماركوف عبارة عن انضغاط هوفمان مزدوج، حيث إنه لا يستفيد فقط من توزيع الاحتمال البسيط ولكن يستعمل أيضاً الاحتمال ثنائي الأبعاد. وبالنسبة لكل سمة سابقة، يمكن حساب توزيع الاحتمال للسمة التالية لها مباشرة. فمثلاً، إذا كانت السمة الفعلية "e" فإنه من المرجح جداً ظهور السمة "i" أو السمة "s" بعدها وإن كان من المستبعد جداً أن يعقبها السمة "x". وتوزيعات الاحتمال الناتجة تكون أكثر تركيزاً من التوزيع البسيط أحادي الأبعاد، ومن ثم يؤدي إلى انضغاط أفضل بكثير. ومما يؤسف له وجود عائقين: حيث إنه يتطلب الأمر وجود جدول تشفير منفصل لكل سمة ASCII، حيث إن الجدول الكلي لتشفير ماركوف يصبح كبير بصورة غير عملية. وعلاوة على ذلك، يعتمد التوزيع ثنائي الأبعاد ومن ثم عامل الانضغاط المتحقق بشكل كبير على نوع النص أكثر مما هو موجود في التوزيع البسيط للسمات. ومن ثم تم اختيار نهج بتعديل بسيط أطلق عليه انضغاط ماركوف الزائف، حيث يمكن اعتباره هجين من تشفيري هوفمان وماركوف. وفي الانضغاط PMC يقتصر تشفير ماركوف على أكثر من 16 سمة "سابقة" تكراراً. وتطلق جميع السمات الأخرى انضغاط هوفمان العادي بالنسبة للسمات التالية مباشرة. ويقلل هذا الأمر جدول تشفير ماركوف إلى حجم معقول، كما يجعل قيم احتمال السمات أقل حرجاً، نظراً بصفة خاصة إلى أن السمات الأقل تكراراً تميل إلى أن تكون لها توزيعات احتمال غير مستقرة. ومع ذلك، ومن أجل الحصول على انضغاط أمثل، هناك جدولان مختلفان للنصوص الإنكليزية والألمانية معرفان في البروتوكولين PACTOR-II وPACTOR-III ويتم اختيارهما أوتوماتياً. وعند نقل نص خالص، ينتج عن انضغاط PMC عامل انضغاط تبلغ قيمته نحو 1,9 مقارنة بالنمط ASCII ذي البتات الثماني.

ويسمح تشفير المسح بالانضغاط الفعال للتتابعات الطويلة من البايتات المتشابهة. وتعرف بايتة السابقة الخاصة "0x10"، التي تستهل شفرة مسح من 3 بايتات. وتسمى البايتة الثانية "بايتة الشفرة" وتحتوي على الشفرة الأصلية للبايتة المنقولة ضمن نطاق مجموعة السمات ASCII بأكملها. وتقدم البايتة الثالثة عدد بايتات الشفرة التي يجب عرضها على جانب الاستقبال في حدود نطاق بين

"0x01" و"0x60". وتنقل القيم بين "0x00" و"0x1f" باعتبارها "0x60" إلى "0x7f"، وتنقل القيم "0x20" و"0x60" دون أي تغيير. فمثلاً، ينقل التتابع "AAAAAAAA" باستعمال شفرة مسح من 3 بايتات هي "0x68 0x41 0x1D".

8.1 خصائص الإشارة والاعتبارات العملية

بما أن المعيار FSK PACTOR يستعمل لإقامة الوصلة الأولية، فإنه يمكن التسامح عن انحرافات في التردد للمحطات الموصلة حتى ±80 Hz. وكما هو الحال في الأسلوب PACTOR-II، يتم التزويد بخوارزمية تتبع جيدة في المودمات SCS لجبر أي اختلاف وللتطابق التام مع الإشارات عند التبديل إلى الأسلوب DPSK الذي يتطلب دقة تردد عالية وكذلك استقرار كبير للتردد.

وتوفر إشارة المعيار PACTOR-III تشبعاً طيفياً عالياً جداً لتحاشي أي فيض في القنوات المجاورة. وبالتالي يمكن للمرشحات السمعية ذات الجودة المنخفضة أن تسبب تشوهات للنغمات الجانبية ذات سويات السرعة العالية، على جانبي الإرسال والاستقبال على حد سواء. ولجبر ذلك جزئياً، تسمح المودمات SCS لاتساع أطراف الإشارة بأن يتحسن إفرادياً في خطوتين باستعمال الأمر "سوي" والذي يعرف وظيفة مسو الإرسال للبروتوكول PACTOR-III. وتبطل القيمة "0" عمل هذه الوظيفة والقيمة "1" تعني تحسيناً متوسطاً والقيمة "2" تعني تحسيناً كبيراً للنغمات الجانبية في الإشارة.

وفوق ذلك يجب أن يراعى أنه نتيجة لقيم الضبط المحتلمة المختلفة "للنغمات" المتعلقة بالأسلوب FSK المستعمل في تهيئة الوصلة الأولية، فإنه قد تحدث إزاحة للتردد المركزي للإشارة مع التبديل الأوتوماتي إلى البروتوكول PACTOR-III. وبالتالي ينبغي فحص قيم ضبط "النغمات" بعناية ومواءمتها مع المحطات الأخرى في الشبكة لضمان عدم حدوث تخالف بين المحطات الموصولة وأن إشارة البروتوكول PACTOR-III موزعة داخل عرض نطاق المرشاح بصورة متماثلة. وعادةً يحتاج الأمر إلى أن تكون قيم ضبط "النغمات" واحدة على جانبي الوصلة PACTOR-III من أجل التشغيل الجيد. ويوصى الأسلوب SCS بضبط "النغمات" على "4" وهي القيمة التي تعرف نغمات التوصيل FSK باعتبارها 1 400 و1 600 Hz حيث تتوازن حول التردد المركزي للبروتوكول PACTOR-III البالغ 1 500 Hz، وذلك لتحاشي عدم التوافق بين مستعملي البروتوكول PACTOR-III.

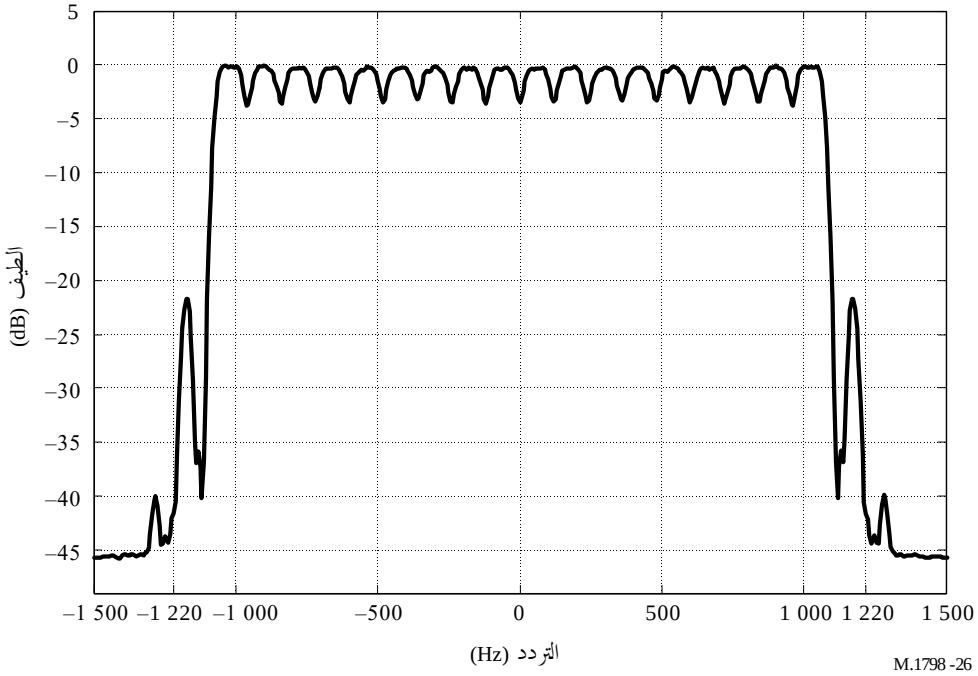
ويبيّن الشكل 26 طيف إشارة البروتوكول PACTOR-III عند سوية الإشارة SC6 مع جميع النغمات النشطة البالغ عددها 18 نغمة.

9.1 قياسات الأداء

يعتمد أداء أساليب الإبراق ARQ مع سويات السرعة المختلفة بشكل كبير على تنفيذ البروتوكول ARQ وعلى الاختيار الأوتوماتي لسوية مناسبة للسرعة بالنسبة لظروف القناة المعنية. ويشكل البروتوكول PACTOR-III الذاكرة–ARQ لتيسير الانتقالات بين سويات السرعة ولتحسين الصبيب عند النسب المنخفضة للإشارة إلى ضوضاء. في الذاكرة–ARQ، يسمح التوليف بين رزم البيانات المعاد إرسالها بإرسال آمن للبيانات عبر قنوات رديئة إلى حدٍ كبير حتى لو تم إفساد كل رزمة مستقبلة. ويمثل الشكل 27 نتائج قياسات الصبيب عبر قناة ضوضاء غوسية بيضاء مضافة وقناة رديئة. وتقيم النسبة إشارة إلى ضوضاء *S/N* بالنسبة إلى جذر متوسط تربيع قدرة الخرج عند سوية السرعة SL1 للتصحيح بشأن القيم المختلفة لعامل الذروة CF. وطبقاً لمعدلات خطأ البتات المعروضة في الشكل 22، فإنه ينبغي تحقيق صبيب أقصى بقيمة 2 720 بتة/ثانية مع سوية السرعة SL6 عند النسبة *S/N* للقناة تزيد على 14 dB بالنسبة إلى جذر متوسط تربيع قدرة الخرج عند سوية السرعة SL6. وطبقاً للشكل 20، فإن قيمتا عامل الذروة CF لسويتي السرعة SL1 وSL2 يختلفان بنحو 3,8 dB. وبالتالي ينبغي تحقيق أقصى صبيب عند نسبة إشارة إلى ضوضاء *S/N* للقناة تزيد على 18 dB بالنسبة إلى قدرة الخرج عند سوية السرعة SL1 وهو ما يتفق تماماً مع الصبيب المقاس لقناة الضوضاء الغوسية البيضاء المضافة في الشكل 27.

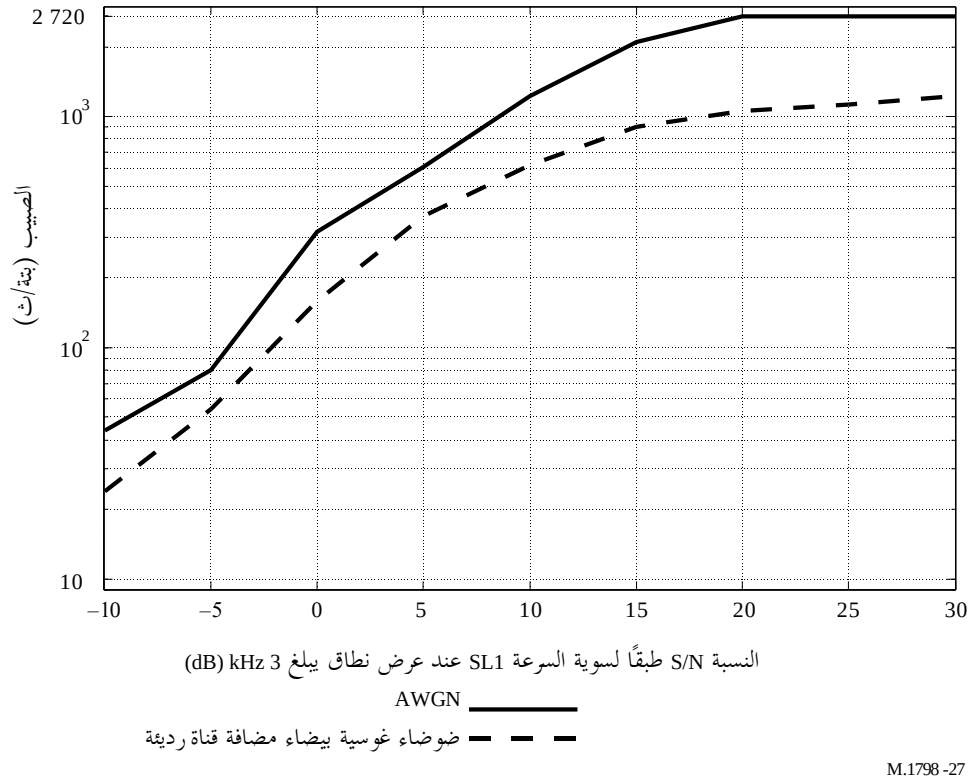
الشكل 26

طيف إشارة البروتوكول PACTOR-III عند سوية السرعة رقم 6
مع جميع النغمات النشطة البالغ عددها 18 نغمة



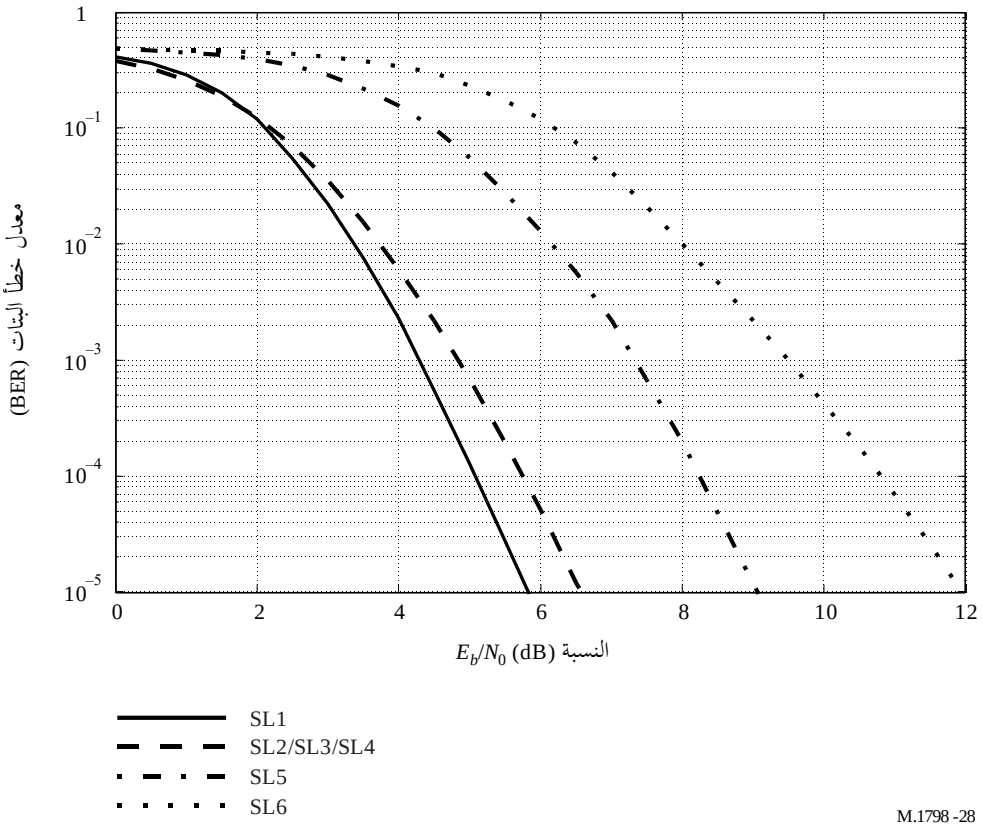
الشكل 27

صبيب البروتوكول PACTOR-III



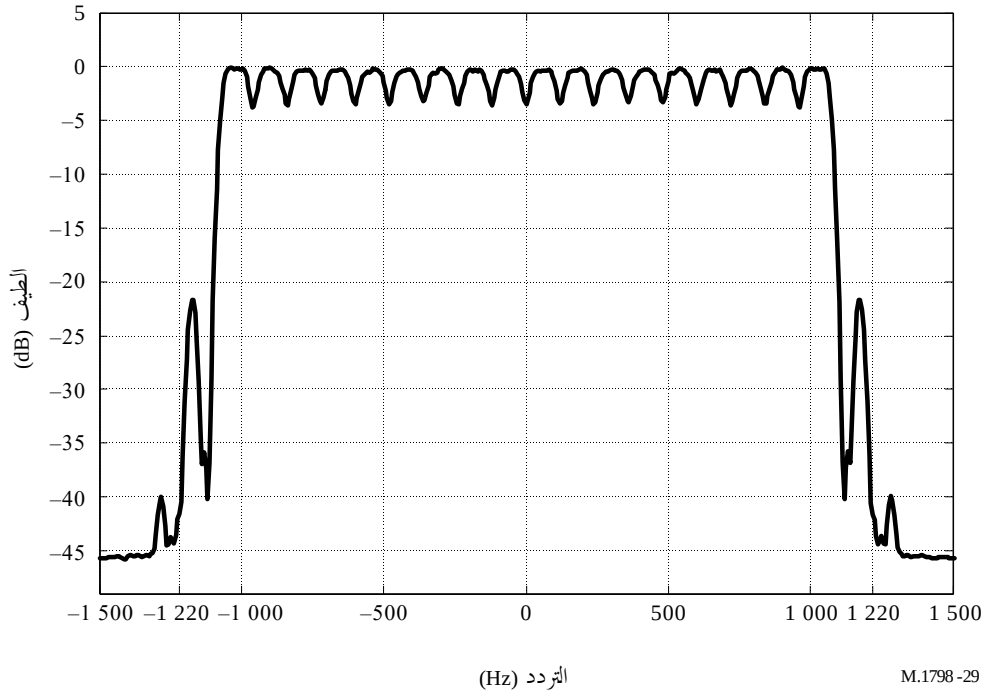
الشكل 28

معدل خطأ البتات لسويات السرعة المختلفة بالنسبة إلى الطاقة لكل بتة



الشكل 29

طيف إشارة البروتوكول PACTOR-III عند سوية السرعة رقم 6
مع جميع النغمات النشطة البالغ عددها 18 نغمة



2 بروتوكول الاتصالات النمطي

بروتوكول السطح البيني

الخصائص المادية

8 data bits,
1 start bit,
1 stop bit,
1 parity bit,
odd parity,
2400 bit/second.

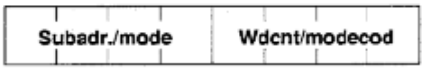
نسق الكلمات:

كلمة العنوان

عناوين محجوزة:

C2h : Receiver
C3h : Transmitter
FFh : Broadcast

كلمة الأمر



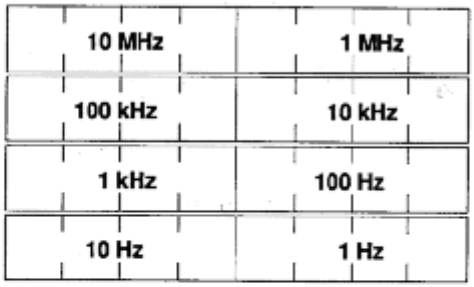
أوامر محجوزة

00h : Reset
14h : Telex mode & frequency input
*) 24h : USB mode & frequency input
*) 34h : AM mode & frequency input
*) 44h : CW mode & frequency input
*) 85h : Set scan table entry & radiomode/entry nr. & frequency input
*) 90h : Step to next entry
*) A0h : Empty table
*) B1h : Go to table entry & entry nr.

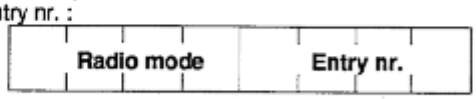
*) أوامر خاصة بالنداء الانتقائي الرقمي

كلمات البيانات

Frequency input:

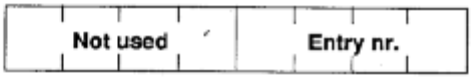


Radio mode + entry nr. :



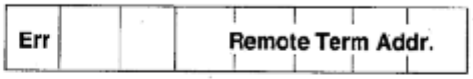
1h : Telex mode Entry nr. = { 0h .. Fh }
2h : USB mode
3h : AM mode
4h : CW mode

Entry nr. :



Entry nr. = { 0h .. Fh }

كلمة الحالة



Err : Error return status.

نسق الرسالة

تتكون الرسالة من كلمة عنوان يتبعها كلمة أمر وكلمات البيانات المقابلة المحتملة

مثال:

TX 19.1201 MHz in Telex mode.

C3h
14h
19h
12h
01h
00h

3 شبكة الوصلة العالمية

نظرة عامة

شبكة الوصلة العالمية (GLN) عبارة عن شبكة من المحطات الراديوية الساحلية المتعاونة (CRS) توفر النفاذ إلى البيانات للخدمة المتنقلة البحرية. ونتيجة لزيادة الطلب على نقل البريد الإلكتروني والنفاذ إلى الإنترنت بشأن السفن المتحركة في البحار وتضاؤل استعمال الطباعة المباشرة ضيقة النطاق والتلكس الراديوي، فإن هذه المحطات الراديوية تقدم خدمات البيانات على الموجة القصيرة.

الهيكل التنظيمي

تشغل جميع المحطات (CRS) شركات مستقلة. وتم ضم هذه الشركات معاً لتكوين شبكة الوصلة العالمية. وتستخدم هذه المحطات تكنولوجيا واحدة وتشكيلاً واحداً. وللمحطات CRS مطلق الحرية في تقديم خدمات إضافية خاصة بها وذلك طبقاً للاحتياجات المحلية. فإذا ما انقطع الاتصال بمركز التحكم في الشبكة لأسباب سياسية أو عسكرية أو لأي أسباب أخرى، فإن بمقدور كل محطة العمل بصورة مستقلة. ويمكن في مثل هذه الحالات أن توفر المحطات CRS اتصالات بعيدة المدى خارج نطاق شبكات الاتصالات الرئيسية.

الهيكل التقني

تستند شبكة الاتصالات العالمية إلى ما يطلق عليه جسر بروتوكول الإنترنت Pactor IP-Bridge (PIB). ويتيح الجسر (PIB) إنشاء توصيلات بيانات شفافة تستند إلى البروتوكول TCP/IP عبر قنوات راديوية 2K4 في جميع نطاقات التردد البحرية الهكتومترية والديكامترية. ويمكن استخدام الجسر (PIB) لأي نمط من أنماط خدمة البيانات مع سرعة نقل قصوى تصل إلى 56 000 bit/s منضغطة. وتعمل جميع مخدمات الشبكات بحزمة البرمجيات Linux OS وحزم برمجيات إضافية لضمان أداء عالٍ آمن من الأعطال.

مركز التحكم في الشبكة (NCC)

يعمل مركز التحكم في الشبكة طبقاً لاتفاق مع المحطات CRS. والمركز مسؤول عن قواعد البيانات والمحاسبة والمساندة وأمن البيانات والتطوير. ويشغل المركز NCC أيضاً مخدِّم بريد للمحطات الصغيرة التي لا تملك بنى أساسية للبيانات خاصة بها. ويوفر المركز NCC خدمات البيانات الأساسية مثل معلومات الطقس والانضغاط على الخط للبريد الإلكتروني وبريد الويب والتتبع والبريد الإلكتروني لأطقم السفن لجميع عملاء الشبكة GLN.

المحطة الراديوية الساحلية (CRS)

تتضمن المحطات CRS قناة راديوية أو أكثر تكون في وضع الاستعداد من أجل وصلات البيانات المؤقتة بين السفن وشبكة الإنترنت. ويمكن أن تقدم هذه المحطات خدمات إضافية مثل نقل البيانات (FTP)، خدمات بطاقات الائتمان واستضافة مواقع الويب وإدارة المخدم اللاسلكي لبعض العملاء. وتستمر جميع المحطات CRS في العمل إذا انقطع الاتصال بينها وبين مركز التحكم في الشبكة (NCC). وتعتبر المحطات CRS مسؤولة عن التركيبات الخاصة بمواقعها وتخصيصات الترددات من خلال هيئاتها الوطنية والأنظمة البديلة في حالة تعطل الطاقة الكهربائية والبنى الأساسية لتكنولوجيا المعلومات الخاصة بالعتاد عند مواقعها الخاصة. كما أنها مسؤولة عن جميع اللوائح والتصديقات والتراخيص التي تطلبها الهيئات المحلية. ويمكن تشغيل جميع المحطات CRS عن بُعد.

وتستعمل المحطات CRS ترددات ثابتة في أسلوب الإرسال نصف المزدوج أو أسلوب الإرسال الفردي. وهي ترسل إشارة منارة FSK بمعدل 100 بواد (baud) على تلك القنوات غير المشغولة. وتحتوي إشارة المنارة على معلومات جودة القناة ورمز دليلي مناسب للنداء ومعلومات عن تيسر القناة. ويمكن إدراج معرف هوية مورس ضمن إشارة المنارة، حسب الحاجة.

وترسل جميع المحطات CRS قوائم الحركة على فترات منتظمة.

المحطة الأرضية للسفينة

يحال الطلب اللازم للانضمام إلى الشبكة GLN إلى محطة CRS. ويسمح هذا الطلب للمحطة SES بالنفاذ إلى أي محطة CRS داخل الشبكة GLN دون الحاجة إلى أي طلبات أخرى. وللحصول على وصلة مؤقتة، قد تستعمل المحطة الأرضية للسفينة (SES) أجهزة راديوية في نطاقي الموجات الهكتومترية والديكامترية MF/HF أو أي جهاز راديوي خاص بها. ويوصل الجهاز الراديوي بمخدم اتصالات محدد أو يمكن دمج برمجيات تحكم مخدم الاتصالات ضمن الأجهزة الطرفية الجديدة للنظام العالمي للاستغاثة والسلامة في البحر (GMDSS). ويمكن توصيل مخدم الاتصالات بشبكة بيانات السفن ويكون مخدم عياري للبريد الإلكتروني والويب. ويختار المخدم أفضل قناة غير مشغولة بصورة أوتوماتية إذا طلب المستعمل نقل بيانات. ويوفر المخدم أيضاً إمكانات التراجع في حال عدم تيسر أي قناة راديوية.

الإنترنت

تتم جميع التوصيلات البينية بين المحطات CRS عبر الإنترنت. ويمكن توصيل المحطات CRS بالإنترنت من خلال أي خدمة متيسرة مثل الخطوط الرقمية التناظرية للمشترك SDSL أو الخطوط الرقمية اللاتناظرية للمشترك ADSL أو الشبكة الرقمية متكاملة الخدمات ISDN أو مودمات المراقمة بالإضافة إلى أنظمة الدقة اللاسلكية العالمية Wi-Fi والوصلات الساتلية. وينبغي ألا يقل عرض النطاق الكلي لكل قناة راديوية عن 10 kbit/s. ولا يحتاج الأمر إلى بروتوكول إنترنت ثابت للمواقع الراديوية. وتوفر الشبكة GLN النفاذ المباشر إلى أي مخدم ويب في أي مكان في العالم.

السطوح البينية

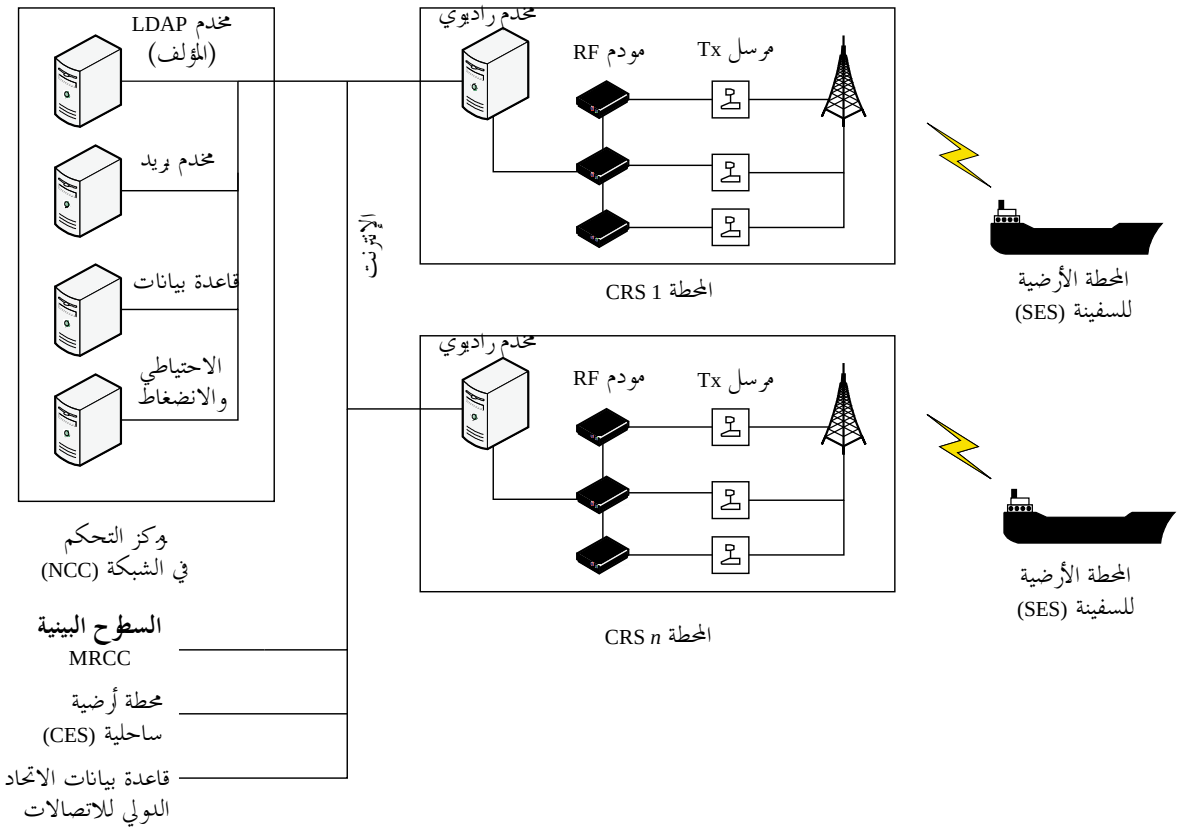
نتيجة لاستخدام تكنولوجيا عيارية للإنترنت في جميع أجزاء الشبكة، فإن الشبكة GLN تعتبر مفتوحة لأي خدمات إضافية على غرار نقل بيانات القياس عن بُعد واتصالات الدردشة مع الشبكات الأخرى ونقل المواقع والشبكة GLN مفتوحة أيضاً للاتصالات من سفينة إلى أخرى ومن سفينة إلى الساحل.

أمن البيانات

تحفر البيانات على جميع أجزاء الاتصالات البينية بين المحطات CRS والمحطات SES ومركز التحكم في الشبكة (NCC). وعلاوة على ذلك، فإنه لا يمكن قراءة البيانات المنقولة على الوصلة الراديوية بواسطة متابع راديوي آخر. وتعد جدران الحماية ومرشحات الرسائل الاقتحامية والكشف عن الفيروسات وغيرها من وسائل الأمن أمراً ذاتياً.

