الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R M.2010-1
(2019/01)

خصائص نظام رقمي يسمى نظام بيانات ملاحية لإذاعة المعلومات المتعلقة بالسلامة البحرية والأمن من الساحل إلى السفن في النطاق kHz 500

السلسلة M

الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة

الاتحاد الدولي للاتصالات

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، 2019

© ITU 2019
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.2010-1

خصائص نظام رقمي يسمى بيانات ملاحية لإذاعة المعلومات المتعلقة بالسلامة البحرية والأمن من الساحل إلى السفن في النطاق 500 kHz

(2019-2012)

مجال التطبيق

تصف هذه التوصية نظاماً راديوياً MF يطلق عليه اسم نظام بيانات ملاحية (NAVDAT) للاستعمال في الخدمة المتنقلة البحرية، العاملة في النطاق 500 kHz للإذاعة الرقمية للمعلومات المتعلقة بالسلامة البحرية والأمن من الساحل إلى السفينة. وترد الخصائص التشغيلية ومعمارية النظام لهذا النظام الراديوي في الملحقين 1 و2. وترد بالتفصيل في الملحقين 3 و4 الخصائص التقنية وهيكل الإرسال. ويعرَّف في الملحقين 5 و6 بهيكل ملف الرسائل وبأسلوب إذاعي.

مصطلحات أساسية

500 kHz، إذاعة، بيانات ملاحية (NAVDAT).

المختصرات/الأسماء المختصرة

CDU	وحدة التحكم والعرض *(Control and display unit)*
CRC	التحقق بالتكرار الدوري *(Cyclic redundancy check)*
DRM	الراديو الرقمي العالمي *(Digital radio mondiale)*
DS	تدفق البيانات *(Data stream)*
GF	مجال غالوا أو مجال محدود *(Galois Field or finite field)*
GNSS	النظام العالمي للملاحة الساتلية *(Global navigation satellite system)*
IMO	المنظمة البحرية الدولية *(International maritime organization)*
LDPC	اختبار التعادلية منخفض الكثافة *(Low density parity-check)*
MER	معدل خطأ التشكيل *(Modulation error rate)*
MIS	تدفق معلومات التشكيل *(Modulation information stream)*
NAVDAT	نظام بيانات ملاحية (اسم النظام) *((Navigational data (the system name))*
NAVTEX	تلكس ملاحي (اسم النظام) *((Navigational telex (the system name))*
OFDM	تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد *(Orthogonal frequency division multiplexing)*
PRBS	تتابع اثناني شبه عشوائي *(Pseudo-random binary sequence)*
QAM	تشكيل اتساع متعامد *(Quadrature amplitude modulation)*
RS	شفرات ريد–سولومون *(Reed-solomon codes)*
SFN	شبكة وحيدة التردد *(Single frequency network)*

SIM نظام المعلومات والإدارة *(System of information and management)*

TIS تدفق معلومات المرسل *(Transmitter information stream)*

التوصيات والتقارير ذات الصلة الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية

التوصية ITU-R BS.1514 – نظام للإذاعة الصوتية الرقمية في نطاقات الإذاعة تحت 30 MHz

التوصية ITU-R M.493 – نظام النداء الانتقائي الرقمي (DSC) المستعمل في الخدمة المتنقلة البحرية

التوصية ITU-R M.585 – تخصيص الهويات في الخدمة المتنقلة البحرية واستعمالها

التوصية ITU-R P.368 – منحنيات انتشار الموجة الأرضية للترددات ما بين 10 kHz و30 MHz

التوصية ITU-R P.372 – الضوضاء الراديوية

التقرير ITU-R M.2201 – استعمال النطاق 495-505 kHz في الخدمة المتنقلة البحرية من أجل إذاعة المعلومات المتعلقة بالسلامة والأمن من الساحل إلى السفن

إن جمعية الاتصالات الراديوية التابعة للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن إذاعة البيانات عالية السرعة من الساحل إلى السفن يعزز الكفاءة التشغيلية والسلامة البحرية؛

ب) أن نظام معلومات السلامة البحرية العامل بالموجات الهكتومترية (MF) (NAVTEX) يتمتع بسعة محدودة؛

ج) أن نظام الملاحة الإلكترونية (e-Navigation) المستخدم في المنظمة البحرية الدولية (IMO) يؤدي إلى زيادة الطلب على إرسال البيانات من الساحل إلى السفينة؛

د) أن النطاق 500 kHz يوفر تغطية جيدة للأنظمة الرقمية،

وإذ تعترف

بأن نظام الراديو الرقمي العالمي (DRM) المشار إليه في الملحق 6 أُدرج في التوصية ITU-R BS.1514،

وإذ تلاحظ

أن التقرير ITU-R M.2201 يوفر الأساس لنظام NAVDAT،

توصي

1 بأن تكون الخصائص التشغيلية لإذاعة المعلومات المتصلة بالسلامة البحرية والأمن وفقاً للملحق 1؛

2 بأن تكون معمارية النظام لنظام إذاعة المعلومات المتصلة بالسلامة البحرية والأمن وفقاً للملحق 2؛

3 بأن تكون الخصائص التقنية وبروتوكولات المودمات لإرسال البيانات الرقمية من الساحل إلى السفن في النطاق 500 kHz وفقاً للملحقين 3 و4؛

4 بأن يتوافق تدفق بيانات النظام وهيكل الرسالة مع الملحق 5.

الملحق 1

الخصائص التشغيلية

يستعمل النظام NAVDAT توزيع للفواصل الزمنية على غرار نظام NAVTEX الذي يمكن للمنظمة البحرية الدولية أن تنسقه بنفس الطريقة.

ويمكن لنظام NAVDAT أن يعمل أيضاً على شبكة وحيدة التردد (SFN) على النحو الموصوف في الملحق 6. وفي هذه الحالة، تكون أجهزة الإرسال متزامنة من حيث التردد ويجب أن تكون بيانات الإرسال هي ذاتها بالنسبة إلى جميع أجهزة الإرسال.

ويوفر النظام الرقمي NAVDAT 500 kHz الإرسال الإذاعي المجاني لأي نوع من أنواع الرسائل من الساحل إلى السفن مع إمكانية التجفير.

1 أنماط الرسائل والملفات

ينبغي لأي رسائل إذاعية أن ترسل من خلال مصدر آمن ومتحكم فيه.

ويمكن لإذاعة أنماط الرسائل أن تشمل على سبيل المثال لا الحصر:

- سلامة الملاحة؛
- الأمن؛
- القرصنة؛
- البحث والإنقاذ؛
- رسائل الأرصاد الجوية؛
- الرسائل المتعلقة بالقيادة أو الميناء؛
- نقل ملفات نظام حركة السفن؛
- حزم تحديث المخطط الإلكتروني.

2 أساليب الإذاعة

1.2 إذاعة عامة

تُبث هذه الرسائل لمعلومية جميع السفن.

2.2 إذاعة انتقائية

تُبث هذه الرسائل من أجل مجموعة من السفن[1] أو في منطقة ملاحية محددة[2].

---

[1] يرد تعريف نسق تعرف هوية النداء الجماعي لمحطة السفينة في الجزء 1 من الملحق 1 بالتوصية ITU-R M.585.

[2] يحال تعريف الإحداثيات الجغرافية إلى الفقرة 3.5 في الملحق 1 بالتوصية ITU-R M.493.

3.2 رسائل مكرسة

تُوجه هذه الرسائل إلى سفينة واحدة باستعمال هوية الخدمة المتنقلة البحرية.

3 أولوية الإذاعة

يمكن لنظام البيانات الملاحية (NAVDAT) إذاعة الرسائل المشفوعة بالاستغاثة والإلحاح والسلامة بالترتيب المحدد في دليل SafetyNET الدولي لدى المنظمة البحرية الدولية.

الملحق 2

معمارية النظام

1 السلسلة الإذاعية

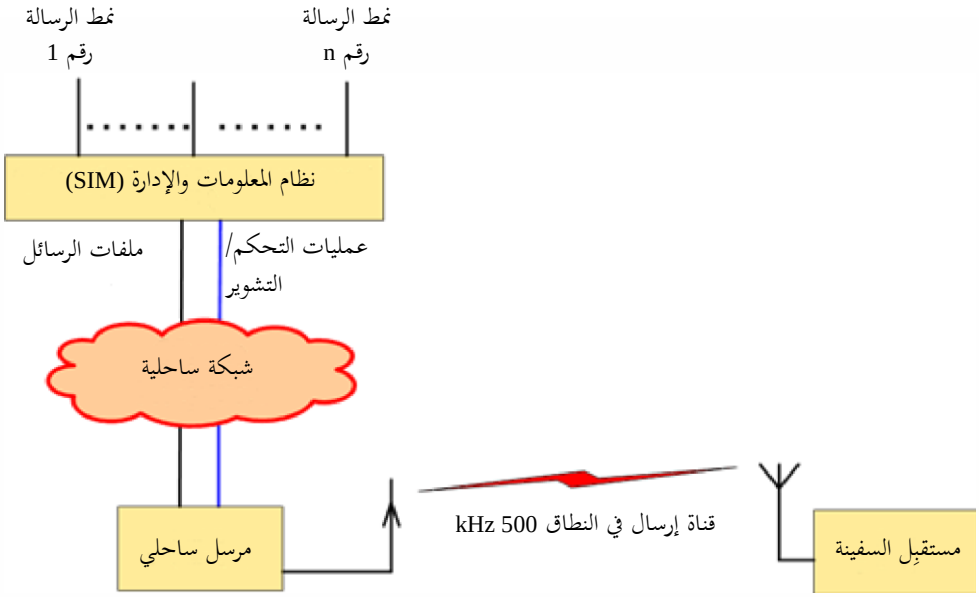
يقوم نظام NAVDAT على خمسة متجهات لأداء المهام التالية:

- يقوم نظام المعلومات والإدارة (SIM) بما يلي:
  - جمع كافة أنواع المعلومات ومراقبتها؛
  - إنشاء ملفات الرسائل التي يتعين إرسالها؛
  - إنشاء برنامج الإرسال وفقاً لأولوية ملفات الرسائل والحاجة إلى تكرارها؛
  - مراقبة حالة تشغيل وجودة إذاعة المرسِل الساحلي؛
  - التحكم في معلمات تشغيل المرسِل الساحلي.
- الشبكة الساحلية:
  - تضمن نقل ملفات الرسائل ومراقبة البيانات من المصادر إلى المرسلات.
- المرسِل الساحلي:
  - يستقبل ملفات الرسائل من نظام المعلومات والإدارة؛
  - يحوّل ملفات الرسائل إلى إشارات بتعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM)؛
  - يرسل إشارة التردد الراديوي إلى الهوائي لإذاعتها على السفن؛
  - مراقبة حالة التشغيل وتقديم تقارير إلى نظام المعلومات والإدارة (SIM).
- قناة الإرسال:
  - تنقل الإشارة RF في النطاق 500 kHz.
- مستقبِل السفينة:
  - يزيل تشكيل الإشارة RF OFDM؛
  - يعيد إنشاء ملفات الرسائل؛
  - يرتّب ملفات الرسائل ويتيحها للجهاز المخصص وفقاً لتطبيقات ملفات الرسائل، أو يعرض محتويات ملفات الرسائل.

