الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R M.1831-1

(2015/09)

منهجية تنسيق من أجل تقدير التداخل بين أنظمة خدمة الملاحة الراديوية الساتلية

السلسلة M

الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي
وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة

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 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	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، 2016

© ITU 2016
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).

التوصية ITU-R M.1831-1

منهجية تنسيق من أجل تقدير التداخل بين أنظمة خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)

(المسألة ITU-R 217-2/4)

(2015-2007)

مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية طريقة لتقدير التداخل بين أنظمة خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)، من أجل استعمالها في التنسيق بين الأنظمة والشبكات في إطار خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS). وبما أن القرار **610 (WRC-03)** ينطبق على جميع الأنظمة والشبكات في إطار الخدمة RNSS ويحتوي على تدابير مصممة لتسهيل تحديد مدى الملاءمة بين أنظمة الخدمة RNSS، فمن ثَمّ تنطبق هذه التوصية على هذه الخدمة في نطاقات التردد التالية: 164 1-215 1 MHz و215 1-300 1 MHz و559 1-610 1 MHz و010 5-030 5 MHz.

مصطلحات أساسية

خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)، منهجية التنسيق، تقدير التداخل بين الأنظمة

المختصرات/مسرد المصطلحات

ADC محول تماثلي إلى رقمي *(Analogue-to-Digital Converter)*

AGC تحكم أوتوماتي في الكسب *(Automatic Gain Control)*

PRN ضوضاء شبه عشوائية *(Pseudo-Random Noise)*

SSC معامل الفصل الطيفي *(Spectral Separation Coefficient)*

توصيات وتقارير الاتحاد ذات الصلة

التوصية ITU-R M.1318-1 نموذج تقييم التداخل المستمر الذي تسببه مصادر راديوية غير المصادر في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية لأنظمة خدمة الملاحة الراديوية الساتلية وشبكاتها العاملة في النطاقات 164 1-215 1 MHz و215 1-300 1 MHz و559 1-610 1 MHz و010 5-030 5 MHz

التوصية ITU-R M.1787-2 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

التوصية ITU-R M.1901-1 إرشادات بشأن توصيات قطاع الاتصالات الراديوية المتصلة بأنظمة وشبكات في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية العاملة في النطاقات الترددية 164 1-215 1 MHz و215 1-300 1 MHz و559 1-610 1 MHz و000 5-010 5 MHz و010 5-030 5 MHz

التوصية ITU-R M.1902-0 الخصائص ومعايير الحماية لمحطات الاستقبال الأرضية في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (فضاء–أرض) العاملة في النطاق 215 1-300 1 MHz

التوصية ITU-R M.1903-0 الخصائص ومعايير الحماية لمحطات الاستقبال الأرضية في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (فضاء–أرض) والمستقبِلات في خدمة الملاحة الراديوية للطيران العاملة في النطاق 559 1-610 1 MHz

التوصية ITU-R M.1904-0 الخصائص ومتطلبات الأداء ومعايير الحماية لمحطات الاستقبال في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (فضاء–فضاء) العاملة في النطاقات الترددية 164 1-215 1 MHz و215 1-300 1 MHz و559 1-610 1 MHz

التوصية ITU-R M.1905-0 الخصائص ومعايير الحماية لمحطات الاستقبال الأرضية في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (فضاء–أرض) العاملة في النطاق 164 1-215 1 MHz

التوصية ITU-R M.1906-1 الخصائص ومعايير الحماية لمحطات الاستقبال الفضائية وخصائص محطات الإرسال الأرضية في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (أرض–فضاء) العاملة في النطاق 000 5-010 5 MHz

التوصية ITU-R M.2030-0 طريقة لتقييم التداخل النبضي من المصادر الراديوية ذات الصلة خلاف المصادر العاملة في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) على أنظمة خدمة الملاحة الراديوية الساتلية وشبكاتها العاملة في نطاقات التردد 164 1-215 1 MHz و215 1-300 1 MHz و559 1-610 1 MHz

التوصية ITU-R M.2031-1 الخصائص ومعايير الحماية لمحطات الاستقبال الأرضية وخصائص محطات الإرسال الفضائية في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (فضاء–أرض) العاملة في النطاق 010 5-030 5 MHz

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، بما في ذلك التطبيقات الخطيرة المتعلقة بسلامة الحياة؛

ب) أن المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية لعام 2003 (WRC-03) اعتمد توزيعات جديدة وموسَّعة من أجل خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)؛

ج) أن أي محطة أرضية وافية التجهيز يمكنها أن تستقبل معلومات ملاحية من أنظمة وشبكات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) من أنحاء العالم كافّة؛

د) أنه يوجد عدة أنظمة وشبكات عاملة ومقرر تشغيلها في إطار خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)، وعدد متزايد من بطاقات التبليغ عن الخدمة RNSS في مكتب الاتصالات الراديوية، وجميعها تقترح استعمال التوزيعات الجديدة؛