الشكل 30

نظرة عامة على شبكة الوصلة العالمية



MRCC: المركز البحري لتنسيق عمليات الإنقاذ

M.1798-30

الخدمات

توفر الشبكة GLN الاتصالات التجارية علاوة على أنماط الاتصالات التي يغطيها في الوقت الراهن نظام التلكس الراديوي كجزء من النظام العالمي للاستغاثة والسلامة في البحر. ولأن الجسر PIB بمقدوره نقل البيانات عند النسبة *S/N* أقل من الصفر، فإن الوصلات تقام تحت ظروف صعبة.

خدمة البريد الإلكتروني

تتيح الشبكة GLN النفاذ إلى أي مخدم من مخدمات البريد الإلكتروني على الويب في جميع أرجاء العالم. ويمكن إرسال المرفقات والوثائق عبر الشبكة GLN من وإلى الساحل. ويتم ضغط جميع البيانات على الخط وتُستأنف التوصيلات المقطوعة أوتوماتياً من دون نقل البيانات مرة ثانية.

خدمة معلومات الطقس

توفر الشبكة GLN التحميل المجاني لمعلومات الطقس لجميع المحطات SES. ويتضمن ذلك فاكسات وتنبؤات الطقس بالإضافة إلى الكروت الإلكترونية للمعلومات والاتصالات وبيانات برمجية تشغيل وقراءة الأقراص المدمجة "grip".

تتبع السفن

ترسل معلومات الموقع مع كل توصيل من المحطة SES إلى المركز NCC ويمكن إحالتها إلى أي خدمة تتبع أو عنوان بريد إلكتروني ويطبق المنفذ NMEA 0183 على النظام.

بريد أطقم السفن

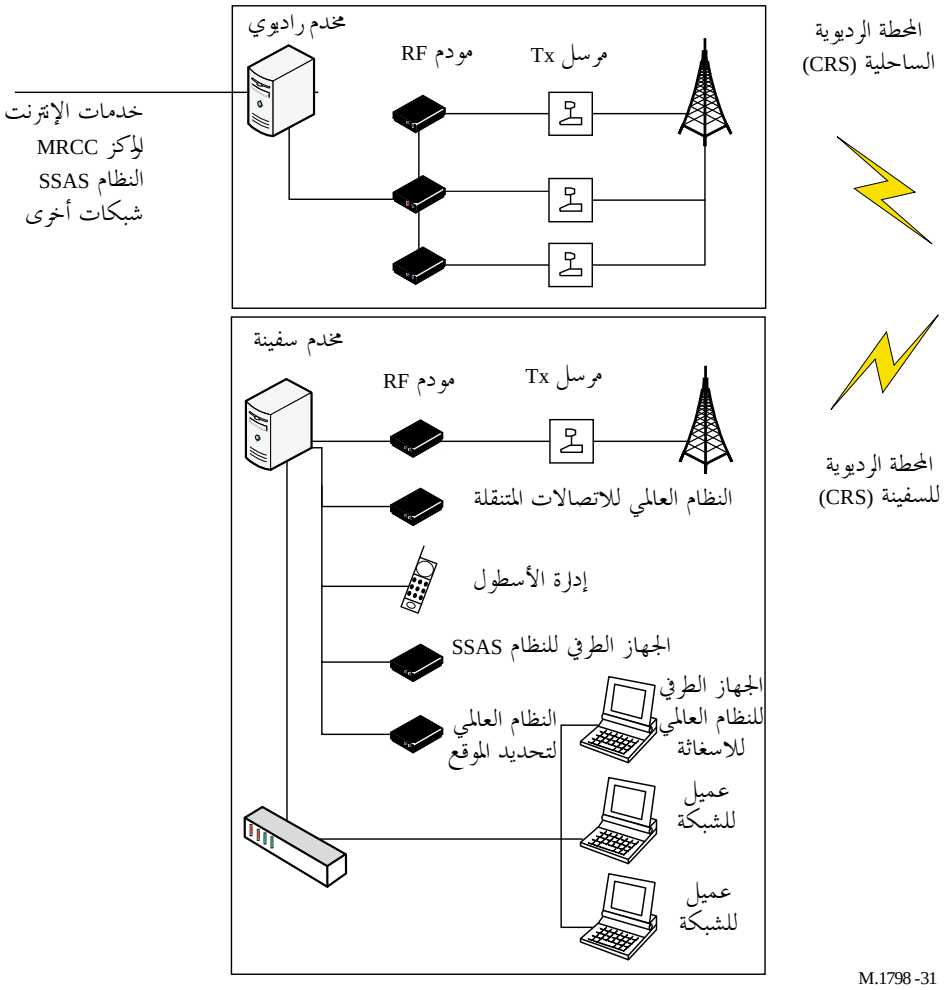
يمكن تنفيذ حتى 255 حساب بريد إلكتروني لكل سفينة. ويمكن تحصيل الرسوم من شركة الشحن أو يمكن لأفراد الطاقم الدفع عبر البطاقات الائتمانية إلى المحطة CRS مباشرة.

نظام أمن وإنذار السفينة (SSAS)

تطبق إمكانية النظام SSAS في النظام.

الشكل 31

نظرة عامة على المحطة الراديوية الساحلية والمحطة الراديوية للسفينة



التغطية

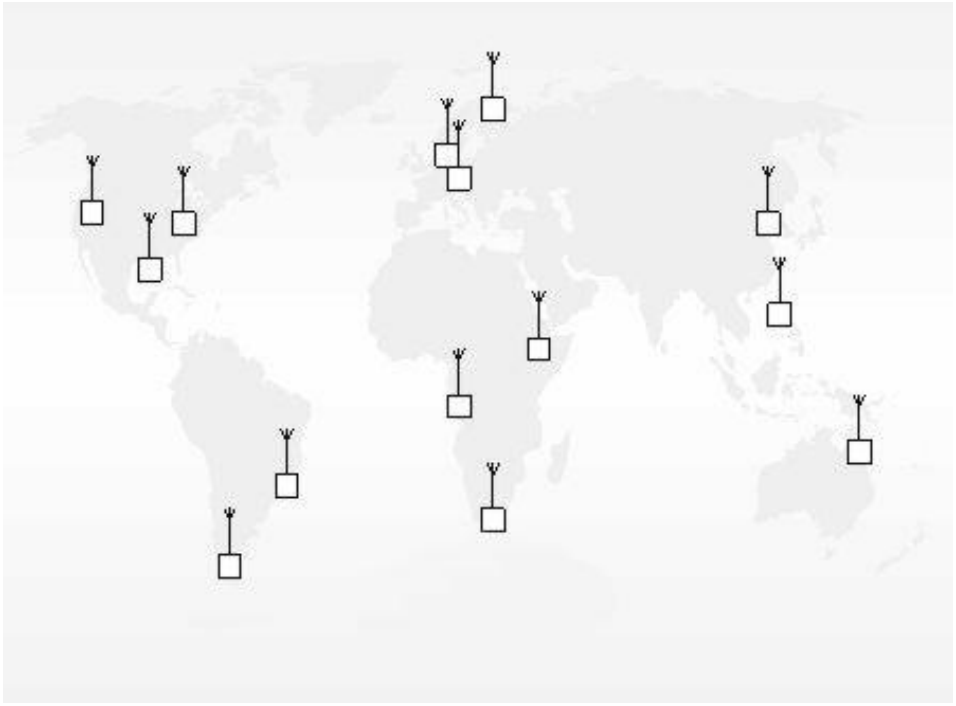
توفر الشبكة GLN التغطية عبر جميع أرجاء العالم. وهي شبكة غير محدودة وتعتبر مفتوحة لمواقع جديدة في أي وقت. وتستفيد المحطات الجديدة داخل الشبكة من التغطية العالمية للسفن منذ البداية. وتجعل تكنولوجيات التجول هذا الأمر ممكناً.

المدى

وطبقاً لموقع السفينة وجودة تجهيزاتها الراديوية والضوضاء البيئية والهوائيات المستعملة والقدرة المرسلة، يتراوح المدى المتوسط لكل محطة بين 1,750 و2,500 ميل بحري.

الشكل 32

المحطات الراديوية لشبكة الوصلة العالمية في جميع أنحاء العالم
(أغسطس 2006)



M.1798 -32

المواقع (أغسطس 2006 – وهي عرضة للتغيير)

النرويج، 3 مواقع، حتى 12 قناة، 6 MHz و8 MHz و12 MHz

ألمانيا، موقع واحد، 9 قنوات، 4 MHz و6 MHz و8 MHz و12 MHz و17 MHz

سويسرا، موقع واحد، 10 قنوات، 4 MHz و6 MHz و8 MHz و12 MHz و17 MHz

كينيا، موقع واحد، 15 قناة، 4 MHz و6 MHz و8 MHz و12 MHz و17 MHz

جمهورية جنوب إفريقيا، موقع واحد، 15 قناة، 4 MHz و6 MHz و8 MHz و12 MHz و17 MHz

أنغولا، موقع واحد، 15 قناة، 4 MHz و6 MHz و8 MHz و12 MHz و17 MHz

الصين، موقع واحد، 5 قنوات، 4 MHz و6 MHz و8 MHz و12 MHz و17 MHz

الفلبين، موقع واحد، 5 قنوات، 4 MHz و6 MHz و8 MHz و12 MHz و17 MHz

أستراليا، موقع واحد، 5 قنوات، 4 MHz و6 MHz و8 MHz و12 MHz و17 MHz

الأرجنتين، موقع واحد

شيلي، موقع واحد

الولايات المتحدة الأمريكية، ولاية رود أيلاند، موقع واحد، 5 قنوات، 4 MHz و6 MHz و8 MHz و12 MHz و17 MHz

الولايات المتحدة الأمريكية، ولاية واشنطن، موقع واحد، 5 قنوات، 4 MHz و6 MHz و8 MHz و12 MHz و17 MHz

الولايات المتحدة الأمريكية، ولاية ألاباما، موقع واحد، 5 قنوات، 4 MHz و6 MHz و8 MHz و12 MHz و17 MHz.

الملحق 4

إرسال البيانات بالنطاق الواسع عالي التردد

1 مقدمة

من المخطط أن يسمح نظام بروتوكول الإنترنت الخاص باتصالات السفن (IPBC) بإرسال البيانات على نطاقات بحرية عالية التردد تبلغ 4–27,5 MHz في قناة إذاعية للإرسال بعرض نطاق 10–20 kHz.

ويمكن أن تستعمل جميع السفن هذا النظام، على الرغم من أنه دُرس في البداية من أجل سفن صيد الأسماك.

وتصف هذه الوثيقة معمارية النظام وهدفه.

2 متطلبات النظام

- استخدام نطاق بحري عالي التردد؛
- أجهزة مكرسة لنظام بروتوكول الإنترنت الخاص باتصالات السفن على متن السفينة؛
- زيادة معدل البيانات وفقاً للأنظمة الفعلية؛
- إدارة دينامية للوصلات الراديوية؛
- تعدد المستعملين؛
- نهج للنظام يشجع على تطوير محطات متنقلة قليلة التكلفة؛
- استعمال الطيف عالي التردد على النحو الأمثل.

3 نظرة عامة عن النظام

1.3 معلومات عامة

يُقسم نظام إرسال البيانات بالراديو إلى أربعة متجهات:

- مستعملي الشبكة؛
- مورد النفاذ؛
- إرسال واستقبال المحطة الساحلية عالية التردد؛
- المحطة المتنقلة عالية التردد والموجودة على متن السفينة.

والهدف من هذا النظام هو السماح للسفن بالنفاذ إلى شبكة الإنترنت من أجل البريد الرقمي من خلال وصلة راديوية تعمل في نطاق بحري عالي التردد (4–27,5 MHz) مع قناة يبلغ عرض نطاقها 10–20 kHz بغية الحصول على معدل بيانات راديوية جيد يصل حتى 22 kbit/s.

وبالنسبة للتغطية من 40 إلى 250 NM، ستستعمل ترددات منخفضة (من 4 إلى 8 MHz) لتعزيز انتشار الموجات الأرضية.

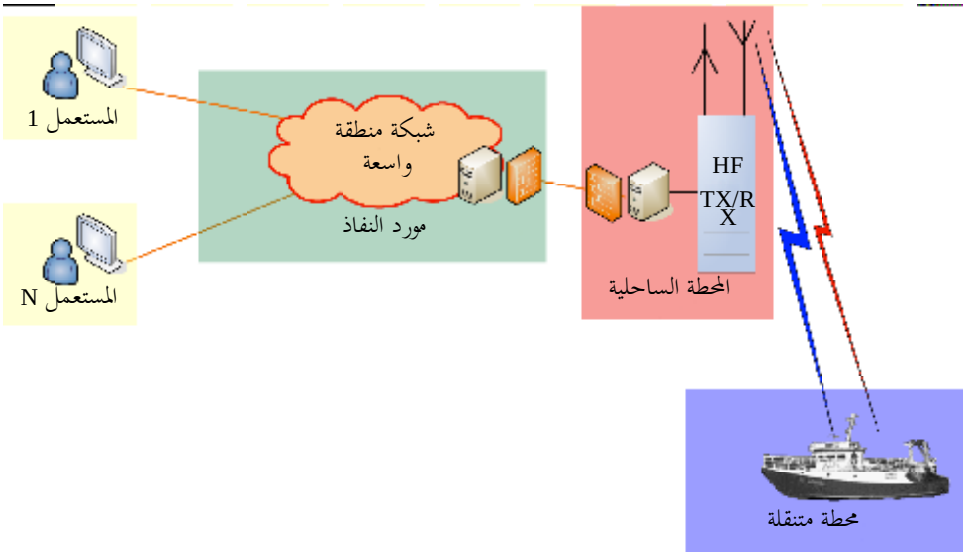
وفيما يخص التوصيلات على مسافات طويلة تتعدى 200 NM، ستستعمل ترددات تتراوح من 8 إلى 27,5 MHz. وفي هذه الحالة لا يمكن تجنب انتشار الموجات الأيونوسفيرية. وسوف يخصص تشفير التشكيل المناسب.

ولا يعمل هذا النظام في الوقت الفعلي؛ وتكون الاتصالات من نمط "نقل الملفات".

ولم يُخطط لأي توصيل مباشر من سفينة إلى أخرى.

الشكل 33

ملخص عام



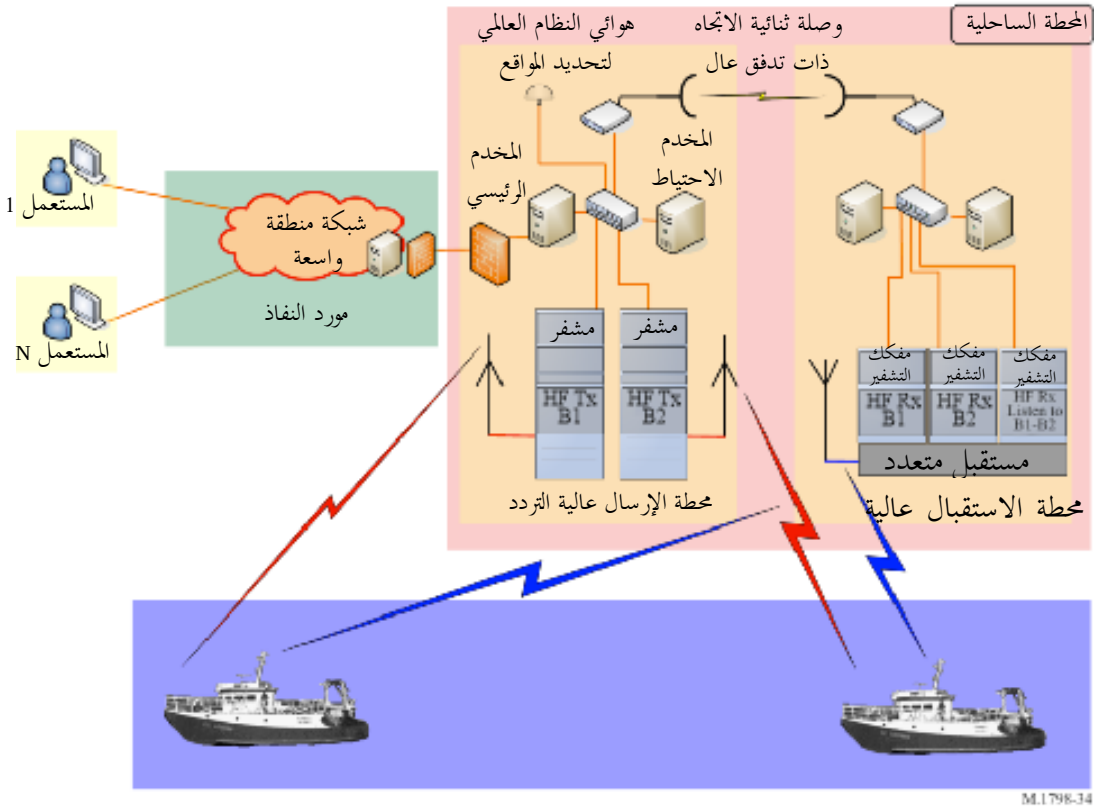
2.3 الوصلة الراديوية عالية التردد

تقوم هذه الوصلة على مكونين:

- المحطة الساحلية؛
- المحطة البحرية المتنقلة.

الشكل 34

ملخص عام – الوصلة الراديوية عالية التردد



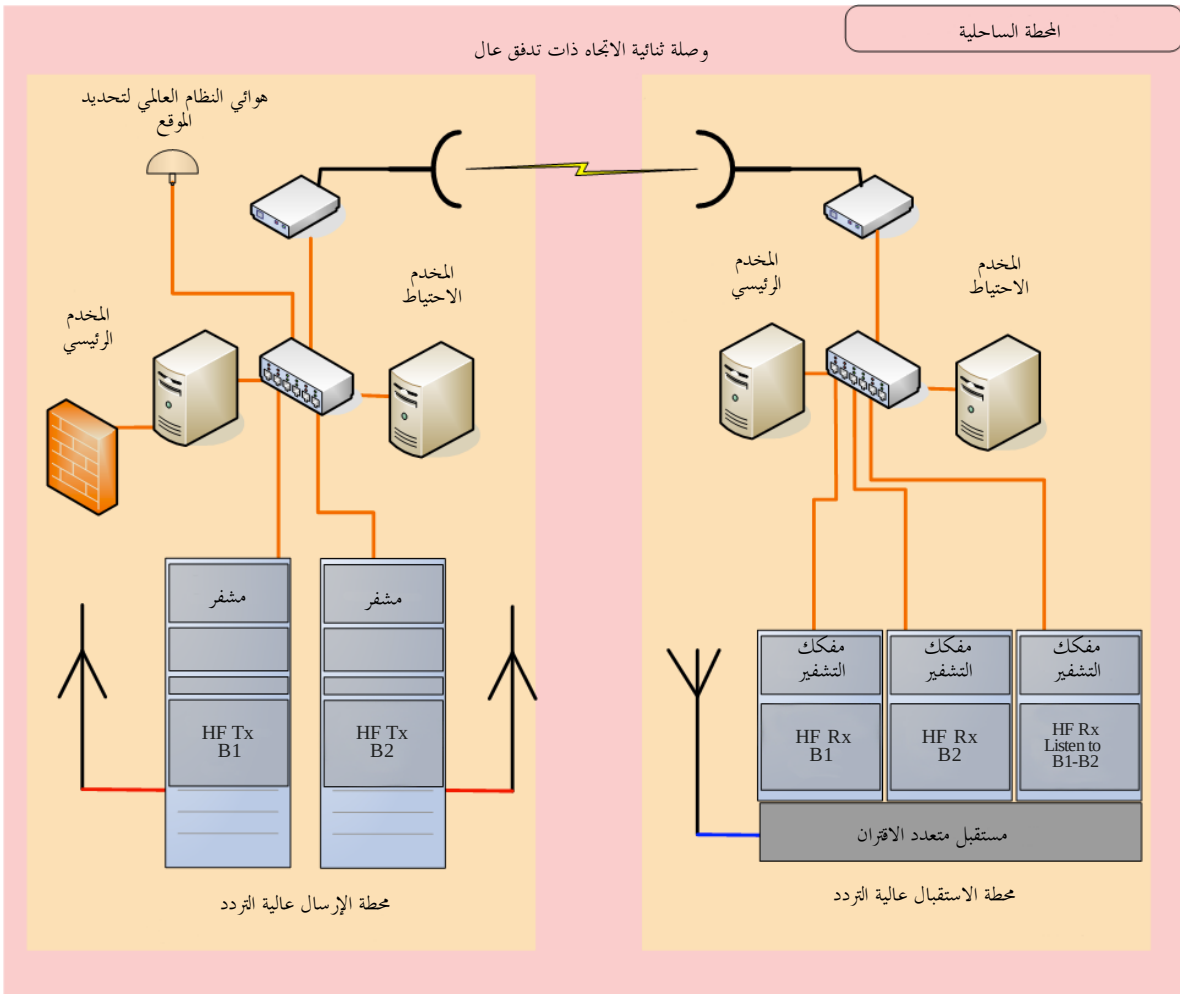
1.2.3 المحطة الساحلية

يمكن تجهيز المحطة الساحلية بقنوات في نطاقات عديدة عالية التردد من أجل توسيع منطقة التغطية. ومن المخطط إدارة أجهزة الإرسال دينامياً للتكيف مع الحركة.

ويُفصل جزء الإرسال مادياً عن جزء الاستقبال للسماح بعمل أجهزة الإرسال وأجهزة الاستقبال في آن واحد.

الشكل 35

ملخص المحطة الساحلية



M.1798-35

1.1.2.3 محطة الاستقبال

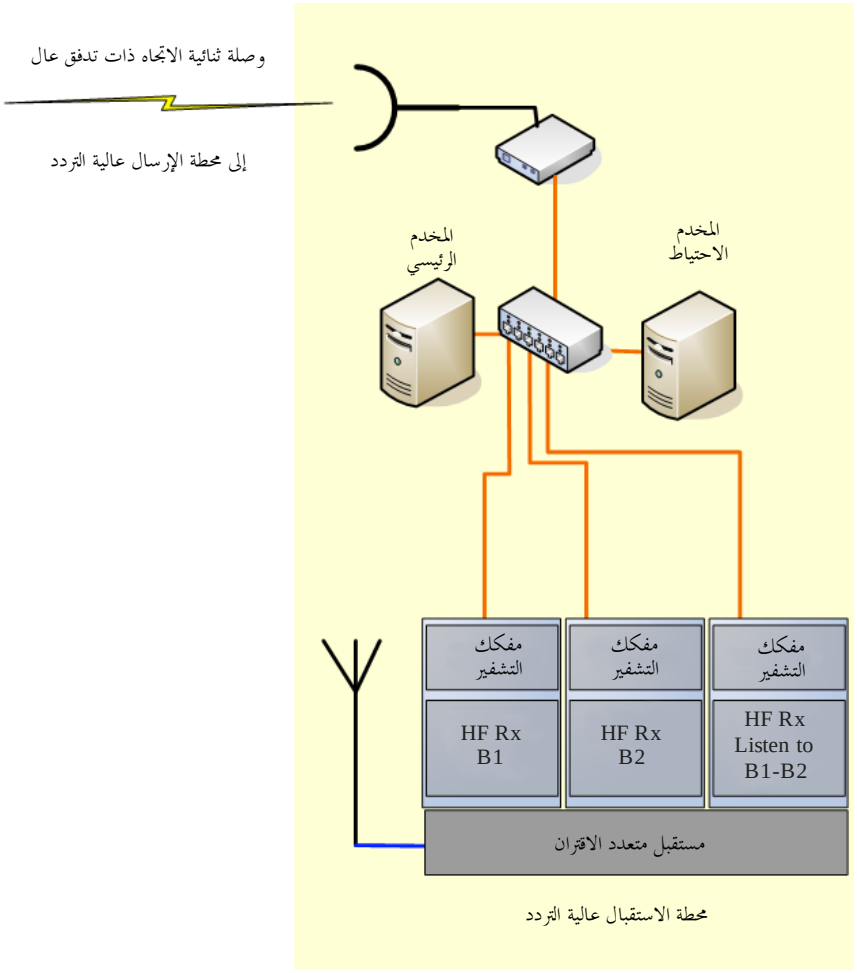
من المخطط أن تكون هناك ترددات متعددة ثابتة للاستقبال حسب القنوات المستخدمة.

وتُرسل الإشارة غير المشكلة من كل مستقبل إلى المخدم الموجود في موقع الاستقبال.

ويُربط هذا المخدم بموقع الإرسال عبر وصلة ثنائية الاتجاه ذات تدفق عال.

الشكل 36

ملخص محطة الاستقبال الساحلية



2.1.2.3 محطة الإرسال

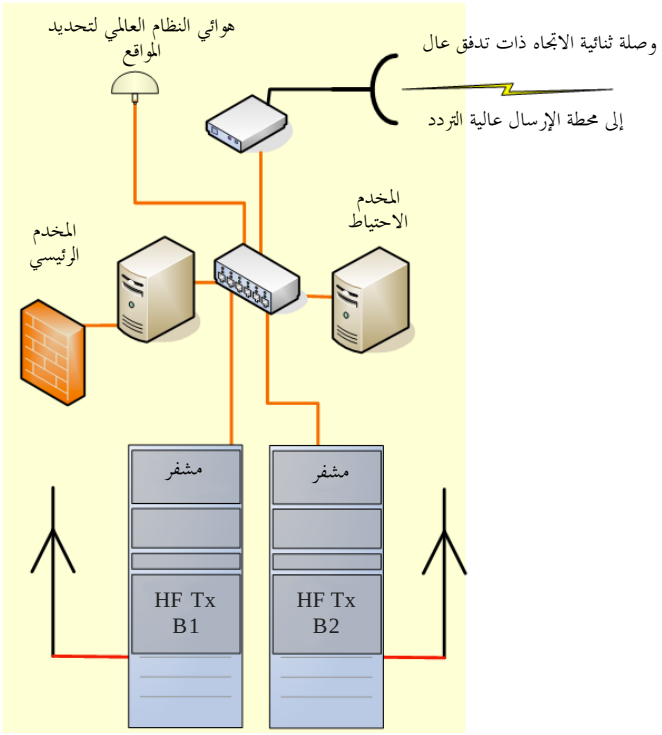
من المخطط أن يكون هناك مرسل واحد على الأقل لكل نطاق بحري عالي التردد قابل للاستغلال إلى جانب مرسل احتياطي. ويمكن استعمال المرسل الاحتياطي من أجل قناة راديوية أخرى للإرسال في حالة الحركة العالية للبيانات.

ويمكن مستقبل النظام العالمي لتحديد الموقع من تزامن عمليات الإرسال.

ولدى هذه المحطة الساحلية توصيلية للإنترنت تحصل عليها من مورد النفاذ.

الشكل 37

ملخص محطة الإرسال الساحلية



3.1.2.3 المحطة المتنقلة البحرية عالية التردد

دُرس هذا النظام في البداية من أجل تجهيز السفن متوسطة الطول (12/30 متراً طولاً)، لكن يمكن أن يناسب جميع أنواع السفن.

ويستعمل الأسلوب نصف المزدوج على متن السفن.

وتتألف المحطة المتنقلة من مرسل–مستقبل وسطح بين الإنسان–الآلة.

ويعمل المرسل والمستقبل على ترددات منفصلة.

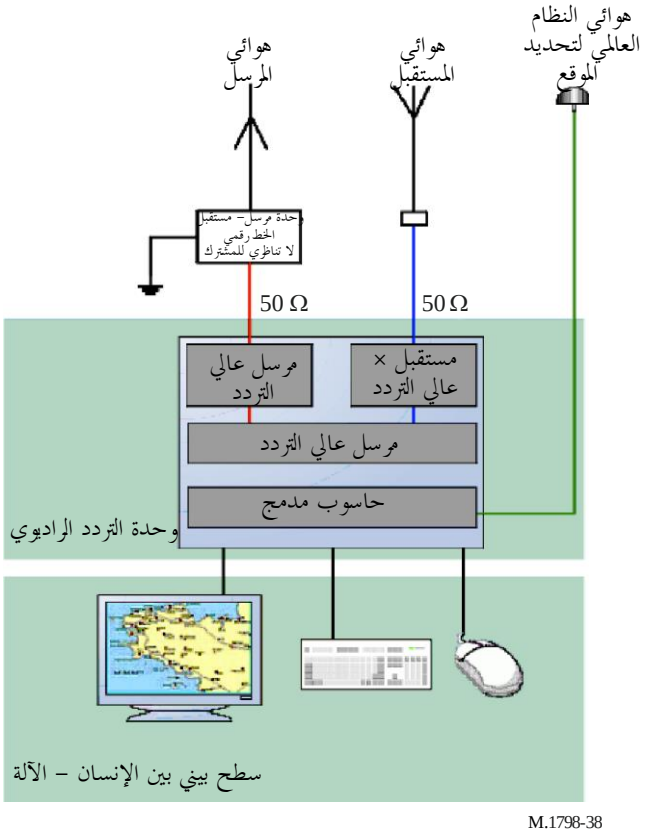
وتبلغ قدرة المكبر عالي التردد 150 W CW (300 W PEP) تقريباً مع خطية جيدة لقبول التشكيل في قناة يبلغ عرض نطاقها 10-20 kHz.

ويستعمل مستقبل للنظام العالمي لتحديد الموقع من أجل معرفة موضع السفينة وكمرجع للتزامن.

والنظام شفاف تماماً بالنسبة للمستعمل.

الشكل 38

ملخص المحطة المتنقلة



3.3 أساليب العمل

تقوم المحطة البحرية المتنقلة باستمرار بالاستماع إلى واحد من ترددات الإرسال للمحطة الساحلية في منطقة ملاحتها.

وإذا كانت المحطة متعددة النطاقات/متعددة القنوات، سيقع الاختيار أوتوماتياً على التردد الأفضل في منطقة الملاحة بالاستناد إلى المعلومات الواردة أدناه:

- موضع السفينة الذي يبينه مستقبل النظام العالمي لتحديد المواقع؛
- قاعدة البيانات المحفوظة للمحطة البحرية، بما في ذلك خطة الترددات العالمية للشبكة الراديوية الساحلية لنظام بروتوكول الإنترنت الخاص باتصالات السفن؛
- مؤشر قوة الإشارة المستقبَلة؛
- أفضل قيمة للنسبة إشارة إلى ضوضاء.

وفي الحالة التي يُحدد فيها موقع سفينة خلال عملية للتحقق لمحطتين ساحليتين، سيتم الاختيار من المعلمات الواردة أعلاه بإضافة المعلومات المتعلقة بالوجهة والسرعة لتحديد موقع السفينة التالي ومن ثم منطقة التغطية المعنية.