يبين الشكل 1 مخطط مسير السلسلة الإذاعية.

الشكل 1

مخطط صندوقي للسلسلة الإذاعية NAVDAT 500 kHz



1.1 نظام المعلومات والإدارة

يشمل نظام المعلومات والإدارة ما يلي:

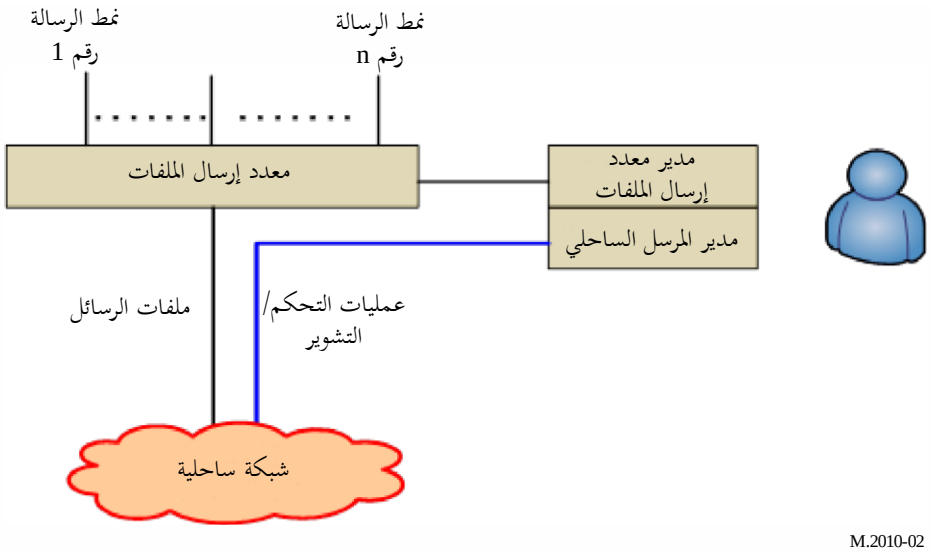
- جميع المصادر التي تقدم ملفات الرسائل (مثل مكتب الأرصاد الجوية، منظمات السلامة والأمن وغيرها)؛
- معدد إرسال الملفات الذي هو عبارة عن تطبيق يُشغل على مخدم؛
- مدير معدد إرسال الملفات؛
- مدير المرسِل الساحلي.

وتُوصل جميع المصادر بمعدد إرسال الملفات من خلال شبكة.

ويبين الشكل 2 المخطط العام لنظام المعلومات والإدارة.

الشكل 2

مخطط صندوقي لنظام المعلومات والإدارة NAVDAT



1.1.1 معدد إرسال الملفات

يقوم معدد إرسال الملفات بما يلي:

- استلام ملفات الرسائل من مصادر البيانات؛
- تشفير ملفات الرسائل عند الطلب؛
- تنسيق رسائل الملفات مع معلومات المتلقي ووضع الأولوية وصلاحية التوقيت؛
- إرسال ملفات الرسائل إلى المرسِل.

2.1.1 مدير معدد إرسال الملفات

معدد إرسال الملف هو سطح بيني بين الإنسان والآلة يمكّن المستعمل من القيام بما يلي من بين مهام أخرى:

- إلقاء نظرة على ملفات الرسائل الواردة من أي مصدر؛
- تحديد أولوية كل ملف من ملفات الرسائل وتواتره؛
- تحديد متلقي ملف الرسائل؛
- إدارة تجفير رسائل الملف.

وقد تكون بعض هذه الوظائف تلقائية. وكمثال على ذلك، يمكن تحديد أولوية رسائل ما وتواترها وفقاً للمصدر الذي تأتي منه أو يمكن للمصدر أن يحدد الأولوية في الرسائل.

3.1.1 مدير المرسِل الساحلي

مدير المحطة الساحلية هو سطح بيني بين الإنسان والآلة موصّل بالمرسِل من خلال الشبكة؛ ويمكّن من مراقبة المرسِل عن طريق مؤشرات منها:

- إخطار بالإرسال؛
- وسائل إنذار؛
- قدرة الإرسال الفعلية؛

- تقرير التزامن؛
- جودة الإرسال؛

وتغيير معلمات المرسِل مثل:

- قدرة الإرسال؛
- معلمات تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (موجات حاملة فرعية دليلية، تشكيل، تشفير الأخطاء وما إلى ذلك)؛
- الجدول الزمني للإرسال.

2.1 الشبكة الساحلية

يمكن للشبكة الساحلية أن تستعمل وصلة عريضة النطاق أو وصلة بمعدل بيانات منخفض أو تقاسم محلي للملفات.

3.1 وصف المرسِل الساحلي

تتكون محطة ساحلية للإرسال من التشكيل الأدنى التالي:

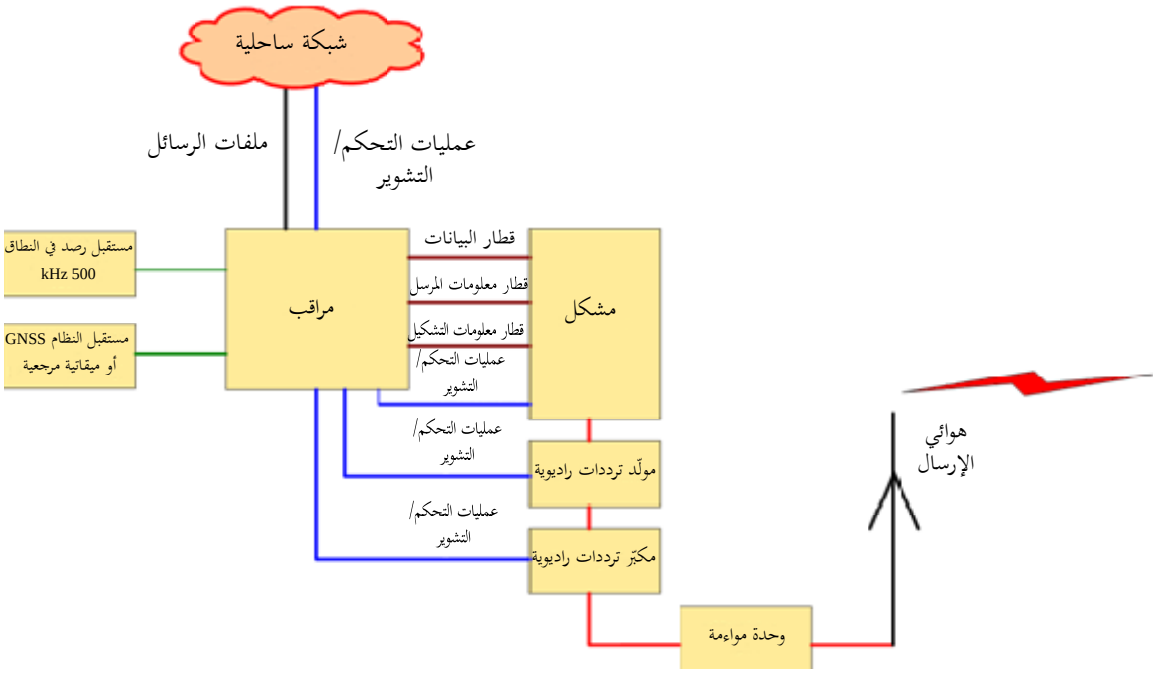
- مراقب، وهو مخدم محلي بنفاذ محمي؛
- مشكل OFDM؛
- مولد ترددات راديوية؛
- مكبّر عالي القدرة في الترددات الراديوية؛
- هوائي للإرسال مع وحدة مواءمة؛
- مستقبل للنظام العالمي للملاحة الساتلية (GNSS) أو ميقاتية ذرية للتزامن؛
- مستقبِل رصد والهوائي الخاص به.

1.3.1 معمارية النظام الساحلي

يبين الشكل 3 مخططاً صندوقياً لمرسِل رقمي 500 kHz.

الشكل 3

مخطط صندوقي وظيفي للمرسِل الرقمي NAVDAT HF



2.3.1 المراقب

تستقبل هذه الوحدة بعض المعلومات:

- ملفات الرسائل من نظام المعلومات والإدارة؛
- بيانات النظام GNSS أو الميقاتية الذرية من أجل التزامن؛
- الإشارة 500 kHz من مستقبِل الرصد؛
- مشكّل 500 kHz ومولد ترددات راديوية لإشارة 500 kHz وإشارات التحكم في مكبّر عالي القدرة عند الترددات الراديوية ومراقبة.

