الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصيـــة ITU-R M.1787

(2009/08)

وصف الأنظمة والشبكات في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (فضاء-أرض وفضاء-فضاء) والخصائص التقنية لمحطات الإرسال الفضائية العاملة في النطاقات MHz 1 215-1 164 وMHz 1 300-1 215 وMHz 1 610-1 559

السلسلة M

الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة

الاتحاد الدولي للاتصالات ITU

تمهيـــد

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 الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد الاستمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

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

السلسلة	العنـــوان
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 التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة**
P	انتشار الموجات الراديوية
RA	علم الفلك الراديوي
S	الخدمة الثابتة الساتلية
RS	أنظمة الاستشعار عن بعد
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، 2010

© ITU 2010

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

التوصيـــة ITU-R M.1787

وصف الأنظمة والشبكات في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (فضاء-أرض وفضاء-فضاء) والخصائص التقنية لمحطات الإرسال الفضائية العاملة في النطاقات 164 1-215 1 MHz و215 1-300 1 MHz و559 1-610 1 MHz

(المسألتان ITU-R 217/4 وITU-R 288/4)

(2009)

مجال التطبيق

تُعرَض في هذه التوصية معلومات بشأن المعلمات المدارية والإشارات الملاحية والخصائص التقنية للأنظمة والشبكات في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) (فضاء–أرض وفضاء–فضاء) العاملة في النطاقات 164 1-215 1 MHz و215 1-300 1 MHz و559 1-610 1 MHz. والغرض من هذه المعلومات هو استعمالها في تقييم أثر التداخلات بين الأنظمة والشبكات في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) وغيرها من الخدمات والأنظمة.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن أنظمة وشبكات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) توفِّر معلومات دقيقة في جميع أنحاء العالم، من أجل تطبيقات كثيرة لتحديد المواقع والتوقيت؛

ب) أن هنالك العديد من الأنظمة والشبكات العاملة والمخطط لها لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)؛

ج) أن تقرير قطاع الاتصالات الراديوية ITU-R M.766 يتضمن معلومات ذات صلة بعمليات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) في النطاق 215 1-300 1 MHz؛

د) أن أية محطة أرضية مزودة بالتجهيزات المناسبة يمكن أن تستقبِل معلومات ملاحية من الأنظمة والشبكات في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) على الصعيد العالمي؛

هـ) أن توصية قطاع الاتصالات الراديوية ITU-R M.1831 تُقدِّم منهجية لتقييم التداخلات فيما بين الأنظمة في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) يتوجب استعمالها في التنسيق بين الأنظمة والشبكات في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)،

توصـــي

1 ضرورة استعمال خصائص محطات الإرسال الفضائية وأوصاف الأنظمة الواردة في الملحقات من 1 إلى 9، ضمن النطاقات 164 1-215 1 MHz و215 1-300 1 MHz و559 1-610 1 MHz، في المجالات التالية:

1.1 في تحديد المنهجية والمعايير الواجب استعمالها للتنسيق المشترك للأنظمة والشبكات في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)؛

2.1 في تقييم أثر التداخل بين الأنظمة والشبكات في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) (فضاء–أرض وفضاء–فضاء) والأنظمة في خدمات أخرى، مع الأخذ في الحسبان حالة خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) فيما يتعلق بهذه الخدمات الأخرى؛

2 أن **الملاحظة 1** التالية ينبغي أن تُعتبَر كجزء من هذه التوصية.

الملاحظة 1 – تُشير العبارة "مدى تردد الإشارة"، الواردة في ملحقات التوصية، إلى مدى تردد الإشارة موضوع الاهتمام في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) (بالنسبة لأنظمة النفاذ المتعدد بالتقسيم الشفري: التردد الحامل ± نصف عرض نطاق الإشارة (ما لم يُلاحَظ غير ذلك)، وبالنسبة لأنظمة النفاذ المتعدد بتقسيم التردد: التردد الأساسي + (رقم القناة * المباعدة بين القنوات) ± نصف عرض نطاق الإشارة). وينبغي كذلك أن يتم الحصول على مدى رقم القناة. ويتم التعبير عن مدى تردد الإشارة بالميغاهرتز (MHz).

الملحق 1

الوصف التقني لنظام وخصائص محطات الإرسال الفضائية للنظام العالمي للملاحة الساتلية (GLONASS)

1 مقدمة

يتألف النظام العالمي للملاحة الساتلية (GLONASS) من 24 ساتلاً مع المباعدة المتساوية بين هذه السواتل المتموقعة في ثلاثة مستويات مدارية والموزعة على أساس ثمانية سواتل في كل مستوى. أما زاوية ميل المدار فهي 64,8°. ويُرسِل كل ساتل إشارات ملاحية في ثلاثة نطاقات للترددات وهي: L1 (1,6 GHz)، وL2 (1,2 GHz)، وL3 (1,1 GHz). ويجري التمييز بين هذه السواتل بواسطة التردد الحامل؛ ويمكن أن يُستعمَل نفس التردد الحامل من السواتل المُتَقَاطرات المتموقعة في نفس المستوى. ويتم تشكيل الإشارات الملاحية بواسطة قطار متواصل للبتات (يتضمن معلومات تقويمية فلكية وتوقيتية للساتل)، وكذلك بواسطة شفرة شبه عشوائية لقياسات أشباه الأمدية. وبوسع مستعمِلٍ يستقبل إشارات من أربعة سواتل أو أكثر القيام بتحديد الإحداثيات الثلاث للموقع والمكونات الثلاث لمتجهات السرعة بدقة عالية. وتكون التحديدات الراديوية للموقع ممكنة عندما يكون المستعمل على سطح الأرض أو قريباً منه.

1.1 متطلبات التردد

تم تحديد متطلبات التردد للنظام العالمي للملاحة الساتلية (GLONASS) على أساس شفافية غلاف التأين (أو الأيونوسفير)، وميزانية الوصلة الراديوية، وبساطة هوائيات المستعمِل، وكبت تعدد المسيرات، وتكلفة التجهيزات، وأحكام لوائح الراديو. وتتباين الترددات الحاملة طبقاً لعدد صحيح مضاعفٍ للقيمة 0,5625 MHz في نطاق الترددات L1، ولعدد صحيح مضاعفٍ للقيمة 0,4375 MHz في نطاق الترددات L2، ولعدد صحيح مضاعفٍ للقيمة 0,423 MHz في نطاق الترددات L3.

وتَستعمِل السواتل الجديدة في النظام العالمي للملاحة الساتلية (GLONASS)، منذ عام 2006، من 14 إلى 20 تردداً من الترددات الحاملة في النطاقات المختلفة. وتُستعْمَل الترددات من 1 598,0625 MHz (أدنى تردد) إلى 1 605,3750 MHz (أعلى تردد) في نطاق الترددات L1، وتُستعْمَل الترددات من 1 242,9375 MHz (أدنى تردد) إلى 1 248,6250 MHz (أعلى تردد) في نطاق الترددات L2، وتُستعْمَل الترددات من 1201,7430 MHz (أدنى تردد) إلى 1209,7800 MHz (أعلى تردد) في نطاق الترددات L3. ويُقدِّم الجدول 1 القيم الاسمية للترددات الحاملة لإشارات الملاحة الراديوية المستعمَلَة في النظام العالمي للملاحة الساتلية (GLONASS).

الجـــدول 1

القيم الاسمية للترددات الحاملة لإشارات الملاحة الراديوية المستعمَلَة في النظام العالمي للملاحة الساتلية (GLONASS)

K (رقم التردد الحامل)	الترددات في النطاق L1 F_K^{L1} (MHz)	الترددات في النطاق L2 F_K^{L2} (MHz)	الترددات في النطاق L3 F_K^{L3} (MHz)
12	–	–	1 209,7800
11	–	–	1 209,3570
10	–	–	1 208,9340
09	–	–	1 208,5110
08	–	–	1 208,0880
07	–	–	1 207,6650
06	1 605,3750	1 248,6250	1 207,2420
05	1 604,8125	1 248,1875	1 206,8190
04	1 604,2500	1 247,7500	1 206,3960
03	1 603,6875	1 247,3125	1 205,9730
02	1 603,1250	1 246,8750	1 205,5500
01	1 602,5625	1 246,4375	1 205,1270
00	1 602,0000	1 246,0000	1 204,7040
01–	1 601,4375	1 245,5625	1 204,2810
02–	1 600,8750	1 245,1250	1 203,8580
03–	1 600,3125	1 244,6875	1 203,4350
04–	1 599,7500	1 244,2500	1 203,0120
05–	1 599,1875	1 243,8125	1 202,5890
06–	1 598,6250	1 243,3750	1 202,1660
07–	1 598,0625	1 242,9375	1 201,7430

ويتم إرسال إشارات الملاحة المُشكَّلَة بواسطة الإبراق بزحزحة طورين (بزاوية الطور 180°) والمزحزَحَة الطور بزاوية 90° (في التشكيل التربيعي) عند كل تردد حامل. وهي إشارات من نوعين، إشارة معيارية الدقة (SA) وأخرى عالية الدقة (HA).

2 عرض عام للنظام

يُتيح النظام العالمي للملاحة الساتلية (GLONASS) معطيات الملاحة وإشارات الوقت الدقيقة لمستعملي هذه المعطيات الأرضية والبحرية والجوية والفضائية.

ويعمل هذا النظام على أساس مبدأ التثليث المنفعل. وتقوم تجهيزات المستعمِل للنظام العالمي للملاحة الساتلية (GLONASS) بقياس أشباه الأمدية وأشباه السرعات القطرية من كل السواتل المرئية ويستقبل المعلومات بشأن المعلمات التقويمية الفلكية ومعلمات الميقاتية للسواتل. وعلى أساس من هذه المعطيات، تُحسَب الإحداثيات الثلاث لموقع المستعمِل والمكونات الثلاث لمتجهات السرعة ثم يجري تصحيح ميقاتيّة المستعمِل وتردده. ويستعمل النظام العالمي للملاحة الساتلية (GLONASS) نظام الإحداثيات لمعلمات الأرض PE-90.

3 وصف النظام

يتألف النظام العالمي للملاحة الساتلية (GLONASS) من ثلاثة أجزاء رئيسية: الجزء الفضائي، وجزء التحكم، والجزء الخاص بالمستعمِل.

1.3 الجزء الفضائي

يتألف النظام العالمي للملاحة الساتلية (GLONASS) من 24 ساتلاً من السواتل المتموقعة في ثلاثة مستويات مدارية والموزعة على أساس ثمانية سواتل في كل مستوى. وهذه المستويات منفصلة عن بعضها البعض بزاوية 120° على خط الطول. أما زاوية ميل المدار فهي 64,8°. أما المباعدة فهي متساوية بين السواتل بزاوية العرض 45°في كل مستوى. ويبلغ طول مدة الدوران لكل ساتل 11 ساعة و15 دقيقة. ويبلغ ارتفاع المدار 100 19 km.

2.3 جزء التحكم

يتكون جزء التحكم من مركز التحكم للنظام وشبكة محطةٍ للمراقبة. وتقيس محطات المراقبة المعلمات المدارية وزحزحة الميقاتية نسبةً إلى الميقاتية الرئيسية للنظام. ويتم إرسال هذه المعطيات إلى مركز تحكم النظام. ويحسب هذا المركز المعطيات التقويمية الفلكية ومعلمات تصحيح الميقاتية ثم يقوم بتحميل الرسائل إلى السواتل عن طريق محطات المراقبة على أساس يومي.

3.3 الجزء الخاص بالمستعمِل

يتألف الجزء الخاص بالمستعمِل من عدد كبير من مطاريف المستعمِل متعددة الأنواع. ويتكون مطراف المستعمِل من هوائي، ومستقبِل، ومعالج، وجهاز دخل/خرج. ويُمكن الجمع بين هذه التجهيزات وأجهزة ملاحية أخرى من أجل زيادة الدقة والاعتمادية الملاحيتين. ويمكن أن يكون هذا الجمع مجدياً على وجهٍ خاص بالنسبة للمنصات عالية الدينامية.

4 بنية إشارة الملاحة

إن بنية الإشارة معيارية الدقة هي نفسها لكل من نطاقي الترددات L1 وL2 ولكنها تختلف بالنسبة لنطاق الترددات L3. وهي سلسلة شبه عشوائية تُضاف باستخدام المقياس Modulo-2 إلى قطار متواصل للمعطيات الرقمية يتم إرساله بمعدل 50 bit/s (بالنسبة للنطاقين L1 وL2) وبمعدل 125 bit/s (بالنسبة للنطاق L3). ويبلغ معدل نبضات السلسلة شبه العشوائية 0,511 MHz (بالنسبة للنطاقين L1 وL2) و4,095 MHz (بالنسبة للنطاق L3)، أما دور هذه السلسلة فهو 1 ms.

أما الإشارة عالية الدقة، في النطاقات L1 وL2 وL3، فهي أيضاً سلسلة شبه عشوائية تُضاف باستخدام المقياس Modulo-2 إلى قطار متواصل للمعطيات. ويبلغ معدل نبضات السلسلة شبه العشوائية 5,11 MHz في النطاقين L1 وL2 ويبلغ 4,095 MHz في النطاق L3.

وتتضمن المعطيات الرقمية معلومات بشأن المعلمات التقويمية الفلكية ووقت الميقاتية، وما إلى ذلك من المعلومات المفيدة.

5 قدرة الإشارة وأطيافها

تكون الإشارات المرسَلَة مستقطَبة إهليلجيّاً مُيَامِنة مع عامل إهليلجية لا يكون أسوأ من 0,7 بالنسبة للنطاقات L1 وL2 وL3. وتُحَدد أدنى قدرة مضمونة للإشارة عند دخل مستقبِلٍ ما (مع افتراض كسب للهوائي بقيمة 0 dBi) بالقدر −161 dBW (−131 dBm) بالنسبة للإشارتين معيارية الدقة وعالية الدقة في النطاقات L1 وL2 وL3.

وتُستعْمَل ثلاثة أصناف من البث في النظام العالمي للملاحة الساتلية (GLONASS) وهي: 8M19G7X و1M02G7X و10M2G7X. ويُقدِّم الجدول 2 خصائص هذه الإشارات.

الجـــدول 2

خصائص إشارات النظام العالمي للملاحة الساتلية (GLONASS)

مدى التردد	صنف البث	عرض نطاق البث Tx (MHz)	أقصى قدرة ذروة للبث (dBW)	أقصى كثافة طيفية للقدرة (dB(W/Hz))	كسب الهوائي (dB)
نطاق الترددات L1	10M2G7X 1M02G7X	10,2 1,02	15 15	52- 42-	11
نطاق الترددات L2	10M2G7X 1M02G7X	10,2 1,02	14 14	53- 43-	10
نطاق الترددات L3[1]	8M19G7X 8M19G7X	8,2 8,2	15 15	52,1- 52,1-	12

[1] تتم زحزحة إشارتين (GLONASS) في النطاق L3 نسبةً إلى بعضهما البعض بزاوية 90° (في التشكيل التربيعي).

وتُتيح الدالة الجيبية: $(\sin x/x)^2$ وصف غلاف التوزيع لطيف قدرة الإشارة الملاحية، حيث:

$$x = \pi(f - f_c) / f_t$$

وحيث تكون المعلمات أدناه كالتالي:

f: التردد قيد النظر

f_c: التردد الحامل للإشارة

f_t: معدل نبض الإشارة.

ويُشكِّل الفص الرئيسي للطيف الطيفَ التشغيلي للإشارة. ويَشغَل عرض نطاق مساوٍ للدالة $2f_t$. وللفصوص عرض نطاق مساوٍ للدالة f_t.

الملحق 2

الوصف التقني والخصائص التقنية للنظام العالمي لتحديد المواقع (GPS) لشركة Navstar

1 مقدمة

تُفِيد المعلومات الحالية المتوفرة بشأن النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS) لشركة Navstar بأنه متاح مجاناً من موقع الموارد الموحد التالي على الويب: http://www.navcen.uscg.gov/gps/geninfo/، وتُوجَد المعلومات بشأن النظام العالمي لتحديد المواقع العامل في النطاقين 215 1-300 1 MHz و559 1-610 1 MHz موثَّقة في أحدث نسخة من وثيقة المواصفات الخاصة بالواجهة البينية لهذا النظام IS-GPS-200، بما فيها أحدث تبليغات تنقيحية لها. وتُوجَد المعلومات الراهنة بشأن النظام العالمي لتحديد المواقع العامل في النطاق 164 1-215 1 MHz موثَّقة في أحدث نسخة من وثيقة المواصفات الخاصة بالواجهة البينية لهذا النظام IS-GPS-705، بما فيها أحدث تبليغات تنقيحية لها. أما المعلومات الخاصة بالجزء الفضائي وجزء التحكم من هذا النظام فهي متاحة في الوثيقة المعنونة "*معيار الأداء للخدمة المعيارية لتحديد المواقع في النظام العالمي لتحديد المواقع*" (*GPS SPS Performance Standard*).

ويتألف خط الأساس لكوكبة سواتل النظام العالمي لتحديد المواقع، اسمياً، من حد أدنى قدره 24 ساتلاً من السواتل العاملة في ستة مستويات مدارية متباعدة مباعدة متساوية ومائلة بزاوية قدرها 55°. وتدور سواتل النظام العالمي لتحديد المواقع حول الأرض كل 12 ساعة مع بث إشارات ملاحية متواصلة. ويُتيح هذا النظام تحديد المواقع بدقة في ثلاثة أبعاد في أي مكان يقع على سطح الأرض أو قريباً منه.