ويرسل مرسل المحطة الساحلية باستمرار ما يلي:

- معلومات موجهة إلى جميع السفن (أسلوب الإذاعة)؛
- معلومات موجهة إلى مجموعة من السفن فقط (أسلوب الإذاعة الانتقائية)؛

- معلومات ورسائل موجهة إلى سفينة واحدة؛
- المعلومات الخاصة بإدارة الحركة؛
- الإشعارات بالاستلام الخاصة بالبيانات من السفينة إلى الساحل.

ويمكننا التمييز بين أسلوبين للعمل، وهما:

- طلب وصلة من الساحل إلى السفينة؛
- طلب وصلة من السفينة إلى الساحل.

1.3.3 الأسلوب 1: طلب وصلة من الساحل إلى السفينة

يستقبل مورد الخدمة رسالة موجهة إلى سفينة.

وبعد بحث أوتوماتي في قواعد البيانات لمعرفة آخر موقع للسفينة، ترسل الرسالة إلى المحطة الساحلية الوسيطة المتصلة بالخلية الراديوية للسفينة.

وترسل المحطة الساحلية الرسالة إلى السفينة المختارة؛ وتكون هويتها مدرجة في كل رتل مرسل.

ويحتفظ مستقبل السفينة بكل رتل مستَقبل في دارئ.

ويصدر مرسل السفينة بانتظام إشعارات باستلام الأرتال المستَقبلة.

وخلال مدة النقل بكاملها، تحتفظ السفينة بالتردد نفسه حتى استقبال كامل الإشعارات.

وعلى المحطة الساحلية أن تتوقف عن إرسال الرسالة إذا أصبحت الوصلة الراديوية سيئة للغاية بسبب ظروف الانتشار.

وحينها يبحث مستقبل السفينة عن قناة إرسال راديوي ذات جودة أفضل.

2.3.3 الأسلوب 2: طلب وصلة من السفينة إلى الساحل

عندما يكون لدى مستعمل المحطة المتنقلة رسالته التي أعدها مع الجهة المستقبلة، تصبح العملية أوتوماتية وشفافة. ولا يتحقق نقل الملف في الوقت الفعلي.

وتستعمل المحطة المتنقلة مرجع التزامن نفسه المأخوذ عن الاستقبال من النظام العالمي لتحديد المواقع للتمكين من التوصيل بالمحطة الساحلية.

وتتلقى المحطة المتنقلة بشكل دائم المعلومات عن "الفواصل الزمنية" المتاحة التي يجب استعمالها لاتصال جديد.

وتختار السفينة "فاصلاً زمنياً" فارغاً وترسل طلب التوصيل الذي يتضمن معرف الهوية والموقع وعدد الفواصل الزمنية اللازمة للإرسال الذي ستجريه وجزء من الملف.

وإذا استقبلت المحطة الساحلية إرسال السفينة بشكل جيد، فإنها ترسل إشعاراً بالاستلام وتخصص الفواصل الزمنية لإجراء الإرسال.

وتصدر المحطة الساحلية بانتظام إشعارات باستلام الأرتال المستَقبلة.

وتُرسل بعد ذلك الرسالة المحتفظ بها في دارئ بالمخدم الوسيط للمحطة الساحلية إلى مورد الخدمة.

3.3.3 تتبع السفن

عند تشغيل الأجهزة الراديوية المتنقلة، تصبح عملية التشوير أوتوماتية. وتسَّجل المحطة المتنقلة على الخلية الراديوية الأنسب (حسب موقع وتيسر الشبكة الراديوية) باستعمال الأسلوب 2 (طلب وصلة من السفينة إلى الساحل).

وستجرب المحطة بانتظام هوية جديدة إذا لم تتيسر أية خلية راديوية.

وتتصل المحطة الساحلية بكل محطة متنقلة، على فترات متقاربة، في خليتها الراديوية من أجل معرفة موقعها (التتبّع الأوتوماتي). وتوسع المعلومات الواردة قاعدة البيانات السرية التي تلزم لإدارة الحركة.

ويعلن أن المحطة المتنقلة خارجة عن الخلية الراديوية الأولية إذا لم تتمكن المحطة الساحلية لعدة مرات من الاتصال بها.

وقبل إبطال التجهيزات الموجودة على متن السفينة، ترسل إشارة أوتوماتية إلى المحطة الساحلية لإفادتها بأن المحطة المتنقلة ستترك الشبكة الراديوية لنظام بروتوكول الإنترنت الخاص باتصالات السفن.

4.3 إعادة استخدام الترددات

فيما يخص المحطات الساحلية التي تستعمل ترددات نطاق منخفض (من 4 إلى 8 MHz، تغطية من 40 إلى 200 NM)، سيعزَّز انتشار الموجات الأرضية. ومن شأن هذا أن يجعل من إعادة استخدام عدة محطات ساحلية للترددات أمرا أسهل.

وعلى العكس، يجب تقاسم ترددات النطاق العالي بين المحطات الساحلية المستعمَلة.

5.3 نظام بروتوكول الإنترنت الخاص باتصالات السفن والنظام العالمي للاستغاثة والسلامة في البحر

لم يكن من المخطط في البداية أن يكون نظام IPBC من بين تجهيزات النظام GMDSS. وهو غير مخصص لإدارة الاستغاثة في البحر.

ويوقَّف جهاز إرسال النظام IPBC إذا استُخدمت المحطة المتنقلة النظام GMDSS.

ويمكن أيضا لهذا النظام أن يعوض بشكل فعال التلكس الراديوي في المستقبل.

ويمكنه أيضا أن يحسن إلى حد كبير من سلامة الملاحة. فهو يقدم بشكل مستمر وسريع معلومات يمكن وصلها بمنطقة معينة بتكلفة معقولة.

ومع ذلك، سيكون من الممكن النفاذ إلى إنذارات "نظام إنذار من أجل سلامة السفن".

6.3 التطبيقات الأخرى لبروتوكول الإنترنت الخاص باتصالات السفن

ينبغي أن يتيح النظام إمكانية اقتصادية لجميع البلدان النامية لإدارة منطقتها البحرية الوطنية فيما يخص الموارد والحماية وإدارة البيئة.

4 معمارية النظام

1.4 المبدأ العام

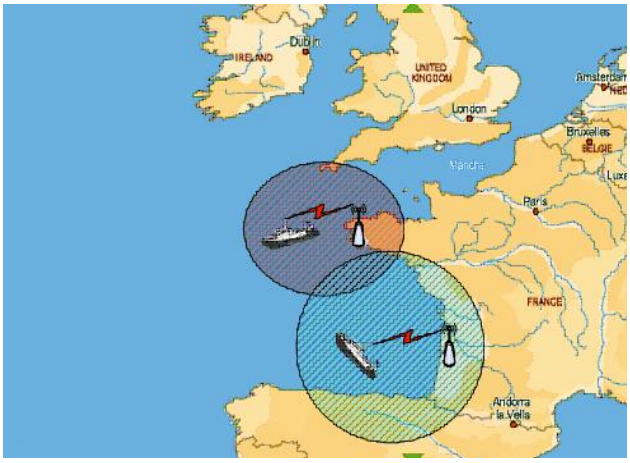
يجب أن تكون الوصلة الراديوية موثوقة وآمنة.

ويتم استمثال استعمال قناة الإرسال الراديوي بفضل بروتوكولات الاتصالات. ولهذا، لا تعمل التطبيقات في الوقت الفعلي وتكون جميع الاتصالات من نمط "نقل الملفات".

ويتم تقاسم قناة الإرسال الراديوي بين كل محطة متنقلة في أي خلية راديوية.

الشكل 39

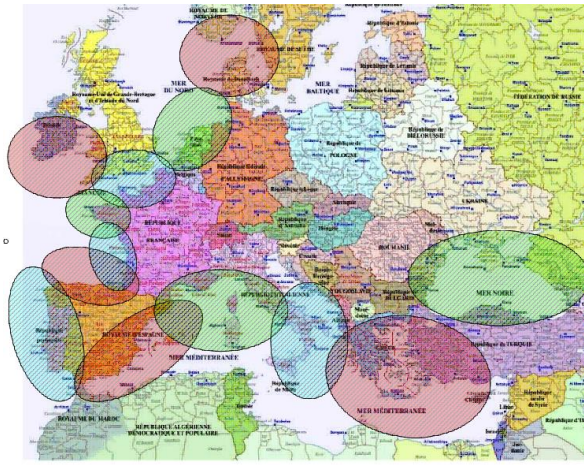
خلية راديوية ذات ترددات منخفضة



M.1798-39

الشكل 40

مثال على إدارة الترددات



F1 F2 F3

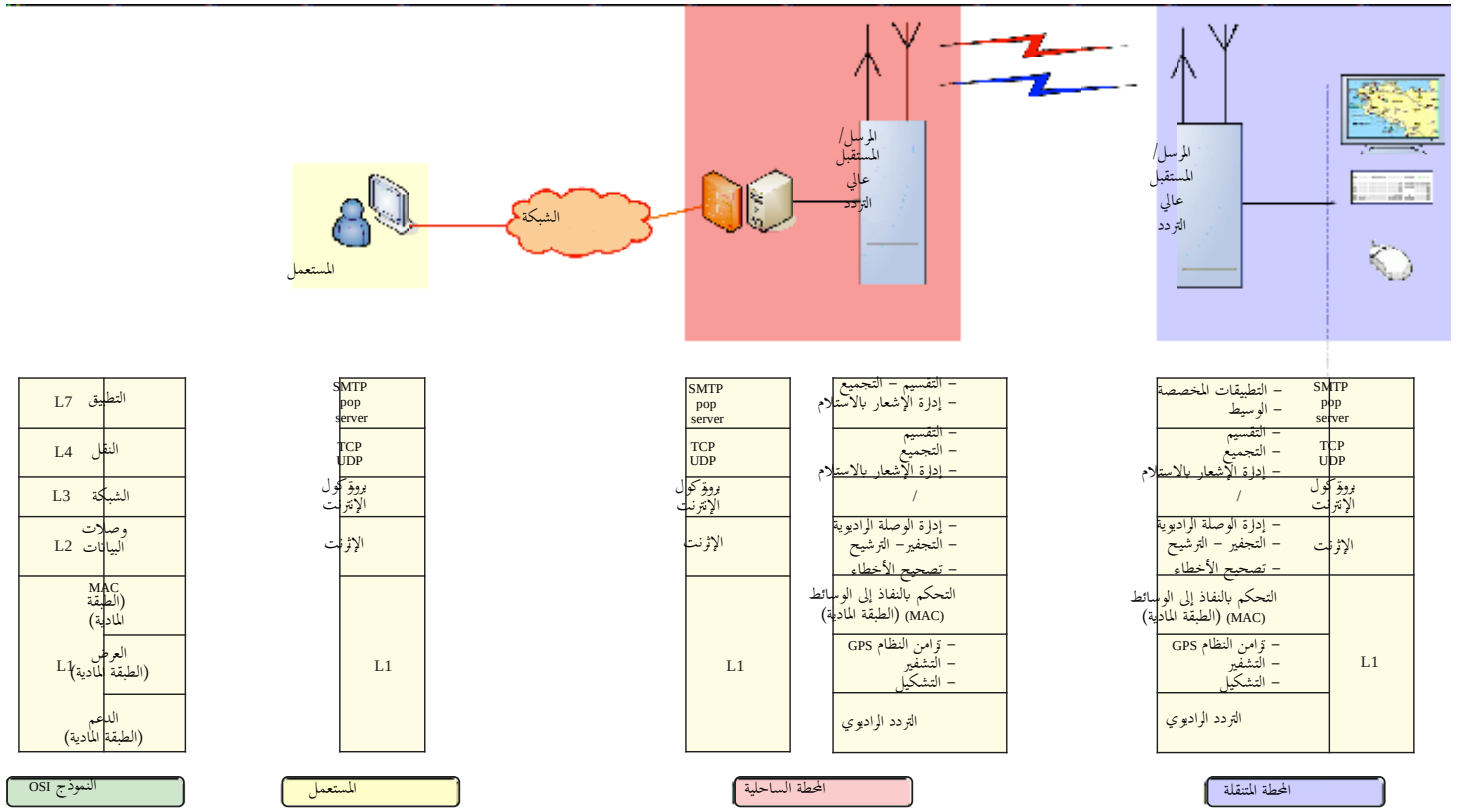
M.1798-40

2.4 نموذج التوصيل البيني للأنظمة المفتوحة

يمكن وصف النظام بنموذج طبقات التوصيل البيني للأنظمة المفتوحة (OSI).

الشكل 41

نموذج التوصيل البيني للأنظمة المفتوحة



M.1798-41

SMTP pop server: مخدم نقطة وجود بروتوكول نقل البريد البسيط

TCP: معالجة قناة الإرسال – UDP: بروتوكول وحدات بيانات المستعمل

على كل طرف من الوصلة الراديوية، تقدم السطوح البينية توصيلاً معيارياً بالشبكة المحلية. وعلى جانب الساحل يكون لدى هذه الشبكة المحلية توصيل بالإنترنت.

3.4 الطبقة المادية (L1)

هذه الطبقة سطح بيني بين عالم البرمجيات إرسال القناة الراديوية.

وتشمل هذه الطبقة ما يلي:

- طبقة فرعية للدعم المادي؛
- طبقة فرعية للعرض المادي:
  - التشكيل؛
  - التشفير؛
  - التزامن؛
- طبقة فرعية للتحكم بالنفاذ إلى الوسائط.

الشكل 42

نموذج التوصيل البيني للأنظمة المفتوحة – الطبقة المادية L1

التطبيقات المخصصة الوسيط	L7
التقسيم التجميع إدارة الإشعار بالاستلام	L4
/	L3
إدارة الوصلة الراديوية التجفير الترشيح تصحيح الأخطاء	L2
MAC	L1
تزامن النظام GPS التشفير التشكيل	
التردد الراديوي	

M.1798-42

1.3.4 الدعم المادي

الدعم المادي عبارة عن قناة إرسال راديوي تعتمد خصائصها الرئيسية على الترددات.

ويمكن أن تخضع قناة الإرسال الراديوي:

- تعدد المسارات؛
- تأثير دوبلر؛
- تأخير الانتشار.

وتعمل المحطة المتنقلة بأسلوب الإرسال نصف المزدوج.

2.3.4 العرض المادي

تحقق هذه الطبقة تشكيل وإزالة تشكيل الإشارة، والتزامن على إشارة النظام GPS.

1.2.3.4 تشكيل تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد

تستعمل قناة الإرسال الراديوي بيانات تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد المشفرة.

وتمكن هذه العملية من تحقيق توفيق جيد بين معدل البيانات وقوة الإشارة حسب قيود قناة الإرسال الراديوي.

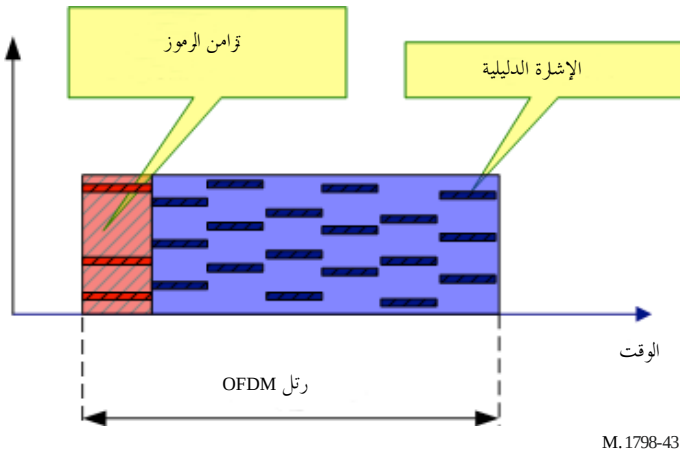
ويستعمل المخطط OFDM الموجات الحاملة الفرعية التي تشكَّل موجة مقابل موجة في التشكيل الاتساعي التربيعي.

ويجب استعمال أرتال ثابتة الطول مع عملية التشكيل OFDM، وتُحجز بداية كل رتل من أجل التمهيد الخاص بالتزامن.

وتسمح بعض الموجات الحاملة الفرعية الدليلية بتحديد خصائص قناة الإرسال الراديوي.

الشكل 43

علمية التشكيل OFDM



للاطلاع على وصف مفصل (انظر الفصل 5).

2.2.3.4 تشفير التشكيل

تشفَّر البيانات التي ستُرسل من أجل استمثال طيف قناة الإرسال الراديوي.

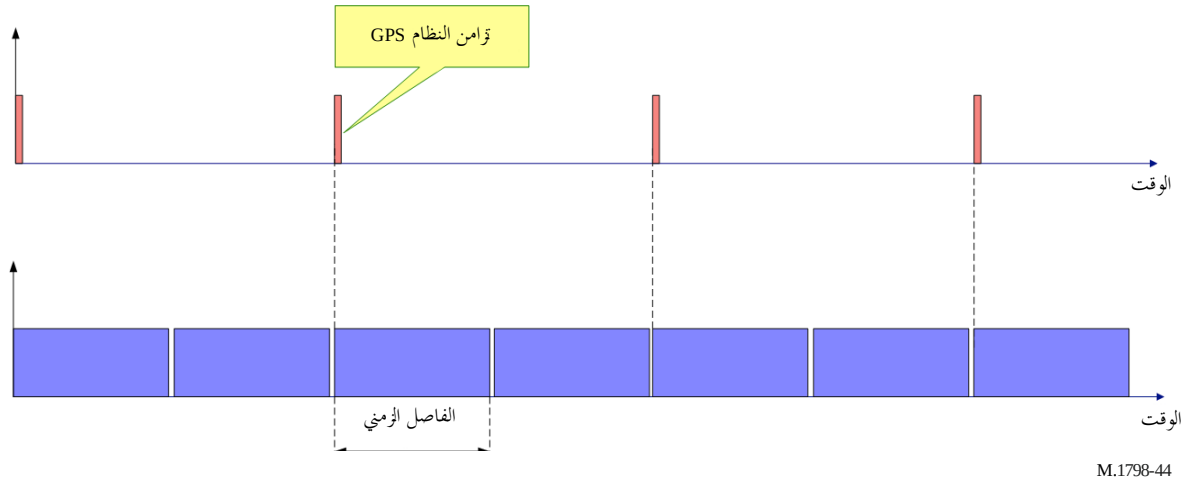
3.2.3.4 التزامن على إشارة النظام GPS

تقوم الطبقة الفرعية هذه بمزامنة الأرتال انطلاقا من إشارة النظام GPS؛ وهي المرجع الزمني لجميع المحطات المتنقلة والساحلية. ولهذا العرض، يُقسم هذا الوقت، المشترك بين جميع المحطات، إلى "فواصل زمنية" OFDM بطول الرتل.

ويمكن أن يُشغل أو ألا يشغل كل "فاصل زمني" برتل OFDM.

الشكل 44

التزامن على إشارة GPS



3.3.4 التحكم في النفاذ إلى الوسائط

تعرِّف هذه الطبقة الفرعية كل محطة ساحلية ومتنقلة. ويمكن أن يكون معرف الهوية هو الرقم المحدد حسب هويات الخدمة المتنقلة البحرية للسفينة أو المحطة الساحلية.

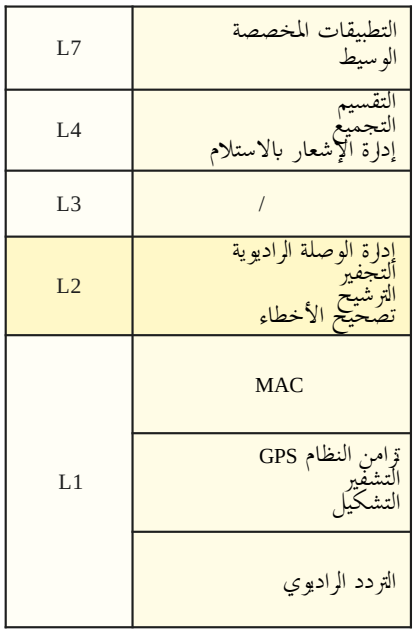
4.4 طبقة الوصلة (L2)

تتكون طبقة الوصلة مما يلي:

- طبقة فرعية تخص "تصحيح الأخطاء"؛
- طبقة فرعية تخص "الترشيح"؛
- طبقة فرعية تخص "التجفير"؛
- طبقة فرعية تخص "إدارة الوصلة الراديوية ".

الشكل 45

نموذج التوصيل البيني للأنظمة المفتوحة – طبقة الوصلة L2



1.4.4 تصحيح الأخطاء

يتوقف تصحيح الأخطاء على متانة التشفير المرغوب فيها.

وللاطلاع على وصف مفصل (انظر الفقرة 1.6).

2.4.4 الترشيح

تختلف هذه الطبقة الفرعية بالنسبة للمحطة الساحلية عنها بالنسبة للمحطة المتنقلة.

فبالنسبة للمحطة الساحلية:

- عند الإرسال، يُضاف معرف هوية إلى الرسائل المرسلة الموجهة إلى سفينة معينة.
- عند الاستقبال، يتم التحقق من أن الرسائل واردة من السفن المقصودة.

وبالنسبة للمحطة المتنقلة:

- عند الإرسال، يضاف معرف الهوية إلى الرسالة.
- عند الاستقبال، لا يُحتفظ إلا بالرسائل الموجهة إليها.

3.4.4 التجفير

يمكن تجفير البيانات من أجل ضمان سريتها.

4.4.4 إدارة الوصلة الراديوية

تولد هذه الطبقة الفرعية بروتوكول إدارة الوصلة الراديوية. وتقوم على اتصال من النمط قائد–منقاد.

والقائد هو المحطة الساحلية والمنقادون هم المحطات المتنقلة.

1.4.4.4 إدارة الوصلة الراديوية من جانب المحطة الساحلية

تكون المحطة الساحلية القائد:

- تدير أوامر الإرسال الموجهة إلى المحطات المتنقلة؛
- توجه رسائل إلى المحطات المتنقلة؛
- توجه الإشعارات بالاستلام.

وتكون قائمة المحطات المتنقلة الموجودة في الخلية الراديوية معروفة بشكل دائم بالنسبة للمحطة الساحلية.

وللاطلاع على وصف مفصل (انظر الفقرة 2.6).

2.4.4.4 إدارة الوصلة الراديوية من جانب محطة السفينة

تخصص المحطة الساحلية بانتظام فواصل زمنية فارغة لتمكين المحطة المنتقلة من الاتصال.

ويمكن أن يتغير الحيز بين الفواصل الزمنية المتاحة دينامياً وفقاً للحركة على قناة الإرسال الراديوي.

وتكون المحطة المتنقلة منقادة؛ ولا يمكن إرسال الرسائل إلى المحطة الساحلية إلا بطريقتين:

- إذا كان من الممكن وضع رسالتها في رتل واحد، فهي ترسلها كاملة في فاصل زمني متاح.
- وإذا لم يكن ذلك ممكنا، فهي ترسل طلب تخصيص فواصل زمنية لها في فاصل زمني متاح، وذلك مع بداية الرسالة؛ وترسل المحطة الساحلية إشعارا بالاستلام وتخصص الفواصل الزمنية التي سترسل فيها المحطة المتنقلة بقية الرسالة.

وتحتفظ طبقة الوصلة في الذاكرة بخريطة الفواصل الزمنية التي أرسلتها المحطة الساحلية من أجل معرفة الفواصل الزمنية المتاحة.

5.4 طبقة النقل (L4)

تتولى طبقة النقل الوظائف التالية:

- تقسيم الملفات الكبيرة إلى عدة رزم؛
- تجميع الرزم في ملف واحد؛
- إرسال واستقبال الإشعار بالاستلام.

الشكل 46

نموذج التوصيل البيني للأنظمة المفتوحة – طبقة النقل L4

L7	التطبيقات المخصصة الوسيط
L4	التقسيم التجميع إدارة الإشعار بالاستلام
L3	/
L2	إدارة الوصلة الراديوية التجفير الترشيح تصحيح الأخطاء
L1	MAC
	توامن النظام GPS التشفير التشكيل
	التردد الراديوي

M.1798-46

تتولى هذه الطبقة تقسيم الملفات إلى رزم ذات حجم يتناسب مع الطبقات الأدنى (حجم الرتل OFDM)، وتجميع الرزم ثانية في ملفات من أجل الطبقات الأعلى.

ويطبق على هذه الطبقة بروتوكولان للنقل يتعلقان بالوصلة عالية التردد:

- يوفر الأول توصيلاً "موثوقاً" ويدير التحقق من الاستقبال. ويُستعمل بالأساس من أجل البريد.
- لا يدير الثاني التحقق من الاستقبال؛ ويُستعمل للإذاعة والتتبع.

وبالنسبة لكل بروتوكول، يمكن إرسال ملف واحد في الوقت ذاته.

1.5.4 طبقة التطبيقات (L7)

الشكل 47

نموذج التوصيل البيني للأنظمة المفتوحة – طبقة التطبيقات L7

التطبيقات المخصصة الوسيط	L7
التقسيم التجميع إدارة الإشعار بالاستلام	L4
/	L3
إدارة الوصلة الراديوية التجفير الترشيح تصحيح الأخطاء	L2
MAC	L1
توامن النظام GPS التشفير التشكيل	
التردد الراديوي	

M.1798-47

تمنح طبقة التطبيقات هذه سطحاً بينياً للنفاذ للشبكة الراديوية.

ويمكن أن تكون السطوح البينية المتصلة للتطبيقات كما يلي:

- مكرسة للبروتوكول IPBC (تتبع السفن، التنبؤ بالأحوال الجوية، وغير ذلك)؛
- معيارية تستخدم وسيط مخصص (مثل البريد، بروتوكول نقل الملفات، وغير ذلك).

5 المبادئ الأساسية للطبقة L1 – تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد

1.5 مقدمة

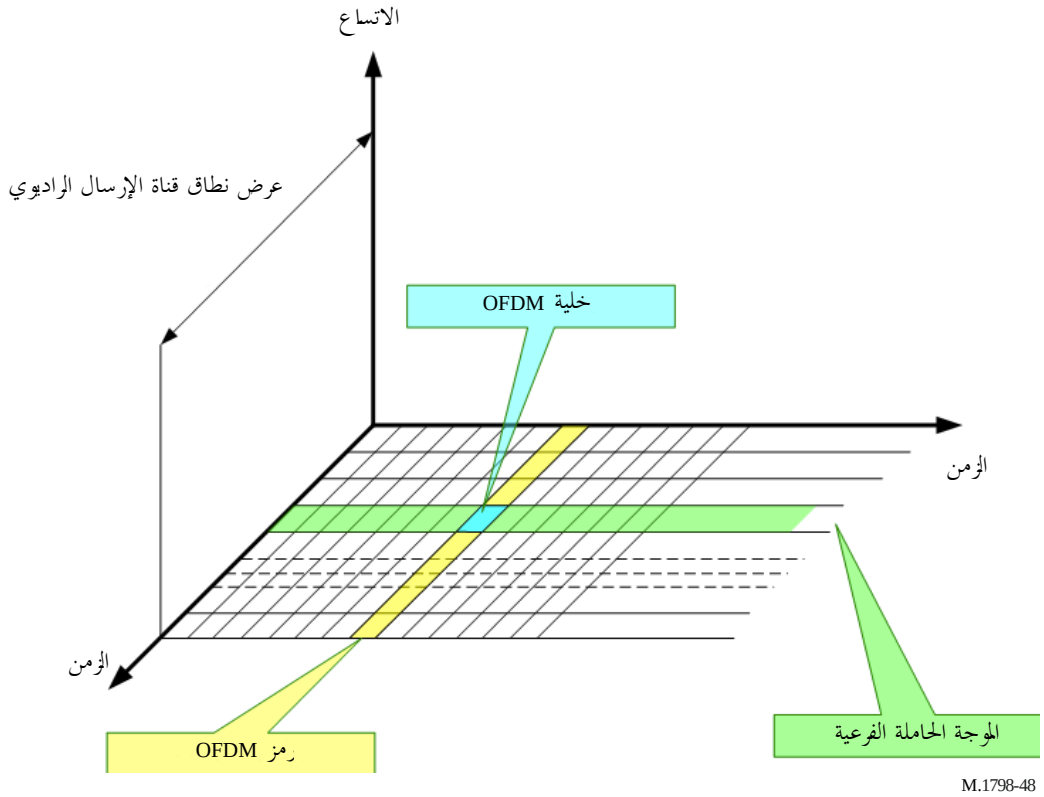
يُقسم عرض نطاق قناة الإرسال الراديوي في مجال التردد لتشكيل موجات حاملة فرعية.

ويُنظم شغل قناة الإرسال الراديوي في الزمن لتشكيل رموز التشكيل OFDM.

وتعادل أي خلية من خلايا التشكيل OFDM موجة حاملة فرعية في رمز من رموز التشكيل OFDM.

الشكل 48

إدخال تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد



2.5 المبادئ الأساسية

يستعمل تعدد الإرسال بالتقسيم التعامدي للتردد (OFDM) عددا كبيرا من الموجات الحاملة الفرعية المتعامدة وضئيلة التباعد من أجل الحصول على كفاءة طيفية عالية لإرسال البيانات. وتكون هذه الموجات الحاملة الفرعية ذات ترددات متباعدة ($F_u = 1/T_u$) حيث T_u هو مدة الرمز OFDM.

وتكون أطوار الموجات الحاملة الفرعية متعامدة بالنسبة لبعضها البعض من أجل تعزيز تنوع الإشارة الذي تسببه المسارات المتعددة، لا سيما على المسافات الطويلة.

ويتم إدخال فترة الحراسة (T_d) في الرمز OFDM للحد من تأثير المسارات المتعددة، وبالتالي الحد من التداخل بين الرموز.

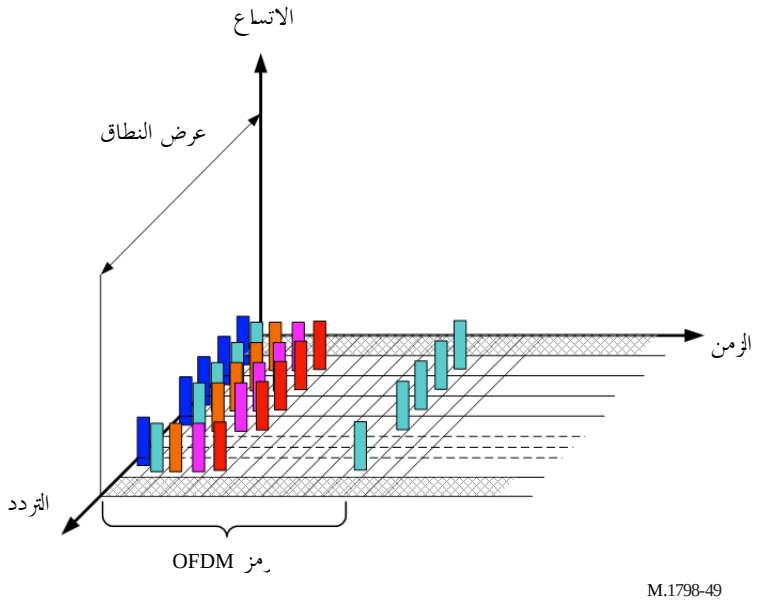
وتكون مدة الرمز OFDM كالتالي $T_d + T_u = T_s$.