تتمثل وظيفة المراقب فيما يلي:

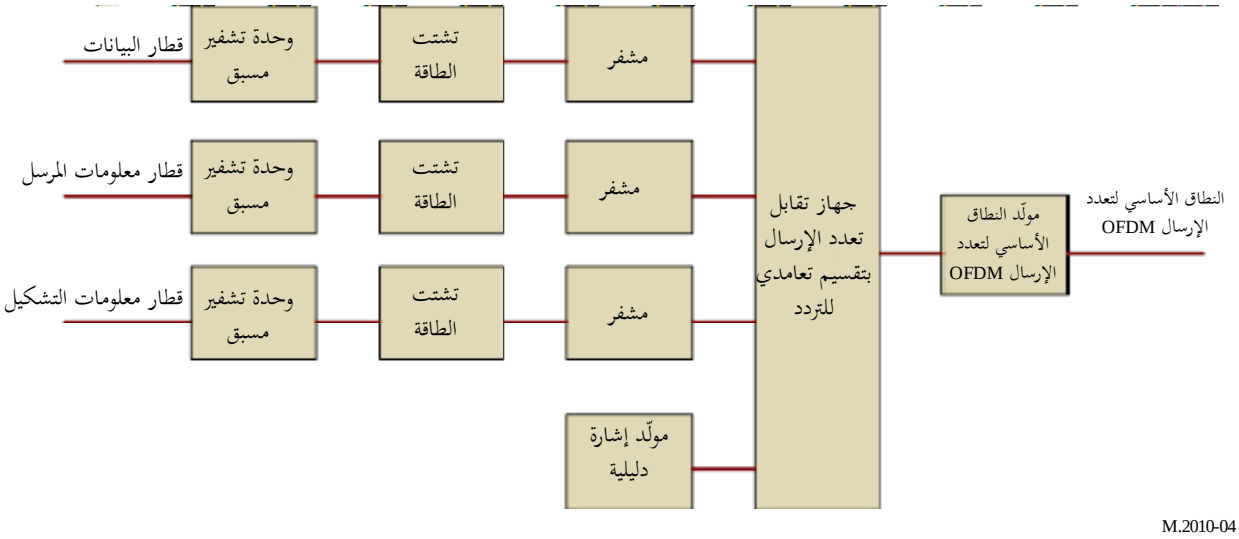
- التحقق من خلو نطاق الترددات 495-505 kHz قبل الإرسال؛
- مزامنة جميع الإشارات على المحطة الساحلية انطلاقاً من ميقاتية التزامن؛
- مراقبة معلمات الإرسال والوقت والجدول الزمني؛
- تنسيق ملفات الرسائل التي ينبغي إرسالها (تقسيم الملفات إلى رزم).

3.3.1 المشكّل

يعرض الشكل 4 مخطط المشكّل.

الشكل 4

مخطط صندوقي وظيفي للمشكّل NAVDAT 500 kHz



1.3.3.1 تدفقات الدخل

المشكّل بحاجة إلى ثلاثة تدفقات من تدفقات الدخل لتشغيله:

- تدفق معلومات التشكيل (MIS)؛
- تدفق معلومات المرسِل (TIS)؛
- تدفق البيانات (DS).

وتُحوّل هذه التدفقات شفرياً وتوضع بعدئذٍ في شكل إشارة تعدد الإرسال OFDM بواسطة جهاز تقابل الخلايا.

1.1.3.3.1 تدفق معلومات التشكيل

يُستعمل هذا التدفق لتوفير معلومات بشأن:

- إشغال الطيف؛
- التشكيل من أجل تدفق معلومات الإرسال وتدفق البيانات (4-QAM أو 16-QAM أو 64-QAM).

يجري دائماً تشفير تدفق معلومات التشكيل هذا على الموجات الحاملة الفرعية بتشكيل 4-QAM من أجل جودة إزالة التشكيل في المستقبِل.

2.1.3.3.1 تدفق معلومات المرسِل

يُستعمل هذا التدفق لتوفير معلومات إلى المستقبِل بشأن:

- تشفير الأخطاء لتدفق البيانات (يختلف بالنسبة لانتشار الموجات الأرضية نهاراً وبالنسبة لانتشار الموجات الأرضية مع الأيونوسفيرية ليلاً)؛
- معرف هوية المرسِل؛

– التاريخ والوقت.

يمكن تشفير تدفق معلومات المرسِل هذا بالمخطط 4-QAM أو 16-QAM.

3.1.3.3.1 تدفق البيانات

يتضمن ملفات الرسائل التي يتعين إرسالها (تم تنسيق هذه الملفات سابقاً بواسطة معدد إرسال الملفات).

2.3.3.1 تشفير الأخطاء

يحدد مخطط تصحيح الأخطاء متانة التشفير، ومعدل التشفير هي النسبة بين معدل البيانات المفيدة ومعدل البيانات الخام. ويوضح هذا المعدل كفاءة الإرسال ويمكن أن يختلف بين 0,5 و0,75 تبعاً لمخططات تصحيح الأخطاء ومخططات التشكيل.

3.3.3.1 توليد تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد

يجري تنسيق ثلاثة تدفقات (تدفق معلومات التشكيل وتدفق معلومات المرسِل وتدفق البيانات):

– تشفير؛

– تشتت الطاقة.

يقوم جهاز تقابل الخلايا بتنظيم الخلايا OFDM ذات التدفقات المنسقة والخلايا الدليلية. وتُرسل الخلايا الدليلية للمستقبِل لتقدير القناة الراديوية ومزامنتها على إشارة الترددات الراديوية.

وينشئ مولّد الإشارة OFDM النطاق الأساسي OFDM وفقاً لخرج جهاز تقابل الخلايا.

4.3.1 مولّد الإشارة 500 kHz RF

ينقل المولّد 500 kHz RF إشارة النطاق الأساسي إلى الموجة الحاملة لخرج التردد 500 kHz RF النهائي.

ويكبّر المكبّر إشارة الترددات الراديوية إلى القدرة المرغوبة.

5.3.1 مكبّر الترددات الراديوية

تتمثل وظيفة هذه المرحلة في تكبير الإشارة 500 kHz الصادرة من خرج المولّد إلى المستوى المطلوب للحصول على التغطية الراديوية المرغوبة.

ويُدخل الإرسال OFDM عامل ذروة في الإشارة RF. ويجب أن يظل عامل الذروة هذا في المدى 7 إلى 10 dB عند خرج مكبّر الترددات الراديوية للحصول على معدل سليم لخطأ التشكيل (MER).

6.3.1 هوائي الإرسال ووحدة المواءمة

يوصّل مكبّر الترددات الراديوية بهوائي الإرسال من خلال وحدة مواءمة المعاوقة.

7.3.1 مستقبِل النظام العالمي للملاحة الساتلية وميقاتية مرجعية ذرية احتياطية

تُستعمل الميقاتية لمزامنة المراقب المحلي وتشكيل ميقاتية مرجعية عالية الدقة عند العمل بأسلوب شبكة وحيدة التردد (SFN).

8.3.1 مستقبِل الرصد

يتحقق مستقبِل الرصد من خلو نطاق التردد 495-505 kHz قبل الإرسال ويتيح إمكانية التحقق من الإرسال. ويوصى بمستقبِل المراقبة عن بُعد لمراقبة جودة استقبال الإشارات المحلية.

4.1 قناة الإرسال: تقدير التغطية الراديوية

يمكن حساب التغطية استناداً إلى أحدث نسخة من التوصيتين ITU-R P.368 وITU-R P.372. انظر التقرير ITU-R M.2201 للاطلاع على مثال.

الملحق 3

الخصائص التقنية للنظام NAVDAT

1 مبدأ التشكيل

يستعمل هذا النظام تعدد الإرسال OFDM الذي هو بمثابة تكنولوجيا لتشكيل الإرسالات الرقمية.

1.1 مقدمة

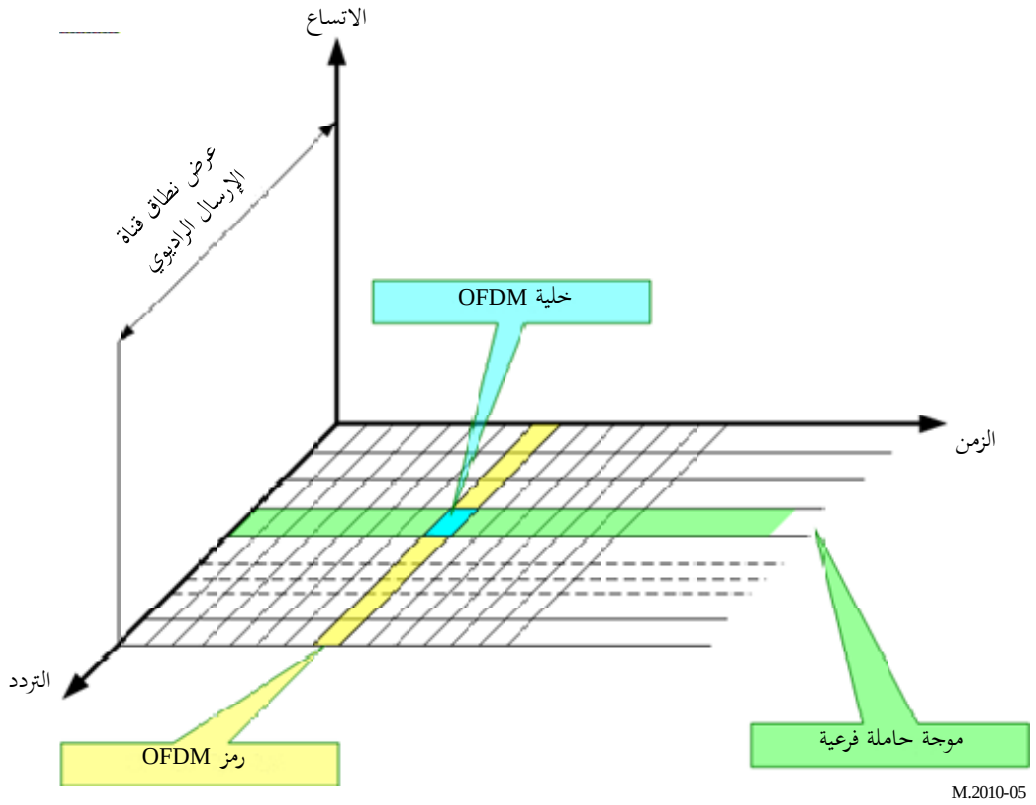
يُقسم عرض نطاق قناة الإرسال الراديوي في مجال التردد لتشكيل موجات حاملة فرعية.

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

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

الشكل 5

تقديم تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد



2.1 المبدأ

يستعمل تعدد الإرسال بالتقسيم التعامدي للتردد (OFDM) عدداً كبيراً من الموجات الحاملة الفرعية المتعامدة وضئيلة التباعد (Hz 41,66) من أجل الحصول على كفاءة طيفية عالية لإرسال البيانات. وتكون هذه الموجات الحاملة الفرعية ذات ترددات متباعدة (Fu = 1/Tu) 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 (Td) في الرمز OFDM للحد من تأثير المسارات المتعددة، وبالتالي الحد من التداخل بين الرموز.