1.1 متطلبات التردد للنظام العالمي لتحديد المواقع

تقوم متطلبات التردد للنظام العالمي لتحديد المواقع (GPS) على أساس تقييمٍ لمتطلبات المستعمِل من الدقة، واستبانة تأخر الانتشار من الفضاء إلى الأرض، وكبت تعدد المسيرات، وتكلفة التجهيزات وتشكيلاتها. ولهذا النظام قناتان متمركزتان عند 1 575,42 MHz (وهي إشارة نطاق التردد L1 للنظام العالمي لتحديد المواقع) وعند 1 227,6 MHz (وهي إشارة نطاق التردد L2 لهذا النظام). وثمة قناة ثالثة لهذا النظام متمركزة عند 1 176,45 MHz (وهي إشارة نطاق التردد L5 لهذا النظام) ومكرسة لتقديم الدعم لتطبيقات الطيران المدني.

وتُستعمَل القناة L1 من أجل تحديد موقع المستعمِل في حدود 22 متراً. وهنالك إشارة ثانية يتم إرسالها على كل من القناتين L1 وL2، وهي تزود مستقبلات الشفرة الدقيقة $P(Y)$ بتنوع التردد الضروري وبعرض نطاق أوسع بغية زيادة دقة المدى اللازمة لاستبانة تأخر الانتشار من الأرض إلى الفضاء واللازمة لكبت تعدد المسيرات بغية زيادة الدقة الكلية بقيمة أسية. ويمكن الجمع بين أي قناتين أو أكثر واستعمال هذه القنوات مجتمعة من أجل إتاحة تنوع التردد وعرض النطاق الأوسع اللازمين لزيادة دقة المدى بغية استبانة تأخر الانتشار من الأرض إلى الفضاء والإطناب. وتُتيح الإشارتان المدنيتان L1 وL5 هذه المقدرة لفائدة مستقبِلات الطيران المدني، وتُتيح الإشارات L1 وL2 وL5 هذه المقدرة كذلك لفائدة المستقبِلات من الصنف التجاري.

2 عرض عام للنظام

إن النظام العالمي لتحديد المواقع نظام فضائي راديوي مستمر يعمل في كل الأحوال الجوية لأغراض الملاحة وتحديد المواقع ونقل إشارات الوقت، مما يُوفر مواقع دقيقة إلى حد بعيد وثلاثية الأبعاد وكذا معلومات السرعة مع توفير مرجع مشترك دقيق للوقت لفائدة المستعمِلين المزودين بالتجهيزات الملائمة عندما يكونون على سطح الأرض أو قريباً منه.

ويعمل هذا النظام على أساس مبدأ التثليث المنفعِل. وتقوم تجهيزات مُستعمِل النظام أولاً بقياس أشباه الأمدية لأربعة سواتل، وحساب مواقعها، ومُزامنة الميقاتية طبقاً لهذا النظام عن طريق استعمال المعطيات المستقبلَة من معلمات تقويمية فلكية ومعلمات تصحيح الميقاتية. (وتُسمَّى هذه القياسات "أشباه" لأنها منجزة بواسطة ميقاتية مستعمِل غير دقيقة وتتضمن حدود ثابتة للانحياز بسبب تخالفات ميقاتية المستعمِل عن توقيت النظام العالمي لتحديد المواقع.) ثم يقوم هذا النظام بتحديد الموقع ثلاثي الأبعاد للمستعمِل في النظام الديكارتي العالمي الأرضي المركزي (ECEF) للإحداثيات الجيوديسية 1984 (WGS-84)، بتحديد تخالف ميقاتية المستعمِل عن توقيت النظام العالمي لتحديد المواقع وذلك أساساً بحساب الحل المتآون لأربع معادلات للأمدية.

وعلى غرار ذلك، يمكن تقدير سرعة المستعمِل ثلاثية الأبعاد وكذا تخالف معدل ميقاتية المستعمِل بحل أربع معادلات لمعدلات الأمدية بعد الحصول على قياسات لمعدلات أشباه الأمدية لأربعة سواتل.

ويُقدِّم النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS) الخدمة المعيارية لتحديد المواقع (SPS) لفائدة المستعمِلين المدنيين.

3 أجزاء النظام

يتكون النظام من ثلاثة أجزاء رئيسية: الجزء الفضائي، وجزء التحكم، والجزء الخاص بالمستعمِل. ولكل جزء وظيفة رئيسية كالتالي.

1.3 الجزء الفضائي

يشتمل الجزء الفضائي على سواتل النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS)، التي تؤدي وظيفة نقاط مرجعية "سماوية"، تبث من الفضاء إشارات ملاحية مشفرة للوقت بدقة. وتتكون الكوكبة التشغيلية من حد أدنى قوامه 24 ساتلاً يدور في مدارات مدتها 12 ساعة على محور شبه رئيسي يبلغ حوالي 26 600 km. وهذه السواتل متموقعة في ستة مستويات مدارية مائلة بزاوية 55° نسبة إلى خط الاستواء. وهنالك، نمطيًّا، حد أدنى قدره أربعة سواتل في كل مستوى.

وإن الساتل بمثابة مركبة مستقرة ثلاثية المحاور. والعناصر الكبرى لحمولته الملاحية الرئيسية النافعة هي معيار التردد الذري للتوقيت الدقيق، والمعالج اللازم لتخزين المعطيات الملاحية، وتجميع إشارة الضوضاء شبه العشوائية (PRN) اللازم لتوليد إشارة قياس المسافة، وهوائي الإرسال للنطاق L. وبالرغم من أن إرسالات التردد الوحيد تُتيح الملاحة الأساسية، فإن إرسالات الترددات المتعددة تسمح بتصحيح التأخرات الأيونوسفيرية في وقت انتشار الإشارة.

2.3 جزء التحكم

يشتمل جزء التحكم على محطة التحكم المركزي (MCS)، والهوائيات الأرضية، وشبكة لمحطات المراقبة. وتكون محطة التحكم المركزي مسؤولة عن كل جوانب القيادة والتحكم للكوكبة.

3.3 الجزء الخاص بالمستعمِل

يتكون الجزء الخاص بالمستعمِل من كل مجموعات التجهيزات الإجمالية للمستعمِل ومعها تجهيزاتها الداعمة. وتتألف مجموعة التجهيزات النمطية للمستعمِل من هوائي، ومستقبِل/معالج للنظام العالمي لتحديد المواقع، وأجهزة حاسوبية وأجهزة دخل/خرج. وتقوم مجموعة ما للتجهيزات بحيازة وتتبع الإشارة الملاحية انطلاقاً من أربعة سواتل أو أكثر تكون مرئية، وتقيس أوقات انتشار الإشارة والإزاحات الدوبلرية للتردد، ثم تحوِّلها إلى أشباه أمدية ومعدلات أشباه أمدية، ثم تنفذ الحل لتحديد الموقع ثلاثي الأبعاد والسرعة ثلاثية الأبعاد، ثم تثبِّت توقيت النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS). (ويُعَدُّ توقيت GPS مختلفاً عن التوقيت العالمي المنسَّق (UTC)، ولكن الفرق أقل من ثانية واحدة، وتحمل إشارات GPS المعلومات اللازمة للتحويل بين هذين التوقيتين. وفضلاً عن ذلك، فإن توقيت GPS توقيت متواصل بينما يحتوي توقيت UTC على ثوانٍ كبيسة) وتتراوح تجهيزات المستعمِل من المستقبلات البسيطة والخفيفة نسبيّاً إلى المستقبِلات المتطورة التي تكون مدمَجة مع المحاسيس أو الأنظمة الملاحية الأخرى اللازمة للأداء الدقيق في البيئات عالية الدينامية.

4 بنية إشارة النظام العالمي لتحديد المواقع

تتكون الإشارة الملاحية للنظام العالمي لتحديد المواقع (GPS) والمرسَلة من ثلاثة ترددات مُشكَّلَة على النحو التالي: L1 عند التردد المركزي البالغ 1 575,42 MHz (154 f_0)، وL2 عند التردد المركزي البالغ 1 227,6 MHz (120 f_0)، وL5 عند التردد المركزي البالغ 1 176,45 MHz (115 f_0)، حيث تصح الدالة $f_0 = 10{,}23$ MHz أما الدالة f_0 فهي خرج معيار التردد الذري على المتن الذي تُربَط به كل الإشارات المولَّدَة على نحو متماسك. وتأتي في النص الوارد أدناه قائمة بالإشارات المرسلَة على كل تردد حامل لنظام GPS (ويأتي كذلك وصف لتلك الإشارات التي لها أكثر من مكونة واحدة) كما يأتي وصف موجز للتردد الراديوي (RF) وكذا لمعلمات معالجة الإشارات.

ويُرسِل نظام GPS ثلاثة إشارات على التردد الحامل L1. وتتضمن هذه الإشارات إشارة شفرة الحيازة التقريبية L1 C/A، وإشارة الشفرة الدقيقة L1 P(Y) والإشارة L1C. وللتردد L1C مكونتين تُرسَلان مطاورتين أو تربيعيتين. وعندما تُرسَل مكونات التردد L1C بالتربيع، بتخلف التردد $L1C_P$ عن $L1C_D$ بزاوية طور 90°. ويتم تشكيل إحدى مكونات التردد L1C، ويُشار إليها بالمكونة $L1C_D$، من خلال رسالة معطيات، أما المكونة الأخرى، ويُشار إليها بالمكونة $L1C_P$، فهي خالية من المعطيات (أي أنها دليلة فقط)، وتستعمل هذه المكونات شفرات مختلفة لقياس المسافة. (وتُحسِّن المكونة الخالية من المعطيات L1C أداء الحيازة والتتبع في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)).

أما على التردد الحامل L2، فإن نظام GPS، يرُسِل ثلاثة إشارات. وتشمل هذه الإشارات تردد شفرة الحيازة التقريبية L2 C/A، وتردد الشفرة الدقيقة L2 P(Y) والتردد L2C. وللتردد L2C مكونتان متعددتا الإرسال بتقسيم الزمن. ويتم تشكيل مكونة L2C برسالة معطيات، أما الأخرى فهي خالية من المعطيات، وتستعمل المكونات شفرات مختلفة لقياس المسافة.

أما على التردد الحامل L5، فيُرسِل نظام GPS إشارة وحيدة، يُشار إليها بالإشارة L5. وللإشارة L5 مكونتان تُرسلان مطاورتين تربيعيتين. ويتم تشكيل مكونة من الإشارة L5 برسالة معطيات، أما الأخرى فهي خالية من المعطيات وتستعمل المكونات شفرات مختلفة لقياس المسافة.

وتُقدِّم الجداول 3 و4 و5 قائمة بقيم المعلمات الرئيسية لإرسالات نظام GPS. وتتضمن هذه المعلمات الخصائص التالية للتردد الراديوي: مدى تردد الإشارة؛ عرض النطاق dB 3 لمرشاح إرسال التردد الراديوي للساتل؛ وطريقة تشكيل الإشارة؛ وأدنى سوية للقدرة المستقبَلة عند دخل هوائي استقبال مركب على سطح الأرض.

ومما جاء في هذه الجداول كذلك معلمات معالجة الإشارة الرقمية، بما فيها معدل تنبيض الشفرة للضوضاء شبه العشوائية (PRN) ومعدلات تشوير معطيات ورموز الرسالة الملاحية. وفضلاً عن ذلك، تُقدِّم هذه الجداول، بالنسبة لكل تردد حامل، معلمات هوائي الإرسال للساتل الخاصة بالاستقطاب وأقصى إهليلجية.

وتُعَد وظائف شفرات قياس المسافة (المُشار إليها كذلك بشفرات الضوضاء شبه العشوائية) وظائف مزدوجة:

- تُتيح هذه الشفرات خصائص جيدة للنفاذ المتعدد فيما بين السواتل، إذ إن كل السواتل تُرسِل الإشارات على نفس الترددين الحاملين ويتم التمييز فيما بينها فقط بواسطة شفرات الضوضاء شبه العشوائية التي تستعملها؛
- وتسمح خصائص ارتباط هذه الشفرات بالقياس الدقيق لوقت وصول ونبذ الإشارات متعددة المسيرات وإشارات التداخل.

وتُعَد القيم المتاحة في الجداول 3 و4 و5 هي التي يُوصَى باستخدامها في التقديرات الأولية لملاءمة التردد الراديوي مع نظام GPS.

5 قدرة الإشارة وأطيافها

تستعمِل سواتل GPS هوائي بحزمة مُقَوْلَبَة تُشع قدرة شبه منتظمة إلى المستقبلات القريبة من سطح الأرض. وتُستقطَب الإشارات المُرسَلة دائريّاً مُيامِنة مع بيان أسوأ الحالات الإهليلجية في الجداول 3 و4 و5 بالنسبة للمدى الزاوي ± 14,3° من الحضيض.

6 معلمات الإرسال للنظام العالمي لتحديد المواقع

لما كان نظام GPS يُرسِل الإشارات الملاحية لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) من الفضاء إلى الأرض في ثلاثة نطاقات، فإن معلمات الإرسال لنظام GPS مُتاحَة في الجداول الثلاثة التي تُمثِّل نطاقات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) التي يُرسِل فيها نظام GPS الإشارات الملاحية.

وبالإضافة إلى تشكيلات الإبراق بزحزحة الطور (PSK)، يستعمِل نظام GPS تشكيلات بنديكس المُثلى (BOC). وتُشير دالة تشكيلات بنديكس المُثلى BOC(m,n) إلى تشكيل اثنيني للتردد الحامل المتخالف مع تخالف للتردد الحامل بقدر $m \times 1{,}023$ (MHz) ومعدل شفرة بقدر $n \times 1{,}023$ (Mchip/s) وكثافة طيفية مُقيَّسة للقدرة كالتالي:

$$BOC_{m,n}(f) = \frac{nT_{sw}}{m} \frac{sin\left(\frac{\pi f T_{sw}}{2}\right)^4}{\left(\frac{\pi f T_{sw}}{2}\right)^2} \frac{sin(n \pi f T_{sw})^2}{sin(\pi f T_{sw})^2}$$

حيث:

f: هو التردد (Hz)

T_{sw}: دور/أدوار الموجات المربعة للتردد الحامل المتخالف؛ أي $1/(m \times 1{,}023)$ µs.

وتخلق تشكيلات بنديكس المُثلى التي يستعملها نظام GPS تحولات إضافية للطور داخل كل دور تمديد لنبضة شفرة الضوضاء شبه العشوائية. ويتوقف عدد التحولات الإضافية للطور على المعلمتين m وn، مثلما تم تحديدهما أعلاه، ويساوي (m/n) ضارب معدل نبضة الشفرة للضوضاء شبه العشوائية.

1.6 معلمات الإرسال للنطاق L1 في النظام العالمي لتحديد المواقع

تعمل عدة إشارات في نطاق خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) 559 1-610 1 MHz. وتشمل هذه الإشارات إشارة شفرة الحيازة التقريبية L1 C/A والإشارة L1C وإشارة الشفرة الدقيقة L1 P(Y). وتتألف الإشارة L1C من مكونتين. ويتم تشكيل المكونة الأولى، $L1C_D$، بواسطة رسالة معطيات أما المكونة الأخرى، $L1C_P$، فهي خالية من المعطيات. ويُقدِّم الجدول 3 المعلمات الرئيسية لإرسالات النطاق L1 في نظام GPS.

وتستعمِل المكونة $L1C_D$ دالة التشكيل BOC(1,1)، وتستعمِل المكونة $L1C_P$ التشكيل المشار إليه بتشكيل MBOC، وهي مكونة متعددة الإرسال بتقسيم الزمن بين الدالتين BOC(1,1) وBOC(6,1). ولتشكيل MBOC كثافة طيفية مُقيَّسَة للقدرة تُعطيها المعادلة التالية:

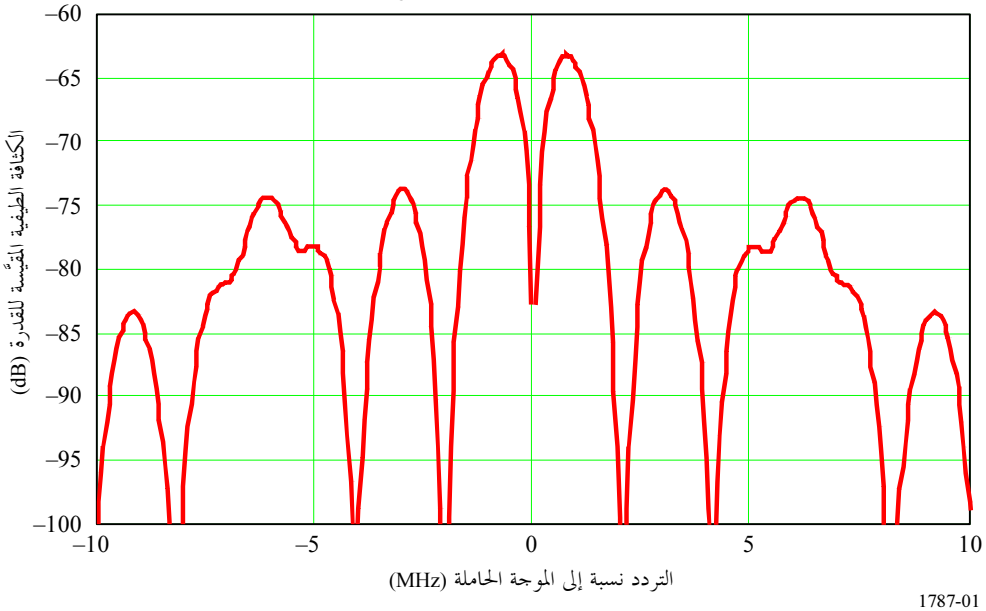
$$MBOC(f) = \frac{29}{33} BOC_{1,1}(f) + \frac{4}{33} BOC_{6,1}(f)$$

ويُظهر الشكل 1 الكثافة الطيفية الكلية للقدرة لمكونات L1C وتُعطي المعادلة التالية هذه الكثافة:

$$S(f) = \frac{1}{4} BOC_{1,1}(f) + \frac{3}{4} MBOC(f) = \frac{10}{11} BOC_{1,1}(f) + \frac{1}{11} BOC_{6,1}(f)$$

الشـــكل 1

الكثافة الطيفية للقدرة لمكونات L1C



الجـــدول 3

إرسالات الإشارة L1 لنظام GPS في النطاق 559 1-610 1 MHz

المعلمات (بالوحدات)	قيمة المعلمات
مدى تردد الإشارة (MHz)	1 575,42 ± 12 (C/A, L1CD, L1CP & P(Y))
معدل نبضة الشفرة للضوضاء شبه العشوائية (Mchip/s)	1,023 (C/A, L1CD & L1CP) 10,23 (P(Y))
معدلات رموز/بتات المعطيات الملاحية (bit/s/Symbol/s)	50 bit/s/50 Symbol/s (C/A & P(Y)) 50 bit/s/100 Symbol/s ($L1C_D$)
طريقة تشكيل الإشارة	إبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة بنبضات مربعة |BPSK-R(1) (C/A) إبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة بنبضات مربعة BPSK-R(10) (P(Y)) دالة تشكيلات بنديكس المُثلى BOC(1,1) ($L1C_D$) تشكيل MBOC ($L1C_P$) (انظر **الملاحظة 3**) (انظر **الملاحظة 1**)
الاستقطاب	استقطاب دائري مُيَامِن (RHCP)
الإهليلجية (dB)	القيمة القصوى 1,8
أدنى سوية للقدرة المستقبَلة عند خرج الهوائي المرجعي (dBW)	(C/A) 158,5− ($L1C_D$) 163,0− ($L1C_P$) 158,25− (P(Y)) 161,5− (انظر **الملاحظة 2**)
عرض النطاق 3 dB لمرشاح الإرسال للتردد الراديوي (MHz)	24

الملاحظة 1 – بالنسبة لمعلمات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) في نظام GPS، تشير الدالة BPSK-R(n) إلى تشكيل الإبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة باستعمال نبضات مربعة بمعدل تنبيض يبلغ $n \times 1{,}023$ (Mchip/s). وتُشير الدالة BOC(m,n) إلى تشكيل اثنيني للتردد الحامل المتخالف بتخالف التردد الحامل $m \times 1{,}023$ (MHz) ومعدل تنبيض $n \times 1{,}023$ (Mchip/s).