وتكون رموز OFDM بالتالي متسلسلة لتكوّن رتلاً من أرتال OFDM.

وتكون مدة الرتل OFDM هي T_f.

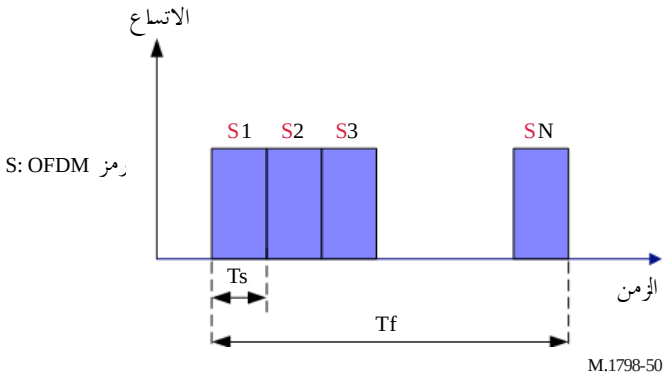
الشكل 49

التمثيل الطيفي لرتل من أرتال تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد



الشكل 50

التمثيل الزمني لرتل من أرتال تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد



3.5 التشكيل

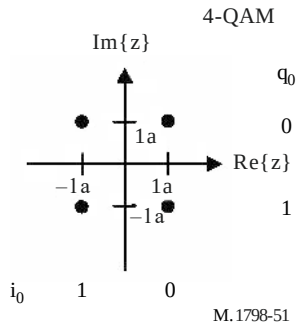
تشكَّل كل موجة حاملة فرعية من حيث الاتساع والطور (QAM: تشكيل اتساع تربيعي).

ويمكن أن تكون أنماط التشكيل إما 64 حالة (6 بتات، 64-QAM)، أو 16 حالة (4 بتات، 16-QAM) أو 4 حالات (بتتان، 4-QAM).

ويتوقف نمط التشكيل على متانة الإشارة المرغوب فيها.

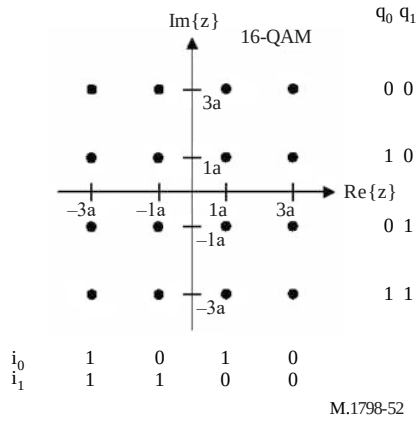
الشكل 51

كوكبة التشكيل التعامدي للاتساع – 4



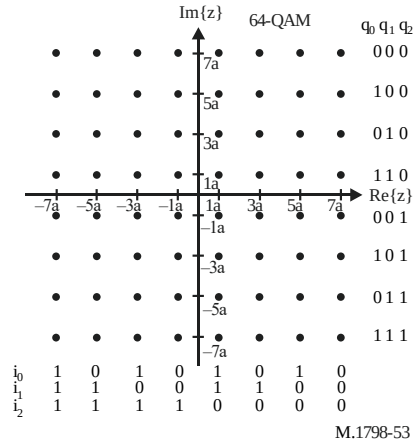
الشكل 52

كوكبة التشكيل التعامدي للاتساع – 16



الشكل 53

كوكبة التشكيل التعامدي للاتساع – 64



4.5 التزامن

من أجل السماح بإزالة تشكيل كل موجة حاملة فرعية على نحو جيد، لا بد من تحديد استجابة قناة الإرسال الراديوي لكل موجة حاملة فرعية وينبغي تطبيق عملية التعادل. ولهذا، يمكن أن تحمل بعض الموجات الحاملة الفرعية لرموز OFDM إشارات دليلية.

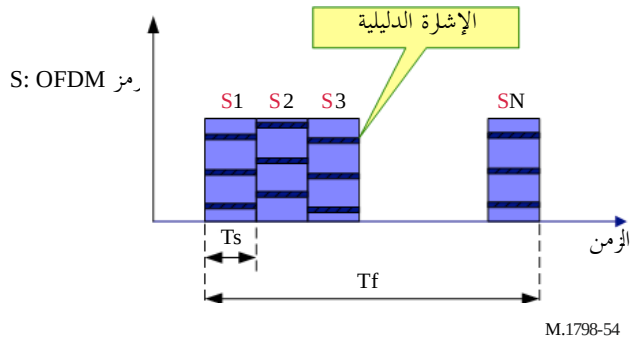
وتمكن الإشارات الدليلية المستقبل مما يلي:

- كشف ما إذا كانت الإشارة قد استُقبلت؛
- تقدير تخالف الترددات؛
- تقدير قناة الإرسال الراديوي.

ويتوقف عدد الإشارات الدليلية على المتانة المطلوبة للإشارة.

الشكل 54

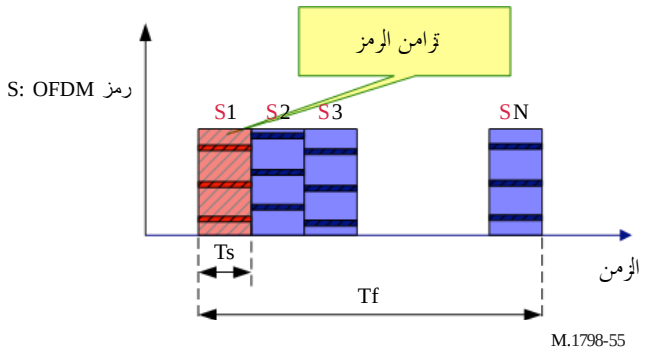
الإشارة الدليلية لتعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد



يكون الرمز الأول المرسل أحد رموز التزامن المعروفة وذلك لمزامنة كل رتل OFDM بالنسبة للزمن.

الشكل 55

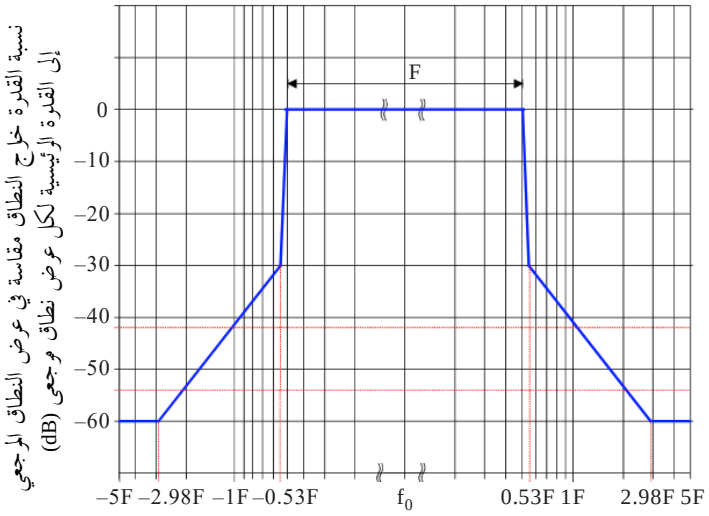
رمز التزامن



5.5 شغل إشارة عالية التردد للطيف

الشكل 56

شغل إشارة عالية التردد للطيف بعرض نطاق *F* = 10-20 kHz



6 المبادئ الأساسية لطبقة الوصلة (L2)

تتكون طبقة الوصلة مما يلي:

- طبقة فرعية تخص "تصحيح الأخطاء"؛
- طبقة فرعية تخص "التجفير"؛
- طبقة فرعية تخص "الترميز"؛
- طبقة فرعية تخص "إدارة الوصلة الراديوية ".

1.6 تصحيح الأخطاء

يتوقف مخطط تصحيح الأخطاء على متانة التشفير المرغوب فيها.

ويمكن أن تختلف الكفاءة ما بين 0,5 و0,75 (شفرة تربينية) حسب مخططات تصحيح الأخطاء وأنماط التشكيل.

الجدول 6

الكفاءة العامة مقابل تصحيح الأخطاء (دراسة التلسكوب الفضائي الأوروبي الكبير)

التشكيلة	كفاءة الشفرة الخارجية (إذا استعملت)	كفاءة الشفرة الداخلية (إذا استعملت)	الكفاءة بسبب التثقيب	كفاءة التشفير العالمي
رقم 1	RS(204,188) $\frac{188}{204}=\frac{47}{51}\approx 0.92$	غير مستعملة		$\frac{188}{204}=\frac{47}{51}\approx 0.92$
رقم 2 ورقم 3	RS(204,188) $\frac{188}{204}=\frac{47}{51}\approx 0.92$	شفرة تلافيفية NRSC (K=7) $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{47}{102}\approx 0.46$
			$\frac{2}{3}$	$\frac{94}{153}\approx 0.61$
			$\frac{3}{4}$	$\frac{141}{204}\approx 0.69$
			$\frac{5}{6}$	$\frac{235}{306}\approx 0.77$
			$\frac{7}{8}$	$\frac{329}{408}\approx 0.81$
رقم 4		شفرة تربينية (اثنينية مزدوجة) $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}=0.5$
			$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}=0.75$

2.6 إدارة الوصلة الراديوية من جانب المحطة الساحلية

تنفذ هذه الطبقة الفرعية بروتوكول إدارة الوصلة الراديوية. وترتكز على اتصال من النمط قائد–منقاد. وهناك قائد: المحطة الساحلية؛ ومنقاد أو عدة منقادين: المحطات المتنقلة.

ويشمل بروتوكول إدارة الوصلة الراديوية العمل بنظام الإرسال نصف المزدوج وتبديل الهوائي زمنياً بالنسبة للمحطة المتنقلة.

ويمكن أن تكون أي محطة ساحلية مجهزة بالعديد من المرسلات–المستقبلات من أجل إدارة العديد من قنوات الإرسال الراديوي.

وتكون المحطة الساحلية القائد، حيث:

- تدير أوامر الإرسال الموجهة إلى المحطات المتنقلة؛
- توجه رسائل إلى المحطات المتنقلة؛
- توجه الإشعارات بالاستلام.

وتكون لدى المحطة الساحلية دائما قائمة المحطات المتنقلة الموجودة في الخلية الراديوية، ويمكن السؤال عنها بشكل فردي في أي وقت من الأوقات.

وتتحقق المحطة الساحلية من الوصلة بإدراج وسم رأسية في كل رتل مرسل.

ويتكون وسم الرأسية مما يلي:

- خريطة "الفواصل الزمنية" التالية N من أجل إرسال المحطات المتنقلة؛

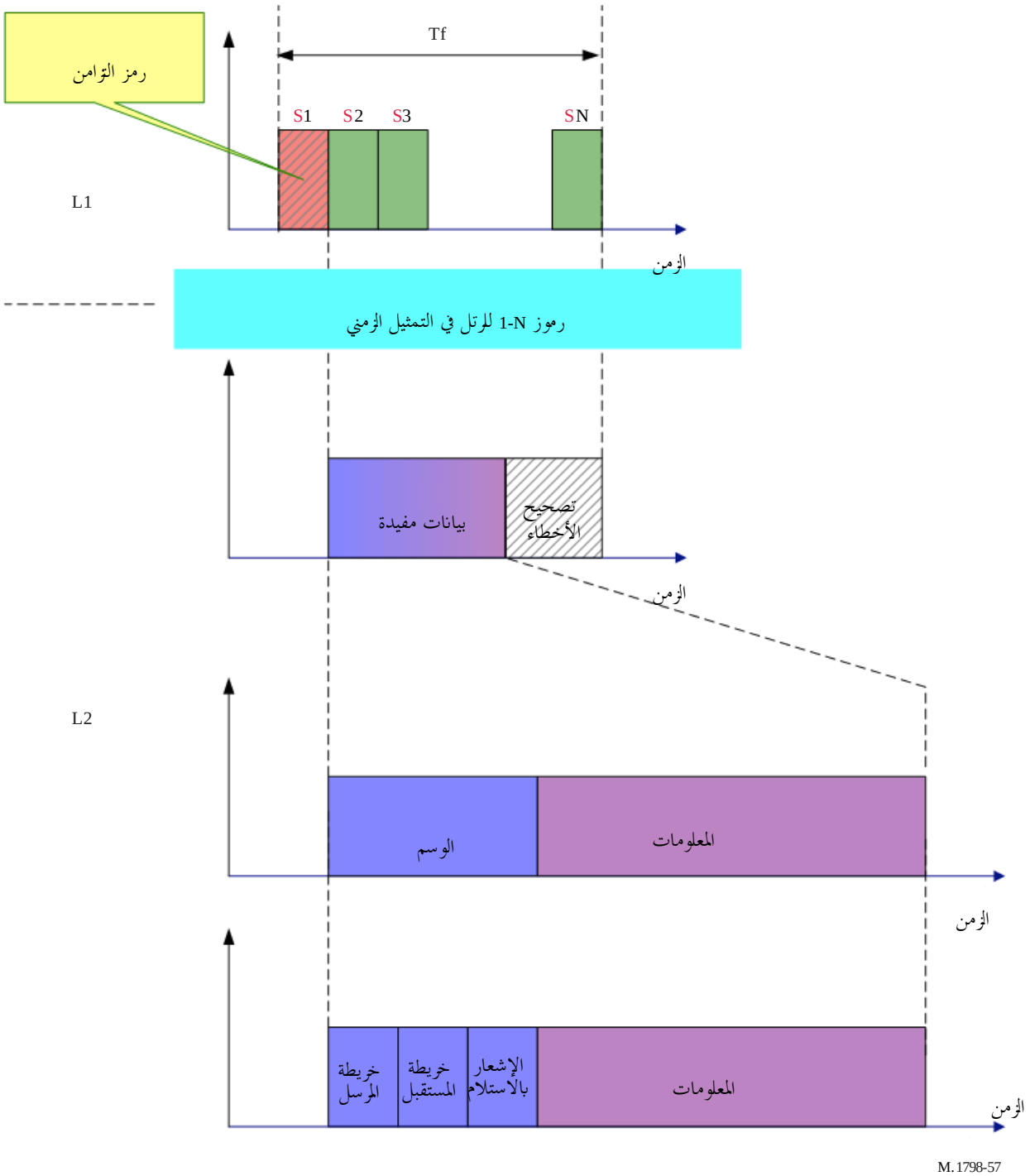
– خريطة "الفواصل الزمنية" التالية N الموجهة إلى استقبال المحطات المتنقلة؛

– آخر إشعار بالاستلام M.

ويمكن تعديل المعلمتين N وM دينامياً حسب كمية المحطات المتنقلة التي تستعمل قناة معينة للإرسال الراديوي.

الشكل 57

ملخص رتل تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد على مستوى الطبقتين L1 وL2

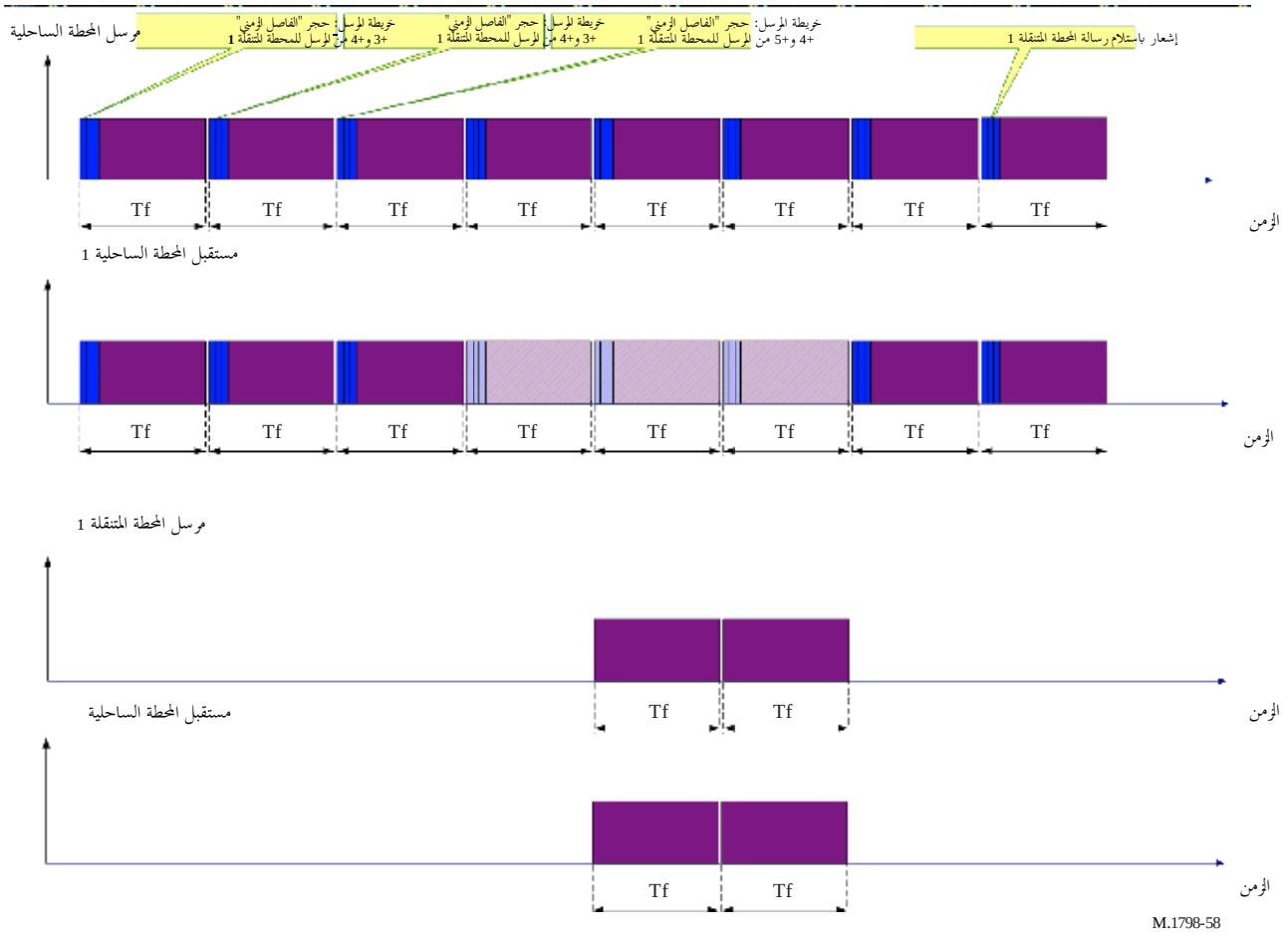


M.1798-57

3.6 رسم توضيحي زمني لإدارة الوصلة الراديوية

الشكل 58

رسم توضيحي زمني لإدارة الوصلة الراديوية



7 أساس التجارب

خُطط مجال الاختبار في الوقت الفعلي للفترة 2008-2009.

ويكون الرمز OFDM أحد المضاعفات لوقت أولي T يبلغ 83 µs.

ويمكن للنظام IPBC توفير عدة أساليب للحماية حسب متانة الإشارة المرغوب فيها وظروف الانتشار. ويرجى الاطلاع أدناه على الأسلوب المختار لتجريب انتشار الموجات الأرضية.

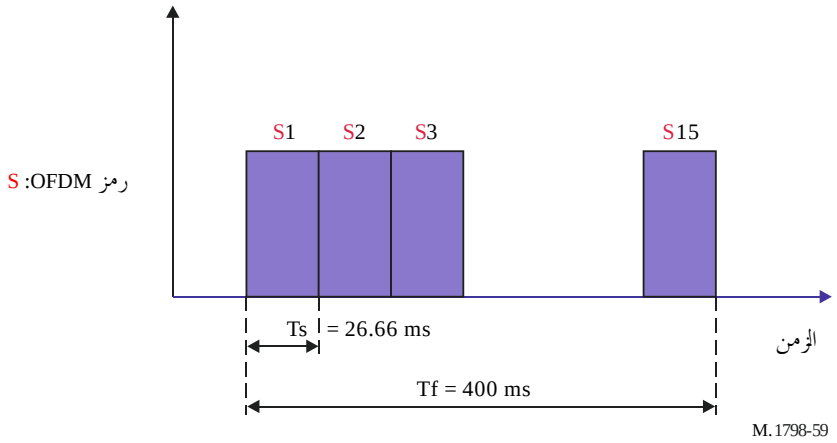
الجدول 7

ملخص المعلمات المميزة لتعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد

الوقت الأولي T (µs)	83
مدة الرمز المفيد T_u (ms)	$24 = T \times 288$
مدة فترة الحراسة T_g (ms)	$2{,}66 = T \times 32$
المدة الإجمالية للرموز T_s (ms)	26,66
مدة الرتل T_f (ms)	400
عدد الرموز/رتل	15

الشكل 59

توقيت تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد



والحيز بين الموجات الحاملة الفرعية هو $1/T_u$ = 41,66 Hz.

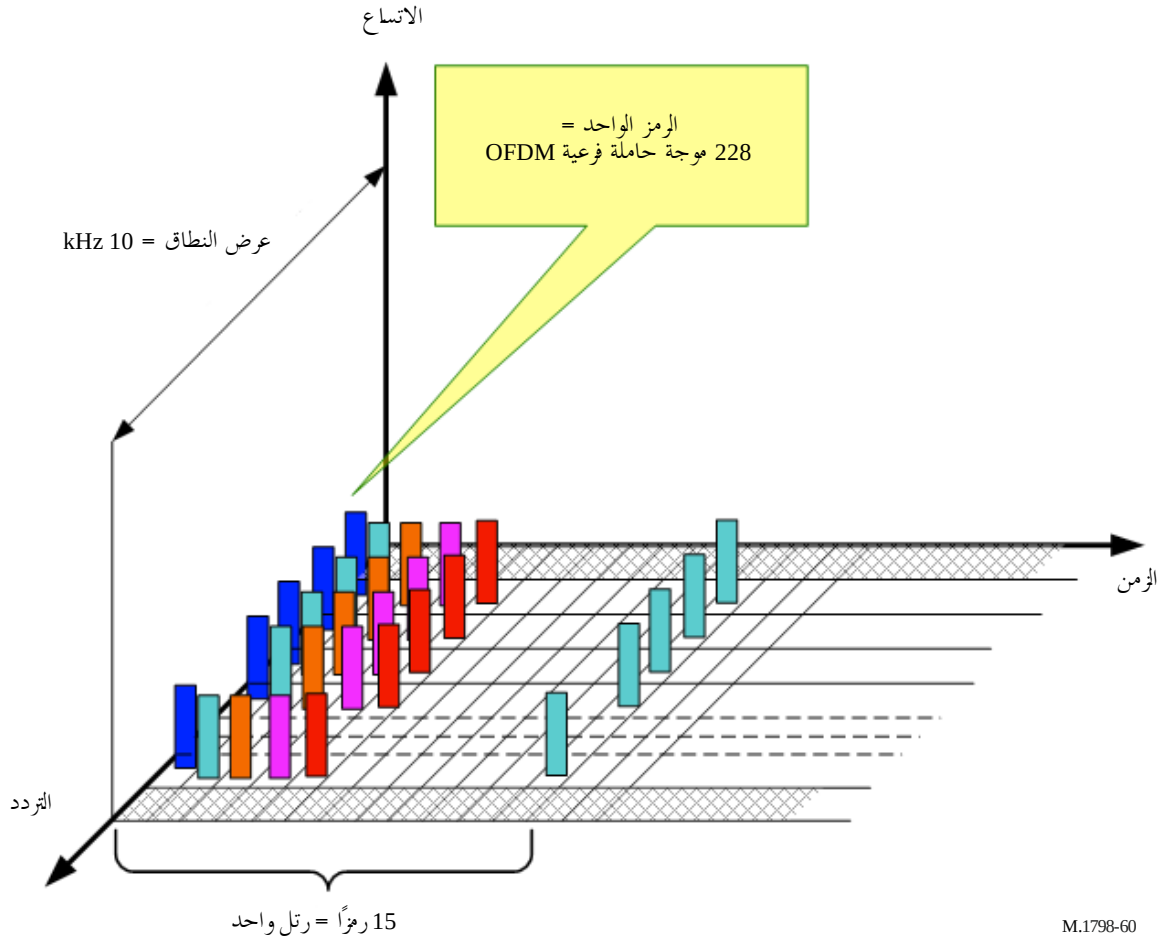
الجدول 8

عدد الموجات الحاملة الفرعية مقابل عرض النطاق

عرض النطاق (kHz)	عدد الموجات الحاملة الفرعية
10	228
20	460

الشكل 60

رسم بياني لعرض النطاق البالغ 10 kHz



يعادل رمز OFDM بضع بتات حسب التشكيل. ويتكون كل رمز من 228 موجة حاملة فرعية بالنسبة لعرض نطاق يبلغ 10 kHz.

وتشكَّل كل موجة حاملة فرعية بتشكيل اتساع تربيعي (QAM) ويمكن أن تقابل 6 أو 4 بتات أو بتتين بالنسبة لأنماط التشكيل QAM-64 وQAM-16 وQAM-4، على التوالي.

ونحصل على معدل بيانات القناة الراديوية من الجدول 9.

الجدول 9

معدل بيانات القناة مقابل التشكيل التعامدي للاتساع

نمط التشكيل QAM	البتات/الرمز	البتات/الرتل (400 ms)	البتات/ثانية
64	1 368	20 520	51 300
16	912	13 680	34 200
4	456	6 840	17 100

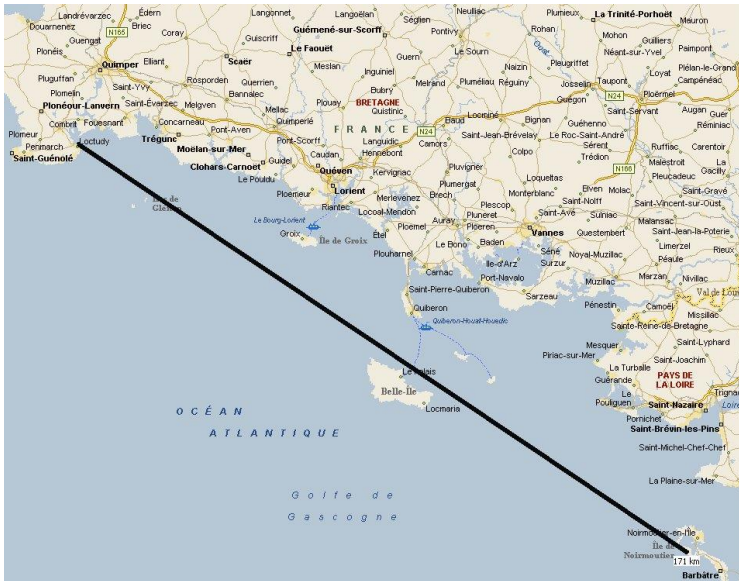
8 نتائج الاختبار الأول

1.8 حملة قياس الانتشار، انتقال الموجات الأرضية عبر البحر

في سنة 2007، قادت مدرسة الاتصالات في بريتاني (Telecom Bretagne) حملة لقياس الانتشار الفعلي على مسير أرض/بحر/أرض طوله 170 km من أجل التحقق من توهين القناة وعرض نطاق التماسك وغياب المسيرات المتعددة.

الشكل 61

عرض مرئي للقياس على الخريطة



M.1798-61

وبتزامن مع ذلك، سجل نظام راداري أيونوسفيري من طراز SCIPION النتائج في الوقت الفعلي.

وكانت الترددات المستعملة كالتالي:

- 4 177 kHz؛
- 6 270 kHz؛
- 8 385 kHz؛
- 12 495 kHz.

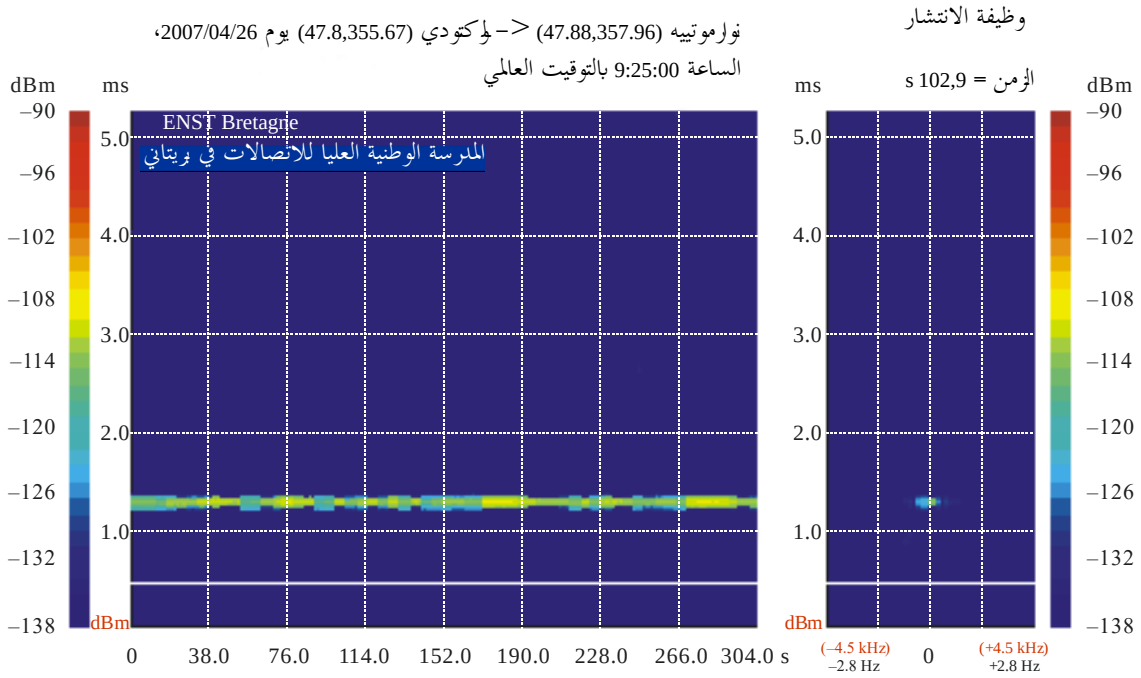
الاستنتاج:

- يطابق التوهين فيما يخص الموجات السطحية البحرية النتيجة النظرية (منشور الاتحاد الدولي للاتصالات)؛
- عرض نطاق التماسك: أكبر من 9 kHz؛
- تكون الموجات السماوية حاضرة من خلال الطبقتين E وF.