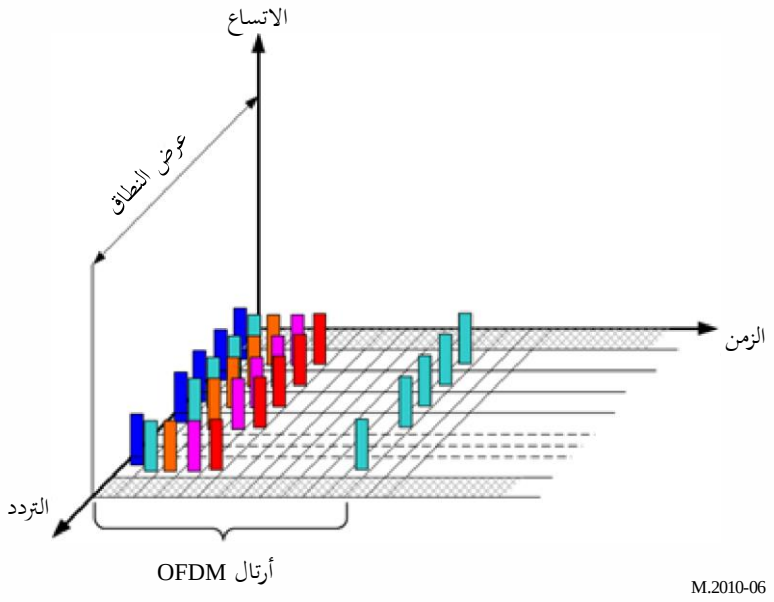
وتكون مدة الرمز OFDM كالتالي Td + Tu = Ts

وتكون رموز OFDM بالتالي متسلسلةً لتكوّن إطاراً من أطر OFDM.

وتكون مدة الإطار OFDM هي Tf.

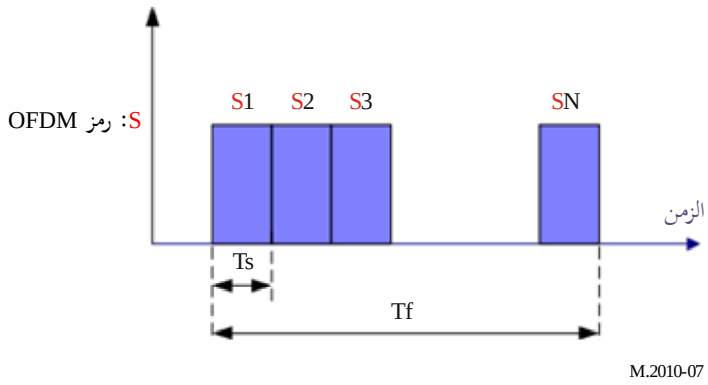
الشكل 6

التمثيل الطيفي لإطار تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد



الشكل 7

التمثيل الزمني لإطار تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد



3.1 معلمات تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد

ترد في الجدول 1 قيم معلمات تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد.

الجدول 1

قيم معلمات تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM)

T_f	N_s	$T_s=T_u+T_d$	T_d	$1/T_u$	T_u
ms 400	15	ms 26,66	2,66 ms	Hz $41^{2/3}$	ms 24

T_u: مدة الجزء المفيد من رمز OFDM

$1/T_u$: تباعد الموجات الحاملة

T_d: مدة الفاصل الحارس

T_s: مدة رمز OFDM

N_s: عدد الرموز في كل إطار

T_f: مدة إطار الإرسال.

4.1 عرض نطاق القناة

تعرِّف الإذاعة الرقمية لنظام البيانات الملاحية (NAVDAT) عروض نطاق مختلفة للقناة وتحدد أعداد الموجات الحاملة الفرعية المقابلة لمعدلات إشغال الطيف المختلفة. ويعرض الجدول 2 قيمة عرض نطاق القناة وأعداد الموجات الحاملة الفرعية.

الجدول 2

العلاقة بين عرض نطاق القناة وأعداد الموجات الحاملة الفرعية لتعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد

	إشغال الطيف			
	1	**2**	**3**	**4**
عرض نطاق القناة (kHz)	1	3	5	10
عدد الموجات الحاملة الفرعية	23	69	115	229
رقم الموجة الحاملة الفرعية k	k= –11 إلى 11	k= –34 إلى 34	k= –57 إلى 57	k= –114 إلى 114

5.1 التشكيل

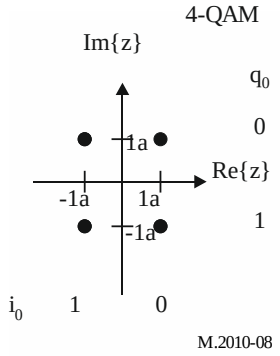
تشكَّل كل موجة حاملة فرعية من حيث الاتساع والطور (QAM: تشكيل اتساع متعامد).

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.

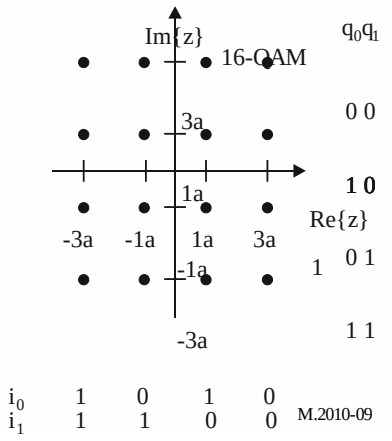
الشكل 8

كوكبة تشكيل الاتساع المتعامد (4-QAM)



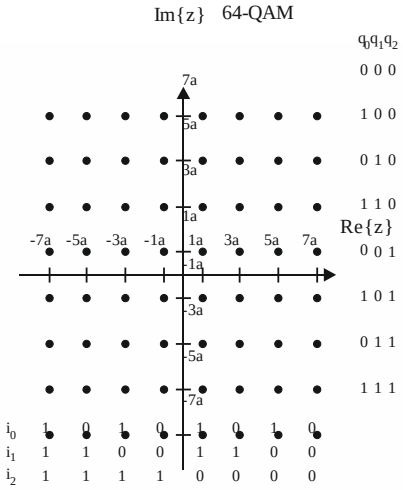
الشكل 9

كوكبة تشكيل الاتساع المتعامد (16-QAM)



الشكل 10

كوكبة تشكيل الاتساع المتعامد (64-QAM)



M.2010-10

6.1 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.

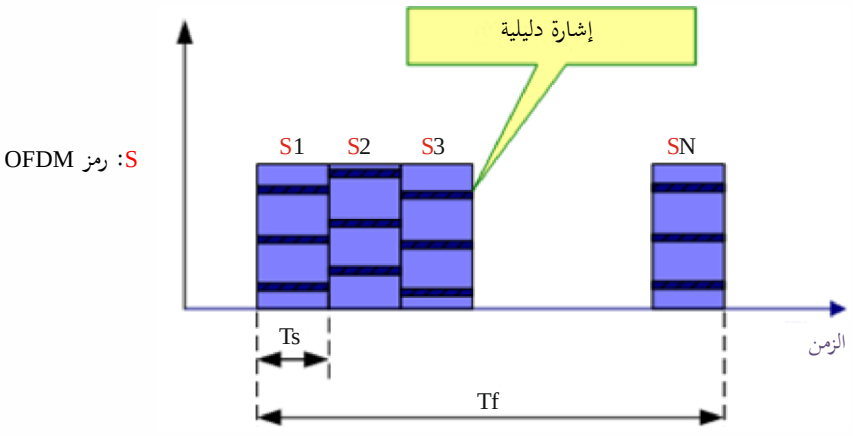
وتمكن الإشارات الدليلية المستقبِل مما يلي:

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

ويتوقف عدد الإشارات الدليلية على المتانة المطلوبة للإشارة.

الشكل 11

الإشارة الدليلية لتعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد

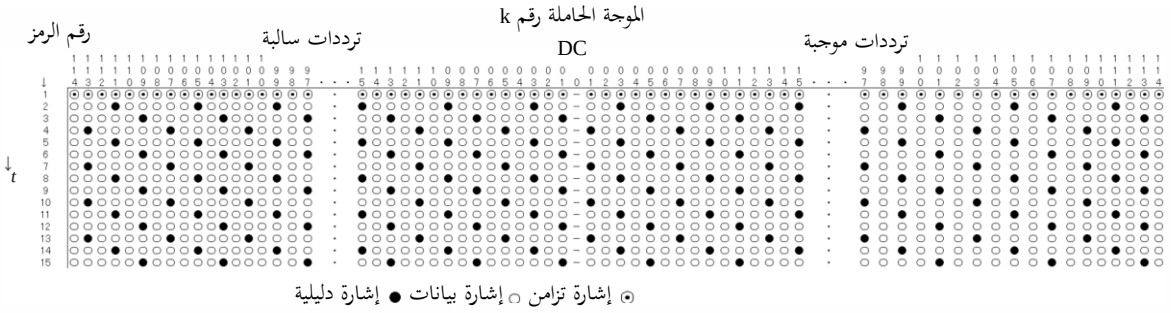


M.2010-11

يمكن عرض موقع الإشارة الدليلية في كل رمز OFDM في إطار على النحو التالي:

الشكل 12

موقع الإشارة الدليلية



M.2010-12

حيث t هو اتجاه ميدان الزمن، وf هو اتجاه مجال التردد. ويتعين أن يُملأ الرمز الأول لكل إطار OFDM بتتابع إشارات التزامن التي تشكل رأس التزامن (راجع الجدول 7)، وكلها تستخدم كمرجع زمني لتقديم التزامن للمستقبِل. وتمثل الخلية السوداء والخلية البيضاء الإشارة الدليلية وإشارة البيانات، على التوالي. وترد في الجدول 3 قيمة الإشارة الدليلية المشكَّلة بتشكيل 2-QAM (BPSK) في رمز OFDM.