الملاحظة 2 – تُقاس أدنى قدرة مستقبَلة عند خرج هوائي استقبال مرجعي لمستعمِل بخُزْمة ليزر مستَقْطبَة خطياً 3 dBi (حيث يكون الهوائي مركَّباً قريباً من الأرض) عند أسوأ توجيه عادي وعندما يكون الساتل أعلى من زاوية ارتفاع 5° فوق مستوى أفق الأرض من منظور سطح الأرض.

الملاحظة 3 – انظر نص القسم الوارد قبل هذا الجدول من أجل المزيد من التفاصيل بشأن تشكيل MBOC.

2.6 معلمات الإرسال للإشارة L2 في النظام العالمي لتحديد المواقع

يُشغِّل نظام GPS عدة إشارات في نطاق خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) 215 1-300 1 MHz. وتشمل الإشارات L2 C/A (نادراً)، وL2C، وL2 P(Y). وتتكون الإشارة المدنية L2C من مكونة تعدد الإرسال بتقسيم الزمن لقناة معطيات ملاحية (تُسمَّى ببساطة قناة المعطيات) وقناة خالية من المعطيات (تُسمَّى كذلك قناة دليلة). ويُقدِّم الجدول 4 المعلمات الرئيسية لإرسالات L2 في نظام GPS.

الجـــدول 4

إرسالات الإشارة L2 لنظام GPS في النطاق 215 1-300 1 MHz

المعلمات (بالوحدات)	قيمة المعلمات
مدى تردد الإشارة (MHz)	1 227,6 ± 12 (C/A, L2C & P(Y))
معدل نبضة الشفرة للضوضاء شبه العشوائية (Mchip/s)	1,023 (C/A & L2C) 10,23 (P(Y))
معدلات رموز/بتات المعطيات الملاحية (bit/s/Symbol/s)	50 bit/s/50 Symbol/s (C/A & P(Y)) 25 bit/s/50 Symbol/s (L2C)
طريقة تشكيل الإشارة	إبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة بنبضات مربعة BPSK-R(1) (C/A & L2C) إبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة بنبضات مربعة BPSK-R(10) (P(Y)) (انظر **الملاحظة 1**)
الاستقطاب	استقطاب دائري مُيَامِن
الإهليلجية (dB)	القيمة القصوى 3,2
أدنى سوية للقدرة المستقبَلَة عند خرج الهوائي المرجعي (dBW)	(C/A & P(Y)) 164,5− (L2C) 160,0− (انظر **الملاحظة 2**)
عرض النطاق 3 dB لمرشاح الإرسال للتردد الراديوي (MHz)	24

الملاحظة 1 – بالنسبة لمعلمات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) في نظام GPS، تشير الدالة BPSK-R(n) إلى تشكيل الإبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة باستعمال نبضات مربعة بمعدل تنبيض يبلغ $n \times 1{,}023$ (Mchip/s). وتُشير الدالة BOC(m,n) إلى تشكيل اثنيني للتردد الحامل المتخالف بتخالف التردد الحامل $m \times 1{,}023$ (MHz) ومعدل تنبيض $n \times 1{,}023$ (Mchip/s).

الملاحظة 2 – تُقاس أدنى قدرة مستقبَلَة عند خرج هوائي استقبال مرجعي لمستعمِل بحُزْمة ليزر مستَقْطبَة خطياً 3 dBi (حيث يكون الهوائي مركَّباً قريباً من الأرض) عند أسوأ توجيه عادي وعندما يكون الساتل أعلى من زاوية ارتفاع 5° فوق مستوى أفق الأرض من منظور سطح الأرض.

3.6 معلمات الإرسال للإشارة L5 في النظام العالمي لتحديد المواقع

يُشغِّل نظام GPS إشارتين ملاحيتين في النطاق 164 1-215 1 MHz لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS). أما المكونتان، L5I وL5Q، فتعملان بالتربيع وتُرسلان عند قدرة متساوية. وتُعَد المكونة L5Q خالية من المعطيات (وتُسمى أيضاً بقناة "دليلة"). وللمكونة L5I معطيات ملاحية تُقدِّم معلومات التوقيت والملاحة وتحديد المواقع. ويُقدِّم الجدول 5 المعلمات الرئيسية لإرسالات الإشارة L5 في نظام GPS.

الجـــدول 5

إرسالات الإشارة L5 لنظام GPS في النطاق 164 1-215 1 MHz

المعلمات (بالوحدات)	قيمة المعلمات
مدى تردد الإشارة (MHz)	1 176,45 ± 12
معدل نبضة الشفرة للضوضاء شبه العشوائية (Mchip/s)	10,23
معدلات رموز/بتات المعطيات الملاحية (bit/s/Symbol/s)	50 bit/s/100 Symbol/s (L5I)
طريقة تشكيل الإشارة	إبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة بنبضات مربعة BPSK-R(10) (انظر **الملاحظة 1**)
الاستقطاب	استقطاب دائري مُيَامِن (RHCP)
الإهليلجية (dB)	القيمة القصوى 2,4
أدنى سوية للقدرة المستقبَلَة عند خرج الهوائي المرجعي (dBW)	(L5I) 157,9– (L5Q) 157,9– (انظر **الملاحظة 2**)
عرض النطاق 3 dB لمرشاح الإرسال للتردد الراديوي (MHz)	24

الملاحظة 1 – بالنسبة لمعلمات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) في نظام GPS، تشير الدالة BPSK-R(n) إلى تشكيل الإبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة باستعمال نبضات مربعة بمعدل تنبيض يبلغ $n \times 1{,}023$ (Mchip/s).

الملاحظة 2 – تُقَاس أدنى قدرة مستقبَلَة عند خرج هوائي استقبال مرجعي لمستعمِل بحُزْمة ليزر مستَقْطَبَة خطياً 3 dBi (حيث يكون الهوائي مركَّباً قريباً من الأرض) عند أسوأ توجيه عادي وعندما يكون الساتل أعلى من زاوية ارتفاع 5° فوق مستوى أفق الأرض من منظور سطح الأرض. وتبلغ القدرة الكلية للمكونتين المجتمعتين L5I وL5Q للإشارة التربيعية 154,9– dBW.

الملحق 3

الوصف التقني والخصائص التقنية لنظام غاليليو (Galileo)

1 مقدمة

يتألف نظام غاليليو (Galileo) من كوكبة من 30 موقعاً ساتلياً (27 ساتلاً رئيسيّاً وثلاثة سواتل احتياطية بمدارها) مع وجود عشرة مواقع ساتلية للمستويات المدارية الثلاثة المتباعدة مباعدة متساوية والمائلة بزاوية قدرها 56°. ويُرسِل كل ساتل نفس الترددات الحاملة الأربعة للإشارات الملاحية. ويتم تشكيل هذه الإشارات الملاحية بقطار بتات مُهَيكَل، يتضمن معطيات مشفرة للمعلمات التقويمية الفلكية والتوقيت، ويكون له عرض نطاق كاف لإنتاج الدقة الملاحية الضرورية دون اللجوء إلى الإرسال ثنائي الاتجاه أو التكامل الدوبلري. ويتيح هذا النظام التحديد الدقيق للمواقع في ثلاثة أبعاد وفي أي مكان في العالم على سطح الأرض أو قريباً منه.

1.1 متطلبات التردد

تقوم متطلبات التردد لنظام غاليليو على أساس تقديرٍ لمتطلبات الدقة الخاصة بالمستعمِل، واستبانة تأخر الانتشار من الفضاء إلى الأرض، وكبت تعدد المسيرات، وتكلفة التجهيزاتٍ وتشكيلاتها. وتُستعمَل أربع قنوات أولية لعمليات غاليليو: ويُرسِل كل ساتل في نظام غاليليو على نحو دائم أربع إشارات متماسكة للتردد الراديوي ولكنها إشارات قابلة للاستعمال على نحو مستقل على النطاقات (المتضمنة لأسماء الإشارات الموافقة لها بين قوسين هلاليين)، 1 176,45 MHz (اسم الإشارة E5a) و1 207,14 MHz (اسم الإشارة E5b) و1 278,75 MHz (اسم الإشارة E6) و1 575,42 MHz (اسم الإشارة E1). وهنالك عدد إجمالي من عشر إشارات متعددة الإرسال ومشكَّلة تُرسَل على ثلاثة ترددات حاملة وتُقسم إلى خدمات مختلفة. وتشتمل

الإرسالات الثلاثة على مكونات يمكن المقابلة بينها من أجل تقديم خدمات "تحديد المواقع/الملاحة/التوقيت" (PNT) في تشكيلات مختلفة. وتعتمد مجموعة متنوعة من تشكيلات المستقبِلات مكونة واحدة أو عدة مكونات مهيأة للتطبيقات والمتطلبات المحدَّدَة للمستعمِل. وتُشتَق كل مكونات الإشارة (الموجات الحاملة والموجات الحاملة الفرعية وشفرات قياس المسافة ومعدلات البتات للمعطيات)، على نحو متماسك، من مولد مشترك على المتن للميقاتية الذرية.

ويزيد تنوع التردد وعرض النطاق الواسع اللذان يستعملهما نظام غاليليو دقة المدى اللازمة لاستبانة تأخر الانتشار من الفضاء إلى الأرض ويُحسِّن من كبت تعدد المسيرات من أجل زيادة الدقة الكلية.

2 عرض عام للنظام

إن نظام غاليليو (Galileo) نظام فضائي مستمر يعمل في كل الأحوال الجوية لأغراض الملاحة الراديوية وتحديد المواقع ونقل إشارات التوقيت، مما يُقدِّم مواقع دقيقة إلى حد بعيد وثلاثية الأبعاد وكذا معلومات السرعة مع توفير مرجع مشترك دقيق للتوقيت لفائدة المستعمِلين المزودين بالتجهيزات الملائمة عندما يكونون في أي مكان على سطح الأرض أو قريباً منه.

ويعمل هذا النظام على أساس مبدأ التثليث المنفعِل. وتقوم تجهيزات مُستعمِل نظام غاليليو أولاً بقياس أشباه الأمدية لأربعة سواتل، وحساب مواقعها، ومُزامنة ميقاتية هذه التجهيزات طبقاً لوقت نظام غاليليو عن طريق استعمال المعطيات المستقبلَة من معلمات تقويمية فلكية ومعلمات تصحيح الميقاتية. ثم يقوم هذا النظام بتحديد الموقع ثلاثي الأبعاد للمستعمِل في نظام غاليليو المرجعي للأرض (GTRF) والنظام المرجعي الدولي للأرض (ITRS)، وبتحديد تخالف ميقاتية المستعمِل عن توقيت نظام غاليليو وذلك أساساً بحساب الحل المتآون لأربع معادلات للأمدية.

وعلى غرار ذلك، يمكن تقدير سرعة المستعمِل ثلاثية الأبعاد وكذا تخالف معدل ميقاتية المستعمِل بحل أربع معادلات لمعدلات الأمدية بعد الحصول على قياسات لمعدلات أشباه الأمدية لأربعة سواتل. وتُسمَّى هذه القياسات "أشباه" لأنها منجزة بواسطة ميقاتية مستعمِل غير دقيقة (زهيدة التكلفة) توجد في المستقبِل وتتضمن حدود ثابتة للانحياز بسبب تخالفات ميقاتية المستقبِل عن توقيت نظام غاليليو.

1.2 تطبيقات نظام غاليليو

"سلامة الحياة"

إن "خدمة سلامة الحياة" لنظام غاليليو متاحة للتطبيقات الحرجة في الطيران (ابتداء من عمليات الملاحة على الطريق إلى عمليات الاقتراب الدقيقة)، وميادين السكك الحديدية والميادين البحرية.

التطبيقات التجارية

يُقدِّم نظام غاليليو خدمة تجارية لبث المعطيات تيسيراً لتطوير التطبيقات المهنية وتقديم الأداء المعَزز مقارنة بالخدمة الأساسية، لا سيما من ناحية ضمان الخدمة.

تطبيقات الأسواق العامة

يُتيح نظام غاليليو خدمة أساسية مفتوحة وحرة تشمل أساساً تطبيقات لعامة الجمهور وخدمات ذات طابع عمومي. وتتوجه هذه الخدمة إلى مجتمعات محلية للمستعمِلين مماثلة لتلك المجتمعات التي تتوجه إليها الخدمة المعيارية لتحديد المواقع (SPS) في النظام العالمي لتحديد المواقع. وهي خدمة قابلة للتشغيل البيني مع نظام GPS.

التطبيقات الحكومية

يُتيح نظام غاليليو خدمة مشفرة خاضعة للتنظيم العمومي مقيدة الاستعمال من قبل الهيئات العمومية المسؤولة عن الحماية المدنية والأمن الوطني وإنفاذ القوانين.

3 أجزاء النظام

يتكون النظام من ثلاثة أجزاء رئيسية: الجزء الفضائي وجزء التحكم والجزء الخاص بالمستعمِل. ولكل جزء وظيفة رئيسية كالتالي.

1.3 الجزء الفضائي

يشتمل الجزء الفضائي على سواتل نظام غاليليو، التي تؤدي وظيفة نقاط مرجعية "سماوية"، تبث من الفضاء إشارات ملاحية مشفرة للوقت بدقة. وتتكون الكوكبة التشغيلية من حد أدنى قوامه 27 ساتلاً (علاوة على ثلاثة سواتل احتياطية) تدور في مدارات مدتها 14 ساعة على محور شبه رئيسي يبلغ حوالي 30 000 km. وهذه السواتل متموقعة في ثلاثة مستويات مدارية مائلة بزاوية 56° نسبةً إلى خط الاستواء. وهنالك عشرة سواتل في كل مستوى.

2.3 الجزء الأرضي

يتحكم الجزء الأرضي لنظام غاليليو في كوكبة غاليليو بكاملها، كما يُراقِب الحالة الصحية للساتل ويقوم بتحميل المعطيات لأغراض الإذاعة اللاحقة لفائدة المستعملِين. وتُحسَب العناصر الرئيسية لهذه المعطيات، وهي مزامنة الميقاتية والمعلمات التقويمية الفلكية المدارية، انطلاقاً من القياسات التي تُجريها محطات للشبكات منتشرة حول العالم.

ويُؤدِّي الجزء الأرضي الوظائف التالية:

- إدارة الكوكبة والتحكم في السواتل؛
- المعالجة والتحكم في الملاحة والتكاملية؛
- صيانة ومراقبة أداء المركبات الفضائية (TTC)؛
- الوصلات الصاعدة لتحميل معطيات المهمات.

3.3 الجزء الخاص بالمستعمِل

يتكون الجزء الخاص بالمستعمِل من كل مجموعات التجهيزات الإجمالية للمستعمِل ومعها تجهيزاتها الداعمة. وتتألف مجموعة التجهيزات النمطية للمستعمِل من هوائي، ومستقبِل/معالج لنظام غاليليو، وأجهزة حاسوبية وأجهزة دخل/خرج. وتقوم مجموعة التجهيزات بحيازة وتتبع الإشارة الملاحية انطلاقاً من كل السواتل المرئية، ثم تُحَوِّلها إلى أشباه أمدية ومعدلات أشباه أمدية، ثم تنفذ الحل لتحديد الموقع ثلاثي الأبعاد والسرعة ثلاثية الأبعاد، ثم تثبت توقيت نظام غاليليو.

4 بنية إشارة نظام غاليليو

يُقدِّم ما يلي وصفاً موجزاً لإشارات غاليليو المتاحة للاستعمال في التطبيقات الملاحية وتطبيقات التوقيت.

أ) الإشارة E1 لنظام غاليليو

الإشارة E1 لنظام غاليليو ممركَزة على التردد 1 575,42 MHz. وتتكون من ثلاثة مكونات يمكن استعمالها إما مستقلة وإما مجتمعة مع إشارات أخرى، مما يتوقف على الأداء الذي يتطلبه التطبيق. وتُقَدَّم المكونات، أساساً، للخدمة المفتوحة (OS)، و"سلامة الحياة" (SoL)، والخدمة الخاضعة للتنظيم العمومي (PRS)، وهي كلها تتضمن رسالة ملاحية. ويُشكَّل التردد الحامل E1 لنظام غاليليو بواسطة تشكيلات بنديكس المُثلى (MBOC) بالنسبة للخدمة المفتوحة وخدمة سلامة الحياة وشفرة جيب التمام BOCcos (15,2.5) بالنسبة للخدمة الخاضعة للتنظيم العمومي.