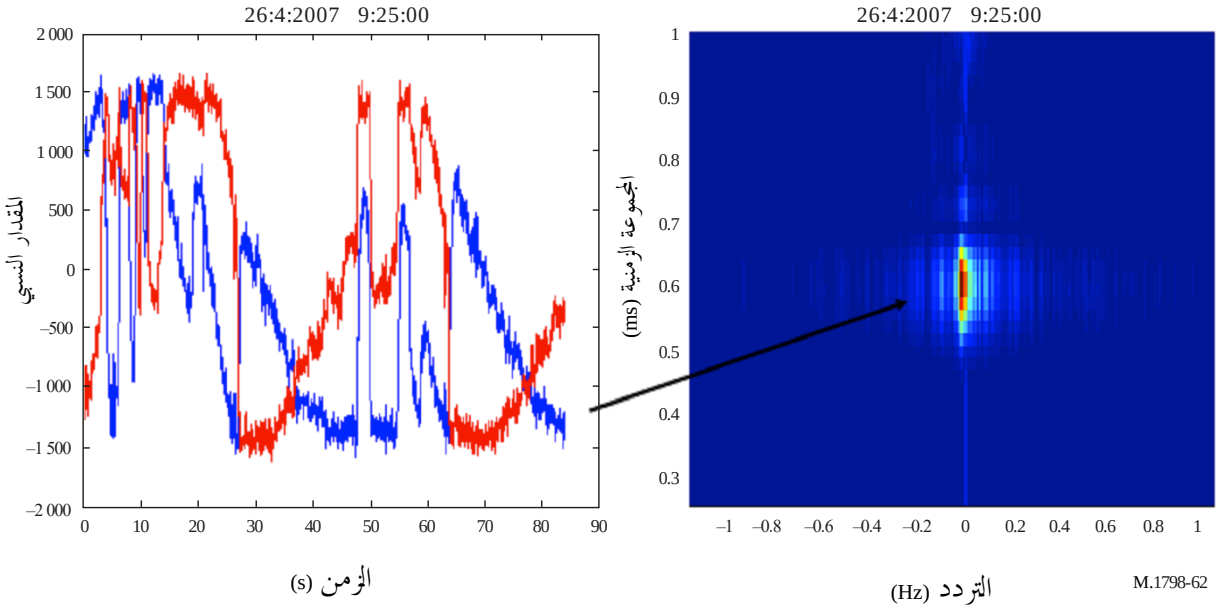
وتبين الأشكال التالية نتائج القياسات.

الشكل 62

استجابة قناة الإرسال الراديوي عند التردد F = 4,177 MHz



اختبار القناة على التردد الثابت، قياس من رادار سيبيون

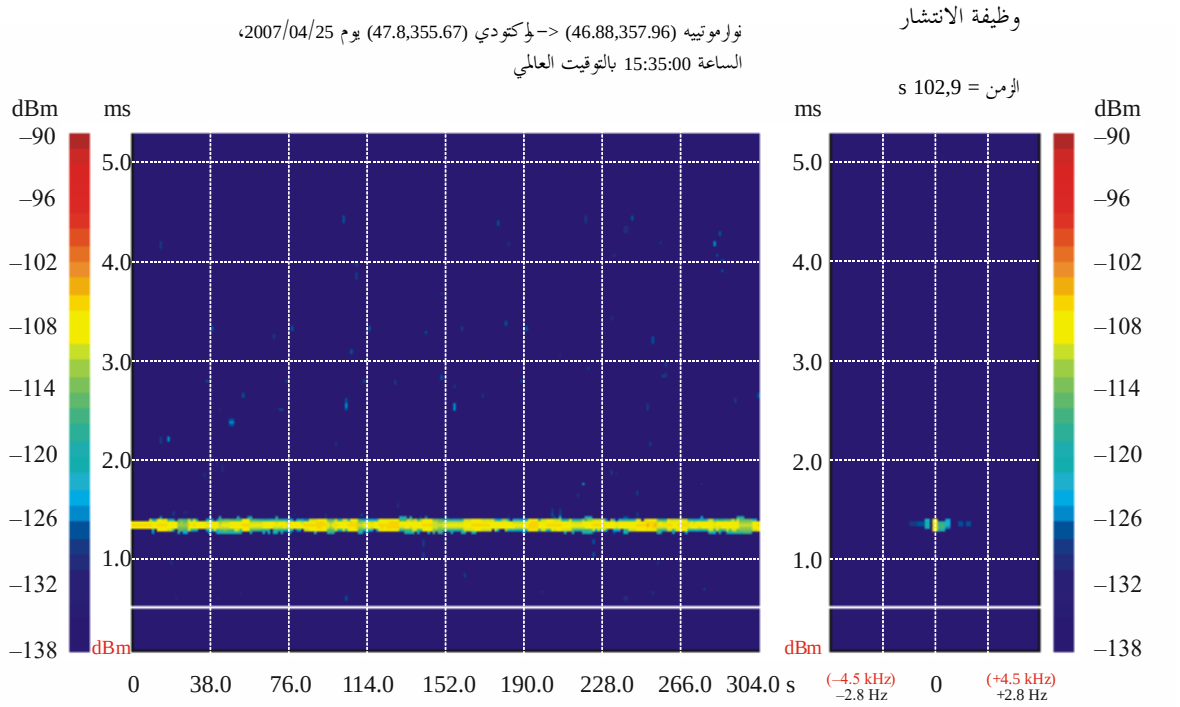


مراقبة الموجات الأرضية (القناتان I و Q) خلال 84 ثانية
الاستبانة: 40,96 ms

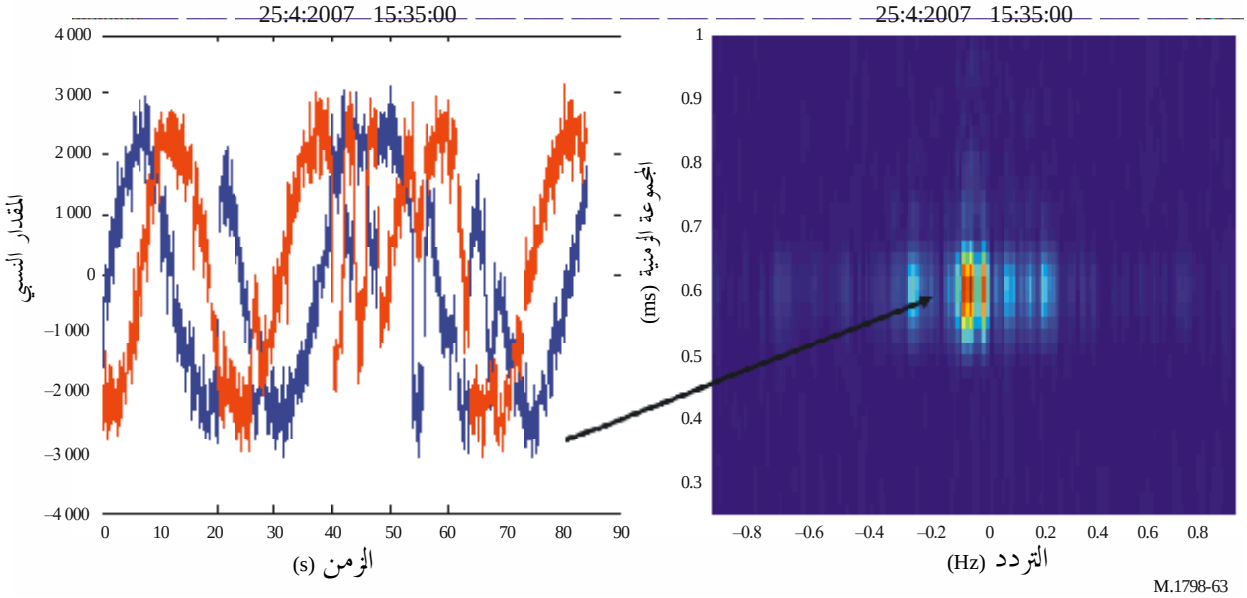
2 048 عينة طيفية
الاستبانة: 0,012 Hz

الشكل 63

استجابة قناة الإرسال الراديوي عند التردد *F* = 6,27 MHz



اختبار القناة على التردد الثابت، قياس من رادار سيبيون

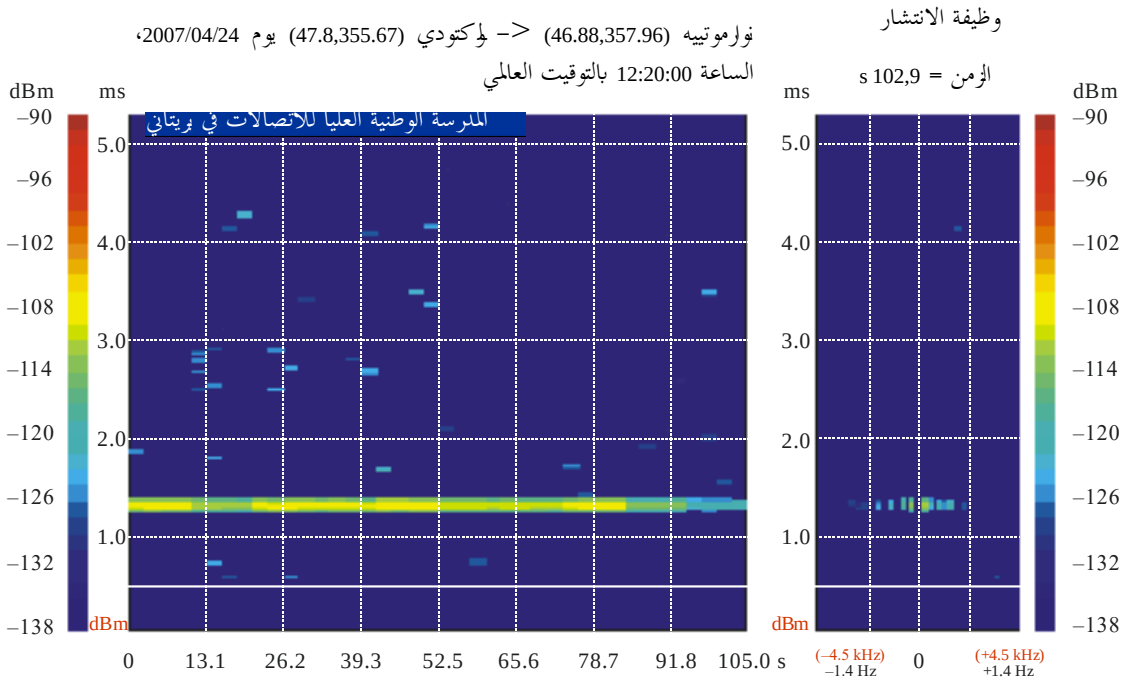


مراقبة الموجات الأرضية (القناتان I وQ) خلال 84 ثانية
الاستبانة: 40,96 ms

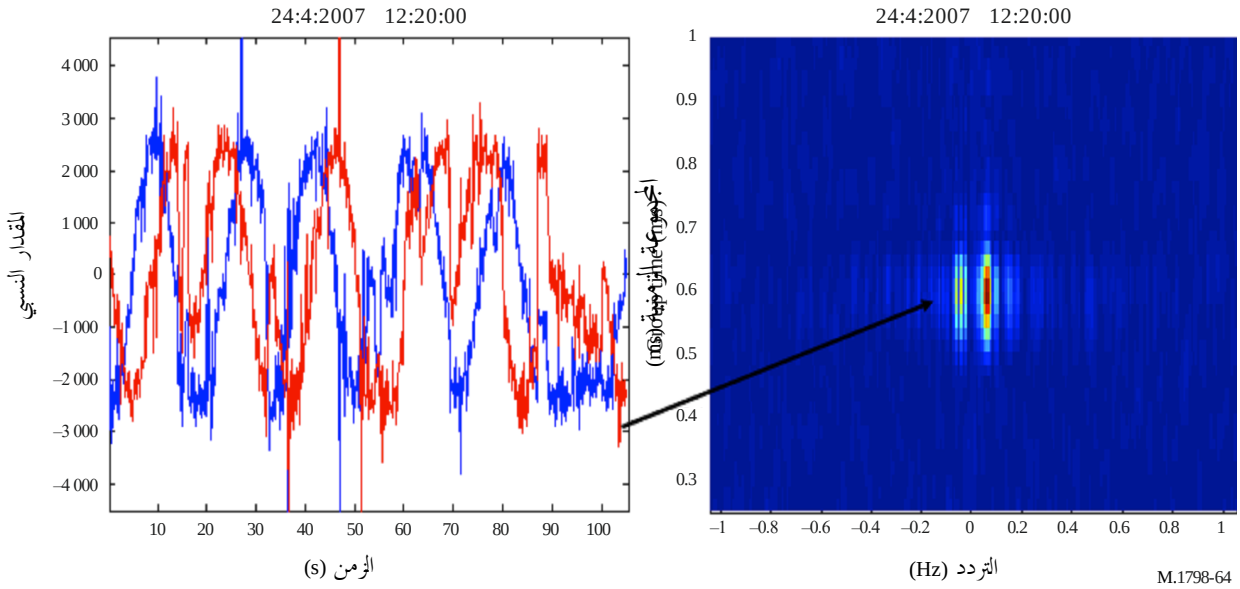
2 048 عينة طيفية
الاستبانة: 0,012 Hz

الشكل 64

استجابة قناة الإرسال الراديوي عند التردد *F* = 8,385 MHz



اختبار القناة على التردد الثابت، قياس من رادار سيبيون

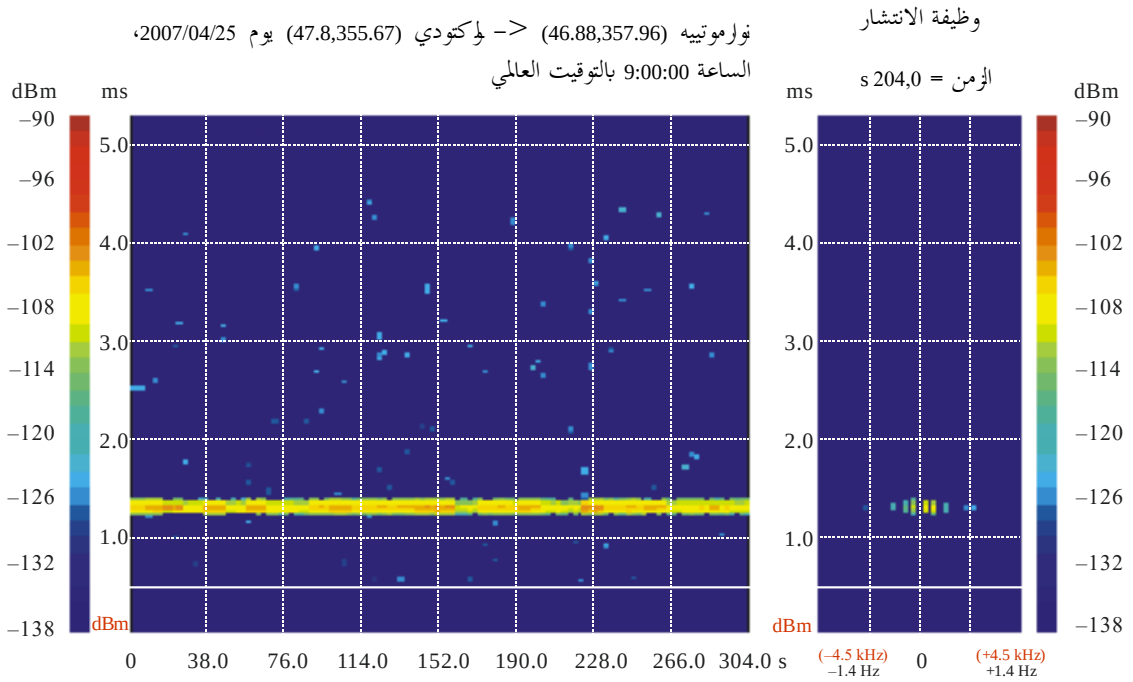


مراقبة الموجات الأرضية (القناتان I و Q) خلال 105 ثانية
الاستبانة: 81,95 ms

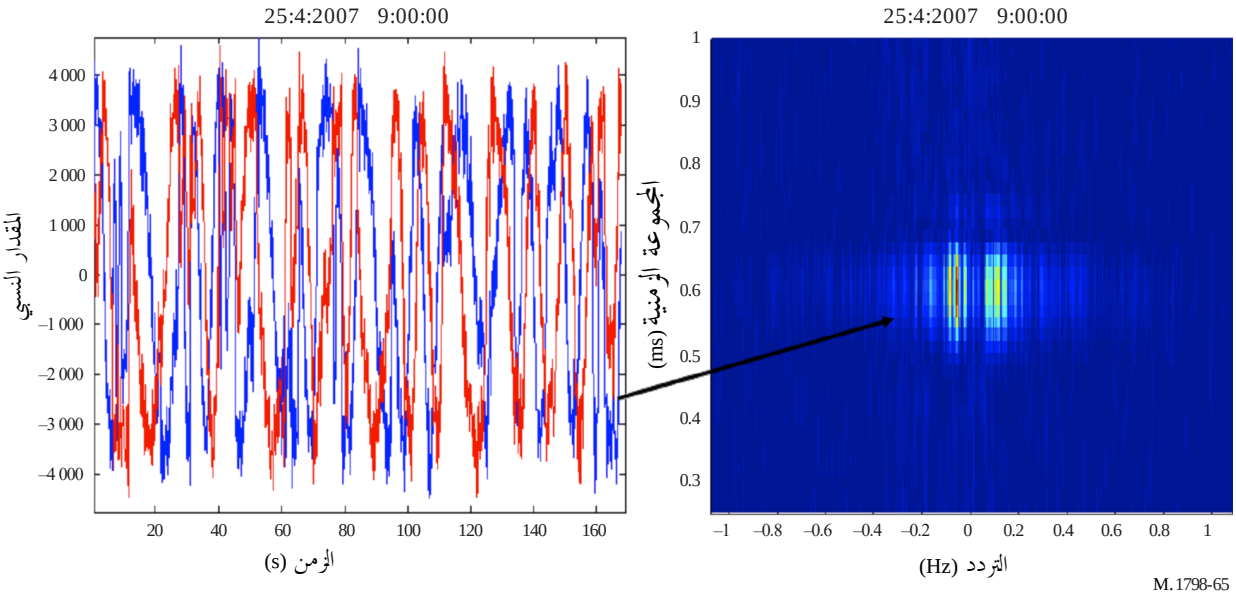
1 280 عينة طيفية
الاستبانة: 0,009 Hz

الشكل 65

استجابة قناة الإرسال الراديوي عند التردد *F* = 12,495 MHz



اختبار القناة على التردد الثابت، قياس من رادار سيبيون



مراقبة الموجات الأرضية (القناتان I و Q) خلال 167 ثانية
الاستبانة: 81,92 ms

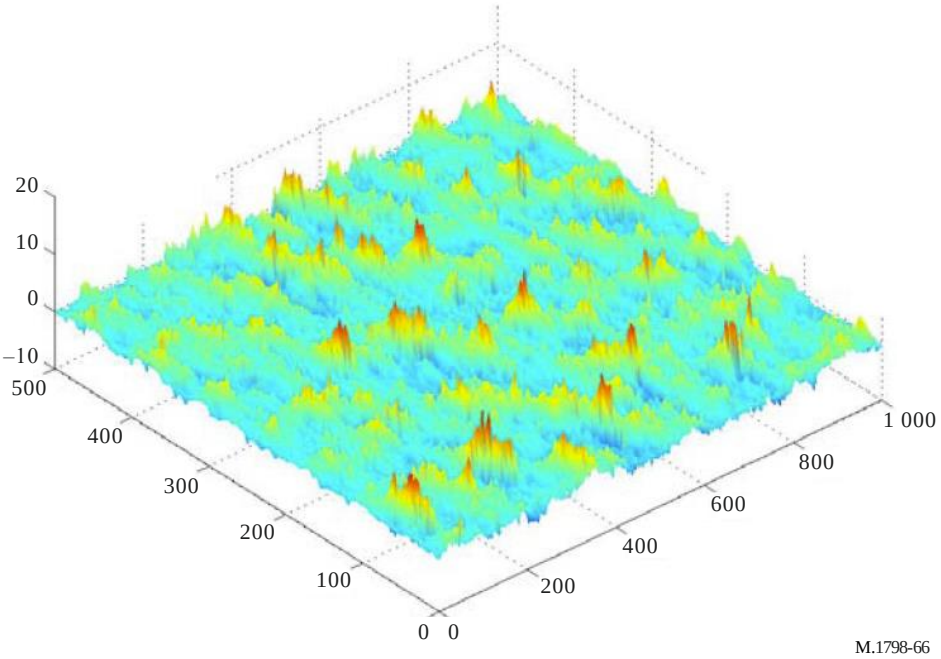
2 048 عينة طيفية
الاستبانة: 0,006 Hz

2.8 نمذجة القناة

وضعت دراسة نموذجاً لقناة إرسال راديوي عالية التردد من أجل انتشار الموجات الأرضية خلال الانتقال في الاتجاه أرض/بحر.

الشكل 66

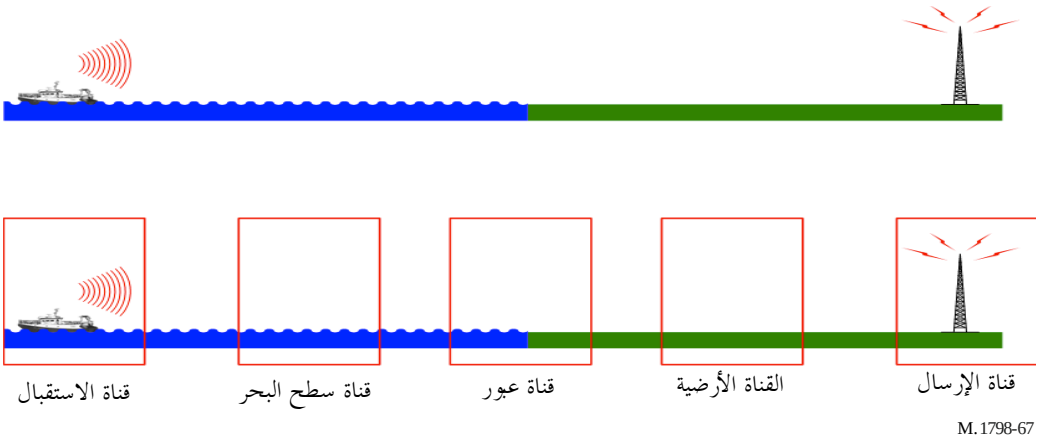
نموذج التموج



وضمت هذه الدراسة متجهِين للانتقال في المسير أرض/بحر/أرض وأخذت تأثير التموج بعين الاعتبار.

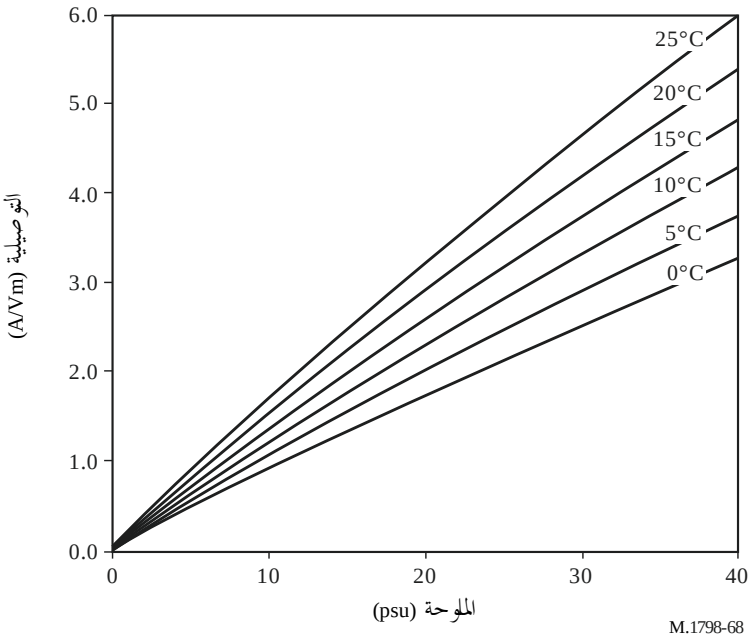
الشكل 67

تمثيل قناة الإرسال الراديوي في صورة قنوات فرعية نظرية



الشكل 68

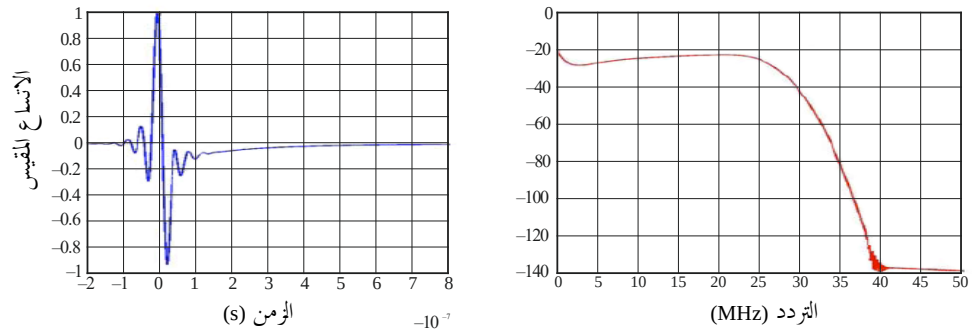
توصيلية البحر مقابل ملوحته عند قيم معينة الدرجات