الجدول 3

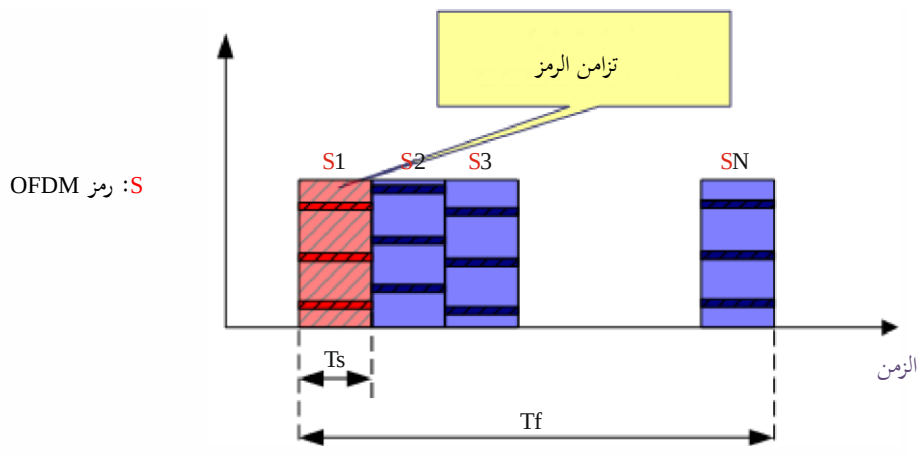
التتابع الدليلي

عدد الموجات الحاملة الفرعية	التتابع الدليلي
229	1 1- 1 1- 1- 1- 1 1 1- 1- 1- 1 1 1 1- 1- 1- 1- 1 1 1 1- 1- 1 1- 1 1- 1 1 1 1- 1 1- 1
115	1 1 1- 1 1- 1 1 1 1- 1 1 1- 1 1- 1
69	1 1- 1 1- 1 1- 1 1- 1 1- 1
23	1- 1 1-

وتُستعمل أي موجة حاملة فرعية كمرجع زمني لمزامنة المستقبِل في الرمز الأول لكل إطار OFDM.

الشكل 13

رمز التزامن



M.2010-13

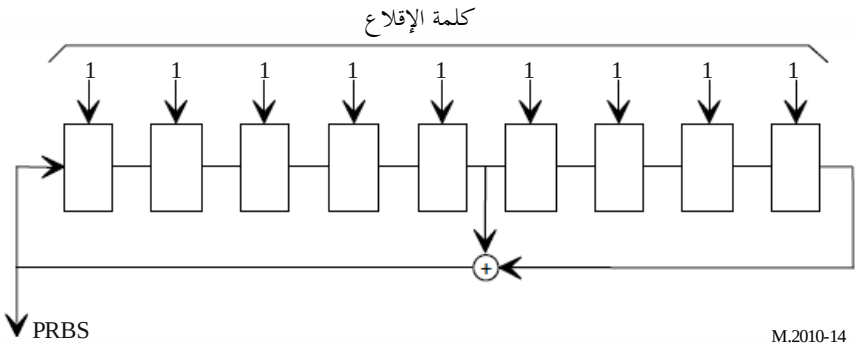
7.1 تشتيت الطاقة

الغرض من تشتيت الطاقة هو تجنب إرسال أنماط الإشارة الناتجة عن انتظام غير مرغوب فيه. وتنبغي بعثرة فرادى مدخلات مبعثرات تشتيت الطاقة بمعامل –2 مع تتابع اثنيني شبه عشوائي (PRBS)، قبل تشفير القناة. ويُعرَّف PRBS على أنه ناتج سجل إزاحة التغذية المرتدة في الشكل 14. وينبغي أن يستخدم كثير الحدود من الدرجة 9، المعرّف بواسطة:

$$P(X)=X^9+X^5+1$$

الشكل 14

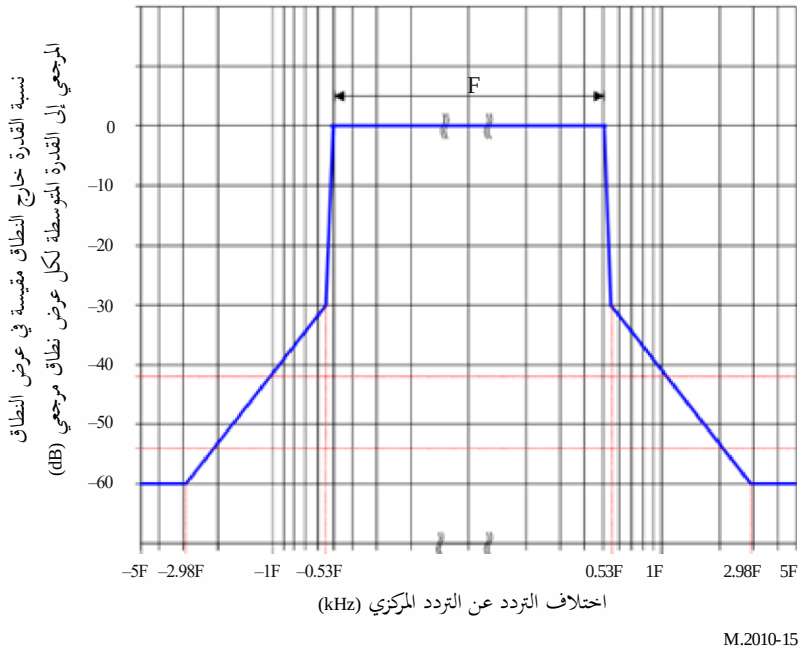
مولد اثنيني شبه عشوائي



8.1 الإشغال الطيفي لإشارة الترددات الراديوية

الشكل 15

الإشغال الطيفي لإشارة التردد الراديوي NAVDAT بعرض نطاق F = 10 kHz



2 تقدير معدل البيانات المستعمل

في عرض نطاق القناة البالغ 10 kHz مع انتشار 500 kHz، يبلغ عادةً معدل البيانات الخام المتاح لتدفق البيانات حوالي 25 kbit/s مع إشارة بتشكيل 16-QAM.

ويمكن لعدد الموجات الحاملة الفرعية التي تنقل البيانات أن يختلف لضبط حماية القناة. وتؤدي حماية أكبر للقناة (حماية ضد تعدد المسيرات والخبو والتأخير وغير ذلك) إلى عدد أقل من الموجات الحاملة الفرعية المفيدة.

ولذلك يتعين تطبيق تشفير الأخطاء على معدل البيانات الخام للحصول على معدل البيانات المفيدة. ومع معدل تشفير يبلغ 0,5 إلى 0,75، يتراوح معدل البيانات المفيدة بين 12 و19 kbit/s.

ويوفر معدل تشفير أعلى معدلاً أعلى للبيانات المفيدة بينما تكون التغطية الراديوية منخفضة تبعاً لذلك.

وعلى اختلاف معدل التشكيل والرموز، يظهر معدل البيانات المفيدة على النحو التالي.

الجدول 4

معدل البيانات

الأسلوب	تشكيل (nQAM)	معدل الشفرة	معدل البيانات (kbps)
0	4-QAM	0,5	6,36
1	4-QAM	0,75	9,56
2	16-QAM	0,5	12,76
3	16-QAM	0,75	19,16
4	64-QAM	0,5	19,16
5	64-QAM	0,75	28,76

3 توصيف أداء مرسِل نظام البيانات الملاحية (NAVDAT)

الجدول 5

توصيف الأداء الأدنى لمرسِل نظام البيانات الملاحية (NAVDAT)

المعلمات	النتائج المطلوبة
نطاق التردد	505-495 kHz
الخطأ في تردد الموجة الحاملة	ضمن ± 2,5 Hz من التردد الاسمي
قناع الطيف	يلتزم بمتطلبات الشكل 15
نسبة نبذ التشكيل البيني من الرتبة الثالثة	≤40 dBc
البث الهامشي للمرسل (عبر مدى القدرة كله)	–50 dB دون تجاوز المستوى المطلق البالغ 50 mW (17 dBm)

4 مستقبِل سفينة نظام البيانات الملاحية (NAVDAT)

1.4 وصف مستقبِل السفينة NAVDAT

يعرض الشكل 16 مخططاً صندوقياً لمستقبِل السفينة.

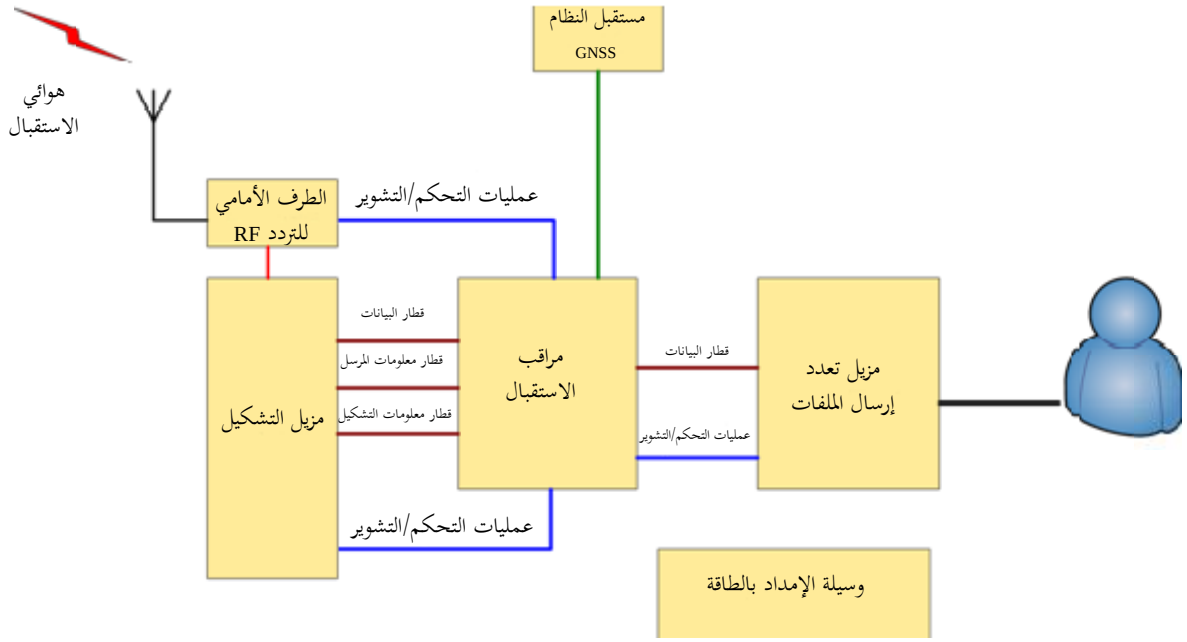
ويتألف المستقبِل الرقمي النموذجي NAVDAT 500 kHz من عدة وحدات أساسية:

- هوائي استقبال الموجات الهكتومترية (MF) والهوائي الاختياري للنظام العالمي للملاحة الساتلية؛
- الطرف الأمامي للتردد الراديوي؛
- مزيل التشكيل؛
- مزيل تعدد إرسال الملفات؛
- المراقب؛
- وحدة التحكم والعرض (CDU)؛
- السطح البيني للبيانات؛
- وسيلة الإمداد بالقدرة.