ويُعَدُّ التشكيل BOC تدبيراً لتكوين الشكل الطيفي (أي توزيع الكثافة الطيفية للقدرة مقسوم على التردد) للإشارة المرسَلة. ويُعبَّر عادة عن الإشارات من نمط BOC بالصيغة BOC(f_{sub},f_{chip}) حيث يُشار إلى الترددات كمقيم مضاعفة لمعدل نبض شفرة الحيازة التقريبية C/A لنظام GPS البالغ 1,023 Mchip/s.

وتُعطي المعادلة التالية الكثافة الطيفية للقدرة لإشارة الخدمة الخاضعة للتنظيم العمومي في نظام غاليليو:

$$G_{BOC_{\cos}(f_s, f_c)}(f) = f_c \left[\frac{2\sin\left(\frac{\pi f}{f_c}\right)\sin^2\left(\frac{\pi f}{4f_s}\right)}{\pi f \cos\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right)} \right]$$

حيث تكون الدالة $f_s = 15 \times 1{,}023$ MHz $f_c = 2{,}5 \times 1{,}023$ MHz هي تردد الموجة الحاملة الفرعية وتكون الدالة $2 f_s f_c = n$ هي معدل نبض الشفرة.

ويكون تشكيل MBOC على نحو يجعل طيف الإشارة $G_{MBOC}(f)$ يُساوي التالي:

$$G_{MBOC(f)} = \frac{10}{11} G_{BOC(1,1)}(f) + \frac{1}{11} G_{BOC(6,1)}(f)$$

حيث:

$$G_{BOC(f_s, f_c)}(f) = f_c \left(\frac{\tan\left(\frac{\pi f}{s f_s}\right)\sin\left(\frac{\pi f}{f_c}\right)}{\pi f} \right)^2$$

وحيث:

f_s = 1,023 × 1 MHz كموجة حاملة فرعية وf_c = 1,023 × 1 MHz كمعدل النبض لدالة التشكيل BOC(1,1)

f_s = 1,023 × 6 MHz كموجة حاملة فرعية وf_c = 1,023 × 1 MHz كمعدل النبض لدالة التشكيل BOC(6,1)

ب) *الإشارة E6 لنظام غاليليو*

تُرسَل الإشارة E6 لنظام غاليليو على التردد المركزي 1 278,75 MHz مع عرض نطاق قدره 40 MHz.

وتُقدِّم إشارة E6 لنظام غاليليو قناة لبث المعطيات للخدمة التجارية (CS)، وخدمة خاضعة للتنظيم العمومي (PRS)، حيث تتضمن كل منهما رسالة ملاحية. ويُشكَّل التردد الحامل E6 بواسطة شفرة للإبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة BPSK(5) من أجل تقديم الخدمة التجارية. ويُشكَّل التردد الحامل E6 لنظام غاليليو أيضاً بواسطة شفرة الدالة BOCcos(10,5) من أجل تقديم الخدمة الخاضعة للتنظيم العمومي (ويتبع الطيف المستعمَل لإشارة E6 للخدمة الخاضعة للتنظيم العمومي لنظام غاليليو نفس المعادلة كتلك المستعمَلة لإشارة E1 للخدمة الخاضعة للتنظيم العمومي الواردة أعلاه، ولكن حيث تكون الدالة f_c = 1,023 × 10 MHz والدالة f_c = 1,023 × 5 MHz).

ج) *الإشارة E5 لنظام غاليليو*

الإشارة E5 لنظام غاليليو ممركَزة على التردد 1 191,795 MHz ويتم توليدها بواسطة التشكيل AltBOC لمعدل الموجة الحاملة الفرعية للنطاق الجانبي البالغ 15,345 MHz. ويُقدِّم هذا الأسلوب فصين جانبيين.

ويُسمى الفص الجانبي الأدنى للإشارة E5 لنظام غاليليو بالإشارة E5a لنظام غاليليو، ويُقدِّم إشارة ثانية (الاستقبال مزدوج التردد) للخدمة المفتوحة (OS)، بما في ذلك رسائل المعطيات الملاحية.

ويُسمى الفص الجانبي الأعلى للإشارة E5 لنظام غاليليو بالإشارة E5b لنظام غاليليو، ويُقدم خدمة مفتوحة (OS) وكذلك خدمة "سلامة الحياة" (SoL)، بما في ذلك رسالة ملاحية تتضمن رسالة متطورة لمعلومات التكاملية.

وتُعطي المعادلة التالية الكثافة الطيفية لقدرة الإشارة المُشكَّلة بطريقة AltBOC:

$$G_{AltBOC}(f)=\frac{4f_c}{\pi^2 f^2}\frac{\cos^2\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right)}{\cos^2\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right)}\left[\cos^2\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right)-\cos\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right)-2\cos\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right)\cos\left(\frac{\pi f}{4f_s}\right)+2\right]$$

حيث:

f_s = 1,023 × 15 MHz هي الموجة الحاملة الفرعية وf_c = 1,023 × 10 MHz هو معدل نبض الشفرة.

5 قدرة الإشارة وأطيافها

تُساوي أدنى سوية للمستقبِل على سطح الأرض، بالنسبة لأية زاوية ارتفاع تُساوي أو تزيد عن 10°، وبالاستناد إلى هوائي استقبال 0 dBi متوائم ومتناح على وجه مثالي، –152 dBW بالنسبة للإشارات E5 وE6 وE1.

6 تردد التشغيل

يُرسِل نظام غاليليو إشارات الملاحة الراديوية في أربعة ترددات تشغيلية مختلفة كالتالي:

- الإشارة E5a لنظام غاليليو: 1 164-1 188 MHz.
- الإشارة E5b لنظام غاليليو: 1 195-1 219 MHz.
- الإشارة E6 لنظام غاليليو: 1 260-1 300 MHz.
- الإشارة E1 لنظام غاليليو: 1 559-1 594 MHz.

الملحق 4

الوصف التقني والخصائص التقنية لنظام السواتل شبه السمتي (QZSS)

1 مقدمة

يتألف نظام السواتل شبه السمتي (QZSS) من ثلاثة مواقع ساتلية مع وجود موقع ساتلي واحد لكل مستوى من المستويات المدارية الثلاثة المتباعدة مباعدة متساوية والمائلة بزاوية قدرها 45°. ويُرسِل كل ساتل نفس الترددات الحاملة الأربعة للإشارات الملاحية. ويتم تشكيل هذه الإشارات الملاحية بقطار بتات محدد مسبقًا، يتضمن معطيات مشفرة للمعلمات التقويمية الفلكية والتوقيت، ويكون له عرض نطاق كافٍ لإنتاج الدقة الملاحية الضرورية دون اللجوء إلى الإرسال ثنائي الاتجاه أو التكامل الدوبلري.

1.1 متطلبات التردد

تقوم متطلبات التردد لنظام السواتل شبه السمتي (QZSS) على أساس تقديرٍ لمتطلبات الدقة الخاصة بالمستعمِل، واستبانة تأخر الانتشار من الفضاء إلى الأرض، وكبت تعدد المسيرات، وتكلفة التجهيزات وتشكيلاتها. وتُستعمَل ثلاث قنوات أولية لعمليات نظام QZSS: 1 575,42 MHz (للإشارة L1) و1 227,6 MHz (للإشارة L2) و1 176,45 MHz (للإشارة L5). وسوف تُضاف إشارة تجريبية (LEX) ممركزة على التردد 1 278,75 MHz (LEX).

ويُقدِّم نظام QZSS خدمة ملاحية لفائدة مناطق آسيا الشرقية وأوقيانوسيا، التي تشمَل اليابان.

2 عرض عام للنظام

إن نظام QZSS نظام فضائي مستمر يعمل في كل الأحوال الجوية لأغراض الملاحة الراديوية وتحديد المواقع ونقل إشارات التوقيت، مما يُوفر إشارات قابلة للتشغيل البيني مع النظام العالمي لتحديد المواقع (الإشارات L1 وL2 وL5) وكذا إشارة تجريبية تحمل رسالة بمعدل أعلى للمعطيات.

ويعمل هذا النظام على أساس مبدأ التثليث المنفعِل. وتقوم تجهيزات الاستقبال لمُستعمل نظام QZSS أولاً بقياس أشباه الأمدية ومعدلات أشباه الأمدية لأربعة سواتل على الأقل، وحساب مواقعها، وسرعاتها وتخالفات الوقت لميقاتياتها مع الإطار المرجعي للتوقيت عن طريق استعمال المعطيات المستقبلَة من معلمات تقويمية فلكية ومعلمات تصحيح الميقاتية. ثم يقوم هذا النظام بتحديد الموقع والسرعة ثلاثِيَيْ الأبعاد للمستعمِل في نظام الإحداثيات الديكارتي الأرضي المركزي (ECEF) والنظام المرجعي الدولي للأرض (ITRF)، وتحديد تخالف ميقاتية المستعمِل عن الإطار المرجعي للتوقيت.

3 أجزء النظام

يتكون النظام من ثلاثة أجزاء رئيسية: الجزء الفضائي وجزء التحكم والجزء الخاص بالمستعمِل. ولكل جزء وظيفة رئيسية كالتالي.

1.3 الجزء الفضائي

يشتمل الجزء الفضائي على سواتل نظام QZSS، التي تؤدي وظيفة نقاط مرجعية "سماوية"، تبث من الفضاء إشارات ملاحية مشفرة للوقت بدقة. وتعمل الكوكبة التشغيلية المؤلفة من ثلاثة سواتل في مدارات مدتها 24 ساعة بمعدل أوج (حول الأرض) يبلغ 39 970 km ومعدل حضيض (حول الأرض) يبلغ 31 602 km. ويُوضَع كل ساتل من السواتل الثلاثة في مستوى مداري منفصل خاص به حيث يكون مائلاً بزاوية 45° نسبةً إلى خط الاستواء. وتكون المستويات المدارية متباعدة مباعدة متساوية (أي أنها مطاوَرة بزاوية 120) وتكون السواتل مطاوَرة على نحو يعني أن هنالك دائماً ساتلاً مرئيّاً على زاوية ارتفاع عالية من اليابان.

وإن الساتل بمثابة مركبة مستقرة ثلاثية المحاور. والعناصر الكبرى لحمولته الملاحية الرئيسية النافعة هي معيار التردد الذري للتوقيت الدقيق، والمعالج اللازم لتخزين المعطيات الملاحية، وتجميع إشارة الضوضاء شبه العشوائية (PRN) اللازم لتوليد إشارة قياس المسافة، وهوائي الإرسال للنطاق GHz 1,2/1,6 وهو هوائي له مخطط كسب لحُزمة مُقَوْلَبَة تُشِعُّ قدرة شبه منتظمة للإشارات المرسَلة على الترددات الأربعة للنطاق GHz 1,2/1,6 لفائدة المستعمِلين المتموقعين على سطح الأرض أو قريباً منه. ويجري الإرسال مزدوج التردد (مثل الإشارتين L1 وL2) بهدف السماح بتصحيح التأخرات الأيونوسفيرية في وقت انتشار الإشارة.

2.3 جزء التحكم

يُؤدِّي جزء التحكم وظائف التتبع والحساب والتحديث والمراقبة وهي الوظائف الضرورية للتحكم في كل السواتل في هذا النظام على أساس يومي. ويتكون جزء التحكم من مركز التحكم للنظام (MCS) الموجود في اليابان حيث تُنفَّذ كل عمليات المعالجة للمعطيات، مع انتشار واسع لبعض محطات المراقبة في المنطقة وهي محطات مرئية من الجزء الفضائي.

وتقوم محطات المراقبة بالتتبع المنفعِل لكل السواتل المرئية وتقيس معطيات قياس المسافة والمعطيات الدوبلرية. وتُعالجَ هذه المعطيات في محطة التحكم المركزي من أجل حساب المعطيات التقويمية الفلكية، وتخالفات الميقاتية، وزحزحات الميقاتية، وتأخر الانتشار، ثم تُستعمَل هذه المعطيات بعد ذلك لتوليد رسائل التحميل الصاعد. وتُرسَل هذه المعلومات المحدَّثة إلى السواتل من أجل تخزينها في الذاكرة وإرسالها لاحقاً بواسطة السواتل كجزء من الرسائل الملاحية المرسَلة إلى المستعمِلين.

3.3 الجزء الخاص بالمستعمِل

يتكون الجزء الخاص بالمستعمِل من كل مجموعات تجهيزات مستقبِل المستعمِل ومعها تجهيزاتها الداعمة. وتتألف مجموعة التجهيزات النمطية لمستقبِل المستعمِل من هوائي، وحاسوب مستقبِل/معالج لنظام QZSS (وهو أيضاً متوائم مع إشارات نظام GPS)، وأجهزة دخل/خرج.

ويقوم الجزء الخاص بالمستعمِل بحيازة وتتبع الإشارة الملاحية انطلاقاً من أكثر من أربعة سواتل مرئية، تتضمن ساتلاً واحداً (أو أكثر) من سواتل QZSS، وساتلاً واحداً (أو أكثر) من نظام GPS، من السواتل المرئية، ثم تقيس أوقات انتقالها على التردد الراديوي، وأطوار إشارات التردد الراديوي، والزحزحات الدوبلرية للتردد، وتُحوِّلها إلى أشباه أمدية، وأطوار للترددات الحاملة، ومعدلات أشباه أمدية و/أو أشباه أمدية مثلثية (دلتاوية)، ثم تنفذ الحل لتحديد الموقع ثلاثي الأبعاد والسرعة ثلاثية الأبعاد، وتخالف وقت المستقبِل عن الإطار المرجعي للتوقيت.

وتتراوح تجهيزات المستعمِل من المستقبلات البسيطة والخفيفة والمتنقلة نسبيّاً إلى المستقبِلات المتطورة التي تكون مدمَجة مع المحاسيس أو الأنظمة الملاحية الأخرى اللازمة للأداء الدقيق في البيئات عالية الدينامية.

4 بنية إشارة نظام QZSS

تتكون الإشارات الملاحية لنظام QZSS والمرسَلة من السواتل من أربعة ترددات حاملة مشكَّلَة، وهي: الإشارة L1 الممركزة على التردد 1 575,42 MHz (154 f_0)، والإشارة L2 الممركزة على التردد 1 227,6 MHz (120 f_0)، والإشارة L5 الممركزة على التردد 1 176,45 MHz (115 f_0)، والإشارة LEX الممركزة على التردد 1 278,75 MHz (125 f_0) حيث تصح المعادلة f_0 = 10,23 MHz. وتمثِّل الدالة f_0 خرج الجهاز المرجعي للتردد على المتن الذي تُربَط به على نحو متماسك كل الإشارات المولَّدة.

وتتكون الإشارة L1 من أربع إشارات مُشكَّلَة بالإبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة (BPSK) يتم إرسالها متعددة الإرسال بالتربيع. وتُشكَّل إشارتان من هذه الإشارات بواسطة شفرتي تمديد مختلفتين للضوضاء شبه العشوائية وهما تتابعان للإضافة باستخدام المقياس Modulo-2 إلى مخرجات سجلات الزحزحة للتغذية الراجعة الخطية بمعدل 10 بتات (10-bit-LFSRs) ولهما معدل ميقاتية يبلغ 1,023 MHz ويبلغ دوره 1 ms. وتُضاف كل إشارة منهما باستخدام مقياس Modulo-2 إلى قطار اثنيني للمعطيات الملاحية بمعدل 50 bit/s/50 Symbol/s أو 250 bit/s/500 Symbol/s وذلك قبل التشكيل بطريقة الإبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة. أما الإشارتان الأخريان فتُشكَّلان بواسطة شفرات تمديد مختلفة تتسم بمعدل ميقاتية 1,023 MHz وبإشارتين مربعتين متماثلتين لهما معدل ميقاتية 0,5115 MHz. ويُضَاف قطار المعطيات باستخدام مقياس Modulo-2 إلى إحدى هاتين الإشارتين.

أما الإشارة L2 فهي مُشكَّلَة بطريقة الإبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة مع شفرة تمديد L2C. وللشفرة L2C معدل ميقاتية 1,023 MHz مع شفرتين بديلتين للتمديد لهما معدل ميقاتية 0,5115 MHz: وهما الشفرة L2CM بدور 20 ms والشفرة L2CL بدور 1,5 ms. ويُضَاف قطار المعطيات بمعدل 25 bit/s/50 Symbol/s باستخدام مقياس Modulo-2 إلى الشفرة قبل تشكيل الطور.

وتتكون الإشارة L5 من إشارتين مُشكَّلَتين بطريقة الإبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة (أي الإشارة I والإشارة Q) المرسلَتان بتعدد الإرسال التربيعي. وتُشكَّل الإشارتان في كل من I وQ بواسطة شفرتي تمديد مختلفتين للإشارة L5. ولكل من شفرتي التمديد للإشارة L5 معدل ميقاتية 10,23 MHz ودور 1 ms. ويُرسَل قطار اثنيني للمعطيات الملاحية بمعدل 50 bit/s/100 Symbol/s على القناة I ولا تُرسَل أية معطيات على القناة Q (أي أنها إشارة "دليلة"، خالية من المعطيات).

وتُشكَّل الإشارة التجريبية LEX كذلك بواسطة الإبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة. وتُستعمَل مجموعة صغيرة من تتابعات شفرة كازامي (Kasami) الاثنينية لشفرة التمديد التي تتسم بمعدل ميقاتية 5,115 MHz.