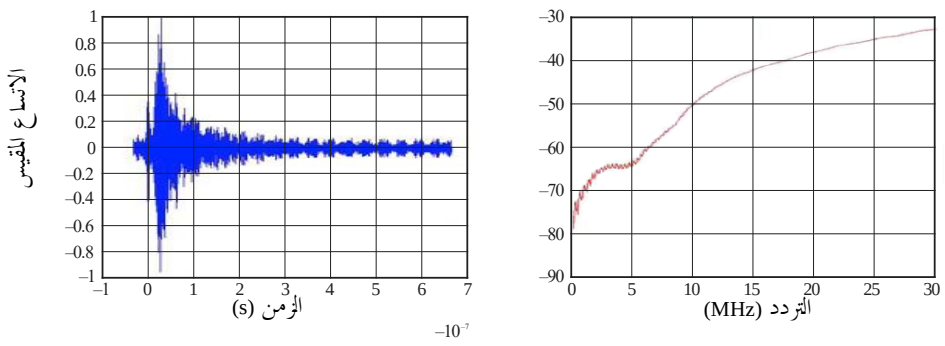
الشكل 69

الاستجابة النبضية للقناة الفرعية الأرضية

الإرسال



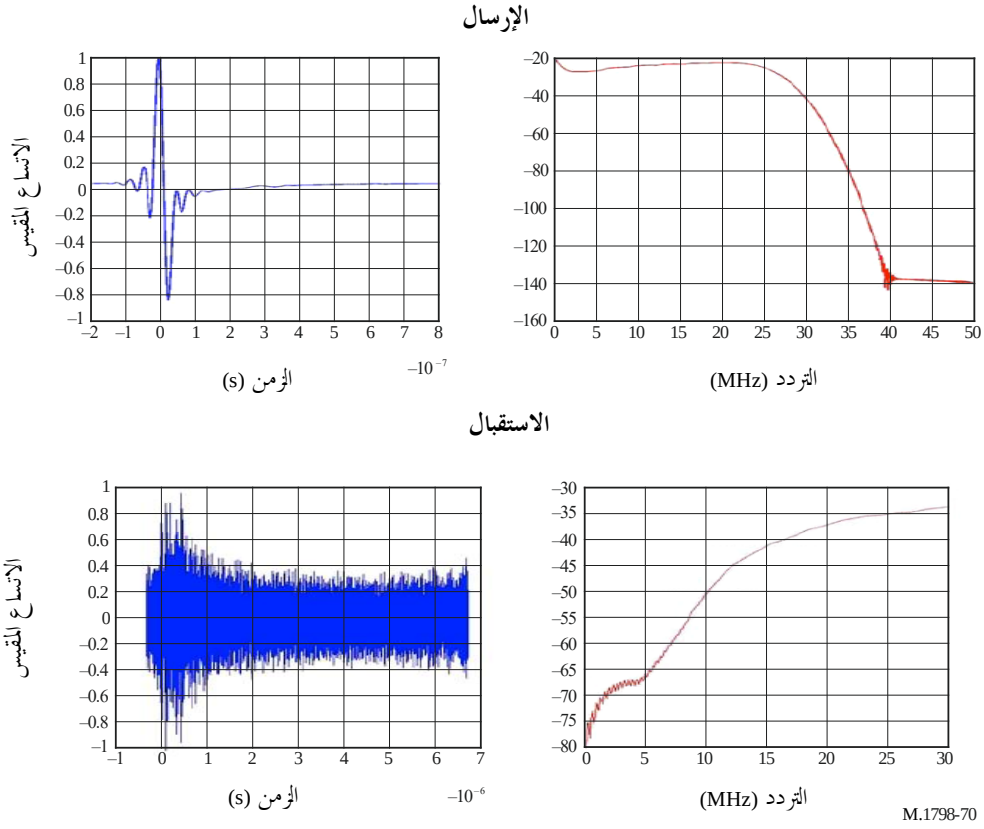
الاستقبال



M.1798-69

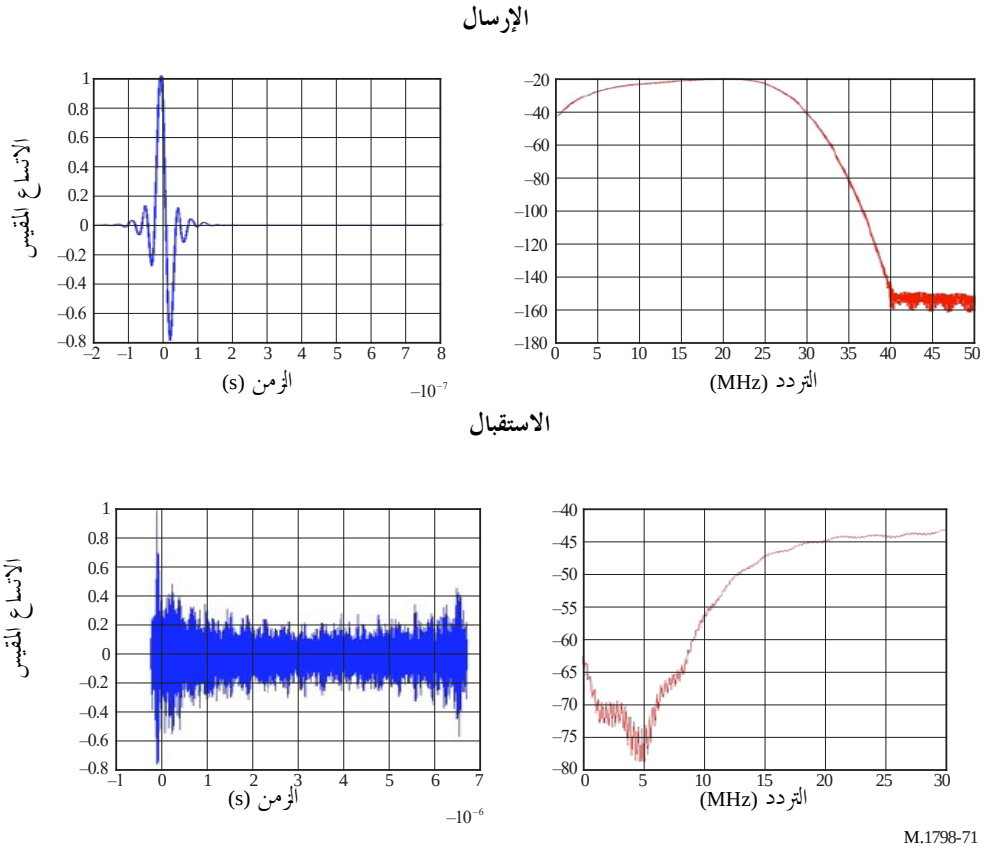
الشكل 70

الاستجابة النبضية لقناة العبور الفرعية



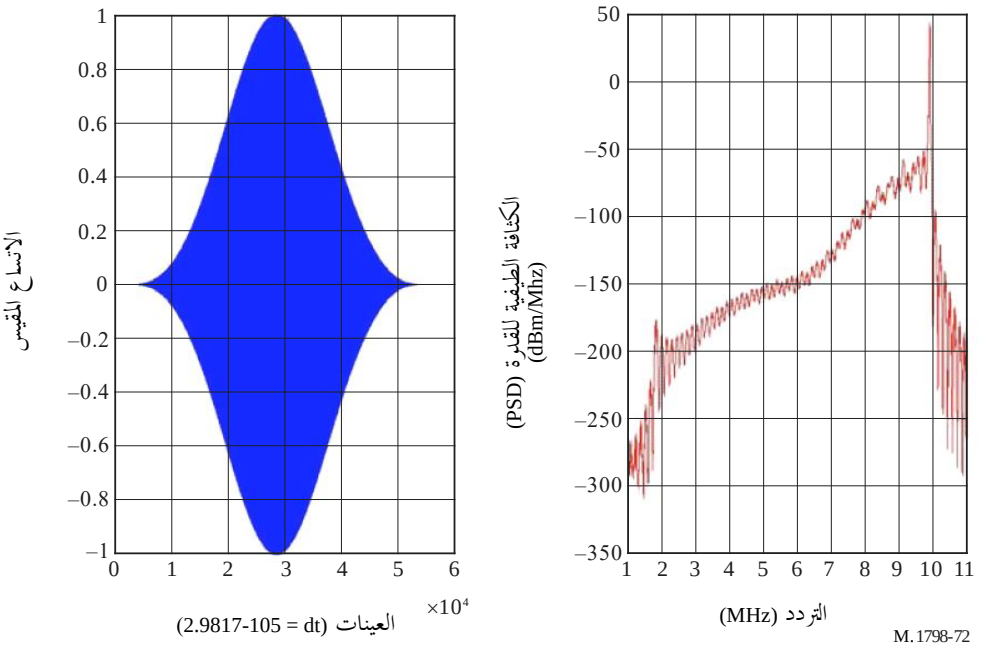
الشكل 71

الاستجابة النبضية من للقناة الفرعية البحرية



الشكل 72

الاستجابة النبضية للقناة الرئيسية من 2 إلى 10 MHz



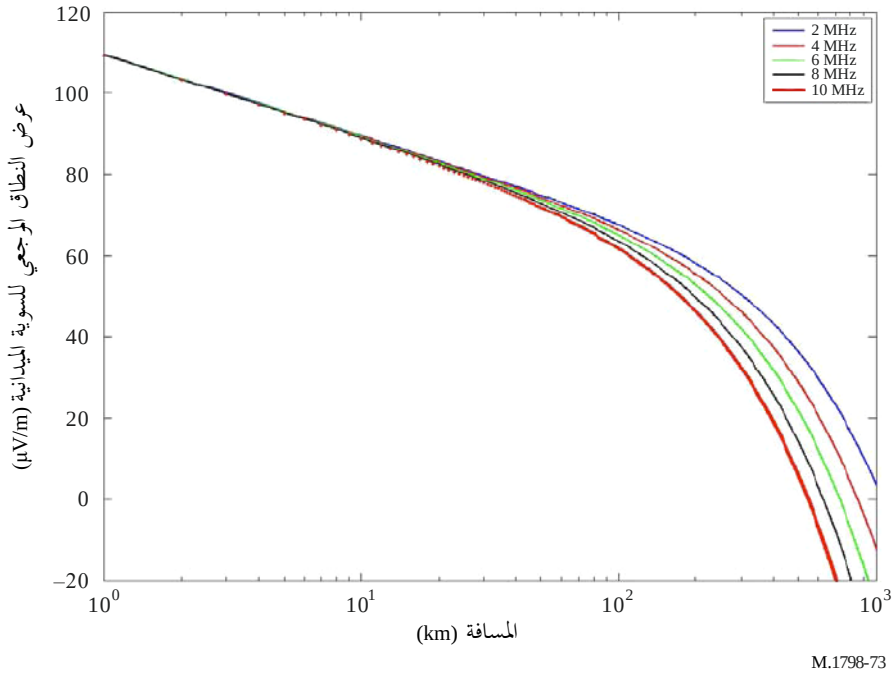
حساب مستوى شدة المجال، طريقة ميلينتون.

يمثل المعلمات التالية:

- متوسط ملوحة البحر: σ = 5 s/m، E = 70؛
- الاستقطاب الرأسي؛
- متوسط القدرة: 1 kW.

الشكل 73

مستوى شدة المجال مقابل المسافة



9 نتائج التجارب

خلال عام 2009، أجريت عدة تجارب على مكونات النظام IPBC:

- انتشار الموجات السطحية؛
- المرسل؛
- المستقبل.

وفيما يخص اختبارات عمليات إرسال البيانات:

كان موقع الإرسال في مدينة بريست (فرنسا).

وكان موقع الاستقبال/المراقبة في مدينة كويمبر (فرنسا).

وفيما يخص تحديد خصائص الموجات السطحية الراديوية:

جُهزت سفينتان من سفن صيد الأسماك بأجهزة للاختبار بهدف تأكيد المجموعة الأولى من القياسات لتحديد خصائص قناة الانتشار بالنسبة للموجات السطحية من حيث:

- فقدان مسير القناة؛

- نطاق التماسك؛
- وجود أو غياب مسارات متعددة (وجود موجات سماوية)؛
- قابلية القناة للتغير.

وجُهزت سفينة لصيد الأسماك طولها 25 m بنظام Scipion (مسبار أيونوسفيري للموجات الراديوية قامت بتطويره مدرسة Telecom Bretagne في فرنسا) تم توصيله بهوائي سوطي رأسي طوله 7,5 m.

واستعمل الترددان التاليان:

- 8 240 kHz؛
- 4 080 kHz.

وجرى التشكيل بنظام الإبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة (BPSK)، وكانت قدرة التردد الراديوي 20 W.

وكانت الإرسالات أوتوماتية بتتابع بلغ 1 mn في كل ربع ساعة أو نصف ساعة.

واستُعمل نظام استقبال GPS من أجل تزامن الوقت وتتبع الموقع.

الشكل 74

الصور الداخلية والخارجية للأجهزة الموجودة على متن السفينة

M.1798-74

تم تثبيت ثلاثة أنظمة للاستقبال:

- الأول في رأس كورسن (بريتاني/فرنسا) بجوار البحر مباشرة. وكان الهوائي المستعمل هوائياً سوطياً.
- النظام الثاني في مبنى مدرسة Telecom Bretagne قرب بريست. وكان الهوائي المستعمل هوائياً طوقياً.
- استعمل الموقع الثالث قرب كويمبر (هو نفسه الذي استعمل من أجل اختبارات إرسال البيانات) في المراقبة باستخدام هوائي رأسي وهوائي طوقي مغناطيسي.

الشكل 75

صور للموقع وهوائي الاستقبال في كورسن

M.1798-75

وتم تنشيط نظام الإرسال عندما غادرت السفينة الميناء وكان من الممكن، باستمرار، لربان السفينة أن يبطل نظام الإرسال في حالة العطب أو أي خلل.

1.9 النتائج وشرحها

آثار المسافة بين المرسل والمستقبل على مستوى شدة المجال المستقبلة بالنسبة لمسير بحري:

يبين الشكل التالي تطور سوية استقبال الإشارة المسجل عند موقع كورسن، عندما كانت السفينة على مسافة من 192 إلى 240 km.

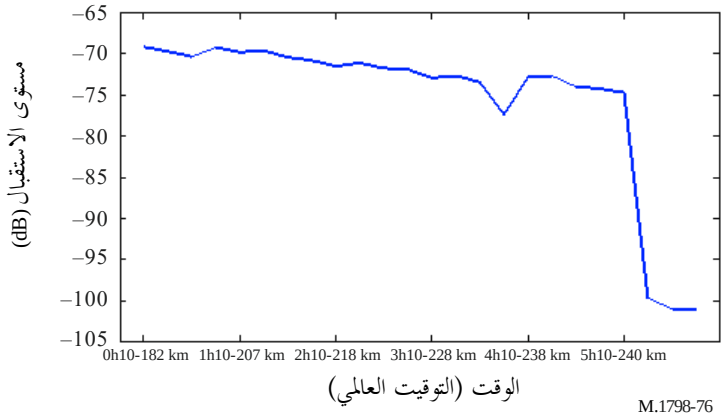
ويسمح التغاير شبه الخطي بتقدير تغاير القدرة المستقبلة حسب المسافة.

ويمكن تفسير الانخفاض الملحوظ في القدرة على مسافة 236 km بعمليات السفينة.

وتم إبطال المرسل على مسافة 240 km.

الشكل 76

تطور مستوى الاستقبال في كورسن يوم 13 مايو 2009 من الساعة 00:10 إلى الساعة 05:50 على مسافة من 192 km إلى 240 km



M.1798-76

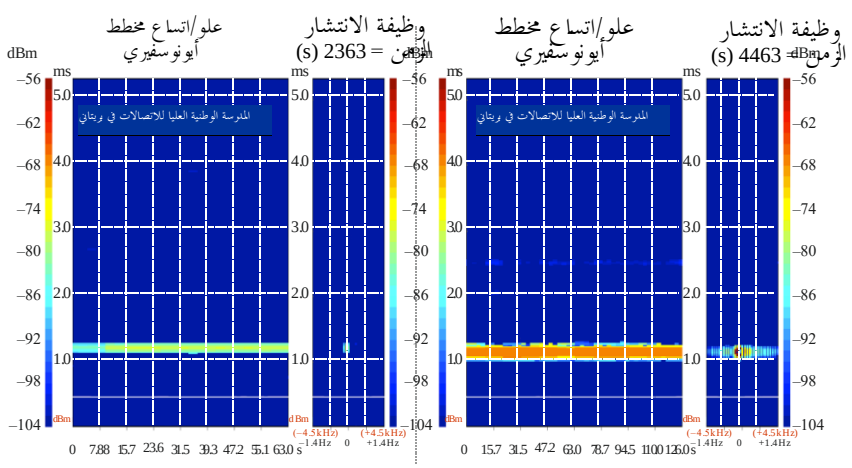
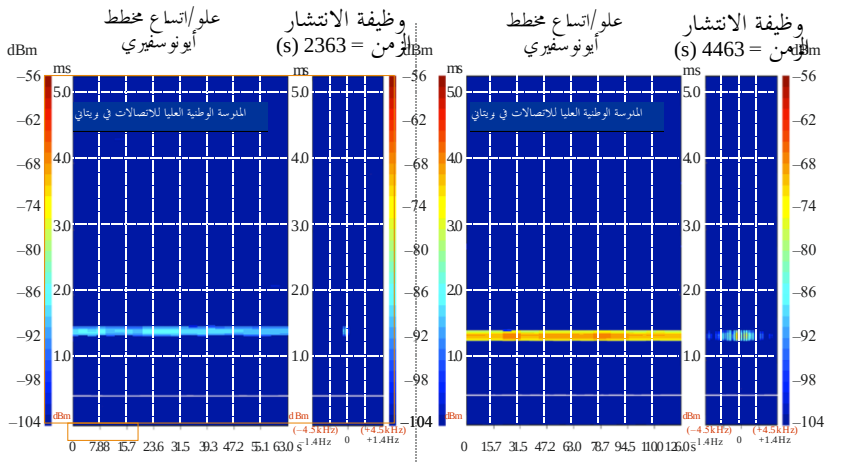
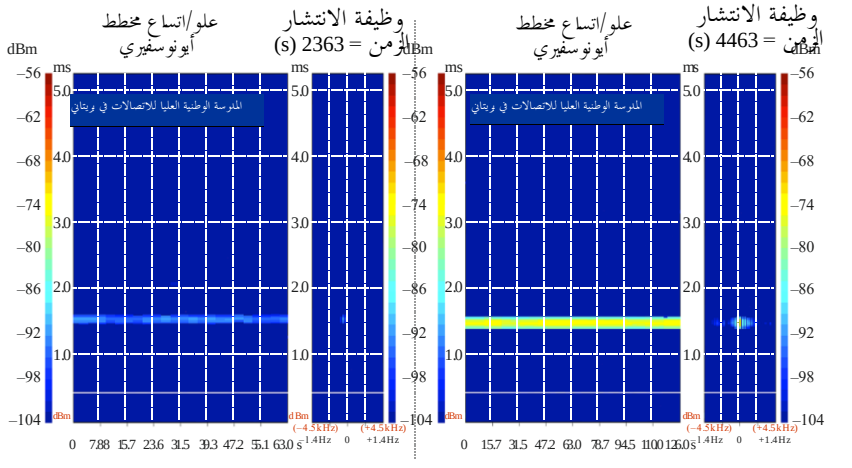
ويبين الشكل 77 تطور قدرة الإشارات المسجلة على موقع بريست على اليسار (الهوائي الطوقي) وموقع كورسن على اليمين (الهوائي السوطي القريب من البحر).

ويظهر بوضوح التغاير في المستوى مع تغير المسافة.

وتختلف هذه التغايرات بسبب نوع الهوائي المستعمل والمسير الأرضي للموقع انطلاقاً من بريست.

الشكل 77

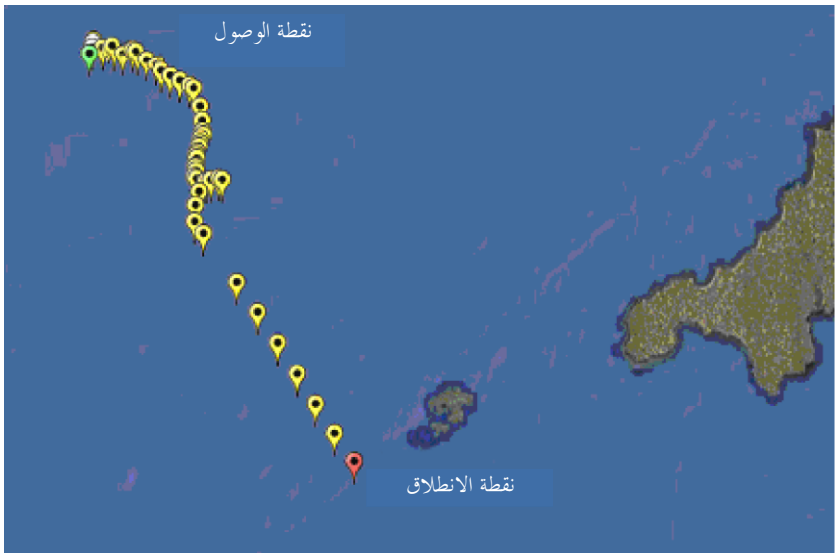
تتابع تسجيلات الإشارة المستقبلة في بريست وكورسن

بريست f = 8.240 MHz كورسن	
	12 مايو، الساعة 20:10 المسافة: 126 km
	13 مايو، الساعة 0:10 المسافة الخارجية: 192 km
	13 مايو، الساعة 5:10 المسافة: 238 km

M.1798-77

الشكل 78

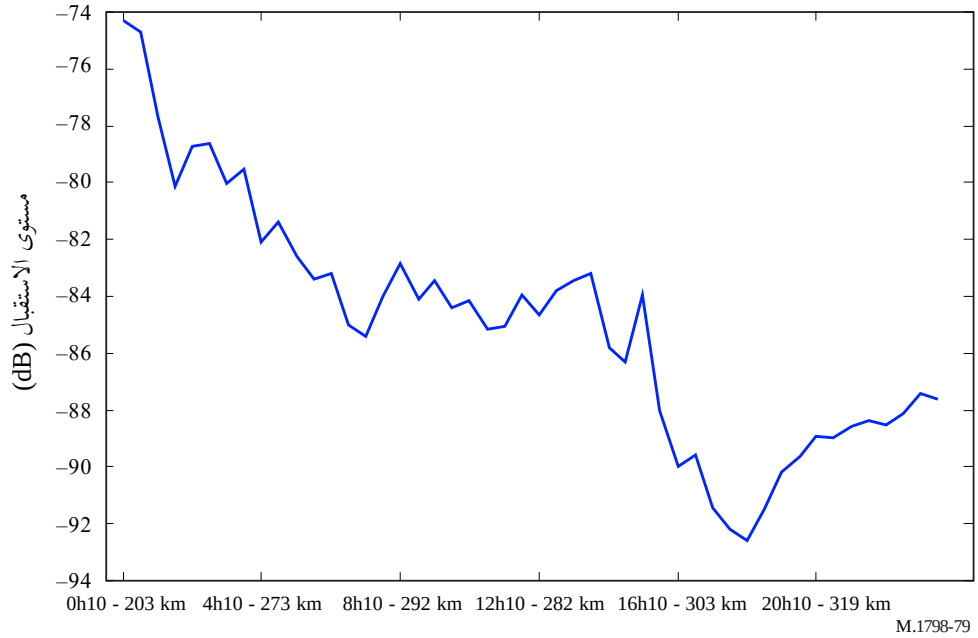
الطريق الذي اتبعه مركب الصيد يوم 11 يوليو 2009
المسافة تتراوح بين 205 km و327 km



كما يظهر في الشكل 79 التغاير الخطي لمستوى الاستقبال حسب المسافة الذي يقابل الطريق المرسوم في الشكل 78.

الشكل 79

تطور مستوى الاستقبال في كورسن يوم 11 يوليو 2009



2.9 تأثير السير على مسير مختلط بري/بحري

على الشكلين 80 و81، تقابل النقاط الأربع الأولى مسافات متساوية تقريبا بين المرسل والمستقبل (km 2±). ومع ذلك، يبلغ التغاير في المستوى المستقبل بين هذه النقاط حوالي dB 25.

ويُفسَّر هذا بالانتقال بين الموجات الأرضية والموجات البحرية وتأثير محتمل لأثر القناع الجزئي بسبب القرب من الساحل.

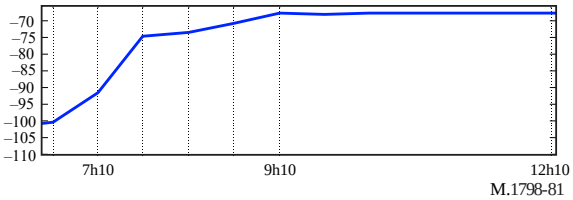
الشكل 80

الطريق الذي اتبعه مركب الصيد يوم 10 يوليو 2009
بين الساعة 6:40 والساعة 12:10

M.1798-80

الشكل 81

تطور مستوى الاستقبال في كورسن يوم 10 يوليو 2009



M.1798-81

ويعرض الشكلان 82 و83 مثالاً يبلغ فيه الفارق في مستوى الاستقبال بين الموقعين حوالي dB 25.

ويُبرَّر هذا الفارق في الأساس المسير البري الذي يبلغ طوله km 25 بالنسبة لموقع بريست.

الشكل 82

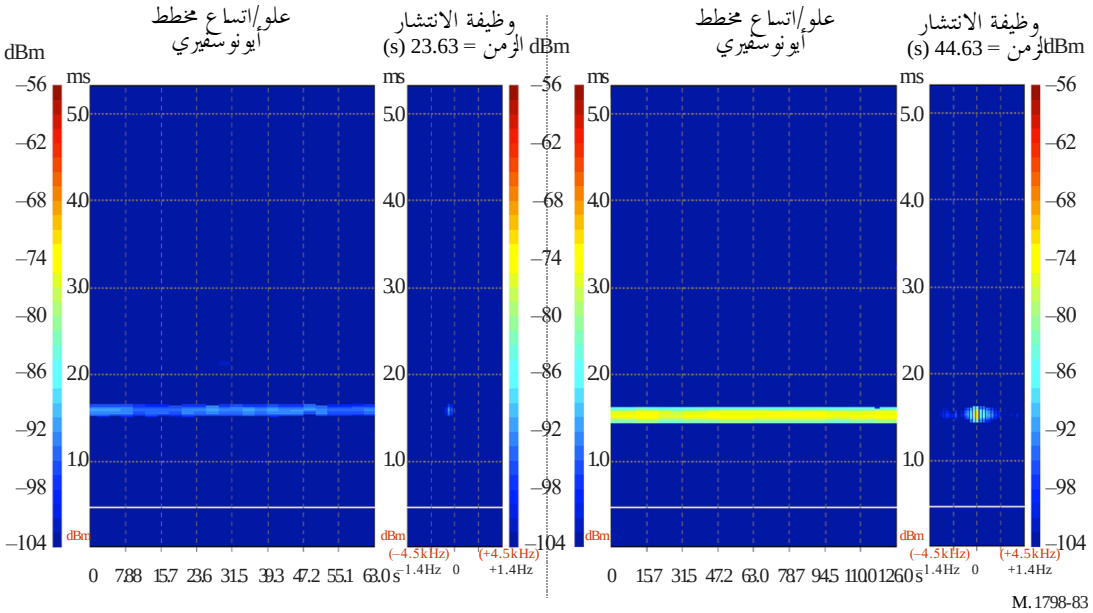
موقع مركب الصيد يوم 13 مايو 2009 عند الساعة 05:10

M.1798-82

الشكل 83

تسجيل للإشارة المستقبلة في بريست على اليسار وفي كورسن على اليمين

يوم 13 مايو 2009 عند الساعة 05:10



M.1798-83

وأثبتت تحاليل أخرى تأثير الهوائي على انتقائية المسير المستقبل.

وتكون الموجات السماوية ذات أهمية أكبر في بريست عنها في كورسن.

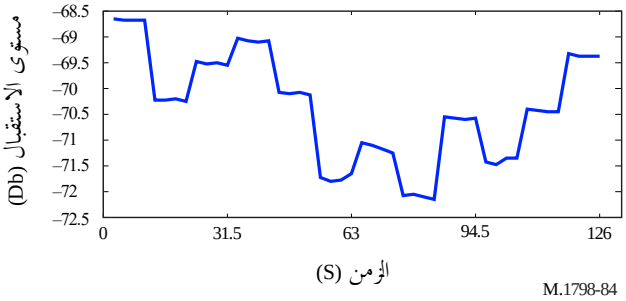
وفي كورسن يسمح زمن المجموعة بتمييز الموجات البحرية (1,8 ms) عن الموجات السماوية التي زمنها أكبر من 2 ms.

وبالتالي سيراعي تطابق ونشر المسيرات المتنوعة بسبب الموجات البحرية والموجات السماوية خصائص المستقبلات وهوائيات الاستقبال.

وتقدم الأشكال التالية مؤشرات عن التغايرات بين مستويات الإشارة المستقبلة فيما يخص حالات تقدم السفينة على مدى فترات قصيرة إلى جانب اتجاهات السفينة وحالة البحر.

الشكل 84

تطور مستوى الاستقبال في كورسن يوم 13 مايو 2009 من الساعة 00:40 إلى الساعة 00:42



M.1798-84

ويقدم الشكلان 85 و86 حالة صيد تبقى المسافة خلالها مستقرة (km 7±) ويُشهد خلالها العديد من التغيرات في الوجهة مما يؤدي إلى تقلبات كبيرة في المستوى المستقبل.

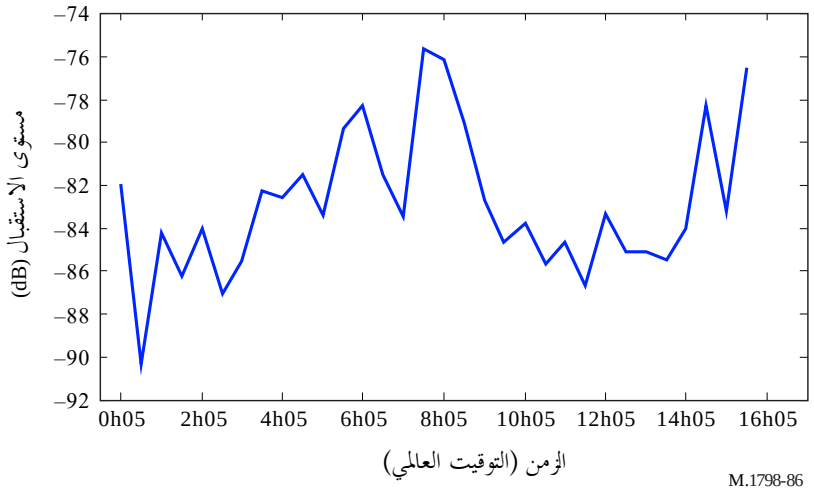
الشكل 85

الطريق الذي اتبعه مركب الصيد يوم 9 يونيو 2009 بين الساعة 00:05 والساعة 15:15

M.1798-85

الشكل 86

تطور سوية الاستقبال في كورسن يوم 9 يونيو 2009
بين الساعة 00:05 والساعة 15:15



3.9 إرسال البيانات

يستعمل لاختبار البروتوكول OFDM.

1.3.9 على الساحل

استعملت قدرة تردد راديوي بلغت 1 KW CW.

وكان المكبر من صنف AB واستعمل مرشاح مزاوج الإرسال لتخفيض التشكيل البيني وزيادة الخطية العالمية المتوافقة مع التشكيل OFDM.

وقد جرت مواءمة الهوائي لضمان الحصول على نطاق موجات أعلى من 12 kHz.

واستعملت هوائيات متنوعة خاصة هوائي سوطي رأسي طوله 16 m مكمل بموازن أرضي مكون من 36 وحدة زاوية طول قطر الواحدة 20 m.

ويُبرَّر اختيار الهوائي الرأسي بكونه يحتفظ بالاستقطاب نفسه الخاص بهوائي السفينة، وذلك من أجل انتشار الموجات البحرية.

2.3.9 على السفينة

استعملت قدرة تردد راديوي بلغت 250 W CW.

وكان الهوائي سوطياً رأسياً طوله 7,50 m مع مواءمة "pi" للهوائي توفر عرض نطاق أعلى من 12 kHz (قناة OFDM بتردد 10 kHz).

4.9 الاستقبال

1.4.9 على الساحل

تم توصيل المستقبل على هوائي سوطي قياسي رأسي بلغ طوله 8 m ومواءمة قدرها 50 Ω، يوفر عرض نطاق بلغ 12 kHz في النطاق الأساسي مما سمح بمعالجة بواسطة برمجيات التشفير.

واستعملت عدة مستقبلات مكنت من مراقبة عدة ترددات في آن واحد ومقارنة عدة أنماط من هوائيات الاستقبال.

2.4.9 على السفينة

استعملت السفينة الهوائي نفسه للاستقبال والإرسال.

وكان المستقبل عريض النطاق (أكبر من 12 kHz) مسبوقاً بمكبر أولي انتقائي لنطاقي التردد الراديوي 4 و8 MHz الموزعين للاختبارات من قبل الإدارة الفرنسية.

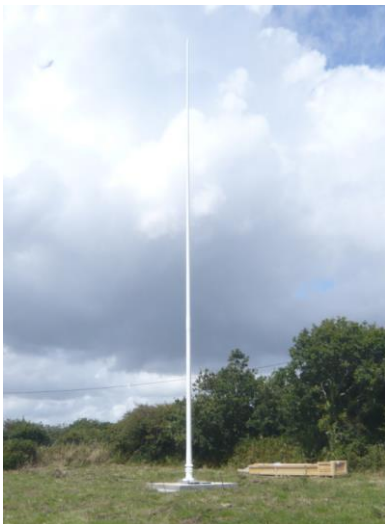
5.9 الاستنتاجات

- تبين نتائج التجارب أهمية تثبيت المحطات الساحلية قرب البحر لتقليص المسير البري/البحري.
- ثبتت الأهمية الكبيرة لاستعمال الاستقطاب الرأسي.
- يعتبر نوع الهوائي المستعمل من أجل الموجات البحرية مع أدنى حد ممكن لمخطط الاتجاهية الرأسي لتوهين الموجات السماوية، عنصراً مهماً.
- تؤكد القياسات التي جريت على الموجات السطحية البحرية ما يلي:
  - يقل المستوى المستقبل عندما يزيد التردد؛
  - يتناسب المستوى للمستقبل عكسياً مع المسافة؛
  - يتعرض المستوى المستقبل للتوهين بشدة عند عبور أجزاء المسير البرية؛
  - تتوافق التقييمات للوصلة الراديوية مع انحراف بعدد قليل من وحدات dB مع النتائج التي نشرها الاتحاد الدولي للاتصالات إلى حد كبير؛
  - يبدو نطاق التماسك في معظم الوقت أكبر من 9 kHz؛
  - يكون أقصى حد للتشتت ضعيفاً؛
  - يمكن أن تنتج الموجات السماوية (بالطبقة E على ارتفاع 90–100 km) و/أو بالطبقة F (بمتوسط ارتفاع يصل إلى 200 km) مستويات لشدة مجال الإشارة أعلى من الموجات السطحية.

وبين هذا أهمية العمل بشأن بث واستقبال الهوائي فيما يخص المحطات الساحلية ذات مخططات الإشعاع الرأسية المنخفضة جداً.

الشكل 87

هوائي الإرسال في بريست



M.1798-87

الملحق 5

نظام التبادل واسع النطاق للبيانات بالموجات الديكامترية (HF) من أجل نظام اتصالات من نقطة إلى نقطة

1 مقدمة

يصف هذا الملحق الاتصالات من نقطة إلى نقطة (PTP) من الشاطئ إلى السفينة ومن السفينة إلى الشاطئ ومن سفينة إلى سفينة لتبادل البيانات الرقمية.

وهذا النظام قابل للتطبيق على العديد من الخدمات مثل تبادل البيانات من نقطة إلى نقطة، وخدمات البريد الإلكتروني، وخدمات الإبلاغ عن موقع السفينة.

ويعمل النظام على نطاقات الموجات الديكامترية (HF) البحرية التي تتراوح بين 4-27,5 MHz في قناة اتصالات راديوية بعرض نطاق يبلغ 10 kHz، مما يوفر معدل بيانات يصل إلى 51 kbit/s.

وينشئ النظام وصلة اتصالات باستخدام التشكيل بزحزحة التردد ثم يتبادل البيانات باستخدام تعدد الإرسال OFDM.

ويعمل النظام بالأسلوب نصف المزدوج باستخدام التشكيل OFDM.

ويستخدم النظام التشكيل والتشفير التكيفيين لاستمثال الكفاءة الطيفية والصبيب في النطاق HF البحري.