ويمكن لمستقبِل سفينة نظام البيانات الملاحية (NAVDAT) استقبال وفك تشفير قناة MF الرئيسية وقناة HF الرئيسية في الوقت نفسه بمستقبلين فرعيين كاملين. فيستمع أول مستقبِل فرعي باستمرار إلى 500 kHz. فيما يترقب المستقبِل الفرعي الثاني تردد 226 4 kHz. وفي حال عدم وجود استقبال على التردد 226 4 kHz، يقوم المستقبِل الفرعي بمسح جميع قنوات HF 6 لمدة 500 ms في كل قناة. ويسمح تصميم هذا المستقبل الثاني بالاستقبال وفك تشفير المرسلات المستقبلية المحتملة الإقليمية أو المحلية باستخدام قنوات MF أو HF.

الشكل 16

مخطط منطقي لمستقبِل NAVDAT



M.2010-1 6

1.1.4 هوائي الاستقبال وهوائي النظام العالمي للملاحة الساتلية

يمكن لهوائي استقبال 500 kHz أن يكون إما هوائي المجال H (يوصى به على سفينة تشوبها الضوضاء) أو هوائي المجال E. وكخيار، يمكن لمستقبِل سفينة نظام البيانات الملاحية (NAVDAT) استقبال قنوات HF لنظام البيانات الملاحية. وفي هذه الحالة، سيكون لنظام هوائي الاستقبال نطاق من 300 kHz إلى 25 MHz.

وثمة حاجة أيضاً إلى هوائي GNSS (أو التوصيل بالمستقبِل GNSS للسفينة الحالية) للحصول على موقع السفينة.

2.1.4 الطرف الأمامي للتردد RF

تشمل هذه الوحدة مرشاح الترددات الراديوية ومكبر الترددات الراديوية وخرج النطاق الأساسي.

ويلزم توفر حساسية عالية ومدى دينامي مرتفع.

3.1.4 مزيل التشكيل

يتم في هذه المرحلة إزالة تشكيل الإشارة OFDM للنطاق الأساسي وإعادة إنشاء تدفق البيانات الذي يحمل ملفات الرسائل المرسلة.

ويُنفذ في هذه المرحلة ما يلي:

- تزامن الوقت/التردد؛
- تقدير القناة؛
- استرداد التشكيل الأوتوماتي؛
- تصحيح الأخطاء.

وينبغي أن يكون مستقبِل NAVDAT قادراً على كشف معلمات التشكيل التالية بشكل أوتوماتي:

- المخطط 16-QAM أو 64-QAM؛
- مخطط الموجات الحاملة الفرعية؛
- نمط تشفير الأخطاء.

وإضافةً إلى تدفق البيانات، يقوم بتبليغ المعلومات المتضمنة في تدفق معلومات المرسِل وتدفق معلومات التشكيل. وعلاوة على ذلك، يقوم بتبليغ المعلومات التكميلية بشأن القناة مثل:

- نسبة الإشارة إلى الضوضاء المقدّرة؛
- معدل خطأ البتات؛
- معدل خطأ التشكيل.

4.1.4 مزيل تعدد إرسال الملفات

يقوم مزيل تعدد إرسال الملفات بما يلي:

- استقبال ملفات الرسائل من المراقب؛
- التحقق من أن ملفات الرسائل مخصصة له (نمط أسلوب الإذاعة)؛
- فك تجفير ملفات الرسائل إذا لزم الأمر/إذا استطاع القيام بذلك؛
- إتاحة ملفات الرسائل لتطبيق المطراف الذي سيستعمل ملفات الرسائل؛
- إلغاء ملفات الرسائل المتقادمة.

واعتماداً على التطبيق النهائي، يمكن لملف الرسائل أن:

- يُخزّن في مخدم على المتن يمكن النفاذ إليه من خلال شبكة السفينة؛
- يعرض على وحدة التحكم والعرض (CDU) في المستقبِل مباشرة؛
- يُرسل إلى التطبيق النهائي مباشرة.

5.1.4 المراقب

يقوم المراقب بما يلي:

- استخراج ملفات الرسائل من تدفق البيانات (دمج الرزم في الملفات)؛
- تحويل تدفق معلومات المرسِل وتدفق معلومات التشكيل والمعلومات الأخرى المقدمة من مزيل التشكيل؛
- جمع المعلومات التالية من مزيل تعدد إرسال الملفات:
  - العدد الإجمالي لملفات الرسائل مفككة التشفير؛
  - عدد ملفات الرسائل المتيسرة؛
  - حدث الخطأ (أخطاء فك التجفير).

6.1.4 وحدة التحكم والعرض

يمكن للمستقبِل تقديم وحدة عرض وتحكم، ووظيفة هذه الوحدة هي:

- عرض المعلومات الخاصة والتوصيل، عن طريق، تشكيل السطح البيني، بتطبيق معدات مخصص (مثل الملاحة الإلكترونية) وإدارة المحتويات المرخصة للسفينة (مثل تحديد هوية السفينة وتجفيرها)؛
- عرض معلمات الاستقبال والتحقق منها؛
- عرض محتوى الرسالة وفقاً لتصنيف تطبيق ملف الرسالة.

ويمكن أن تكون على وحدة التحكم والعرض (CDU) هذه تطبيقاً خاصاً يشغَّل على حاسوب خارجي، ويمكن أن يكون المستقبِل جهاز صندوق أسود.

7.1.4 السطح البيني للبيانات

يحصل المستقبِل على البيانات من الأجهزة الخارجية مثل GNSS من خلال السطح البيني للبيانات. ويصنف المراقب ملفات الرسائل وفقاً لتطبيقاتها ويقدم ملفات الرسائل إلى أجهزة التطبيق من خلال السطح البيني للبيانات.

وينبغي أن تقدم المعدات سطحاً بينياً للبيانات يلتزم بمتطلبات سلسلة معايير IEC 61162. ويُستصوب تقديم سطوح بينية للإثرنت وUSB لإرسال الملفات بسرعة عالية وكذلك لتقديم سطح بيني لطابعة.

8.1.4 وسيلة الإمداد بالطاقة

يجب مواءمة مصدر الإمداد بالطاقة مع مصدر الإمداد بالطاقة للسفينة.

5 مواصفات الأداء الأدنى لمستقبِل سفينة NAVDAT

ترد مواصفات مستقبِل السفينة المفترضة أدناه بهدف الحصول على أدنى قيمة للنسبة إشارة إلى ضوضاء من أجل إزالة التشكيل OFDM على نحو جيد (4-QAM أو 16-QAM أو 64-QAM).

الجدول 6

مواصفات أداء مستقبِل السفينة NAVDAT

المعلمات	المتطلبات
نطاق التردد	495 إلى 505 kHz
حماية القناة المجاورة	> 40 dB @ 5 kHz
عامل الضوضاء	< 20 dB
الحساسية المستعملة لمعدل خطأ في البتات (BER) = 10^{-4} بعد تصحيح الأخطاء	< −100 dBm
دينامي	> 80 dB
مجال التردد الراديوي الأدنى المستعمل (مع هوائي استقبال مكيّف)	25 dB(µV/m)

الملحق 4

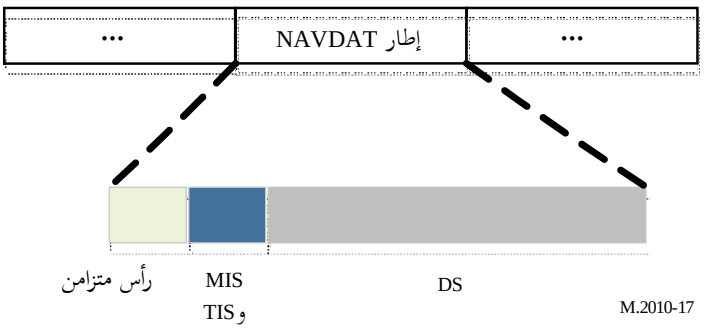
هيكل الإرسال

1 هيكل الإطار

يحتوي هيكل إطار نظام البيانات الملاحية (NAVDAT) على رأس التزامن (الرمز الأول) وMIS وTIS وDS (تدفق البيانات) كما يلي:

الشكل 17

هيكل إطار نظام البيانات الملاحية (NAVDAT)



2 رأس التزامن

يظهر في الجدول 7 رأس التزامن وهو أول رمز OFDM لكل إطار كي يقوم المستقبِل بالمزامنة وللحصول على المعلومات الموجودة على كل موجة حاملة فرعية.

الجدول 7

تتابع رأس التزامن

عدد الموجات الحاملة الفرعية	**تتابع رأس التزامن**
229	-1 1 1 1 1 1 1 -1 1 1 -1 -1 1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1 1 -1 1 -1 -1 -1 1 1 1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 1 -1 1 -1 -1 1 1 -1 1 1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 -1 1 -1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 1 1 1 -1 -1 1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 1 -1 1 1 0 1 -1 - 1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 1 -1 1 1 1 -1 1 -1 1 -1 -1 - 1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 1 1 -1 1 -1 1 1 1 1 -1 1 1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 -1 -1 1 1 1 -1 1 1 1 -1 1 1 -1 1 -1 1 1 -1 -1 1 1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1 1 -1 1 -1 1 -1 -1 1 1
115	1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 -1 1 -1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 1 1 1 -1 -1 1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 1 -1 1 1 0 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 1 -1 1 1 1 -1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 1 1 1 -1
69	1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 1 1 1 -1 -1 1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 1 -1 1 1 0 1 -1 -1 - 1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 1 -1 1 1 1
23	1 -1 1 -1 -1 1 -1 1 -1 1 1 0 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1

3 تدفق معلومات التشكيل

1.3 الهيكل

يُستخدم تدفق معلومات التشكيل (MIS) لتقديم المعلومات عن إشغال طيف القناة وكذلك تشكيل TIS وDS:

- معلومات عن إشغال الطيف بتتان؛
- معلومات عن تشكيل تدفق معلومات المرسل (TIS) بتة واحدة؛
- معلومات عن تشكيل تدفق البيانات (DS) بتتان؛
- بتة تحشية بتة واحدة (=0)؛
- التحقق بالتكرار الدوري (CRC) 8 بتات.