5 قدرة الإشارة وأطيافها

تستعمِل سواتل QZSS هوائي بحزمة مُقَوْلَبَة تُشع قدرة شبه منتظمة لفائدة مستعملي هذا النظام. وتكون الإشارات المرسَلَة مستقطَبة دائريّاً مُيَامِنة مع إهليلجية أفضل من 1,2 dB للإشارة L1 وأفضل من 2,2 dB للإشارات L2 وL5 وLEX. وتُحَدَّد قدرات الإشارات المستقبَلَة للمستعمِل (URPs) بالنسبة لزوايا الوصول للسواتل الأكبر من 10° بموجب افتراض استعمال هوائي استقبال باستقطاب دائري مُيَامِن 0 dBi.

ويرد وصف أدنى القدرات المضمونة للإشارات المستقبَلَة للمستعمِل (URPs) بالنسبة للإشارات L1 وL2 وL5 وLEX في الجداول 6 و7 و8.

6 التردد التشغيلي

للنظام QZSS إشارة L1 تعمل في جزء من النطاق 559 1-610 1 MHz، وإشارة L2 وإشارة LEX تعملان في جزء من النطاق 215 1-300 1 MHz وإشارة L5 تعمل في جزء من النطاق 164 1-215 1 MHz، وهو جزء مُعيَّن لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS).

7 وظائف القياس عن بعد

لا توجد حاجة تستدعي نظام QZSS لتشغيل إشاراتٍ للقياس عن بعد في النطاقات 164 1-215 1 MHz و215 1-300 1 MHz و559 1-610 1 MHz.

8 معلمات الإرسال لنظام QZSS

لما كان نظام QZSS يُرسِل الإشارات الملاحية لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية من الفضاء إلى الأرض في أربعة نطاقات، ترد معلمات الإرسال لنظام QZSS في أربعة جداول أدناه تمثل النطاقات الأربعة لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية التي يُرسِل فيها نظام QZSS الإشارات الملاحية.

1.8 معلمات الإرسال للإشارة L1 في النظام QZSS

سوف يُشغِّل نظام QZSS عدة إشارات في النطاق 559 1-610 1 MHz لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS). وتشمل هذه الإشارات مكونة الحيازة التقريبية L1 C/A والمكونة L1C ومكونة تعزيز صنف القياس الجزئي مع وظيفة التكاملية L1-SAIF. *ولم تُستكمَل بعد معلمات الإشارة L1C، ولذلك فإن قيم الإشارة L1C المبينة في الجدول 6 قابلة للتغيير.*

الجـــدول 6

إرسالات نظام QZSS في النطاق 559 1-610 1 MHz

المعلمات (بالوحدات)	قيمة المعلمات
التردد الحامل (MHz)	1 575,42
معدل تنبيض الشفرة للضوضاء شبه العشوائية (Mchip/s)	1,023
معدلات رموز/بتات المعطيات الملاحية (bit/s/Symbol/s)	50 bit/s/50 Symbol/s (C/A) 250 bit/s/500 Symbol/s (L1-SAIF) 25 bit/s/50 Symbol/s (L1C)
طريقة تشكيل الإشارة	إبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة بنبضات مربعة BPSK-R(1) (C/A & L1-SAIF) دالة تشكيلات بنديكس المُثلى BOC(1,1) (L1C) (انظر **الملاحظة 1**)
الاستقطاب والإهليلجية (dB)	استقطاب دائري مُيَامِن، القيمة القصوى 1,2
أدنى سوية للقدرة المستقبَلة عند خرج الهوائي المرجعي (dBW)	158,5− (C/A)، 163− (L1C data)، 158,25− (L1C المكونة الخالية من المعطيات)، 161− (L1-SAIF) (انظر **الملاحظة 2**)
عرض النطاق 3 dB لمرشاح الإرسال للتردد الراديوي (MHz)	32

الملاحظة 1 – بالنسبة لمعلمات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) في نظام QZSS، تشير الدالة BPSK-R(n) إلى تشكيل الإبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة باستعمال نبضات مربعة بمعدل تنبيض يبلغ $n \times 1{,}023$ (Mchip/s). وتُشير الدالة BOC(m,n) إلى تشكيل اثنيني للتردد الحامل المتخالف بتخالف التردد الحامل $m \times 1{,}023$ (MHz) ومعدل تنبيض $n \times 1{,}023$ (Mchip/s).

الملاحظة 2 – تفترض أدنى قدرة مستقبَلة لنظام QZSS أن أدنى كسب لهوائي الاستقبال يتم عند زوايا تبلغ 10° أو أكثر فوق مستوى أفق الأرض من منظور سطح الأرض.

2.8 معلمات الإرسال للإشارة L2 في النظام QZSS

سوف يُشغِّل النظام QZSS إشارتين في النطاق 215 1-300 1 MHz. وتتضمن هاتان الإشارتان L2C وLEX.

الجـــدول 7

إرسالات الإشارة L2C لنظام QZSS في النطاق 215 1-300 1 MHz

المعلمات (بالوحدات)	وصف معلمات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)
التردد الحامل (MHz)	1 227,6
معدل نبضة الشفرة للضوضاء شبه العشوائية (Mchip/s)	1,023 (L2C)
معدلات رموز/بتات المعطيات الملاحية (bit/s/Symbol/s)	25 bit/s/50 Symbol/s (L2C)
طريقة تشكيل الإشارة	إبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة بنبضات مربعة BPSK-R(1) (L2C) (انظر **الملاحظة 1**)
الاستقطاب والإهليلجية (dB)	استقطاب دائري مُيَامِن؛ القيمة القصوى 2,2
أدنى سوية للقدرة المستقبَلة عند خرج الهوائي المرجعي (dBW)	160− القدرة الكلية (انظر **الملاحظة 2**)
عرض النطاق 3 dB لمرشاح الإرسال للتردد الراديوي (MHz)	32

الملاحظة 1 – بالنسبة لمعلمات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) في نظام QZSS، تشير الدالة BPSK-R(n) إلى تشكيل الإبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة باستعمال نبضات مربعة بمعدل تنبيض يبلغ $n \times 1{,}023$ (Mchip/s).

الملاحظة 2 – تفترض أدنى قدرة مستقبَلة لنظام QZSS أن أدنى كسب لهوائي الاستقبال يتم عند زوايا تبلغ 10° أو أكثر فوق مستوى أفق الأرض من منظور سطح الأرض.

الجـــدول 8

إرسالات الإشارة التجريبية LEX لنظام QZSS في النطاق 215 1-300 1 MHz

المعلمات (بالوحدات)	وصف معلمات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)
التردد الحامل (MHz)	1 278,75
معدل نبضة الشفرة للضوضاء شبه العشوائية (Mchip/s)	5,115 (LEX)
معدلات رموز/بتات المعطيات الملاحية (bit/s/Symbol/s)	2 kbit/s/250 Symbol/s (LEX)
طريقة تشكيل الإشارة	إبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة بنبضات مربعة BPSK-R(5) (LEX) (انظر **الملاحظة 1**)
الاستقطاب والإهليلجية (dB)	استقطاب دائري مُيَامِن؛ القيمة القصوى 2,2
أدنى سوية للقدرة المستقبَلَة عند خرج الهوائي المرجعي (dBW)	–155,7 القدرة الكلية (انظر **الملاحظة 2**)
عرض النطاق dB 3 لمرشاح الإرسال للتردد الراديوي (MHz)	56

الملاحظة 1 – بالنسبة لمعلمات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) في نظام QZSS، تشير الدالة BPSK-R(n) إلى تشكيل الإبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة باستعمال نبضات مربعة بمعدل تنبيض يبلغ $n \times 1{,}023$ (Mchip/s).

الملاحظة 2 – تفترض أدنى قدرة مستقبَلَة لنظام QZSS أن أدنى كسب لهوائي الاستقبال يتم عند زوايا تبلغ 10° أو أكثر فوق مستوى أفق الأرض من منظور سطح الأرض.

3.8 معلمات الإرسال للإشارة L5 في النظام QZSS

سوف يُشغِّل النظام QZSS إشارتين ملاحيتين في النطاق 164 1-215 1 MHz لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS). وتعمل هاتان الإشارتان وهما L5I وL5Q بالتربيع وتُرسَلان بقدرة متساوية. وتُعد الإشارة L5Q خالية من المعطيات (وتُسمى أيضاً قناة "دليلة"). أما الإشارة L5I، من ناحية أخرى، فهي إشارة تحمل معطيات ملاحية تُقدِّم معلومات التوقيت والملاحة وتحديد المواقع.

الجـــدول 9

إرسالات نظام QZSS في النطاق 164 1-215 1 MHz

المعلمات (بالوحدات)	وصف معلمات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)
التردد الحامل (MHz)	1 176,45
معدل نبضة الشفرة للضوضاء شبه العشوائية (Mchip/s)	10,23
معدلات رموز/بتات المعطيات الملاحية (bit/s/Symbol/s)	50 bit/s/100 Symbol/s (L5I)
طريقة تشكيل الإشارة	إبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة بنبضات مربعة BPSK-R(10) (انظر **الملاحظة 1**)
الاستقطاب والإهليلجية (dB)	استقطاب دائري مُيَامِن 2,2
أدنى سوية للقدرة المستقبَلَة عند خرج الهوائي المرجعي (dBW)	–157,9 لكل قناة (L5I أو L5Q) (انظر **الملاحظة 2**)
عرض النطاق dB 3 لمرشاح الإرسال للتردد الراديوي (MHz)	38,0

الملاحظة 1 – بالنسبة لمعلمات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) في نظام QZSS، تشير الدالة BPSK-R(n) إلى تشكيل الإبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة باستعمال نبضات مربعة بمعدل تنبيض يبلغ $n \times 1{,}023$ (Mchip/s).

الملاحظة 2 – تفترض أدنى قدرة مستقبَلَة لنظام QZSS أن أدنى كسب لهوائي الاستقبال يتم عند زوايا تبلغ 10° أو أكثر فوق مستوى أفق الأرض من منظور سطح الأرض.

الملحق 5

الوصف التقني والخصائص التقنية لنظام التعزيز المحمول على متن السواتل (MSAS) لساتل النقل متعدد الوظائف (MTSAT)

1 مقدمة

لقد عرَّفت منظمة الطيران المدني الدولي (ICAO) النظام العالمي للملاحة الساتلية (GNSS) بصفته "نظاماً لتحديد المواقع والوقت على الصعيد العالمي يشمل كوكبة أو أكثر من الكواكب الساتلية، وأجهزة الاستقبال على متن الطائرات، ومراقبة تكاملية النظام، مع تعزيزها حسب الاقتضاء بغية دعم الأداء الملاحي المطلوب للعملية المقصودة"، كما وضعت المعايير الدولية والممارسات الموصى بها (SARP) لأغراض الخدمة الملاحية الجوية المتواصلة على الصعيد العالمي.

وسوف تُقدَّم الخدمة الملاحية للنظام العالمي للملاحة الساتلية (GNSS) باستعمال مجموعات مختلفة لعناصر هذا النظام المركَّبة على الأرض، و/أو في الفضاء، و/أو على متن الطائرات:

أ) النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS).

ب) النظام العالمي للملاحة الساتلية (GLONASS).

ج) نظام التعزيز المحمول على متن الطائرات (ABAS).

د) نظام التعزيز المحمول على متن السواتل (SBAS).

هـ) نظام التعزيز المركب على الأرض (GBAS).

و) جهاز الاستقبال للنظام العالمي للملاحة الساتلية (GNSS) المحمول على متن الطائرات.

وإن نظام التعزيز المحمول على متن السواتل (MSAS) لساتل النقل متعدد الوظائف (MTSAT) هو نظام للتعزيز محمول على متن السواتل SBAS يُعرَّف بصفته "نظاماً للتعزيز ذا تغطية واسعة النطاق يستقبل فيه المستعمِل معلومات التعزيز من مُرسِل محمول على متن الساتل". ويؤدي نظام التعزيز المحمول على متن السواتل (MSAS) وظيفة خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) في ساتل النقل متعدد الوظائف (MTSAT).

ويستخدم نظام التعزيز المحمول على متن السواتل (MSAS) ساتلين للنقل متعدد الوظائف (MTSAT) من أجل تعزيز اعتمادية النظام ومقاومته للتدخل. ويُرسِل كل ساتل للنقل متعدد الوظائف (MTSAT) تردداً حاملاً مخصَّصاً لإشارات التعزيز لنظام GPS (إشارات RNSS). وتشمل هذه الإشارات المعلومات التالية؛ قياس المسافة والحالة الساتلية لنظام GPS والتصحيح التفاضلي الأساسي (التصحيحات التقويمية الفلكية والميقاتية الساتلية لنظام GPS) والتصحيح التفاضلي الدقيق (التصحيحات الأيونوسفيرية).

1.1 متطلبات التردد

تستند متطلبات التردد لنظام التعزيز المحمول على متن السواتل (MSAS) إلى القناة L1 لنظام GPS المركزة على النطاق MHz 1 575,42.

وتؤكد متطلبات "السلامة" الملاحية الطيرانية الأهمية الحاسمة لعدم تسبب الخدمات الراديوية الأخرى في التداخل الضار لمستعملي الملاحة الجوية.

وتتطلب وظيفة خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) لساتل MTSAT أن يُرسَل تردد وصلة التغذية في الوصلة الصاعدة من المحطات الأرضية (GES) إلى السواتل، وألا يكون مثل هذا الاستعمال محميّاً بدرجة كافية من الإشارات الأخرى للخدمة الثابتة الساتلية.

2 عرض عام للنظام

ينفذ ساتل MTSAT الجزء الفضائي لنظام التعزيز المحمول على متن السواتل (MSAS) ويذيع معلومات التعزيز لنظام GPS إلى المستعملين المزودين بالتجهيزات الملائمة، لا سيما بالنسبة لعمليات "السلامة" للطيران المدني.

وتقيس تجهيزات المستعمِل لنظام MSAS الموقع ثلاثي الأبعاد لمستعمِل نظام GPS في النظام الديكارتي العالمي الأرضي المركزي (ECEF) للإحداثيات الجيوديسية 1984 (WGS-84)، ثم تحصل على معلومات التكاملية لنظام GPS التي تُولِّدها محطة التحكم المركزي (MCS) باستعمال معطيات نظام GPS التي تستقبلها محطة المراقبة الأرضية (GMS) على أساس الوقت الفعلي.

3 أجزاء النظام

يتكون نظام MSAS من ثلاثة أجزاء رئيسية: الجزء الفضائي والأجزاء الأرضية والمستقبِل المحمول جوّاً لنظام التعزيز المحمول على متن السواتل (SBAS) (الجزء الخاص بالمستعمِل). ولكل جزء وظيفة رئيسية كالتالي.

1.3 الجزء الفضائي

يُعَد الجزء الفضائي لنظام MSAS هو الحمولة الملاحية النافعة لساتل MTSAT وهو الذي يُعيد إرسال إشارات RNSS التي تولدها المحطة الأرضية (GES). وتعمل الكوكبة المؤلفة من ساتلين للنقل متعدد الوظائف على مدارين مستقرين بالنسبة إلى الأرض من بين المدارات 135° شرقاً أو 140° شرقاً أو 145° شرقًا. وإن الساتل بمثابة مركبة مستقرة ثلاثية المحاور. والعناصر الكبرى لحمولته الملاحية النافعة هي هوائيات الاستقبال لإشارة وصلة التغذية المرفوعة على الوصلة الصاعدة من المحطات الأرضية، والمحوال الخافض للتردد من النطاق 14 GHz إلى النطاق 1,5 GHz، والمكبر عالي القدرة لإشارة وصلة الخدمة، وهوائي إرسال بمخطط كسب لحزمة مُقَوْلَبَة تُشِع قدرة شبه منتظمة لفائدة المستعملين.

2.3 الأجزاء الأرضية

تتكون الأجزاء الأرضية من محطتين للتحكم المركزي (MCS)، وأربع محطات للمراقبة الأرضية (GMS)، ومحطتين للمراقبة وقياس المسافة (MRS) وشبكة نظام فرعي للاتصالات (NCS). وتُعَد محطة التحكم المركزي هي لب نظام MSAS ويقع مقرها في المراكز الساتلية الطيرانية في مدينتي Hitachi-ohta وKobe (في اليابان). وهكذا، فبفضل بناء محطتين، يمكن تلافي تعطيل الخدمة الناجم عن أعطال التجهيزات، والكوارث الطبيعية، وتأثيرات الأحوال الجوية. وإن محطة المراقبة الأرضية هي مرفق لاستقبال معطيات MSAS المُرسَلَة من الساتل MTSAT ونقلها إلى محطات التحكم المركزي. وتستقبل هذه المحطة الإشارتين L1 وL2 لنظام GPS (1 227,6 MHz) فتُستعمَلان لمراقبة إشارات GPS وكذا لتقدير التأخر الأيونوسفيري. ولهذه المحطة أربعة مواقع، ألا وهي سابورو، وطوكيو، وفوكووكا، وناها (في اليابان). أما محطة المراقبة وقياس المسافة فتؤدي وظيفة جمع المعطيات الأساسية اللازمة لقياس موقع الساتل MTSAT من أجل استحداث معطيات قياس المسافة (تحديد الموقع المكافئ لموقع نظام GPS) فضلاً عن وظائف محطة المراقبة الأرضية. وقد أنشِئت محطة المراقبة وقياس المسافة في موقعين على الحافة الشرقية والجنوبية لأثر الساتل MTSAT، أي في هواي وكانبيرا، بأستراليا، قصد الحصول على القياس المداري عالي الدقة للمسافة عن طريق تأمين خطوط قاعدة طويلة.

3.3 الجزء الخاص بالمستعمل

يُحَدِّد الجزء الخاص بالمستعمِل (المستقبِل المجوقَل لنظام التعزيز المحمول على متن السواتل (SBAS)) موقع الطائرة باستعمال كواكب نظام GPS وإشارة SBAS. ويقوم المستقبِل المجوقَل بحيازة معطيات قياس المسافة والتصحيح، ويطبق هذه المعطيات من أجل تحديد التكاملية وتحسين الدقة لهذا الموقع المَستنتَج.