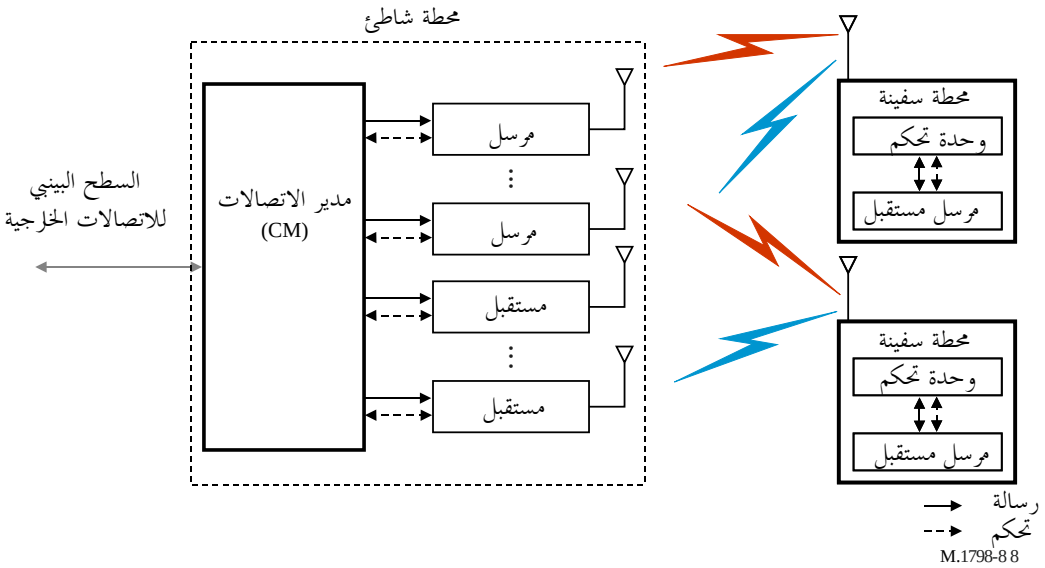
2 نظرة عامة على النظام

يتألف النظام من:

- المحطة HF للشاطئ؛
- المحطة HF للسفينة؛
- مدير الاتصالات.

الشكل 88

نظام التبادل واسع النطاق للبيانات بالموجات الديكامترية (HF) من أجل نظام اتصالات من نقطة إلى نقطة



1.2 محطة الشاطئ

تتألف محطة الشاطئ من مرسلات ومستقبلات منفصلة.

يمكن لمحطة الشاطئ أن ترسل على العديد من الترددات في آن واحد.

تستعمل محطة الشاطئ إشارة النظام GNSS كمعلومات مرجعية للميقاتية.

2.2 محطة السفينة

تشتمل محطة السفينة على المرسل والمستقبل RF.

تستعمل محطة الشاطئ إشارة النظام GNSS لتحديد موقع السفينة.

3.2 مدير الاتصالات

يقوم مدير الاتصالات بإرسال أو استقبال الرسائل أو إشارات التحكم مع مرسلات ومستقبلات الشاطئ.

يتحكم مدير الاتصالات في الاتصالات HF واسعة النطاق.

يمكن لمدير الاتصالات الاتصال بمستعملين خارجيين من خلال السطح البيني للشبكة.

3 معمارية النظام

1.3 مرسل الشاطئ

مرسل الشاطئ:

- يستقبل الرسائل من مدير الاتصالات؛
- يحول الرسائل إلى إشارات مشكلة بزحزحة التردد؛

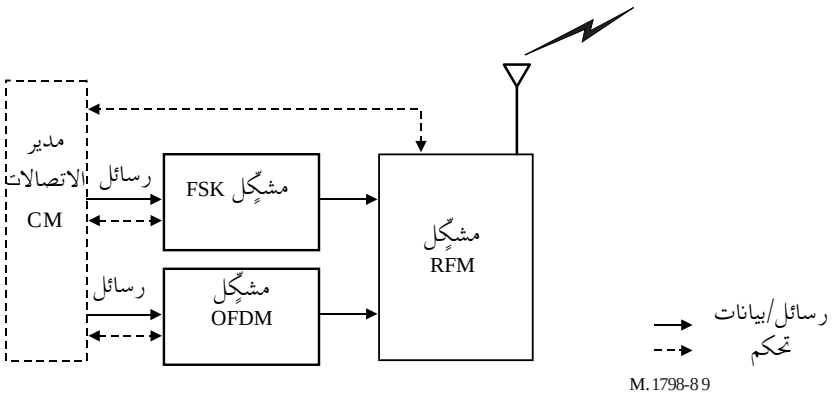
- يحوّل الرسائل إلى إشارات مشكلة بتعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM)؛
- يرسل الإشارات RF إلى السفن عبر الهوائيات؛
- إبلاغ حالة التشغيل إلى مدير الاتصالات.

ويتألف مرسل الشاطئ من:

- مشكِّل FSK
- مشكِّل OFDM
- مشكِّل RF
- هوائي إرسال

الشكل 89

مرسل الشاطئ



1.1.3 المشكِّل بزحزحة التردد

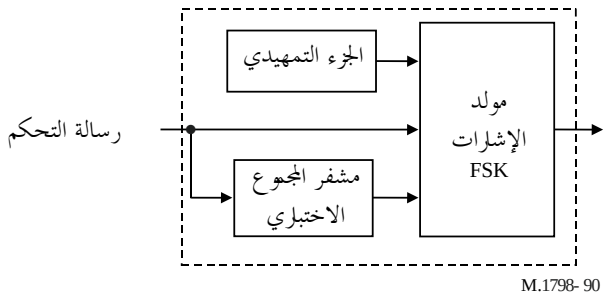
يُستخدم المشكِّل FSK لإنشاء توصيلات من نقطة إلى نقطة.

يولد المشكِّل FSK الجزء التمهيدي ورسالة التحكم والمجموع الاختباري.

تحتوي رسالة التحكم على معلومات بشأن إنشاء التوصيلات من نقطة إلى نقطة.

الشكل 90

المشكِّل بزحزحة التردد



1.1.1.3 الجزء التمهيدي

الجزء التمهيدي عبارة عن شفرة طولها بايتتان.

يرد وصف الجزء التمهيدي في الفقرة 2.2.5.

2.1.1.3 مشفر المجموع الاختباري

يولد مشفر المجموع الاختباري كلمة طولها بايتة واحدة.

3.1.1.3 مولد الإشارات FSK

يرد وصف مولد الإشارات FSK في الفقرة 1.4.

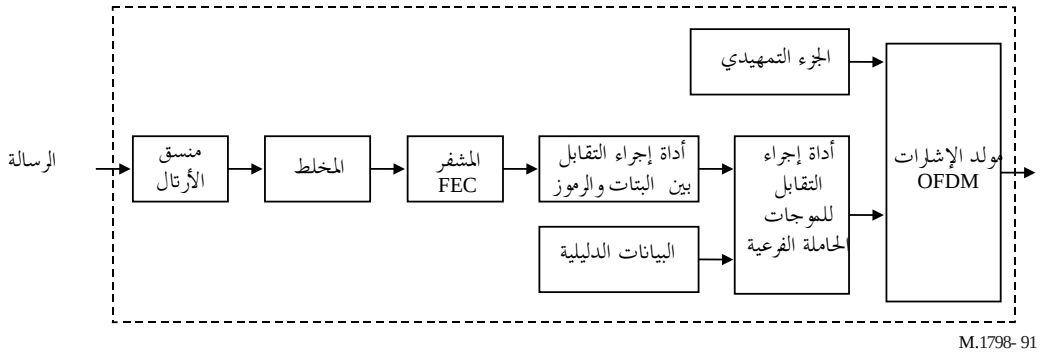
2.1.3 المشكِّل بتعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM)

يولد المشكِّل OFDM الجزء التمهيدي والرسائل وتعادلية التصحيح الأمامي للأخطاء والبيانات الدليلية.

ويتألف المشكِّل OFDM من الجزء التمهيدي ومنسق الأرتال والمخلط والمشفر FEC وأداة إجراء التقابل بين البتات والرموز والبيانات الدليلية وأداة إجراء التقابل للموجات الحاملة الفرعية ومولد الإشارات OFDM.

الشكل 91

معلمات التحكم في مشكّل تحكم الإرسال



1.2.1.3 الجزء التمهيدي

يستخدم الجزء التمهيدي كومز أول للتشكيل OFDM.

يرد وصف الجزء التمهيدي في الفقرة 6.2.4.

2.2.1.3 منسق الأرتال

يولد منسق الأرتال الرتل تبعاً للمواصفات الموصوفة في الفقرات 2.2.4 و2.3.5 و3.3.5.

3.2.1.3 المخلط

يقوم المخلط بإضفاء العشوائية على بيانات الدخل لمنع التتابعات الطويلة المكونة من القيم واحد (1) والصفر (0). ويرد وصف المخلط في الفقرة 3.2.4.

4.2.1.3 مشفر التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC)

يحدد مخطط تصحيح الأخطاء متانة التشفير.

ويستخدم النظام شفرة ريد–سولومون والشفرة التلافيفية والشفرة turbo.

ويرد وصف التصحيح الأمامي للخطاء في الفقرة 5.2.4.

5.2.1.3 أداة إجراء التقابل بين البتات والرموز

يرد وصف عملية التقابل بين البتات والرموز في الفقرة 4.2.4.

6.2.1.3 البيانات الدليلية

يرد وصف البيانات الدليلية في الفقرة 6.2.4.

7.2.1.3 أداة إجراء التقابل للموجات الحاملة الفرعية

تقوم أداة إجراء التقابل للموجات الحاملة الفرعية بتنظيم الموجات الحاملة الفرعية OFDM طبقاً للقطارات المنسقة والبيانات الدليلية.

8.2.1.3 مولد إشارات تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM)

ينتج مولّد الإشارات OFDM إشارة النطاق الأساسي OFDM وفقاً لخرج أداة إجراء التقابل للموجات الحاملة الفرعية.

ويرد وصف لمولد إشارات OFDM بالتفصيل في الفقرة 2.4.

3.1.3 مرسل الترددات الراديوية

يقوم مرسل الترددات الراديوية (RF) بتحويل إشارات النطاق الأساسي إلى إشارات RF في النطاق 4-27,5 MHz وتكبيرها إلى قدرة الإرسال المطلوبة.

يمكن ضبط قدرة الخرج RF لجهاز لمرسل الشاطئ حتى 1 kW بقيمة جذر متوسط التربيع.

وترد مواصفات مرسل الترددات الراديوية في الفقرة 4.4.

2.3 مستقبل الشاطئ

يقوم مستقبل الشاطئ بما يلي:

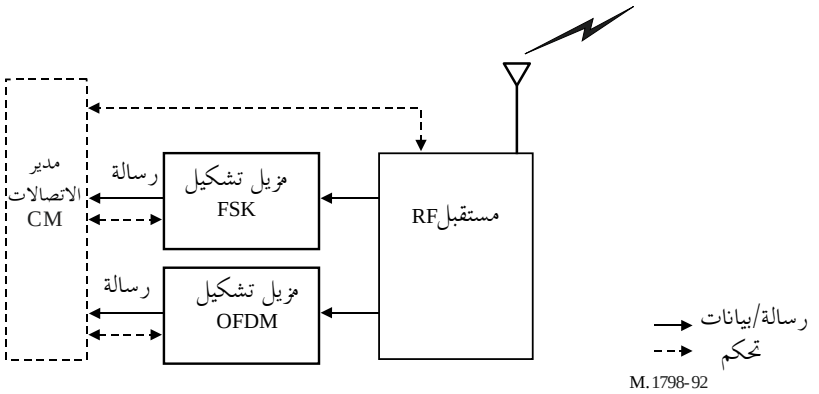
- استقبال الإشارات RF من السفن عبر الهوائيات؛
- تحويل الإشارات FSK إلى رسائل؛
- تحويل الإشارات OFDM إلى رسائل؛
- إرسال الرسائل إلى مدير الاتصالات؛
- مراقبة حالة التشغيل وإبلاغ مدير الاتصالات بها.

ويتألف مستقبل الشاطئ من:

- مزيل تشكيل FSK؛
- مزيل تشكيل OFDM؛
- مستقبل RF؛
- هوائي استقبال.

الشكل 92

مستقبل الشاطئ

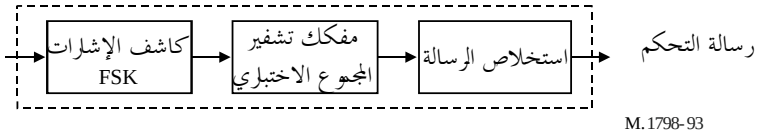


1.2.3 مزيل التشكيل بزحزحة التردد

يكتشف مزيل التشكيل بزحزحة التردد (FSK) الإشارات FSK في الإشارات RF المستقبلة، ويستخلص الرسائل. ويتحقق مفكك تشفير المجموع الاختباري من سلامة البيانات.

الشكل 93

المخطط الصندوقي الوظيفي لمزيل التشكيل بزحزحة التردد

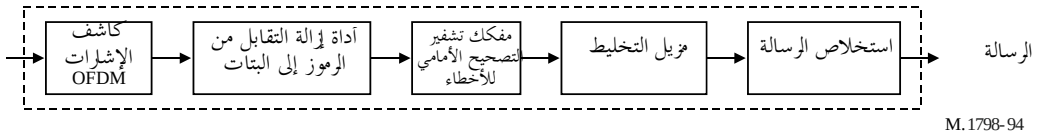


2.2.3 مزيل التشكيل بتعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM)

يكتشف مزيل التشكيل OFDM الإشارات OFDM في الإشارات RF المستقبلة، ويستخلص الرسائل. ويستعيد مفكك تشفير التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC) البيانات الأصلية.

الشكل 94

المخطط الصندوقي الوظيفي لمزيل التشكيل بتعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد



3.2.3 مستقبل الترددات الراديوية (RF)

يحول المستقبل RF الإشارات RF المستقبلة إلى إشارات النطاق الأساسي ويكبرها إلى المستوى المطلوب من أجل المحول من تماثلي إلى رقمي.

ترد مواصفات المستقبل RF في الفقرة 5.4.

3.3 محطة السفينة

تقوم محطة السفينة بما يلي:

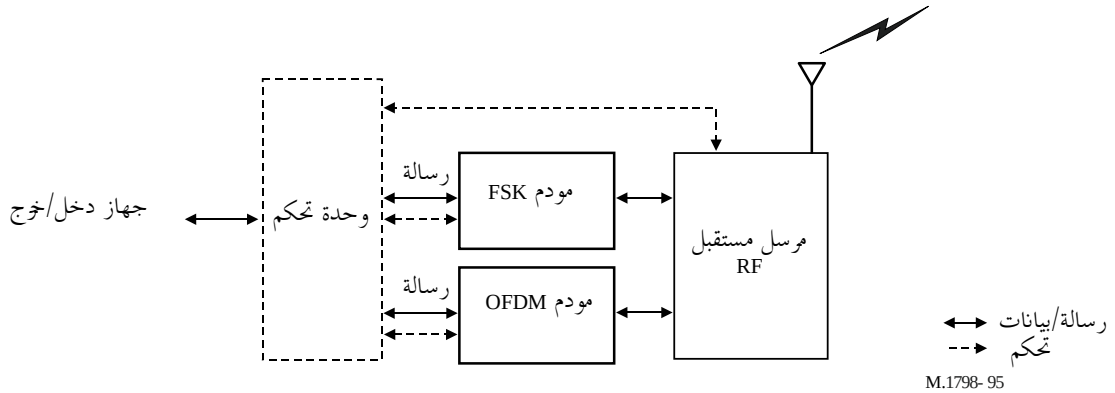
- استقبال الرسائل من جهاز الإدخال عبر وحدة التحكم؛
- تحويل الرسائل إلى إشارات FSK أو OFDM؛
- إرسال الإشارات RF إلى محطات الشاطئ أو إلى محطات السفن الأخرى عبر الهوائي؛
- استقبال الإشارات RF من محطات الشاطئ أو من محطات السفن الأخرى عبر الهوائي؛
- تحويل الإشارات FSK أو OFDM إلى رسائل؛
- إرسال الرسائل إلى وحدة التحكم؛
- مراقبة حالة التشغيل وإبلاغ وحدة التحكم بها.

وتتألف محطة السفينة من:

- وحدة تحكم؛
- مودم FSK؛
- مودم OFDM؛
- مرسل مستقبل RF وهوائي.

الشكل 95

محطة السفينة



1.3.3 وحدة التحكم

تستقبل هذه الوحدة المعلومات التالية:

- الرسائل من الأجهزة الخارجية؛
- الرسائل من مزيل التشكيل FSK؛
- الرسائل من مزيل التشكيل OFDM؛
- مراقبة الإشارات الواردة من المودم؛
- مراقبة الإشارات الواردة من المرسل المستقبل RF.

وترسل هذه الوحدة المعلومات التالية:

- الرسائل إلى أجهزة العرض الخارجية؛
- الرسائل إلى أجهزة التخزين الخارجية؛
- الرسائل إلى المشكِّل FSK؛
- الرسائل إلى المشكِّل OFDM؛
- إشارات التحكم إلى المودم؛
- إشارات التحكم إلى المرسل المستقبل RF.

وتتمثل وظيفة التحكم لوحدة التحكم فيما يلي:

- التحقق من جودة الخدمة (QoS)؛
- إدارة الجداول الزمنية؛
- إدارة جداول الرزم؛
- مراقبة معلمات التشكيل FSK والتشكيل OFDM والمرسل المستقبل RF.

وتوفر هذه الوحدة سطوحاً خارجية للبيانات مع الأجهزة الأخرى.

2.3.3 مودم التشكيل بزحزحة التردد (FSK)

المودم FSK هو نفسه الموصف في الفقرتين 1.1.3 و1.2.3.

3.3.3 مودم التشكيل بتعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM)

المودم OFDM هو نفسه الموصف في الفقرتين 2.1.3 و2.2.3.

4.3.3 مرسل مستقبل الترددات الراديوية (RF)

يقوم المرسل RF بتحويل إشارات النطاق الأساسي إلى إشارات RF وتكبيرها إلى قدرة الإرسال المرغوبة. ويقوم المستقبل RF بتحويل الإشارات RF المستقبلة إلى النطاق الأساسي وتكبيرها إلى المستوى المطلوب للمحول من تماثلي إلى رقمي.

يمكن ضبط قدرة الخرج RF لمرسل السفينة حتى 100 W بقيمة جذر متوسط التربيع. وترد مواصفات المرسل المستقبل RF الخاص بالسفينة في الفقرة 6.4.

4.3 مدير الاتصالات

يقوم مدير الاتصالات بالوظائف التالية:

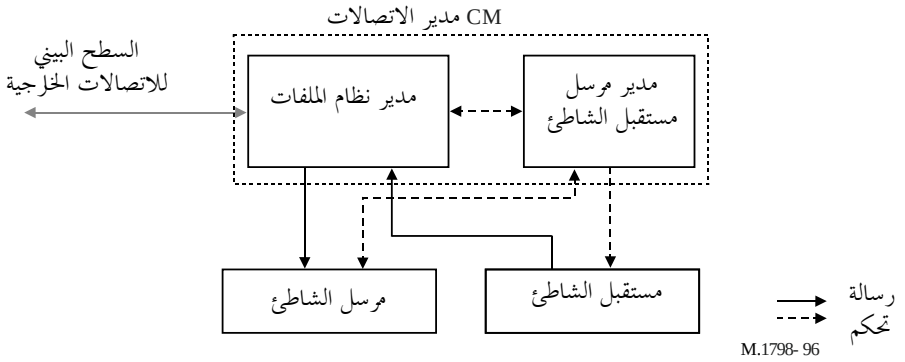
- التحكم في معلمات تشغيل مرسل الشاطئ ومستقبل الشاطئ؛
- إدارة الجدول الزمني للاتصالات؛
- إدارة جدول رزم الاتصالات؛
- مراقبة حالة التشغيل وجودة الاتصالات لكل من مرسل الشاطئ ومستقبل الشاطئ؛
- تبادل المعلومات مع المستعملين الخارجيين.

ويشتمل مدير الاتصالات على:

- مدير نظام الملفات؛
- مدير مرسل مستقبل الشاطئ.

الشكل 96

مدير الاتصالات



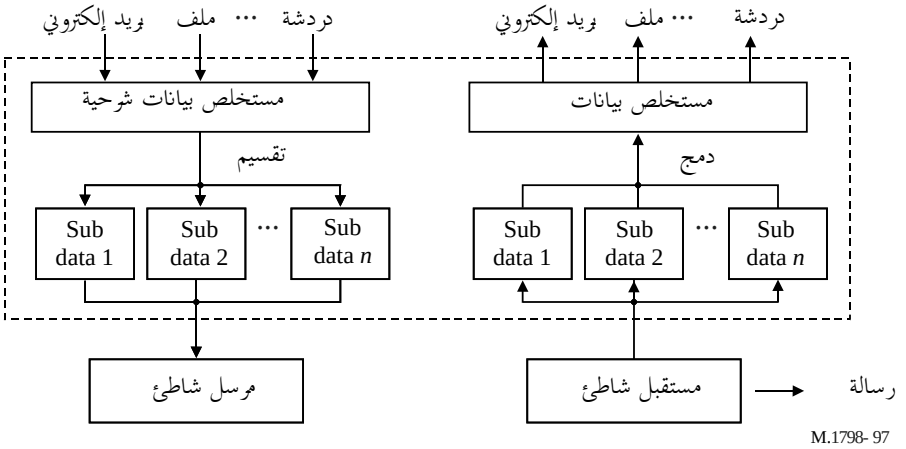
1.4.3 مدير نظام الملفات

يقوم مدير نظام الملفات بما يلي:

- تقسيم البيانات الشرحية إلى مجموعات بيانات فرعية من أجل الإرسال؛
- دمج مجموعات البيانات الفرعية المستقبلة إلى بيانات شرحية؛
- إرسال الرسائل إلى مرسل الشاطئ؛
- استقبال الرسائل من مستقبل الشاطئ.

الشكل 97

مدير نظام الملفات



2.4.3 مدير مرسل مستقبل الشاطئ

يقوم مدير مرسل مستقبل الشاطئ بالإشراف على الاتصالات كالتالي:

- يدير بروتوكول الاتصالات FSK؛
- يدير الجداول الزمنية للاتصالات FSK؛
- يدير جداول الرزم FSK؛

- يدير بروتوكول الاتصالات OFDM؛
- يدير الجداول الزمنية للاتصالات OFDM؛
- يدير جداول الرزم OFDM؛
- يرسل إشعارات الاستلام؛
- يراقب جودة الخدمة.

ويراقب معلمات المرسل المستقبل التالية:

- معلمات التشكيل FSK (المعدل، النوع، ما إلى ذلك)؛
- معلمات تعدد الإرسال OFDM (التشكيل، التصحيح الأمامي للأخطاء، وما إلى ذلك)؛
- تردد الموجة الحاملة؛
- قدرة الإرسال؛
- كسب الاستقبال؛
- التبديل في المرسل المستقبل.

4 الخصائص التقنية

1.4 التشكيل بزحزحة التردد (FSK)

1.1.4 التشكيل

تُرسل البيانات (رسالة التحكم) باستخدام التشكيل FSK الإثنيني.

وتبلغ سرعة إرسال البيانات 100 bit/s.

وتبلغ زحزحة التردد بين العلامة والمساحة 170 Hz (+85 Hz للعلامة و-85 Hz للمساحة)

2.4 التشكيل بتعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد

1.2.4 مقدمة

يستعمل تعدد الإرسال بالتقسيم التعامدي للتردد (OFDM) عدداً كبيراً من الموجات الحاملة الفرعية المتعامدة وضئيلة التباعد ($41^{2/3}$ Hz) من أجل الحصول على كفاءة طيفية عالية لإرسال البيانات. وتكون هذه الموجات الحاملة الفرعية ذات ترددات متباعدة ($F_u = 1/T_u$) حيث T_u هو مدة الرمز OFDM.

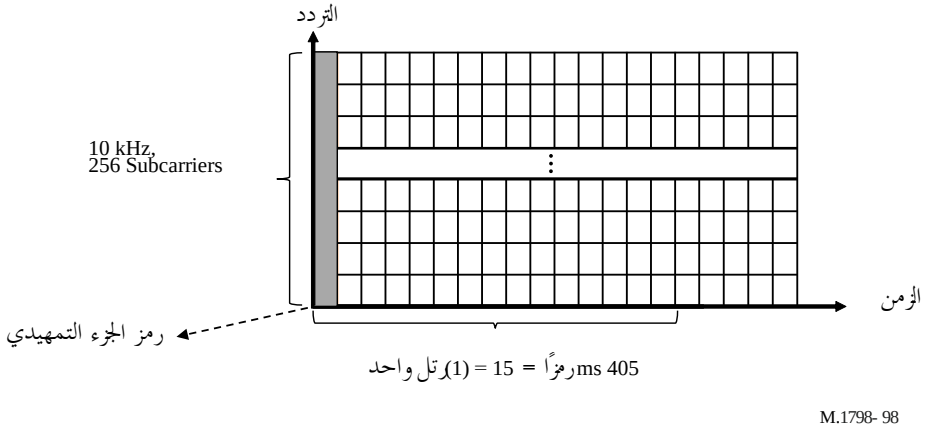
وتكون مدة الرمز OFDM كالتالي $T_g + T_u = T_s$

ويتم إدخال فترة الحراسة (T_g) في الرمز OFDM للحد من تأثير المسيرات المتعددة، وبالتالي الحد من التداخل بين الرموز.

وتكون رموز OFDM بالتالي متسلسلةً لتكوّن رتلاً OFDM.

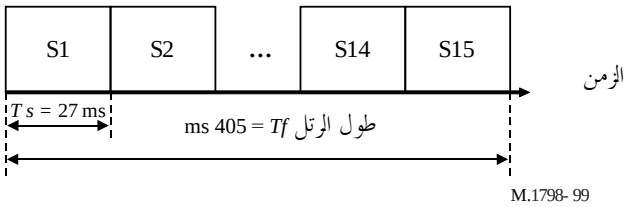
الشكل 98

التمثيل الطيفي لرتل تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد



الشكل 99

رتل تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد



2.2.4 معلمات تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد

الجدول 10

معلمات تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد

المعلمة	المواصفة
عرض النطاق	10 kHz
عدد الموجات الحاملة الفرعية	256
عدد الموجات الحاملة الفرعية للبيانات	228
معدل الاعتيان المرجعي (3X نسبة الاعتيان المفرط)	32 ksamples/s
مدة التحويل FFT (T_u)	24 ms 24
المباعدة بين الموجات الحاملة الفرعية	412/3 Hz
الفاصل الحارس (Tg)	3 ms
مدة الرمز ($T_g + T_u = T_s$)	27 ms
عدد الرموز في الرتل الواحد (N_s)	15
طول الرتل (T_f)	405 ms
عدد الرموز في الرتل القصير	2
طول الرتل القصير	54 ms
التشكيل	4-QAM, 16-QAM, 64-QAM
التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC)	شفرة تلافيفية، شفرة ريد–سولومون، شفرة Turbo

3.2.4 المُخلِّط

يستخدم المخلِّط بنية المولد CRC-32.

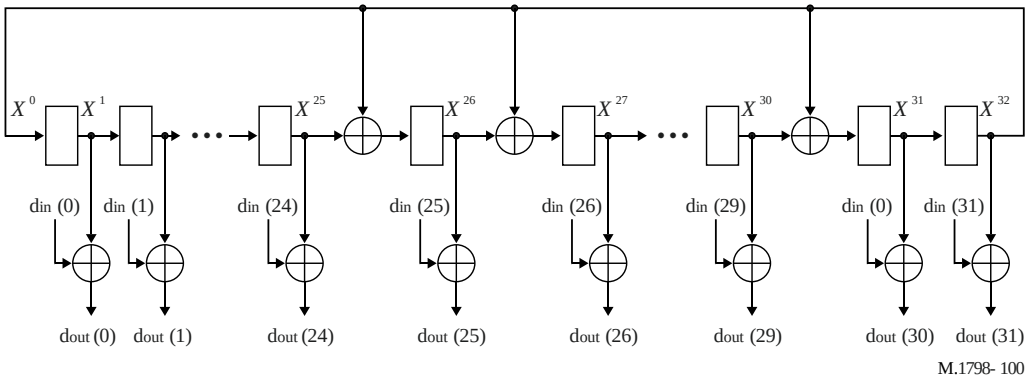
يولد المخلِّط بيانات خرج 32-بتة بواسطة الوظيفة XORing للخرج 32-بتة للمسجل مع بيانات دخل 32-بتة.

وتُمثل متعددة الحدود كالتالي $x^{32}+x^{31}+x^{27}+x^{26}+1$.

ولتنفيذ المخلِّط، يُستخدم مسجل إزاحة 32-بتة.

الشكل 100

مُخلِّط الكلمات



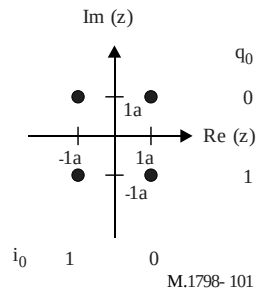
ملاحظة – في مزيل التشكيل، يتم توليد البيانات 32-بتة الأصلية بواسطة الوظيفة XORing للبيانات 32-بتة المستقبلة مع خرج 32-بتة للمولد المستخدم في المشكِّل. ومن ثم، فإن دارة مُخلِّط الكلمات في مزيل التشكيل هي نفسها المعروضة في الشكل 100.

4.2.4 التشكيل

تُشكل كل موجة حاملة فرعية بتشكيل الاتساع التربيعي-4 (4-QAM)، أو (16-QAM) أو (64-QAM).

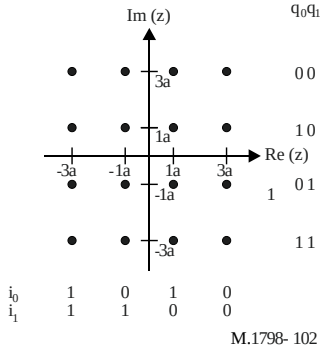
الشكل 101

كوكبة تشكيل الاتساع التربيعي (4-QAM)



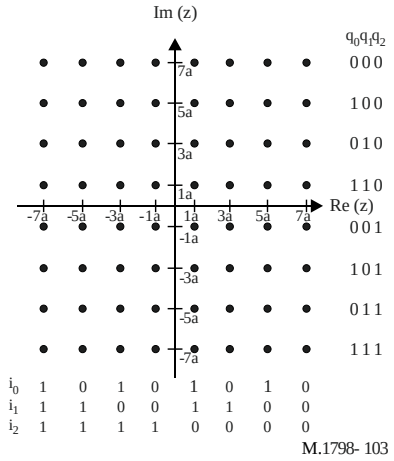
الشكل 102

كوكبة تشكيل الاتساع التربيعي (16-QAM)



الشكل 103

كوكبة تشكيل الاتساع التربيعي (64-QAM)



5.2.4 التصحيح الأمامي للأخطاء

يتوقف مخطط تصحيح الأخطاء على متانة التشفير المرغوب فيها.