الجدول 8

معلومات عن إشغال الطيف

أنماط البتات	**إشغال الطيف (kHz)**
00	1
01	3
10	5
11	10

الجدول 9

معلومات عن تشكيل تدفق معلومات المرسل

أنماط البتات	تشكيل
0	4-QAM
1	16-QAM

الجدول 10

معلومات عن تشكيل تدفق البيانات

أنماط البتات	تشكيل
00	4-QAM
01	16-QAM
10	64-QAM

2.3 التشفير

يشفَّر تدفق معلومات التشكيل (MIS) بشفرات ريد–سولومون RS(4,2) من مجال غالوا GF(128) ذي متعدد الحدود $p(x) = x^7 + x^3 + 1$ في الأصل.

4 تدفق معلومات المرسل

1.4 الهيكل

يُستخدم تدفق معلومات المرسل لتقديم المعلومات عن تشفير تدفق البيانات (DS) وعن المرسل والوقت للمستقبِل:

- تشفير خطأ تدفق البيانات 5 بتات؛
- معرف المرسل 30 بتة؛
- اليوم والوقت 17 بتة؛
- محجوزة 23 بتة (قيمة مبدئية: 0)؛
- التحقق بالتكرار الدوري (CRC) 8 بتات.

الجدول 11

تشفير تدفق البيانات

أنماط البتات	أسلوب الإرسال		
	إشغال الطيف (kHz)	معدل الشفرة	تشكيل
00000	1	0,5	4-QAM
00001	1	0,75	4-QAM
00010	1	0,5	16-QAM
00011	1	0,75	16-QAM
00100	1	0,5	64-QAM
00101	1	0,75	64-QAM
01000	3	0,5	4-QAM
01001	3	0,75	4-QAM
01010	3	0,5	16-QAM
01011	3	0,75	16-QAM
01100	3	0,5	64-QAM
01101	3	0,75	64-QAM
10000	5	0,5	4-QAM
10001	5	0,75	4-QAM
10010	5	0,5	16-QAM
10011	5	0,75	16-QAM
10100	5	0,5	64-QAM
10101	5	0,75	64-QAM
11000	10	0,5	4-QAM
11001	10	0,75	4-QAM
11010	10	0,5	16-QAM
11011	10	0,75	16-QAM
11100	10	0,5	64-QAM
11101	10	0,75	64-QAM

الجدول 12

معرف المرسل

تشفير	معرف المرسل
$D_1D_2D_3D_4D_5D_6D_7D_8D_9D_{10}$	شفرة هجائية عددية من 10 بتات

الجدول 13

معلومات الوقت

المعلمة	رقم البتة	وصف
ساعة وقت البدء بالتوقيت العالمي المنسق	5	الساعة
دقيقة وقت البدء بالتوقيت العالمي المنسق	6	الدقيقة
مدة الإذاعة	6	0-59 دقيقة

2.4 التشفير

يشفَّر تدفق معلومات المرسِل (TIS) بشفرات ريد–سولومون RS(29,9) من مجال غالوا GF(128) ذي متعدد الحدود $p(x) = x^7 + x^3 + 1$ في الأصل.

5 تدفق البيانات

1.5 الهيكل

يتألف تدفق البيانات عموماً من معلومات نصية أو ملفات معلومات. ويتيح إيصال الرزم المعمم إيصال المعلومات النصية والملفات لمختلف الخدمات في تدفق البيانات نفسه. ويمكن حمل الخدمات بواسطة سلسلة من الرزم الفردية.

وفيما يلي هيكل الرزمة:

- رأس 32 بتة
- مجال البيانات n بايتة
- التحقق بالتكرار الدوري (CRC) 16 بتة.

ويتكون الرأس على النحو التالي:

- طول البيانات 12 بتة
- بتة قلابة بتة واحدة
- العلم الأول بتة واحدة
- العلم الأخير بتة واحدة
- معرف الرزمة 10 بتات
- مؤشر رزمة محشاة بتة واحدة
- محجوزة 6 بتات.

طول البيانات: تبين هذه البتات الاثنتا عشرة طول الرزمة بالبايتات.

البتة القلابة: يتعين الحفاظ على هذه البتة في نفس الحالة طالما يجري إرسال الرزم من نفس الرسالة أو الملف النصي وفي حال تكرار رسالة نصية أو ملف، قد يتكون من عدة رزم، يتعين أن تبقى هذه البتة بدون تغيير.. وعند إرسال رزمة من رسالة نصية مختلفة أو ملف مختلف لأول مرة، يتعين أن تُقلب هذه البتة على حالتها السابقة.

العلم الأول، العلم الأخير: يُستخدم هذان العلمان للتعرف على رزم معينة تشكل تعاقب من الرزم. ويخصَص العلمان على النحو التالي:

الجدول 14

تشفير العلم الأول والعلم الأخير

العلم الأول	العلم الأخير	الرزمة هي
0	0	رزمة وسيطة
0	1	الرزمة الأخيرة من وحدة بيانات
1	0	الرزمة الأولى من وحدة بيانات
1	1	الرزمة الواحدة الوحيدة في وحدة بيانات

معرّف الرزمة: يبين هذا المجال المكون من 8 بتات معرف الرزمة لهذه الرزمة.

مبين الرزمة المحشاة: يبين هذا العلم المكون من بتة واحدة ما إذا كان مجال البيانات يحمل تحشية أم لا، كما يلي:

0: لا توجد تحشية: جميع بايتات البيانات في مجال البيانات مفيدة؛

1: توجد تحشية: تعطي أول بايتين عدد بايتات البيانات المفيدة في مجال البيانات.

محجوز: هذا المجال المكون من 6 بتات محجوز للاستخدام في المستقبل.

مجال البيانات: يحتوي على البيانات المفيدة المعدة لخدمة معينة. ويمكن أن تكون معلومات نصية أو معلومات ملف.

التحقق بالتكرار الدوري (CRC): ينبغي احتساب التحقق بالتكرار الدوري المكون من 16 بتة على الرأسية ومجال البيانات.

2.5 التشفير

يشفَّر تدفق بيانات نظام البيانات الملاحية (NAVDAT) بفحص اختبار التعادلية منخفض الكثافة (LDPC)، وستُعتمد معلمات تشفير مختلفة في أساليب مختلفة (انظر الجدول 11). ويعطي الجدول التالي معلمات اختبار التعادلية منخفض الكثافة بأسلوب 10 kHz.

الجدول 15

معلمات اختبار التعادلية منخفض الكثافة (LDPC) لتدفق البيانات

تشكيل	معدل الشفرة	معلمات LDPC
4-QAM	0,5	LDPC (2560,512)
4-QAM	0,75	LDPC (3840,5120)
16-QAM	0,5	LDPC (2560,5120) × 2
16-QAM	0,75	LDPC (3840,5120) × 2
64-QAM	0,5	LDPC (2560,5120) × 3
64-QAM	0,75	LDPC (3840,5120) × 3

6 شفرات اختبار التعادلية منخفض الكثافة

إن شفرة اختبار التعادلية منخفض الكثافة (LDPC) هي شفرة كتلة خطية يمكن تعريفها تعريفاً فريداً بمصفوفة اختبار التعادلية H. وبما أن الرقم "1" في مصفوفة اختبار التعادلية H أصغر بكثير من الرقم "0"، يطلق على الشفرة شفرة اختبار التعادلية منخفض الكثافة. وللمصفوفة H خاصية قطرية مزدوجة.

ويمكن التعبير عن مصفوفة الاختبار H كمصفوفة أسية تظهر على النحو التالي:

$$H = \begin{bmatrix} p_{0,0} & p_{0,1} & \cdots & p_{0,N-M} & 0 & \cdots & -1 & -1 & -1 \\ p_{1,0} & p_{1,1} & \cdots & \cdots & 0 & 0 & \cdots & -1 & -1 \\ \cdots & \cdots & \cdots & p_{i,N-M} & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & -1 \\ p_{M-2,0} & p_{M-2,1} & \cdots & \cdots & -1 & \cdots & 0 & 0 & -1 \\ p_{M-1,0} & p_{M-1,1} & \cdots & p_{M-1,N-M} & -1 & -1 & \cdots & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

ويمثل كل رقم مصفوفة L x L. ويشير "–1" إلى مصفوفة صفرية بالكامل، ويشير 0 إلى مصفوفة وحدة، وتشير p إلى مصفوفة تغيير تحصَّل بإزاحة مصفوفة الوحدة إلى اليمين بقيمة p. ويمكن تقسيم المصفوفة القطرية المزدوجة إلى قسمين: كتلة المعلومات وكتلة

الاختبار، وهما: $H = [H_s\ H_p]$. ويمكن أيضاً أن يُقسم متجه رموز الخرج المشفرة إلى قسمين، وهما: $C = [S\ P]$. ووفقاً لمعادلة الاختبار $[H_s\ H_p][S\ P]^T = 0$، يمكن الحصول على بتة التعادلية المقابلة.