4 بنية الإشارة لنظام MSAS

تُعَد إشارات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) متلائمة مع إشارة L1 لنظام GPS ومع تردداته الحاملة المُشكَّلَة بواسطة تردد مركزي على النطاق 1 575,42 MHz وعرض النطاق 2,2 MHz. ويكون التتابع المُرسَل هو إضافة الرسالة الملاحية باستخدام المقياس Modulo-2 بمعدل 500 Symbols/s وشفرة الضوضاء شبه العشوائية بمعدل بتات 1 023. وسوف يُشكَّل هذا التتابع بواسطة إبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة على التردد الحامل بمعدل 1,023 Mchip/s.

5 قدرة الإشارة وأطيافها

يستعمِل الساتل MTSAT هوائي بحزمة مُقَوْلَبَة تُشِع قدرة شبه منتظمة لفائدة مستعملي نظام MSAS. وتكون الإشارات المرسَلَة مستقطَبَة دائرية مُيَامِنة. ويُقدِّم الجدول 10 خصائص إشارة النظام MSAS المرسَلَة على سواتل MTSAT.

الجـــدول 10

خصائص إشارات نظام MSAS

التردد الحامل (MHz)	نمط البث	عرض النطاق المخصص (MHz)	أقصى قدرة ذروة (dBW)	أقصى كثافة قدرة (dB(W/kHz))	كسب الهوائي (dBi)
1 575,42	2M20G1D	2,2	13,0	−17,3	20,0
	2M20G7D	2,2	16,0	−14,3	

6 تردد التشغيل

يتم تشغيل الجزء الفضائي لنظام MSAS في التردد L1 لنظام GPS على تردد الموجة الحاملة المركزية للنطاق 1 575,42 MHz مع عرض نطاق 2,2 MHz، في جزء من النطاق 1 559-1 610 MHz المُعَيَّن لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية.

7 وظائف القياس عن بُعد

لا تُوجد حاجة تستدعي نظام MSAS لتشغيل إشارات القياس عن بعد في النطاقات 1 164-1 215 MHz و1 215-1 300 MHz و1 559-1 610 MHz و5 010-5 030 MHz.

الملحق 6

الوصف التقني والخصائص التقنية للشبكات الساتلية LM-RPS

1 مقدمة

تتألف الشبكات الساتلية LM-RPS من سواتل متعددة القنوات بحمولة نافعة لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) تعمل في مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض، ومحطتين أرضيتين لوصلات صاعدة (GUS) تدعمان كل حمولة ملاحية نافعة. وتتضمن التشكيلة المنفذة حالياً ساتلاً موقعه عند 133° لخط الطول غرباً وساتلاً ثانياً موقعه عند 107,3° لخط الطول غرباً.

وتُقدِّم الشبكات الساتلية LM-RPS العاملة عند 107,3° لخط الطول غرباً وعند 133° لخط الطول غرباً خدمة وحيدة لإذاعة RNSS لصالح الإدارة الاتحادية للطيران (FAA) للولايات المتحدة الأمريكية عن طريق تقديم إذاعة تغطي نظام الفضاء الجوي الوطني (NAS) الأمريكي. وتشكِّل الشبكات الساتلية LM-RPS جزءاً من نظام التعزيز الواسع النطاق (WAAS) التابع للإدارة الاتحادية للطيران. ويمكن إضافة شبكات ساتلية LM-RPS إضافية في المستقبل بغية تقديم خدمة مماثلة لنظام تعزيز محمول على متن السواتل (SBAS) لفائدة إدارات الطيران والفضاء الجوي الوطني لمناطق أخرى حول العالم. وتُقدِّم الشبكات الساتلية LM-RPS معطيات التعزيز، التي تعزز معطيات نظام GPS بتقديم معلومات التكاملية على الإرسالات الإذاعية لنظام GPS، كما تُقدِّم تحسين الدقة وتعزيزها لإشارات قياس المسافة في نظام GPS، لصالح مستعملي الطيران. ويعول مستعملو الطيران على نظام التعزيز المحمول على متن السواتل (SBAS) لزيادة دقة وتكاملية الملاحة وسلامة التشغيل.

2 عرض عام للنظام

يتم تشغيل الشبكات الساتلية LM-RPS كخدمة تجارية تُقدِّم خدمة إذاعية ضرورية لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) لفائدة إدارات الطيران.

وتُقدِّم المحطات الفضائية للشبكات الساتلية LM-RPS بإذاعتها لرسالة نظام التعزيز الواسع النطاق التغطية اللازمة للفضاء الجوي الوطني مع استعمال أدنى عدد من المرسِلات كما تقضي على عدد جم من المشاكل التقنية المصاحبة لأنظمة التعزيز الأرضية. وتُعَد الشبكة الساتلية خدمة هجينة للإذاعة تستعمل الوصلات الصاعدة للخدمة الثابتة الساتلية وكذلك الوصلات الهابطة لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)، مما يجعلها معقدة أكثر بقليل من الإرسالات الإذاعية للخدمة الثابتة الساتلية العادية. وتستقبِل المحطات الأرضية للشبكة الساتلية LM-RPS معطيات الرسالة غير المنسوقة لنظام التعزيز الواسع النطاق من المحطات المركزية لنظام التعزيز هذا على شبكة الاتصالات الأرضية ثم تتحقق من هذه المعطيات قبل إرسالها إلى الساتل. وتُطبِّق المحطات الأرضية التصحيح الأمامي للأخطاء على رسالة نظام التعزيز الواسع النطاق وتضبط توقيتها ليتزامن مع طور الإطار الفرعي للإذاعة GPS ثم ترفع الرسالة على الوصلة الصاعدة إلى الحمولة الملاحية النافعة، التي تستقبِل الرسالة ثم تعيد إذاعتها إلى سطح الأرض ومستعملي الطيران في أنظمة الفضاء الجوي الوطني المستفيدة من التغطية.

3 تشكيلة النظام

تتكون الشبكة الساتلية LM-RPS من جزأين؛ السواتل أو الجزء الفضائي والمحطات الأرضية أو الجزء الأرضي.

1.3 الجزء الفضائي

تُشكِّل السواتل الفردية، وهي في مرحلة أولية الساتلين LM-RPS في الموقع 133° غرباً وLM-RPS في الموقع 107,3 غرباً، فضلاً عن احتمال زيادة سواتل إضافية LM-RPS في خدمة مناطق أخرى من العالم، الجزء الفضائي من الشبكات الساتلية LM-RPS. ويعمل كل ساتل على نحو مستقل، كجزء من النظام الأكبر للتعزيز الواسع النطاق، من أجل تقديم إشارة في الفضاء (SiS) تكون موثوقة وتعمل على مدار الساعة تقريباً (اعتمادية بنسبة 99,9995 %).

وتستقبِل السواتل رسالة نظام التعزيز الواسع النطاق من محطة من محطتين أرضيتين للوصلات الصاعدة، ثم تعيد إرسالها إلى الأرض، مما يتيح إشارة مزدوجة في الفضاء في منطقة التغطية. وتدعو الخطط المستقبلية إلى إضافة إشارة ثالثة في الفضاء قصد تقديم اعتمادية عالية جدّاً (تزيد نسبتها عن 99,9995 %).

وتُعَد الحمولة الملاحية النافعة عروة بسيطة مرتدة أو مرسِل–مستجيب من نمط "الموجِّه المائل للموجات". وتستقبِل كل حمولة نافعة الرسالة المرفوعة بالوصلة الصاعدة في نظام التعزيز الواسع النطاق على زوج من القنوات ذات الترددات الثابتة في نطاق الوصلة الصاعدة للخدمة الثابتة الساتلية 6 GHz، وتُسمَّى إحدى القناتين C1 للشبكة الساتلية LM-RPS والثانية C5 للشبكة الساتلية LM-RPS، وهما قناتان مُرشَّحَتان ومُترجمَتَان إلى الترددين L1 للشبكة LM-RPS (في النطاق 559 1-610 1 MHz) وL5 للشبكة LM-RPS (في النطاق 164 1-215 1 MHz) وهذان هما نفس الترددين اللذين حددهما الملحق 2 بصفتهما التردد L1 لنظام GPS والتردد L5 لنظام GPS، على التوالي. وتُرسِل المكبرات والهوائيات المكرسة للإرسال إشارات لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) إلى الأرض، مما يُقدِّم التغطية العالمية للحُزمة بتغطية كل سطح الأرض إلى ارتفاع قدره 000 100 قدم، مما يشمل تغطية الفضاء الجوي المطلوبة. وتُحَدَّد منطقة التغطية بواسطة مخروط بزاوية ارتفاع 8,75°.

2.3 الجزء الأرضي

يعمل كل زوج من المحطتين الأرضيتين للوصلات الصاعدة (GUS) في شبكة LM-RPS كمجموعة تجهيزات بديلة تُقدِّم وصلة صاعدة ذات اعتمادية عالية إلى ساتل من سواتل الشبكة LM-RPS.

وتُربَط المحطتان الأرضيتان للوصلات الصاعدة (GUS) ربطاً شبكيّاً بواسطة شبكة برية تصلهما بنظام التعزيز الواسع النطاق. وتتواصل المحطتان الأرضيتان للوصلات الصاعدة (GUS) بين بعضهما البعض وكذا بمحطة التحكم المركزي لنظام التعزيز الواسع النطاق بغية تحديد أية محطة أرضية للوصلات الصاعدة كمحطة أرضية رئيسية للوصلات الصاعدة تضطلع بإذاعة رسالة نظام التعزيز الواسع النطاق إلى الحمولة الملاحية النافعة وتحديد أية محطة منهما كمحطة أرضية احتياطية للوصلات الصاعدة. وتُذيع المحطة الأرضية الاحتياطية للوصلات الصاعدة رسالتها الخاصة لنظام التعزيز الواسع النطاق إلى حمولة للتردد الراديوي وهي محطة احتياطية ساخنة في حالة تعطل المحطة الرئيسية.

وتتكون المحطة الأرضية للوصلة الصاعدة من مجموعتين أساسيتين للتجهيزات، وتجهيزات الشبكة والمعالجة، وتجهيزات إرسال التردد الراديوي (RF). وتستقبِل تجهيزات الشبكة والمعالجة معطيات رسالة نظام التعزيز الواسع النطاق وتتحقق منها بواسطة الشبكة البرية، ثم تنسِّقها في الصيغة المناسبة لبنية إشارةٍ مُعَدة للإذاعة، مما يُنتِج إشارة لتردد متوسِّط عند 70 MHz. وتُتَرجم إشارة التردد المتوسط إلى الترددين C1 وC5 لنظام LM-RPS، ثمَّ تُكبَّر، ثم تُرسَل إلى الحمولة الملاحية النافعة بواسطة هوائي مُكافِئي للنطاق-C (أي تجهيزات التردد الراديوي).

للمحطة الأرضية للوصلات الصاعدة (GUS) هوائي مُعَدٌّ لاستقبال إرسال الحمولة الملاحية النافعة (أي الوصلة الهابطة) على كل من الإشارتين L1 وL5 لنظامي LM-RPS وGPS من أجل حساب وتصحيح التأخرات الأيونوسفيرية في وقت انتشار الإشارة. وتُمكِّن هذه العروة المرتدة للإشارة إلى المحطة الأرضية للوصلات الصاعدة (GUS) من الحمولة الملاحية النافعة من استعمال الإشارة في الفضاء لقياس المسافة من أجل زيادة تيسر إشارة ملاحية في مواقع وأوقات تكون فيها تغطية نظام GPS المتاحة غير كافية. وتستقبِل المحطة الأرضية للوصلات الصاعدة (GUS) إرسال هذه المحطة (في النطاق 6 GHz)، كما تستقبِل الإشارتين الساتليتين للوصلات الهابطة L1 وL5 من أجل ضمان عدم تعرض الإشارة للخطأ. وتُطلِق الإشارات الخاطئة تجهيزات المعالجة بهدف تبديل المحطة الأرضية الرئيسية للوصلات الصاعدة (GUS) إلى محطة احتياطية والمحطة الأرضية الاحتياطية الرئيسية للوصلات الصاعدة (GUS) إلى محطة رئيسية. فإذا ظلت الإشارة خاطئة، تُذيع تجهيزات المعالجة رسالة "بعدم استعمال الإشارة" عِوَضاً عن رسالة التعزيز لنظام التعزيز الواسع النطاق. ويضمن الجمع بين أربع محطات أرضية للوصلات الصاعدة (GUS) وساتلين للشبكة LM-RPS، عند الموقعين 133° غرباً و107,3° غرباً، وجود إشارة في الفضاء موثوقة في نظام الفضاء الجوي الوطني الأمريكي في كل الأوقات تقريباً، مما يُحقق الاعتمادية المطلوبة من الإدارة الاتحادية

للطيران. وسوف تعمَل المحطات الفضائية المستقبلية المحتملة لشبكة LM-RPS عند مواقع مدارية أخرى قصد تقديم اعتماديات مماثلة لإدارات الطيران في مناطق أخرى.

4 إشارة الشبكات الساتلية LM-RPS

تُذيع الشبكات الساتلية LM-RPS رسائل التعزيز لنظام التعزيز الواسع النطاق على كل من الترددين L1 لشبكات LM-RPS وL5 لشبكات LM-RPS. ويُحدد المجتمع الطيراني بنية الإشارة اللازمة لنظام التعزيز المحمول على متن السواتل (SBAS). وتُرسَل رسائل نظام التعزيز المحمول على متن السواتل (SBAS) في نفس النسق الأساسي ونفس البنية الأساسية اللذين تتسم بهما الإشارة الملاحية في نظام GPS والمُرسَلة على هذين الترددين بواسطة سواتل GPS. وتستعمِل هذه الرسائل نسق وبنية نظام GPS بالنظر إلى أن الهدف المنشود لهما هو استقبالهما من مستقبِلات المستعمِل المزودة بالتجهيزات الملائمة مثل أية رسالةٍ لنظام GPS.

وتتضمن البنية المشتركة للإشارة شفرة الحيازة التقريبية C/A بالإضافة إلى الرسالة المُدمجة لنظام التعزيز الواسع النطاق والشفرة المدنية الشبيهة بنظام GPS. وقد صُمِّم هذا النظام على نحو يمكِّن من إدماج إما إشارة شفرة الحيازة التقريبية C/A أو إشارة الشفرة الدقيقة P(Y) أو كل منهما على الوصلات الصاعدة ويمكِّن من ثم من إرسالهما على الوصلتين الهابطتين L1 لشبكة LM-RPS وL5 لشبكة LM-RPS.

ويرد المزيد من الوصف لنسق إشارة الإذاعة L1 لشبكة LM-RPS في نظام التعزيز الواسع النطاق ضمن مواصفات نظام التعزيز الواسع النطاق للإشارة L1 (أي مواصفات الإدارة الاتحادية للطيران، FAA-E-2892B) في حين يرد تعريف نسق إشارة الإذاعة L5 لشبكة LM-RPS ضمن المواصفات التي أعدتها اللجنة الراديوية التقنية للطيران (RTCA) للإشارة L5 (أي المواصفاتRTCA/DO-261).

وترد قائمة لسويتي إشارتي الإذاعة لشبكة LM-RPS على القناتين L1 وL5 من المحطتين الفضائيتين للساتلين LM-RPS في الموقعين 133° غرباً و107,3° غرباً ضمن الجدول 11. وتنخفض سوية إشارة الإرسال تقريباً بقدر 3 dB عن الذروة، عند نقطة الحضيض للساتل، إلى حافة التغطية عند زاوية ارتفاع بقدر 8,75°. ويمكننا أن نتوقع شبكات LM-RPS الأخرى أن تُقدِّم أداءً مماثلاً.

الجـــدول 11

شدة الإشارة للإشارتين L1 وL5 من سواتل النظام LM-RPS

القدرة المشعة الفعالة المتاحية للذروة (dBW)[1]	الإشارة L1 لسواتل النظام LM-RPS	الإشارة L5 لسواتل النظام LM-RPS
الساتل LM-RPS في الموقع 133 غرباً	36,6	33,0
الساتل LM-RPS في الموقع 107,3 غرباً	34,2	34,9

[1] قدرة الذروة تكون عند نقطة الحضيض لتغطية الإرسال.

5 ترددات التشغيل للشبكات الساتلية LM-RPS

تم اختيار ترددات الوصلات الصاعدة بعناية بغية اختيار عرض النطاق المتيسر في الخدمة الثابتة الساتلية ولكن دون التسبب في التداخل على الوصلات الصاعدة لمقدمي خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) أو غيرهم من مقدمي الخدمة الثابتة الساتلية. وتستعمل شبكات LM-RPS وصلات النطاق-C الموسع (425 6-700 6 MHz) للساتلين LM-RPS في الموقع 133° غرباً وLM-RPS في الموقع 107,3° غرباً. وقد جاء ذكر هذين الترددين، اللذين يخضعان للتنظيم كترددين للخدمة الثابتة الساتلية، هنا كقائمة مرجعية. وبالنسبة إلى الساتل LM-RPS في الموقع 133 غرباً، تستعمل الإشارة C1 التي تُترجَم إلى الإشارة L1، النطاق

MHz 6 639,27، بصفته التردد الحامل، وتُرسَل الإشارة C5 التي تُترجَم إلى الإشارة L5، على النطاق MHz 6 690,42. أما بالنسبة إلى الساتل LM-RPS في الموقع 107,3 غرباً، فتُرسَل الإشارة C1 على النطاق MHz 6 625,45، وتُرسَل الإشارة C5 على النطاق MHz 6 676,45.