ويستخدم النظام شفرة ريد–سولومون و/أو شفرة تلافيفية، أو شفرة Turbo.

الجدول 11

مخططات التصحيح الأمامي للأخطاء

الأسلوب	الشفرة الخارجية	الشفرة الداخلية	
1	ريد–سولومون (188,204)	–	
2		شفرة تلافيفية (K=7, r=1/2)	تقطيع 1/2
3			تقطيع 2/3
4			تقطيع 3/4
5			تقطيع 5/6
6			تقطيع 7/8
7	-	شفرة Turbo (إثنينية مزدوجة، r=1/2)	تقطيع 1/2
8			تقطيع 3/4

6.2.4 التزامن

من أجل السماح بإزالة تشكيل كل موجة حاملة فرعية على نحو جيد، لا بد من تحديد استجابة قناة الإرسال الراديوي لكل موجة حاملة فرعية وينبغي تطبيق عملية التعادل. ولهذا، تحمل بعض الموجات الحاملة الفرعية لرموز OFDM بيانات دليلية.

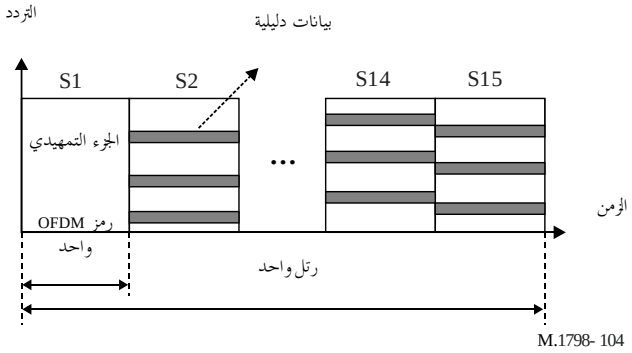
وتمكن البيانات الدليلية المستقبل مما يلي:

- تقدير تخالف الترددات؛
- تقدير قناة الإرسال الراديوي.

ويتوقف كم البيانات الدليلية على المتانة المطلوبة للإشارة.

الشكل 104

البيانات الدليلية في إشارات تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد



وتُعرض البيانات الدليلية في الجدول 12.

الجدول 12

البيانات الدليلية

-1+1j , 1-1j , -1-1j , 1+1j , 1-1j , -1+1j , -1+1j , -1-1j , 1-1j , 1+1j , 1-1j , 1+1j , -1+1j , 1-1j , -1+1j , -1-1j , -1+1j , -1+1j , 1+1j , 1+1j , 1-1j , 1+1j , 1+1j , 1+1j , 1-1j , 1-1j , 1-1j , 1-1j , 1-1j , -1-1j , -1+1j , -1-1j , 1+1j , 1+1j , 1+1j , -1+1j , 1+1j , 1-1j , 1+1j

يرسل الرمز الأول لكل رتل OFDM رمز الجزء التمهيدي. ويُستخدم رمز الجزء التمهيدي لاكتشاف الإشارة OFDM وتقدير خصائص القناة وتقدير تخالف تردد الموجة الحاملة. ويُعرض رمز الجزء التمهيدي في الجدول 13.

الجدول 13

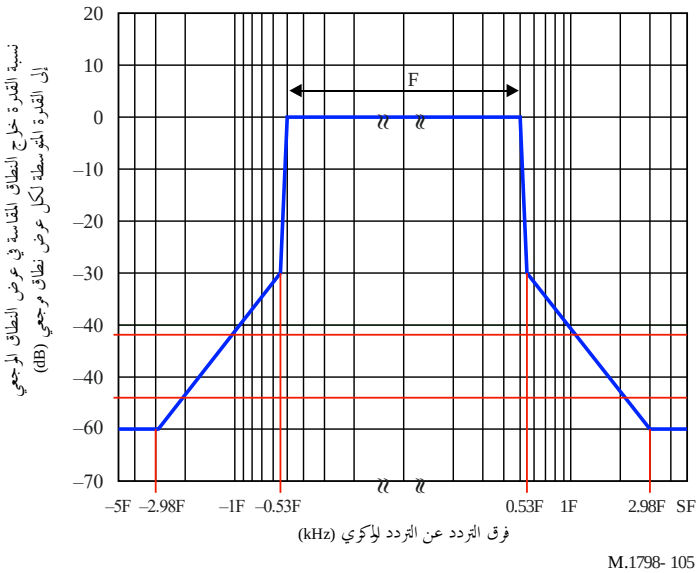
رمز الجزء التمهيدي

-1+1j , -1-1j , 1+1j , 1-1j , -1+1j , 1+1j , 1-1j , -1-1j , -1+1j , -1-1j , -1-1j , -1+1j , -1-1j , 1+1j , -1+1j , 1-1j , 1-1j , 1-1j , 1+1j , 1+1j , 1-1j , -1+1j , 1-1j , -1+1j , 1-1j , 1-1j , -1-1j , -1-1j , 1+1j , -1-1j , -1+1j , 1-1j , -1+1j , 1+1j , 1+1j , -1+1j , -1+1j , -1-1j , 1-1j , 1+1j , -1+1j , 1+1j , -1-1j , 1-1j , -1+1j , -1+1j , -1-1j , -1-1j , 1-1j , -1+1j , 1+1j , -1-1j , 1+1j , 1+1j , 1+1j , 1+1j , 1-1j , -1+1j , -1-1j , 1+1j , 1-1j , 1-1j , -1-1j , -1-1j , -1+1j , -1-1j , 1+1j , 1-1j , 1-1j , -1-1j , -1+1j , 1+1j , -1+1j , -1-1j , -1-1j , -1+1j , 1+1j , -1-1j , 1-1j , -1+1j , 1-1j , 1-1j , 1+1j , 1+1j , -1+1j , 1-1j , -1+1j , -1-1j , -1+1j , 1-1j , 1-1j , -1-1j , -1-1j , -1-1j , 1+1j , 1-1j , -1+1j , -1+1j , 1+1j , 1+1j , -1+1j , 1-1j , 1+1j , -1+1j , -1-1j , -1+1j , 1+1j , -1-1j , 1-1j , 1-1j , 1+1j , 1+1j , 1-1j , 1-1j , 1+1j , -1-1j , 1-1j , -1+1j , -1+1j , -1+1j , -1+1j , -1+1j , 1+1j , -1-1j , -1+1j , 1-1j , -1+1j , -1+1j , 1+1j , 1+1j , 1+1j , 1-1j , -1+1j , -1-1j , 1+1j , -1+1j , -1-1j , 1-1j , 1-1j , 1-1j , 1+1j , 1+1j , 1-1j , -1+1j , 1-1j , -1+1j , 1-1j , 1-1j , -1-1j , -1-1j , 1-1j , -1+1j , -1-1j , 1+1j , -1+1j , -1-1j , -1-1j , -1-1j , -1-1j , -1+1j , 1-1j , 1+1j , -1-1j , -1-1j , -1-1j , 1-1j , 1-1j , 1+1j , 1-1j , -1+1j , -1-1j , -1-1j , 1-1j , 1+1j , -1+1j , 1+1j , 1-1j , 1-1j , 1+1j , -1+1j , 1-1j , -1-1j , 1+1j , 1-1j , 1-1j , 1+1j , 1+1j , -1+1j , 1-1j , 1-1j , 1-1j , 1-1j , -1-1j , -1-1j , -1+1j , 1-1j , 1+1j , -1-1j , -1-1j , 1-1j , 1-1j , -1-1j

7.2.4 شغل إشارة التردد الراديوي (RF) للطيف

الشكل 105

شغل إشارة التردد الراديوي (RF) ذات عرض النطاق F = 10 kHz للطيف



3.4 معدل البيانات

في عرض نطاق القناة البالغ 10 kHz، يبلغ المعدل الأقصى للبيانات غير المعالجة نحو 51 kbit/s.

4.4 مواصفات مرسل محطة الشاطئ

الجدول 14

مواصفات مرسل محطة الشاطئ

المعلمة	المواصفة
قدرة الإرسال	تصل إلى 1 kW (RMS)
نطاق التردد	4 MHz إلى 27,5 MHz
التفاوت المسموح به في تردد الموجة الحاملة	في حدود ±0,3 ppm
شغل الطيف	طبقاً لمتطلبات الشكل 105
البث الهامشي	أكبر من أو يساوي 50 dBc، دون تجاوز القدرة المتوسطة المطلقة البالغة 50 mW (+17 dBm)

5.4 مواصفات مستقبل محطة الشاطئ

الجدول 15

المواصفات الدنيا لمستقبل محطة الشاطئ

المعلمة	المواصفة
نطاق التردد	4 MHz إلى 27,5 MHz
حماية القناة المجاورة	20 dB (at ±10 kHz) 25 dB (at ±20 kHz) 35 dB (at ±30 kHz)
الحساسية	أفضل من -95 dBm (معدل الخطأ في البتات يساوي 0,05 بعد تصحيح الأخطاء، مع طول للفدرة يساوي 1 000 بتة، مع شعل عرض نطاق تردد مقداره 10 kHz)
رفض الاستجابة الهامشية	≤ 60 dB
التشكيل البيني	≤ 50 dB
الحجب	≤ 40 dB ($\|f-f_c\|$ > 30 kHz)

6.4 مواصفة مرسل مستقبل محطة السفينة

الجدول 16

مواصفات مرسل محطة السفينة

المعلمة	المواصفة
قدرة الإرسال	تصل إلى 100 W (RMS)
نطاق التردد	4 MHz إلى 27,5 MHz
الخطأ المسموح به في تردد الموجة الحاملة	في حدود ±0,3 ppm
شغل الطيف	طبقاً لمتطلبات الشكل 105
البث الهامشي	أكبر من أو يساوي 43 dBc، دون تجاوز القدرة المتوسطة المطلقة البالغة 50 mW (+17 dBm)

الجدول 17

المواصفات الدنيا لمستقبل محطة السفينة

المعلمة	المواصفة
نطاق التردد	MHz 4 إلى MHz 27,5
حماية القناة المجاورة	20 dB (at ± 10 kHz) 25 dB (at ± 20 kHz) 35 dB (at ± 30 kHz)
الحساسية	أفضل من -95 dBm (معدل الخطأ في البتات يساوي 0,05 بعد تصحيح الأخطاء، مع طول للفدرة يساوي 1000 بتة، مع شعل عرض نطاق تردد مقداره 10 kHz)
رفض الاستجابة الهامشية	≤ 60 dB
التشكيل البيني	≤ 50 dB
الحجب	≤ 40 dB

5 بروتوكول الاتصالات

1.5 الخصائص

يتكون النظام من مرحلة إنشاء الوصلة ومرحلة تبادل البيانات للاتصالات من نقطة إلى نقطة.

النظام نصف مزدوج.

وفي الاتصالات من نقطة إلى نقطة، ترسل محطة إرسال المعلومات (ISS) المعلومات وتتلقى محطة استقبال المعلومات (IRS) المعلومات وتخطر محطة إرسال المعلومات بالاستلام.

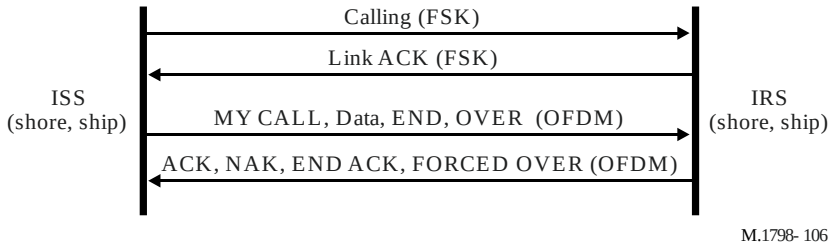
لا تميز المحطات ISS وIRS بين محطات الشاطئ ومحطات السفن.

تستخدم مرحلة إنشاء الوصلة التشكيل FSK.

تستخدم مرحلة اتصالات البيانات التشكيل OFDM.

الشكل 106

بروتوكول الاتصالات



2.5 إنشاء الوصلة باستخدام التشكيل بزحزحة التردد

1.2.5 مدة الرتل

تبلغ مدة رتل إنشاء الوصلة 1020 ms.

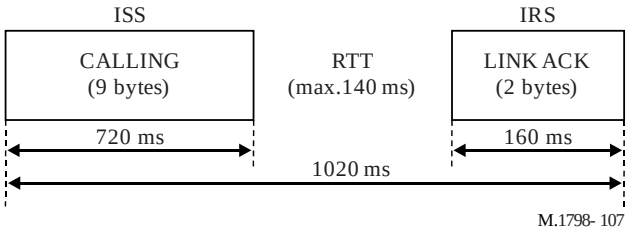
تعيد المحطة ISS إرسال فدرة CALLING كل 1020 ms عندما لا تستجيب المحطة IRS.

وطول الفدرة CALLING يبلغ 720 ms والفدرة LINK ACK يصل طولها إلى 160 ms.

والحد الأقصى المسموح به لزمن الذهاب والإياب (RTT) يبلغ 140 ms.

الشكل 107

مدة رتل إنشاء الوصلة



2.2.5 نسق الفدرات

1.2.2.5 الفدرة CALLING

طول بيانات الفدرة CALLING يبلغ 9 بايتات.

ويستخدم رمز للجزء التمهيدي من بايتتين للكشف عن الفدرة CALLING في المحطة IRS.

SC1 – SC9 تشير إلى رقم هوية الخدمة المتنقلة البحرية (MMSI) للمحطة IRS (يعرف الرقم MMSI في أحدث نسخة للتوصية ITU-R M.585).

ويُرسل الرقم MMSI الخاص بالمحطة IRS في رسالة 4,5 بايتة، بحيث يُغلف كل رقمين من الرقم MMSI في بايتة.

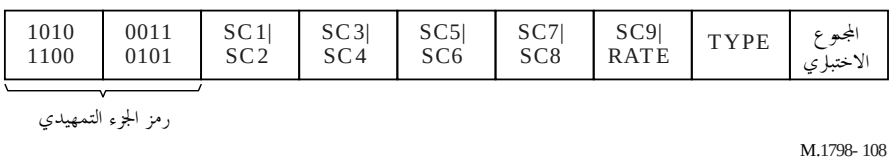
ويُوصف المعدل RATE لأنصاف الأثمونات نسق الوصلة.

ويستخدم النمط TYPE ذو البايتة الواحدة لتوصيف نسق بيانات الإرسال.

ويضاف مجموع اختباري من بايتة واحدة للتحقق من أن رتل النداء قد تم استقباله بدون أخطاء.

الشكل 108

نسق الفدرة CALLING



الجدول 18

المعدل RATE والنمط TYPE في الفدرة CALLING

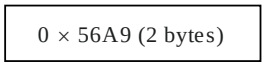
TYPE		RATE	
نمط البيانات	القيمة	أسلوب الاتصالات	القيمة
ملف	0	FSK200	2
صورة	1	FSK100	3
		DPSK600	4
		DPSK400	5
		DPSK200	6
		OFDM(N = 32, M = 4	8
		الملحق 5	14

2.2.2.5 فدرة استلام إشعار الوصلة LINK

عندما يتوافق الرقم MMSI في فدرة CALLING مستقبلة، ترد المحطة IRS بإشعار LINK ACK.

الشكل 109

نسق فدرة استلام إشعار الوصلة LINK



M.1798- 109

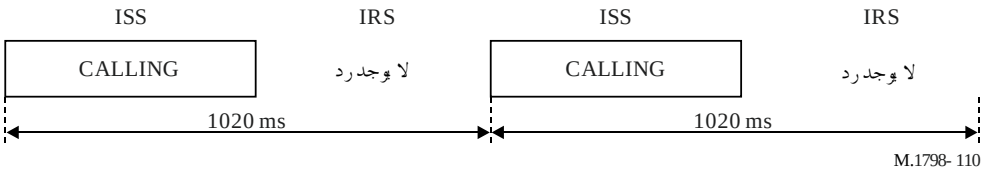
3.2.5 سيناريوهات البروتوكول

1.3.2.5 السيناريو 1

إذا لم تستقبل المحطة ISS الإشعار LINK ACK، ترد المحطة ISS بفدرة CALLING كل 1020 ms.

الشكل 110

السيناريو 1 للبروتوكول



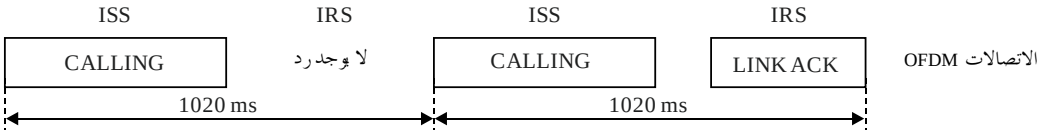
M.1798- 110

2.3.2.5 السيناريو 2

إذا استقبلت المحطة ISS الإشعار LINK ACK، تتحول المحطة ISS إلى الاتصالات OFDM بعد إنشاء الوصلة بمدة رتل تبلغ 1020 ms. وترسل الإشارة OFDM بالتشكيل 64-QAM والأسلوب 7 للتصحيح الأمامي للخطاء (انظر الجدول 11).

الشكل 111

السيناريو 2 للبروتوكول



3.5 اتصالات البيانات باستخدام تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد

1.3.5 مدة الرتل

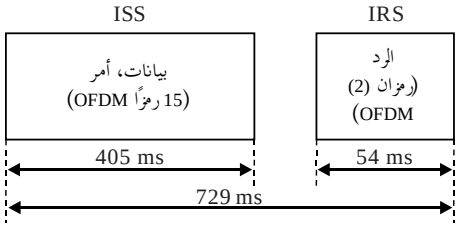
تبلغ مدة رتل اتصالات البيانات 729 ms.

ترسل المحطة ISS بيانات أو أمراً كل 729 ms.

مدة رتل المحطة ISS تبلغ 405 ms ومدة رتل المحطة IRS تبلغ 54 ms.

الشكل 112

مدة رتل اتصالات البيانات



2.3.5 نسق فدرة التحكم بمحطة إرسال المعلومات

للمحطة ISS ثلاث رسائل تحكم: MYCALL وEND وOVER.

1.2.3.5 فدرة رسالة التحكم MYCALL

فدرة رسالة التحكم MYCALL تكون 0xE0.

ويُرسل الرقم MMSI الخاص بالمحطة IRS في رسالة 4,5 بايتة، بحيث يُغلف كل رقمين من الرقم MMSI في بايتة. ويتم ملء بقية الرزمة بنماذج الملء.

الشكل 113

نسق فدرة رسالة التحكم MYCALL

2.2.3.5 فدرة رسالة التحكم END

فدرة رسالة التحكم END تكون 0x86.

ويتم ملء بقية الرزمة بنماذج الملء.

وتستخدم فدرة رسالة التحكم END للإشارة إلى نهاية الوصلة.

الشكل 114

نسق فدرة رسالة التحكم END

M.1798- 114

3.2.3.5 فدرة رسالة التحكم OVER

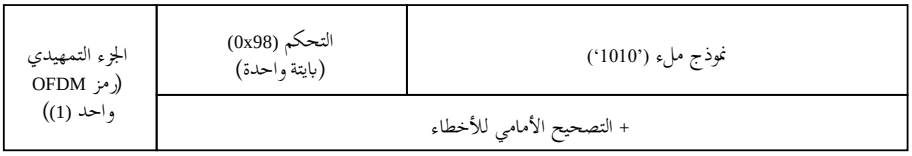
فدرة رسالة التحكم OVER تكون 0x98

ويتم ملء بقية الرزمة بنماذج الملء.

وتستخدم فدرة رسالة التحكم OVER للإشارة إلى تبادل الأدوار بين المحطتين ISS وIRS.

الشكل 115

نسق فدرة رسالة التحكم OVER



M.1798- 115

3.3.5 نسق فدرة رد محطة استقبال المعلومات

للمحطة IRS أربع رسائل للرد: ACK وNAK وEND_ACK وFORCED_OVER.

وتتكون فدرة رد المحطة IRS من رمز OFDM واحد (1) للجزء التمهيدي ورمز OFDM واحد (1) لرسالة التحكم.

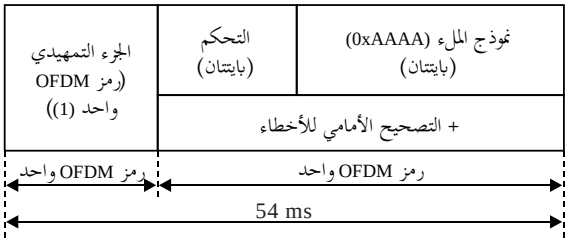
1.3.3.5 فدرات رسائل الرد ACK وEND_ACK وFORCED_OVER

فدرات رسائل التحكم ACK وEND_ACK وFORCED_OVER تكون 0x56A9 و0x956A و0x6A95، على التوالي.

ويتم ملء بقية الرزمة بنماذج الملء.

الشكل 116

نسق فدرات رسائل الرد ACK وEND_ACK وFORCED_OVER



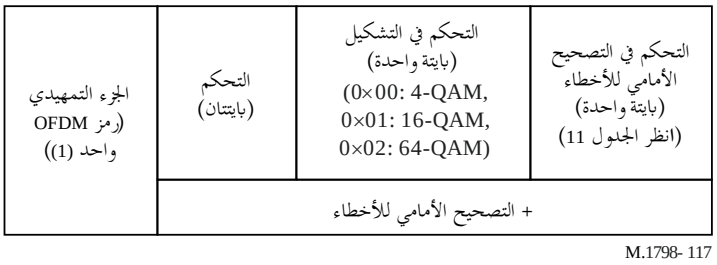
2.3.3.5 فدرة الرد بالإشعار بعدم الاستلام (NAK)

فدرة رسالة التحكم NAK تكون 0xA956.

تُرسل رسالة تحكم من بايتتين للتشكيل والتصحيح الأمامي للأخطاء إلى المحطة ISS لتغيير مخططات التشكيل و/أو التصحيح الأمامي للأخطاء.

الشكل 117

نسق فدرة الإشعار بعدم الاستلام



4.3.5 سيناريوهات البروتوكول

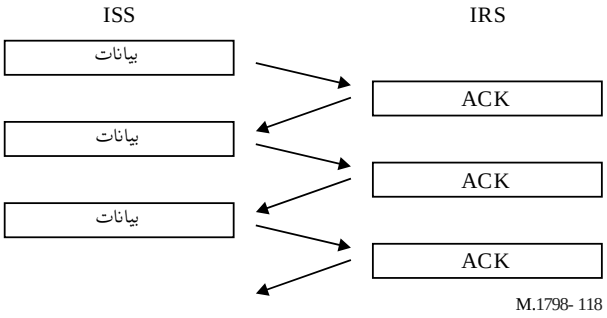
1.4.3.5 السيناريو 1 لاتصالات البيانات

إذا استقبلت المحطة IRS بيانات بدون أي أخطاء، ترد المحطة IRS برسالة ACK.

وترسل المحطة ISS البيانات التالية بعد استلام رسالة الإشعار ACK.

الشكل 118

السيناريو 1 لبروتوكول اتصالات البيانات



2.4.3.5 السيناريو 1 لاتصالات البيانات

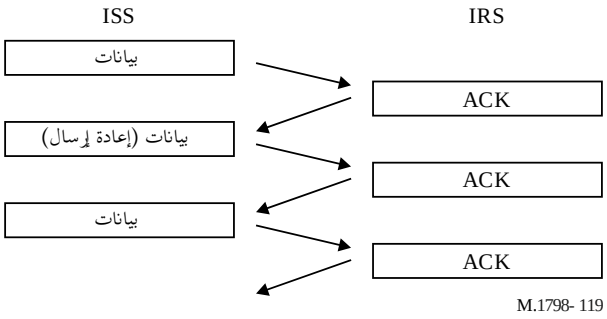
إذا استقبلت المحطة IRS بيانات بدون أخطاء، ترد المحطة IRS برسالة ACK.

تعيد المحطة ISS إرسال البيانات إذا أخفقت المحطة ISS في استلام الرسالة ACK.

تحدد المحطة IRS هوية البيانات باستخدام رقم التتابع.

الشكل 119

السيناريو 2 لبروتوكول اتصالات البيانات



3.4.3.5 السيناريو 3 لاتصالات البيانات

إذا أخفقت المحطة IRS في استقبال البيانات، فإنها ترد برسالة NAK وترسل رسالة التحكم في التشكيل والتصحيح الأمامي للأخطاء في نفس الوقت.

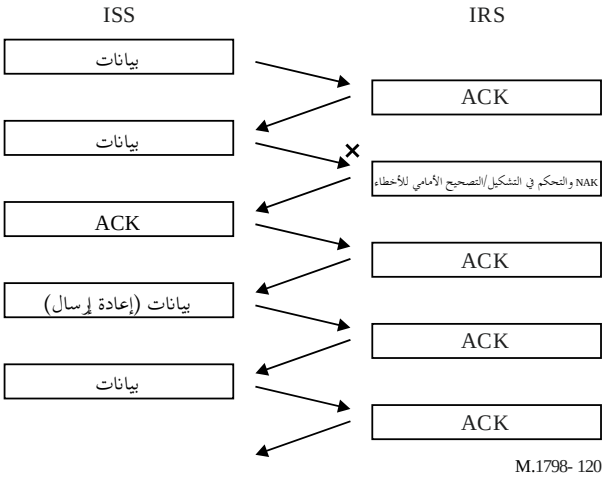
ترد المحطة ISS برسالة ACK بعد استلام الرسالة NAK.

ترد المحطة IRS برسالة ACK بعد استلام الرسالة ACK.

إذا استلمت المحطة ISS رسالة ACK، فإنها تعيد إرسال البيانات بعد تغيير مخططات التشكيل والتصحيح الأمامي للأخطاء.

الشكل 120

السيناريو 3 لبروتوكول اتصالات البيانات



4.4.3.5 السيناريو 4 لاتصالات البيانات

إذا أخفقت المحطة IRS في استقبال البيانات، فإنها ترد برسالة NAK وترسل رسالة التحكم في التشكيل والتصحيح الأمامي للأخطاء في نفس الوقت.

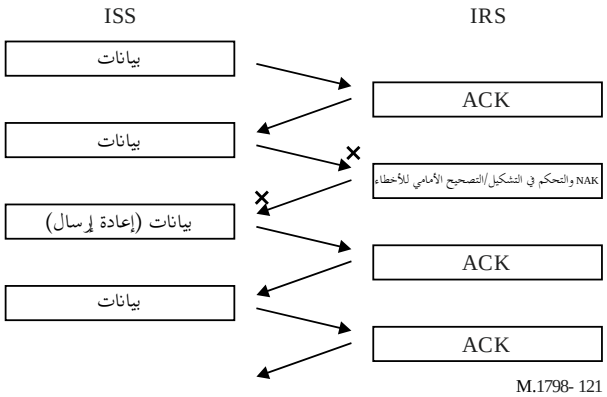
تعيد المحطة ISS إرسال البيانات إذا أخفقت المحطة ISS في استلام الرسالة NCK.

إذا استقبلت المحطة IRS بيانات بدون أخطاء، ترد المحطة IRS برسالة ACK.

إذا استلمت المحطة ISS رسالة ACK، فإنها ترسل البيانات التالية بعد تغيير مخططات التشكيل والتصحيح الأمامي للأخطاء.

الشكل 121

السيناريو 4 لبروتوكول اتصالات البيانات



5.4.3.5 السيناريو 5 لاتصالات البيانات

إذا أخفقت المحطة IRS في استقبال البيانات، فإنها ترد برسالة NAK وترسل رسالة التحكم في التشكيل والتصحيح الأمامي للأخطاء في نفس الوقت.

تعيد المحطة ISS إرسال البيانات إذا أخفقت المحطة ISS في استلام الرسالة NCK.

إذا أخفقت المحطة IRS في استقبال البيانات، فإنها ترد برسالة NAK وترسل رسالة التحكم في التشكيل والتصحيح الأمامي للأخطاء في نفس الوقت.

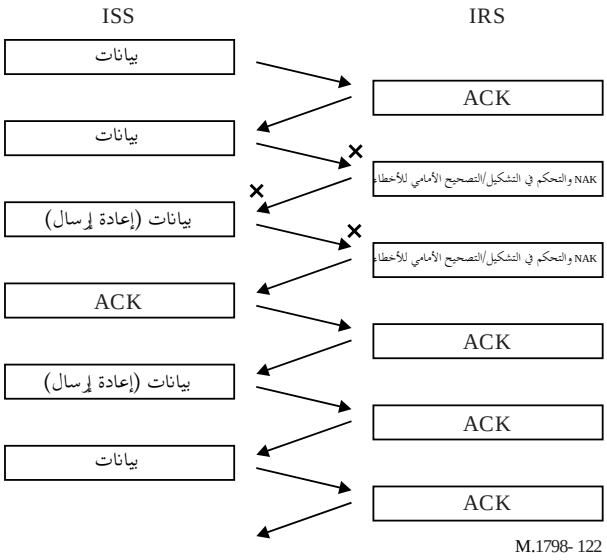
ترد المحطة ISS برسالة ACK بعد استلام الرسالة NAK.

ترد المحطة IRS برسالة ACK بعد استلام الرسالة ACK.

إذا استلمت المحطة ISS رسالة ACK، فإنها تعيد إرسال البيانات بعد تغيير مخططات التشكيل والتصحيح الأمامي للأخطاء.

الشكل 122

السيناريو 5 لبروتوكول اتصالات البيانات

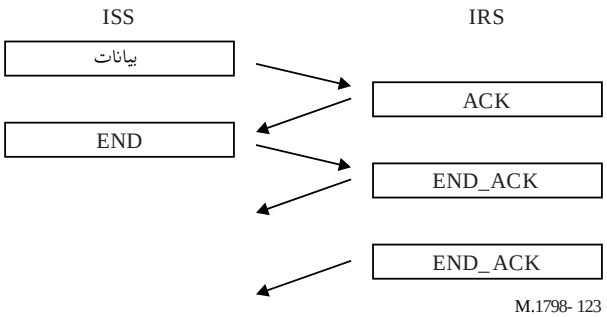


6.4.3.5 السيناريو END

إذا استلمت المحطة IRS رسالة التحكم END بدون أخطاء، فإنها ترد مرتين برسالة END_ACK.

الشكل 123

سيناريو END للبروتوكول



7.4.3.5 السيناريو OVER

إذا استلمت المحطة IRS رسالة التحكم OVER بدون أخطاء، فإنها ترد برسالة ACK.

ترد المحطة ISS برسالة NAK بعد استلام الرسالة ACK.

إذا استلمت المحطة IRS رسالة NAK، فإنها تتحول إلى محطة ISS وتقوم بإرسال البيانات

الشكل 124

سيناريو OVER للبروتوكول