أما طول رمز اختبار التعادلية منخفض الكثافة (LDPC) بأسلوب 10 kHz لنظام البيانات الملاحية (NAVDAT) فهو 5120، ومعدل الشفرة هو 2/1 و4/3 على التوالي. ومصفوفة الاختبار لنصف معدل الشفرة هي:

$$\begin{bmatrix}
117 & -1 & -1 & -1 & 152 & -1 & -1 & -1 & 145 & -1 & -1 & 108 & -1 & 60 & -1 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
-1 & 3 & -1 & -1 & -1 & 45 & -1 & 145 & -1 & -1 & 25 & -1 & 102 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
-1 & -1 & 101 & -1 & 150 & -1 & -1 & -1 & -1 & 82 & 49 & -1 & 27 & -1 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
-1 & -1 & -1 & 97 & -1 & 73 & -1 & 50 & -1 & -1 & -1 & 78 & -1 & 154 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
123 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 53 & -1 & 101 & -1 & 43 & -1 & -1 & -1 & 118 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
-1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 123 & -1 & 93 & -1 & -1 & 103 & -1 & 157 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
-1 & -1 & 120 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 10 & -1 & 155 & 31 & 7 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
-1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 34 & -1 & 16 & 152 & -1 & -1 & -1 & 31 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
-1 & -1 & -1 & 66 & -1 & -1 & 20 & -1 & 71 & -1 & -1 & -1 & 93 & 70 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
-1 & 44 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 107 & -1 & 114 & -1 & 110 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
-1 & -1 & -1 & -1 & 112 & -1 & -1 & 21 & -1 & -1 & 132 & -1 & 3 & -1 & 104 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 \\
65 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 102 & 90 & -1 & 103 & -1 & 94 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & -1 \\
-1 & -1 & -1 & 0 & -1 & -1 & -1 & 7 & -1 & 101 & -1 & 74 & -1 & -1 & 55 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & -1 \\
-1 & 87 & -1 & -1 & -1 & -1 & 92 & -1 & 137 & -1 & -1 & -1 & 105 & 40 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 \\
-1 & -1 & 141 & -1 & -1 & -1 & -1 & 38 & -1 & 80 & 0 & -1 & -1 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\
-1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & -1 & -1 & 0 & -1 & -1 & 23 & -1 & -1 & 0 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0
\end{bmatrix}$$

ومصفوفة الاختبار لثلاثة أرباع معدل الشفرة هي:

$$\begin{bmatrix}
3 & -1 & -1 & -1 & 120 & -1 & 11 & -1 & 133 & -1 & -1 & 19 & 126 & -1 & -1 & -1 & 143 & 142 & -1 & -1 & 116 & 144 & -1 & 18 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
-1 & 12 & 13 & -1 & -1 & 157 & -1 & 112 & -1 & -1 & 87 & -1 & -1 & -1 & 32 & -1 & -1 & -1 & 52 & 94 & 118 & -1 & 86 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
76 & -1 & -1 & 75 & -1 & -1 & 74 & -1 & -1 & 28 & -1 & -1 & -1 & 94 & 138 & -1 & -1 & 13 & 73 & 119 & -1 & -1 & 4 & 90 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
-1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 14 & -1 & 61 & 51 & -1 & -1 & -1 & -1 & 117 & -1 & 93 & -1 & 103 & -1 & 2 & 5 & 60 & 153 & -1 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 \\
-1 & 23 & -1 & 106 & 7 & -1 & -1 & -1 & -1 & 143 & 16 & -1 & 101 & -1 & -1 & -1 & 126 & -1 & 122 & -1 & 111 & -1 & 29 & 120 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & -1 \\
39 & -1 & 21 & -1 & -1 & 0 & -1 & -1 & 0 & -1 & -1 & 124 & -1 & -1 & 0 & -1 & 70 & -1 & 109 & -1 & 0 & 24 & -1 & 116 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 \\
-1 & 159 & -1 & -1 & 57 & -1 & -1 & 27 & -1 & 48 & -1 & 0 & 76 & -1 & -1 & 7 & -1 & 95 & -1 & 18 & -1 & 38 & -1 & 80 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\
-1 & -1 & 43 & 0 & -1 & -1 & 25 & -1 & -1 & -1 & 50 & -1 & -1 & 3 & -1 & 0 & -1 & 42 & 150 & 0 & -1 & 143 & 0 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0
\end{bmatrix}$$

7 التحقق بالتكرار الدوري

لكشف خطأ البتات في تدفق البيانات، DS، ينبغي حساب التحقق بالتكرار الدوري بطول 16 بتة في نهاية كل تدفق بيانات. وينبغي أن يكون مولد متعدد الحدود $G_{16}(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$

وفي تدفقي MIS وTIS، ينبغي حساب التحقق بالتكرار الدوري بطول 8 بتات وينبغي أن يكون مولد متعدد الحدود $G_8(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$.

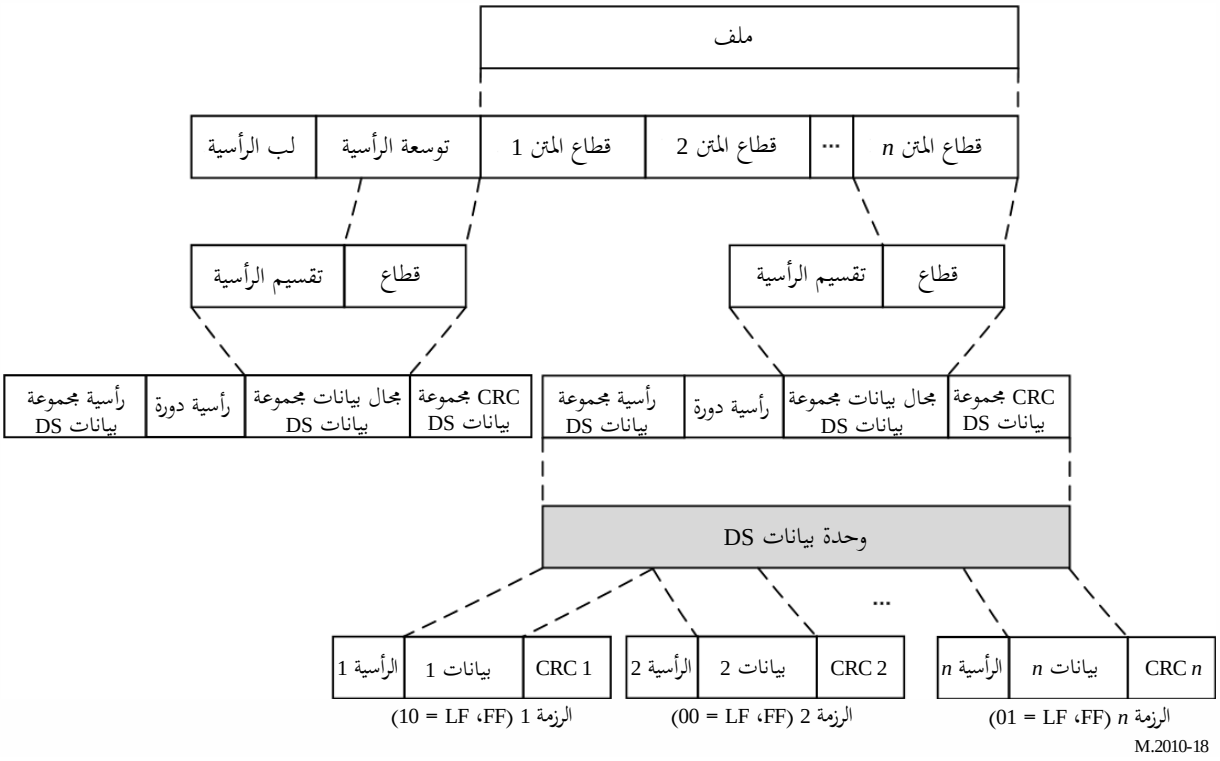
الملحق 5

هيكل ملف الرسالة

يوضح الشكل 18 كيفية إنشاء مجموعة بيانات لملف الرسالة. وفي الخطوة الأولى، تُنشأ رأسية لوصف المتن الأساسي (ملف رسالة). وتحتوي الرأسية على بيانات إدارة الملف. وبعد ذلك، تقسَّم الرأسية والمتن إلى قطاعات متساوية المقاس (ويجوز لاجزء الأخير فقط من كل بند أن يكون أصغر). وتُرفق رأسية قطاع بقطاع، ويقام تقابل بين كل قطاع ومجموعة بيانات واحدة. ثم يقام تقابل مباشر بين كل مجموعة بيانات مع رأسيتها وبين وحدة بيانات. وتنقسم وحدة البيانات إلى رزم للنقل. ويمثل الرمزان "FF" و"LF" حالة بتات "العلم الأول" و"العلم الأخير" لكل رزمة.

الشكل 18

هيكل ملف الرسالة



الملحق 6

أسلوب الشبكة وحيدة التردد لنظام الراديو الرقمي العالمي

1 شرح نظام الراديو الرقمي العالمي

يُستعمل المعيار الدولي للإذاعة الراديوية الرقمية (DRM) من أجل الإذاعة الراديوية الرقمية على الموجات الهكتومترية (MF) والديكامترية (HF). ونظام الراديو الرقمي العالمي هو تكنولوجيا مثبتة الجدوى تسمح بتوفير تغطية كبيرة وتحسين دقة الإشارة (من خلال التشفير الرقمي لتصحيح الأخطاء)، وإزالة التداخل بسبب تعدد المسيرات (بما في ذلك تداخل الموجات الأيونوسفيرية) وبالتالي توسيع تغطية إشارات عن طريق الانتشار عبر الموجات الأيونوسفيرية. وتُنفذ إذاعة الراديو الرقمي العالمي في أسلوبي التشكيل 16-QAM و64-QAM اعتماداً على متطلبات التغطية وموقع المرسِل والقدرة وارتفاع الهوائي.

1.1 أسلوب تشغيل الشبكة وحيدة التردد

يتمتع النظام بالقدرة على دعم ما يُعرف باسم "تشغيل الشبكة وحيدة التردد (SFN)". وهي الحالة التي يرسل فيها عدد من المرسلات إشارات بيانات متماثلة على التردد ذاته وفي الوقت نفسه. ويتم ترتيب هذه المرسلات عموماً بحيث تكون هناك مناطق تغطية متداخلة يستقبل فيها الراديو إشارات من أكثر من مرسِل واحد. وستتيح هذه الإشارات تعزيز إيجابي للإشارات شريطة أن تصل ضمن فارق زمني أقل من الفترة الحارسة. وهكذا ستُحسن تغطية الخدمة في هذا الموقع بالمقارنة مع تلك التي كان سيُحصل عليها في حال وجود مرسِل واحد يوفر الخدمة لهذا الموقع. ومن خلال التصميم الدقيق واستعمال عدد من المرسلات في شبكة وحيدة التردد، يمكن تغطية منطقة أو بلد ما تغطيةً تامة باستعمال تردد وحيد، وفي هذا التطبيق، فاصل زمني واحد مما يؤدي إلى تحسين كفاءة استخدام الطيف بشكل جذري وإلى إخلاء فتحات إذاعية.