أما الترددان المكرسان للوصلات الهابطة فهما، مثلما جاء ذكرهما سابقاً، الإشارة L1 لنظام GPS على النطاق MHz 1 575,42، والإشارة L5 لنظام GPS على النطاق MHz 1 176,45. وبما أنهما إشارتين تَستعمِلان نفس الترددين اللذين يستعملهما نظام GPS، فإن تمييز إشارتي شبكات LM-RPS عن الإشارات الأخرى لنظام GPS المُرسَلة على الترددين L1 وL5 يتم من خلال استعمال شفرة وحيدة للضوضاء شبه العشوائية. ويُعَدُّ ذلك مطابقاً تماماً لنظام GPS وتطبيقه لشفرات الضوضاء شبه العشوائية لكل ساتل على حدة. ويتم تنسيق شفرة الضوضاء شبه العشوائية مع مشغل نظام GPS قصد ضمان المُلاءمة مع نظام GPS وغيره من إذاعات الإشارة الشبيهة بنظام GPS.

6 طيف التحكم والقياس عن بعد

تجري استضافة الساتلين LM-RPS على خط الطول 133° غرباً وخط الطول 107,3° غرباً كحمولتين ملاحيتين نافعتين تعملان بصفتهما "ساتلين مشترَكَي الملكية" (على طريقة نظام الكوندومينيوم). فهما يتقاسمان المرافق التابعة لساتلين تجاريين للخدمة الثابتة الساتلية. وتُدمَج وظيفتا التحكم والقياس عن بعد مع أنظمة الطائرات للقياس عن بُعد والتتبع والتحكم (TT&C). وبفضل تقاسم وظائف القياس عن بُعد والتتبع والتحكم، لا يحتاج نظام LM-RPS طيفاً إضافيّاً بغية التحكم في سواتله. ويمكن للسواتل المستقبلية لشبكات LM-RPS التي تخدم مناطق أخرى من العالم أن تعمل إما على الطريقة المماثلة "للسواتل مشتركة الملكية" أو بصفتها سواتل مستقلة ذات ترددات مكرسة لوظائف القياس عن بُعد والتتبع والتحكم ضمن المدى GHz 4/6.

7 معلمات الإرسال للشبكات LM-RPS

ما دامت الشبكات LM-RPS تُرسِل الإشارات الملاحية لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) من الفضاء إلى الأرض في نطاقين، فهنالك جدولان يُقدِّمان معلمات الإرسال للشبكات الساتلية LM-RPS ويُمثِّلان نطاقي خدمة الملاحة الراديوية الساتلية اللذين تُرسِل فيهما الشبكات الساتلية LM-RPS الإشارات الملاحية.

1.7 معلمات الإرسال للإشارة L1 على الشبكات LM-RPS

يُقدِّم الجدول 12 المعلمات الرئيسية لإرسالات الإشارة L1 للشبكات الساتلية LM-RPS.

الجـــدول 12

إرسالات الإشارة L1 لنظام LM-RPS في النطاق 559 1-610 1 MHz

المعلمات (بالوحدات)	قيمة المعلمات
مدى تردد الإشارة (MHz)	1 575,42 ± 12
معدل نبضة الشفرة للضوضاء شبه العشوائية (Mchip/s)	1,023
معدلات رموز/بتات المعطيات الملاحية (bit/s/Symbol/s)	250 bit/s/500 Symbol/s
طريقة تشكيل الإشارة	إبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة بنبضات مربعة BPSK-R(1) (انظر **الملاحظة 1**)
الاستقطاب	استقطاب دائري مُيَامِن (RHCP)
الإهليلجية (dB)	القيمة القصوى 2,0
أدنى سوية للقدرة المستقبَلَة عند خرج الهوائي المرجعي (dBW)	−158,5 (انظر **الملاحظة 2**)
عرض النطاق 3 dB لمرشاح الإرسال للتردد الراديوي (MHz)	24,0

الملاحظة 1 – بالنسبة لمعلمات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) في نظام LM-RPS، تشير الدالة BPSK-R(n) إلى تشكيل الإبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة باستعمال نبضات مربعة بمعدل تنبيض يبلغ $n \times 1{,}023$ (Mchip/s).

الملاحظة 2 – تُقاس أدنى قدرة مستقبَلَة لنظام LM-RPS عند خرج هوائي استقبال مرجعي لمستعمِل بخُزْمة ليزر مستَقْطبَة خطياً 3 dBi (حيث يكون الهوائي مركَّباً قريباً من الأرض) عند أسوأ توجيه عادي وعندما يكون الساتل أعلى من زاوية ارتفاع 5° أو أكثر فوق مستوى أفق الأرض من منظور سطح الأرض.

2.7 معلمات الإرسال على الإشارة L5 للشبكة الساتلية LM-RPS

يُقدِّم الجدول 13 المعلمات الرئيسية لإرسالات الإشارة L5 للشبكات الساتلية LM-RPS.

الجـــدول 13

إرسالات الإشارة L5 لنظام LM-RPS في النطاق 164 1-215 1 MHz

المعلمات (بالوحدات)	قيمة المعلمات
مدى تردد الإشارة (MHz)	1 176,45 ± 12
معدل نبضة الشفرة للضوضاء شبه العشوائية (Mchip/s)	10,23
معدلات رموز/بتات المعطيات الملاحية (bit/s/Symbol/s)	250 bit/s/500 Symbol/s
طريقة تشكيل الإشارة	إبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة بنبضات مربعة BPSK-R(10) (انظر **الملاحظة 1**)
الاستقطاب	استقطاب دائري مُيَامِن
الإهليلجية (dB)	القيمة القصوى 2,0
أدنى سوية للقدرة المستقبَلَة عند خرج الهوائي المرجعي (dBW)	−157,9 (انظر **الملاحظة 2**)
عرض النطاق 3 dB لمرشاح الإرسال للتردد الراديوي (MHz)	24,0

الملاحظة 1 – بالنسبة لمعلمات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) في نظام LM-RPS، تشير الدالة BPSK-R(n) إلى تشكيل الإبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة باستعمال نبضات مربعة بمعدل تنبيض يبلغ $n \times 1{,}023$ (Mchip/s).

الملاحظة 2 – تُقاس أدنى قدرة مستقبَلَة لنظام LM-RPS عند خرج هوائي استقبال مرجعي لمستعمِل بخُزْمة ليزر مستَقْطبَة خطياً 3 dBi (حيث يكون الهوائي مركَّباً قريباً من الأرض) عند أسوأ توجيه عادي وعندما يكون الساتل أعلى من زاوية ارتفاع 5° أو أكثر فوق مستوى أفق الأرض من منظور سطح الأرض.

الملحق 7

الوصف التقني للنظام والخصائص التقنية لمحطات الإرسال الفضائية لنظام COMPASS

1 مقدمة

يتكون النظام الساتلي COMPASS من كوكبة من 30 من السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض وخمسة سواتل مستقرة بالنسبة إلى الأرض ولها مواقع عند 58,75° شرقاً و80° شرقاً و110,5° شرقاً و140° شرقاً و160° شرقاً. ويُرسِل كل ساتل نفس الترددات الحاملة الأربعة للإشارات الملاحية. وتُشكَّل هذه الإشارات الملاحية بواسطة قطار للبتات محدد على نحو مسبق ويتضمن المعطيات المشفرة التقويمية الفلكية والتوقيتية، وله عرض نطاق كافٍ لإنتاج الدقة الملاحية الضرورية دون اللجوء إلى الإرسال الثنائي أو التكامل الدوبلري. ويُقدِّم هذا النظام التحديد الدقيق للمواقع في ثلاثة أبعاد وفي أي مكان على سطح الأرض أو قريباً منه.

1.1 متطلبات التردد

تقوم متطلبات التردد لنظام COMPASS على أساس تقييم لمتطلبات المستعمِل من الدقة، واستبانة تأخر الانتشار من الفضاء إلى الأرض، وكبت تعدد المسيرات، وتكلفة التجهيزات وتشكيلاتها. وتُستعمَل ثلاث قنوات أولية لعمليات نظام COMPASS: 1 575,42 MHz و1 191,795 MHz و1 268,52 MHz. وسوف يزيد تنوع التردد هذا وكذا عرض النطاق الواسع الذي يستعمله نظام COMPASS دقة المدى لاستبانة تأخر الانتشار من الفضاء إلى الأرض، وسوف يُحسِّن كبت تعدد المسيرات من أجل زيادة الدقة الكلية.

ويتم استيعاب إشارات القياس عن بعد والصيانة ضمن نطاق معين للقياس عن بعد.

2 عرض عام للنظام

إن النظام الساتلي COMPASS نظام فضائي مستمر يعمل في كل الأحوال الجوية لأغراض الملاحة وتحديد المواقع ونقل إشارات التوقيت، مما يُوفر مواقع دقيقة إلى حد بعيد وثلاثية الأبعاد وكذا معلومات السرعة مع توفير مرجع مشترك دقيق للوقت لفائدة المستعمِلين المزودين بالتجهيزات الملائمة عندما يكونون على سطح الأرض أو قريباً منه.

ويعمل هذا النظام على أساس مبدأ التثليث المنفعِل. وتقوم تجهيزات مُستعمِل نظام COMPASS أولاً بقياس أشباه الأمدية لأربعة سواتل، وحساب مواقعها، ومُزامنة الميقاتية طبقاً لهذا النظام عن طريق استعمال المعطيات المستقبلَة من معلمات تقويمية فلكية ومعلمات تصحيح الميقاتية. ثم يقوم هذا النظام بتحديد الموقع ثلاثي الأبعاد للمستعمِل، وتحديد تخالف ميقاتية المستعمِل عن توقيت نظام COMPASS وذلك أساساً بحساب الحل المتآون لأربع معادلات للأمدية.

وعلى غرار ذلك، يمكن تقدير سرعة المستعمِل ثلاثية الأبعاد وكذا تخالف معدل ميقاتية المستعمِل بحل أربع معادلات لمعدلات الأمدية بعد الحصول على قياسات لمعدلات أشباه الأمدية لأربعة سواتل.

3 أجزاء النظام

يتكون النظام من ثلاثة أجزاء رئيسية: الجزء الفضائي وجزء التحكم والجزء الخاص بالمستعمِل. ولكل جزء وظيفة رئيسية كالتالي.

1.3 الجزء الفضائي

يشتمل الجزء الفضائي على خمسة سواتل مستقرة بالنسبة إلى الأرض وكوكبة من 30 ساتلاً غير مستقر بالنسبة إلى الأرض تؤدي وظيفة نقاط مرجعية "سماوية"، وتبث من الفضاء إشارات ملاحية مشفرة للوقت بدقة. وتتموقع السواتل الخمس المستقرة بالنسبة إلى الأرض على التوالي عند 58,75° شرقاً و80° شرقاً و110,5° شرقاً و140° شرقاً و160° شرقاً. أما

الكوكبة التشغيلية المؤلفة من 30 ساتلاً غير مستقر بالنسبة إلى الأرض فتتكون من 27 ساتلاً على مدار أرضي متوسط (MEO) وثلاثة سواتل على مدار مائل مستقر بالنسبة إلى الأرض (IGSO). وتُوضَع سواتل المدار الأرضي المتوسط السبعة وعشرون في ثلاثة مستويات مدارية مائلة تقريباً بزاوية 55° نسبةً إلى خط الاستواء ويكون ارتفاع المدار حوالي 500 21 km. وهنالك تسعة سواتل في كل مستوى. أما السواتل الثلاثة على مدار مائل مستقر بالنسبة إلى الأرض (IGSO) فتُوضَع في مستويات مدارية مائلة تقريباً بزاوية 55° نسبةً إلى خط الاستواء ويكون تقاطع خط الطول عند حوالي 118° شرقًا. ويكون للسواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض وللكوكبة نفس الحمولات النافعة لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS).

2.3 جزء التحكم

يضطلع جزء التحكم بوظائف التتبع والحساب والتحديث والمراقبة الضرورية للتحكم في كل السواتل الموجودة في النظام على أساس يومي. ويتكون هذا الجزء من محطة التحكم المركزي (MCS)، ومقرها في بيجين، بالصين، حيث تتم معالجة كل المعطيات، فضلاً عن بعض محطات المراقبة المتباعدة بمسافات شاسعة في المنطقة المرئية من الجزء الفضائي.

وتقوم محطات المراقبة بالتتبع المنفعِل لكل السواتل المرئية وتقيس معطيات قياس المسافة والمعطيات الدوبلرية. وتُعالَج هذه المعطيات في محطة التحكم المركزي من أجل حساب المعطيات التقويمية الفلكية، وتخالفات الميقاتية، وزحزحات الميقاتية، وتأخر الانتشار، ثم تُستعمَل هذه المعطيات بعد ذلك لتوليد رسائل التحميل الصاعد. وتُرسَل هذه المعلومات المحدَّثة إلى السواتل من أجل تخزينها في الذاكرة وإرسالها لاحقاً بواسطة السواتل كجزء من الرسائل الملاحية المرسَلة إلى المستعمِلين.

3.3 الجزء الخاص بالمستعمِل

يتكون الجزء الخاص بالمستعمِل من كل مجموعات التجهيزات الإجمالية للمستعمِل ومعها تجهيزاتها الداعمة. وتتألف مجموعة التجهيزات النمطية للمستعمِل من هوائي، ومستقبِل/معالج للنظام الساتلي COMPASS، وأجهزة حاسوبية وأجهزة دخل/خرج. ويقوم هذا الجزء بحيازة وتتبع الإشارة الملاحية انطلاقاً من أربعة سواتل أو أكثر تكون مرئية، ويقيس أوقات عبور الإشارات للتردد الراديوي، وأطوار إشارات التردد الراديوي والإزاحات الدوبلرية للتردد، ثم يحولها إلى أشباه أمدية وأطوار ترددات حاملة، ومعدلات أشباه أمدية، ثم يُنفذ الحل لتحديد الموقع ثلاثي الأبعاد والسرعة ثلاثية الأبعاد، وتثبيت وقت النظام. وتتراوح تجهيزات المستعمِل من المستقبِلات البسيطة والخفيفة نسبيًّا إلى المستقبِلات المتطورة التي تكون مدمَجة مع المحاسيس أو الأنظمة الملاحية الأخرى اللازمة للأداء الدقيق في البيئات عالية الدينامية.

4 بنية إشارة النظام الساتلي COMPASS

يُقدِّم ما يلي أدناه وصفاً موجزاً لإشارات النظام الساتلي COMPASS المتيسرة للاستعمال في التطبيقات الملاحية وتطبيقات التوقيت.

1.4 إشارات النظام الساتلي COMPASS في نطاق الترددات 559 1-610 1 MHz

يُشغِّل النظام الساتلي COMPASS إشارتين في النطاق 559 1-610 1 MHz لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS). وتكون هاتان الإشارتان متمركزتين على النطاق 575,42 1 MHz.

وتستعمِل الإشارة B1 دالة تشكيلات بنديكس المُثلى BOC(14,2). وتُشكَّل الإشارة B1 بواسطة قطارٍ اثنيني للمعطيات الملاحية بمعدل 50 bit/s/100 Symbol/s. وتتكون الإشارة B1 من مكونتين مطاورتين تربيعيتين. وتُشكَّل إحدى المكونتين، وهي $B1_D$، بواسطة قطارٍ اثنيني للمعطيات الملاحية بمعدل 50 bit/s/100 Symbol/s، وتكون المكونة الأخرى، وهي $B1_P$، خالية من المعطيات.

وتتكون الإشارة B1-C من مكونتين مطاورتين تربيعيتين. وتُشكَّل إحدى المكونتين، وهي $B1\text{-}C_D$، بواسطة قطارٍ اثنيني للمعطيات الملاحية بمعدل 50 bit/s/100 Symbol/s، وتكون المكونة الأخرى، وهي $B1\text{-}C_P$، خالية من المعطيات.

وتستعمِل الإشارة B1-C_D دالة تشكيلات بنديكس المُثلى BOC(1,1). وتستعمِل الإشارة B1-C_P تشكيل MBOC. ولتشكيل MBOC كثافة طيفية مُقيَّسة للقدرة (PSD) يتم الحصول عليها بواسطة المعادلة التالية:

$$MBOC(f) = \frac{29}{33} BOC_{1,1}(f) + \frac{4}{33} BOC_{6,1}(f)$$

ويتم الحصول على الكثافة الطيفية الكلية للقدرة (PSD) لمكونات B1-C بواسطة المعادلة التالية:

$$S(f) = \frac{1}{4} BOC_{1,1}(f) + \frac{3}{4} MBOC(f) = \frac{10}{11} BOC_{1,1}(f) + \frac{1}{11} BOC_{6,1}(f)$$

2.4 إشارات النظام الساتلي COMPASS في نطاق الترددات 1 164-1 300 MHz

يُشغِّل النظام الساتلي COMPASS أربع إشارات في النطاق 1 164-1 300 MHz لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) وتشمل هذه الإشارات B2 وB3 وB3-A.

وتكون الإشارة B2 للنظام الساتلي COMPASS متمركزة على تردد للنطاق 1 191,795 MHz وتُولَّد بواسطة تشكيل بديل من تشكيلات بنديكس المُثلى AltBOC لمعدل الموجة الحاملة الفرعية للنطاق الجانبي 15,345 MHz. وتُعطي المعادلة أدناه الكثافة الطيفية لقدرة الإشارة المُشكَّلة بالتشكيل البديل AltBOC كالتالي:

$$G(f) = \frac{1}{2\pi^2 f^2 T_c} \frac{\cos^2(\pi f T_c)}{\cos^2(\pi f T_c / n)} \left[\cos^2\left(\pi f \frac{T_{sc}}{2}\right) - \cos\left(\pi f \frac{T_{sc}}{2}\right) - 2\cos\left(\pi f \frac{T_{sc}}{2}\right)\cos\left(\pi f \frac{T_{sc}}{4}\right) + 2 \right]$$

حيث تكون الدالة: $T_{sc} = \frac{1}{f_{sc}} \cdot f_{sc}$ هي التردد الحامل الفرعي، وf_c هو معدل النبض، وT_c هو دور النبض، وT_{sc} هو دور الموجة الحاملة الفرعية.

وتتألف الإشارة B2 من مكونتين مطاورتين تربيعيتين. وتُشكَّل إحدى المكونتين، وهي $B2_D$، بواسطة قطارٍ اثنيني للمعطيات الملاحية بمعدل 50 bit/s/100 Symbol/s، وتكون المكونة الأخرى، وهي $B2_P$، خالية من المعطيات.

وتكون الإشارة B3 متمركزة على تردد للنطاق 1 268,52 MHz. وتُشكَّل الموجة الحاملة بتشكيل تربيعي بزحزحة الطور (QPSK) بواسطة شفرة للضوضاء شبه العشوائية تتسم بمعدل نبض 10,23 Mchip/s (في القناة I أو القناة Q)، وتُضاف باستخدام المقياس Modulo-2 إلى قطار اثنيني للمعطيات الملاحية بمعدل 500 bit/s قبل عملية التشكيل.

وتكون الإشارة B3-A كذلك متمركزة على تردد للنطاق 1 268,52 MHz، وتستعمِل دالة تشكيلات بنديكس المُثلى BOC(15,2.5). وتتكون الإشارة B3-A من مكونتين مطاورتين تربيعيتين. وتُشكَّل إحدى المكونتين، وهي $B3\text{-}A_D$، بواسطة قطارٍ اثنيني للمعطيات الملاحية بمعدل 50 bit/s/100 Symbol/s، وتكون المكونة الأخرى، وهي $B3\text{-}A_P$، خالية من المعطيات.

5 قدرة الإشارة وأطيافها

تقوم أدنى سوية للقدرة المستقبَلة على سطح الأرض، بالنسبة لأية زاوية ارتفاع تساوي 5° أو تزيد عنها، على أساس هوائي استقبال متناحٍ ومتوائمٍ على نحو مثالي بقدر 0 dBi، وتكون كالتالي:

الإشارة B1: −153,4 dBW بالنسبة لشبكة MEO، −155,2 dBW بالنسبة لشبكة GSO/IGSO.

الإشارة B1-C: −156,4 dBW بالنسبة لشبكة MEO، −158,2 dBW بالنسبة لشبكة GSO/IGSO.

الإشارة B2: −153 dBW بالنسبة لشبكة MEO، −154,8 dBW بالنسبة لشبكة GSO/IGSO.

الإشارة B3/B3-A: −156,5 dBW بالنسبة لشبكة MEO، −158,3 dBW بالنسبة لشبكة GSO/IGSO.

الملحق 8

الوصف التقني والخصائص التقنية لشبكات الملاحة الساتلية البحرية الدولية، إنمارسات (Inmarsat)

1 مقدمة

تتألف شبكات المرسِلات–المستجيبات الملاحية إنمارسات (شبكات الملاحة الساتلية البحرية الدولية) من ثمانية سواتل بحمولة نافعة لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) في مدارات مستقرة بالنسبة إلى الأرض من أجل تقديم المقدرة الفضائية لفائدة أنظمة التعزيز المحمولة على متن السواتل (SBAS). وثمة خمس حمولات نافعة لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) تُعَد حمولات نافعة لقنوات وحيدة على سواتل إنمارسات للجيل الثالث (Inm-3) وثمة ثلاث حمولات نافعة لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) تُعَد حمولات نافعة لقنوات متعددة على سواتل إنمارسات للجيل الرابع (Inm-4). وفضلاً عن تقديم خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)، تُقدِّم نفس هذه السواتل الاتصالات المتنقلة الساتلية في نطاقات الترددات GHz 1,6/1,5 (MSS) للخدمة المتنقلة الساتلية. وتُعَد المعلومات الواردة أدناه صحيحة ابتداءً من سبتمبر 2008.

ويُظهِر الجدول 14 المواقع المدارية الساتلية المتوقَّعَة ابتداءً من فبراير 2009. وتجدر الإشارة إلى أن سواتل هذا النظام قد تُنقَل إلى مواقع مختلفة من حين إلى آخر، وفقاً لمتطلبات النظام. وتُنسَّق كل الإرسالات طبقاً لأحكام لوائح الراديو التابعة للاتحاد الدولي للاتصالات. وتُقدِّم إدارة المملكة المتحدة المعلومات ذات الصلة بشأن النشر المُسبَق، وطلب التنسيق، ومعلومات التبليغ.

الجـــدول 14

خطوط الطول المدارية الساتلية

الساتل	الموقع المداري
3F1	64° شرقاً
3F2	15,5° غرباً
3F3	178° شرقاً
3F4	54° غرباً
3F5	25° شرقاً
4F1	143,5° شرقاً
4F2	25° شرقاً
4F3	98° غرباً

1.1 عرض عام للنظام

تُقدِّم الشبكات الساتلية إنمارسات حاليّاً حمولتين ملاحيتين نافعتين على سواتل للجيل الثالث (Inm-3) لفائدة أنظمة التعزيز المحمولة على متن السواتل (SBAS)، أي لفائدة الخدمة الملاحية المستقرة بالنسبة إلى الأرض للتغطية الأوروبية (EGNOS).

وتستعمِل وكالة الفضاء الأوروبية (ESA)، في النظام الحالي للخدمة الملاحية المستقرة بالنسبة إلى الأرض للتغطية الأوروبية (EGNOS)، مرسِلَين مستجيبين للملاحة من سواتل الجيل الثالث (Inm-3) فوق منطقة المحيط الأطلسي الشرقية (AOR-E) عند 15,5° غرباً (الساتل 3F2) وفوق منطقة المحيط الهندي الغربية (IND-W) عند 25° شرقاً (الساتل 3F5).

2 تشكيلة النظام

تتألف شبكات المرسِلات–المستجيبات الملاحية إنمارسات من المرسِلات–المستجيبات (أو الجزء الفضائي) على سواتل إنمارسات–3 وإنمارسات–4 المتاحة لوظائف نظام التعزيز المحمول على متن السواتل (SBAS).

1.2 الجزء الفضائي

يُعَدُّ المرسِل–المستجيب الملاحي على متن كل سلسلة من سواتل Inm-3 ترجمة بسيطة للتردد أو مرسِل–مستجيب من نمط "الموجِّه المائل للموجات". ويستقبل كل ساتل الإشارة المرفوعة بالوصلة الصاعدة في نظام التعزيز المحمول على متن السواتل (SBAS) على قناة وحيدة لتردد ثابت ضمن نطاق التردد للخدمة الثابتة الساتلية 925 5-700 6 MHz. وتُرشَّح هذه الإشارة وتُتَرجَم إلى التردد L1 لنظام GPS (المتمركز على النطاق 575,42 1 MHz) وتُرسَل هذه الإشارة كذلك على الوصلة الهابطة ضمن نطاق التردد 400 3-200 4 MHz للخدمة الثابتة الساتلية.

وتُعَدُّ المرسِلات–المستجيبات الملاحية على متن كل ساتل من سواتل Inm-4 ترجمة بسيطة للترددات أو مرسِلات–مستجيبات من نمط "الموجِّه المائل لَلموجات". ويستقبل كل ساتل الإشارة المرفوعة بالوصلة الصاعدة في نظام التعزيز المحمول على متن السواتل (SBAS) على زوج من القنوات ذات الترددات الثابتة في نطاق الخدمة الثابتة الساتلية 925 5-700 6 MHz. وتُرشَّح هذه الإشارات وتُتَرجَم إلى التردد L1 لنظام GPS (المتمركز على النطاق 575,42 1 MHz) وإلى التردد L5 لنظام GPS (المتمركز على النطاق 176,45 1 MHz).

وفي حالة كل السواتل Inm-3 وInm-4، تُكبَّر إشارة خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) وتُرسَل إلى الأرض بواسطة هوائي ذي "حزمة بتغطية عالمية"، مما يُتيح تغطية فوق السطح المرئي للأرض ولفائدة الطائرات على ارتفاع يصل إلى 100 000 قدم (حوالي 30 000 متر). وقد صُمِّمَت هذه الأنظمة لتعزيز تكاملية ودقة الإشارات الملاحية الرئيسية للنظام العالمي لتحديد المواقع (GPS) وللنظام العالمي للملاحة الساتلية (GLONASS).

2.2 الجزء الأرضي

هذا الجزء غير مُتاح، إذ يُقدِّم نظام إنمارسات المقدرة الفضائية لنظام التعزيز المحمول على متن السواتل (SBAS) فقط.

3 إشارات نظام التعزيز المحمول على متن السواتل

تُرسِل شبكات المرسِلات–المستجيبات الملاحية إنمارسات رسائل التعزيز لنظام التعزيز المحمول على متن السواتل (SBAS) إما على التردد L1 فقط لنظام GPS أو على كل من الترددين L1 لنظام GPS (Inm-3) وL5 لنظام GPS (Inm-4). ويُحدِّد المجتمع الطيراني بنية الإشارة لرسائل نظام التعزيز المحمول على متن السواتل (SBAS). وتكون رسائل SBAS بنفس النسق والبنية اللذين تتسم بهما الإشارة الملاحية لنظام GPS والمُرسَلة على هذه الترددات بواسطة سواتل GPS. وتستعمِل هذه الرسائل نفس النسق والبنية اللذين يستعملهما نظام GPS لأن المنشود هو استقبالهما بواسطة مستقبِلات المستعمِل المزودة بالتجهيزات الملائمة، مثل رسالةٍ لنظام GPS.

وتشمَل البنية المشتركة للإشارة شفرة الحيازة التقريبية C/A مع الرسالة المدمَجة لنظام التعزيز المحمول على متن السواتل (SBAS) وشفرة مدنية شبيهة بنظام GPS. وقد صُمِّم هذا النظام لتمكين إدماج إما إشارة شفرة الحيازة التقريبية C/A أو إشارة الشفرة الدقيقة P(Y) على الوصلات الصاعدة ومن ثم إرسالهما على الوصلتين الهابطتين L1 وL5.

ويأتي المزيد من الوصف للإشارة L1 ضمن مواصفات الإدارة الاتحادية للطيران لنظام التعزيز الواسع النطاق (FAA-E-2892B) ويأتي تعريف نسق الإشارة L5 ضمن مواصفات الإشارة L5 التي أعدَّتها اللجنة الراديوية التقنية للطيران (RTCA/DO-261).

وترد قائمة لسويتي القدرة للإشارتين الملاحيتين المرسَلتَين على الترددين L1 وL5 من المحطتين الفضائيتين Inm-3 وInm-4 ضمن الجدول 15. وتنخفض سوية إشارة الإرسال تقريباً بقدر 3 dB عن الذروة، عند نقطة الحضيض للساتل، إلى حافة التغطية عند زاوية انحراف عن المحور الرئيسي بقدر 8,75°.

الجـــدول 15

القدرة المشعة المكافئة المتناحية الاسمية* (dBW) للإشارتين L1 وL5 (ذروة الحزمة)

الساتل	الإشارة L1	الإشارة L5
Inm-3F1	33	غير متاحة
Inm-3F2	33	غير متاحة
Inm-3F3	33	غير متاحة
Inm-3F4	33	غير متاحة
Inm-3F5	33	غير متاحة
Inm-4F1	31,4	29,9
Inm-4F2	31,4	29,9
Inm-4F3	31,4	29,9

* حسب بطاقات تبليغ الاتحاد الدولي للاتصالات بشأن إنمارسات.

الملاحظة 1 – قدرة الذروة تكون عند نقطة الحضيض لتغطية الإرسال.

ويجري تمييز هذه الإشارات عن الإشارات الأخرى لنظام GPS من خلال استعمال شفرة وحيدة للضوضاء شبه العشوائية. ويُعَدُّ ذلك مطابقاً تماماً لنظام GPS وتطبيقه لشفرات مختلفة للضوضاء شبه العشوائية لكل ساتل على حدة. ويتم تنسيق شفرة الضوضاء شبه العشوائية مع مشغل نظام GPS قصد ضمان المُلاءمة مع نظام GPS وغيره من إذاعات الإشارة الشبيهة بنظام GPS.

4 طيف التحكم والقياس عن بعد

تُشكِّل المرسِلات–المستجيبات الملاحية جزءاً من الحمولة الساتلية النافعة الأكبر، التي تشمَل مرسِلات–مستجيبات تُقدِّم الخدمات المتنقلة الساتلية (MSS). وتُدمَج وظيفتا الجزء الملاحي للتحكم والقياس عن بعد مع أنظمة الطائرات الشامِلة للقياس عن بُعد والتتبع والتحكم (TT&C). وبفضل تقاسم وظائف القياس عن بُعد والتتبع والتحكم، لا يحتاج هذا النظام طيفاً إضافيّاً بغية التحكم في المرسِلات–المستجيبات الملاحية.

الملحق 9

الوصف التقني والخصائص التقنية لشبكات نظام التعزيز المحمول على متن السواتل التجارية النيجيرية (NIGCOMSAT SBAS)

1 مقدمة

تتألف شبكات نظام التعزيز المحمول على متن السواتل النيجيرية (NigSAS)، من ثلاث حمولات نافعة لسواتل مستقرة بالنسبة إلى الأرض في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS). ويتمثَّل التنفيذ الحالي لهذه الشبكة في الساتل التجاري النيجيري NIGCOMSAT-1G (42,5° شرقاً) الذي أُطلِق في مداره يوم 13 مايو 2007. وما زال الساتل NIGCOMSAT-1A (19,2° غرباً) والساتل NIGCOMSAT-1D (22° شرقاً) في مرحلة التخطيط. وسوف يكون لهذه السواتل الثلاثة نفس الحمولات النافعة لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS).

2 خطة التردد والاستقطاب

مثلما جاء بيانه في الجدول 16، يستقبِل كل ساتل الإشارة المرُسَلة لنظام التعزيز المحمول على متن السواتل (SBAS) على الوصلة الصاعدة في النطاق C ثم يُرسِل الإشارة الملاحية على الوصلة الهابطة في النطاق L.

الجـــدول 16

القناة	التردد (MHz)	الاستقطاب	عرض النطاق
الوصلة الصاعدة-C1	6 698,42	استقطاب دائري مُياسِر	MHz 4
الوصلة الصاعدة-C5	6 639,45	استقطاب دائري مُياسِر	MHz 20
الوصلة الهابطة-L1	1 575,42	استقطاب دائري مُيَامِن	MHz 4
الوصلة الهابطة-L5	1 176,45	استقطاب دائري مُيَامِن	MHz 20

3 الجزء الخاص بالمستعمِل

لقد صُمِّم نظام التعزيز المحمول على متن السواتل النيجيرية (NigSAS) ليكون متلائماً مع نظامي التعزيز GPS وغاليليو. ومن ثم فسوف يُقدِّم معطيات التكاملية والتصحيح للمستقبِلات المتلائِمة مع نظامي GPS وغاليليو.

4 الجزء الأرضي

هذا الجزء غير متاح، لأن الغرض من النظام النيجيري NigSAS هو تقديم المقدرة الفضائية لفائدة الشبكات القائمة لنظام التعزيز المحمول على متن السواتل (SBAS).

5 الخدمة الملاحية

تتمثَّل هذه الخدمة في استقبال التغطية على النطاق L الذي يشمل إفريقيا وأوروبا الغربية والشرقية وآسيا لأغراض الحمولة النافعة لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية على الساتل NIGCOMSAT-1G.

6 الإشارة الملاحية

يُرسِل النظام النيجيري NigSAS رسائل نظام التعزيز المحمول على متن السواتل (SBAS) على الترددين الحاملين L1 وL5 اللذين يستعمِلان البنية المنسوقة لنظام GPS. وتُشكَّل المكونة المطاوَرة (I) والمكونة التربيعية (Q) للإشارة وفقاً لطريقة تشكيل تعتمد على اختيار التردد الحامل. ويجري تمييز إشارة نظام التعزيز المحمول على متن السواتل (SBAS) والواردة من كل ساتل عن الإشارات الأخرى لنظام SBAS بواسطة استعمال شفرات الضوضاء شبه العشوائية (شفرات PRN). ويبلغ معدل بتات المعطيات الملاحية عند كل من الترددين 50 bit/s.

1.6 الإشارة L1

يُشكَّل التردد L1 للنطاق 575,42 1 MHz بتشكيل الإبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة في القناة I، بواسطة الحيازة التقريبية لشفرة الضوضاء شبه العشوائية للتردد L1 وهي ذات معدل نبض 1,023 Mchip/s وطول شفرة 023 1. ويُترَك الخيار بشأن تشكيل القناة Q من عدمه لمستأجر الحمولة النافعة لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) الذي تستفيد شبكته القائمة للنظام العالمي للملاحة الساتلية (GNSS)/نظام التعزيز المحمول على متن السواتل (SBAS) من التعزيز. ويُقدِّم الجدول 17 المزيد من المعلومات ذات الصلة.

الجـــدول 17

التردد الحامل (MHz)	تعيين البث	عرض النطاق المخصص (MHz)	أقصى قدرة الذروة (dBW)	أقصى كثافة القدرة (dB(W/Hz))	كسب الهوائي (dBi)
1 575,42	4M00X2D	4,0	17,9	42,1−	13,5
	2M20X2D	2,2	17,9	42,1−	

2.6 الإشارة L5

يُشكَّل التردد L5 للنطاق 176,42 1 MHz في كل من القناة I والقناة Q، بواسطة شفرتين مختلفتين للضوضاء شبه العشوائية. ولنبض كل شفرة للضوضاء شبه العشوائية للتردد L5 معدل 10,23 Mchip/s ويبلغ طول الشفرة 230 10. بيد أن المكونة المطاورة وحدها هي التي تُشكَّل بواسطة المعطيات الملاحية. ويُحسِّن المعدَّل الأسرع لشفرة الإشارة L5 دالة الترابط الذاتي للجزء الخاص بالمستعمِل. ويُقدِّم الجدول 18 المزيد من المعلومات ذات الصلة.

الجـــدول 18

التردد الحامل (MHz)	تعيين البث	عرض النطاق المخصص (MHz)	أقصى قدرة الذروة (dBW)	أقصى كثافة القدرة (dB(W/Hz))	كسب الهوائي (dBi)
1 176,45	20M0X2D	20	16,5	53,5−	13,0
	4M00X2D	4	16,5	43,5−	