هـ) أنه وضعت طرائق جديدة تُستعمَل في مباحثات التنسيق، وتوفِّر أساساً مشتركاً لتقدير التداخل بين الأنظمة والشبكات في إطار الخدمة RNSS،

وإذ تُدرك

أ) أن النطاقات 164 1-215 1 MHz و215 1-300 1 MHz و559 1-610 1 MHz و010 5-030 5 MHz موزعة على أساس أولي للخدمة RNSS (فضاء–أرض وفضاء–فضاء)؛

ب) أن النطاقات 164 1-215 1 MHz و215 1-300 1 MHz و559 1-610 1 MHz و010 5-030 5 MHz موزعة كذلك على أساس أولي لخدمات أخرى؛

ج) أن التوصية ITU-R M.1901 توفر إرشادات بشأن توصيات قطاع الاتصالات الراديوية المتصلة بأنظمة وشبكات في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية العاملة في النطاقات الترددية 164 1-215 1 MHz و215 1-300 1 MHz و559 1-610 1 MHz و000 5-010 5 MHz و010 5-030 5 MHz؛

د) أن الخصائص التقنية والتشغيلية، ومعايير الحماية، لمستقبِلات الأنظمة والشبكات في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) (فضاء–أرض وفضاء–فضاء) في نطاقات التردد: 164 1-215 1 MHz و215 1-300 1 MHz و559 1-610 1 MHz و000 5-010 5 MHz و010 5-030 5 MHz، متوفرة في التوصيات ITU-R M.1905 وITU-R M.1902 وITU-R M.1903 وITU-R M.1904 وITU-R M.1906 وITU-R M.2031؛

هـ) أن الخصائص التقنية والتشغيلية لمرسِلات الأنظمة والشبكات في الخدمة RNSS (أرض–فضاء، وفضاء–أرض، وفضاء–فضاء) في نطاقات التردد التالية: 164 1-215 1 MHz و215 1-300 1 MHz و559 1-610 1 MHz و000 5-010 5 MHz و010 5-030 5 MHz، متوفرة في التوصيات ITU-R M.1787 وITU-R M.1906 وITU-R M.2031؛

و) أن التوصية ITU-R M.1318 تقدم نموذجاً لتقدير التداخل من مصادر بيئية في أنظمة الخدمة RNSS في نطاقات التردد 164 1-215 1 MHz و215 1-300 1 MHz و559 1-610 1 MHz و010 5-030 5 MHz؛

ز) أن التوصية ITU-R M.2030 تقدم طريقة لتقييم التداخل النبضي من المصادر الراديوية ذات الصلة خلاف المصادر العاملة في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) على أنظمة خدمة الملاحة الراديوية الساتلية وشبكاتها العاملة في نطاقات التردد 164 1-215 1 MHz و215 1-300 1 MHz و559 1-610 1 MHz؛

ح) أن الرقم **10.4** من لوائح الراديو (RR) ينص على أن جوانب السلامة في الخدمة RNSS "تتطلب تدابير من نوع خاص لضمان خلوّها من التداخل المؤذي"؛

ط) أنه بموجب أحكام الرقم **328B.5** من لوائح الراديو (RR)، تخضع الأنظمة والشبكات التي تعتزم، في إطار الخدمة RNSS، استخدام نطاقات التردد 164 1-215 1 MHz و215 1-300 1 MHz و559 1-610 1 MHz و010 5-030 5 MHz ويرد منها إلى مكتب الاتصالات الراديوية معلومات كاملة عن التنسيق أو التبليغ، حسبما يناسب الحالة، بعد 1 يناير 2005، تخضع لإنفاذ أحكام الأرقام **12.9** و**12A.9** و**13.9** من لوائح الراديو (RR)، وأنه يجري حالياً التخطيط لدراسات تهدف إلى وضع طرائق ومعايير إضافية لتسهيل عمليات التنسيق المذكور؛

ي) أن المحطات التي تستعمل، في إطار خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)، مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض، تخضع، بموجب أحكام الرقم **7.9** من لوائح الراديو (RR)، للتنسيق مع المحطات الأخرى المماثلة، وأنه يجري حالياً التخطيط لدراسات تهدف إلى وضع طرائق ومعايير إضافية لتسهيل عمليات التنسيق المذكور،

وإذ تُدرك كذلك

أن القرار **610 (WRC-03)** ينطبق على جميع الأنظمة والشبكات العاملة في إطار الخدمة RNSS في نطاقات التردد المذكورة في الحيثية *وإذ تعترف* أ)، ويحتوي على تدابير مصممة من أجل تسهيل عمليات تحديد الملاءمة بين أنظمة الخدمة RNSS،

توصي

1 بتطبيق الطريقة المعروضة في الملحق 1 على عمليات التنسيق بين أنظمة الخدمة RNSS العاملة أو المقترح تشغيلها في واحد أو أكثر من نطاقات التردد المذكورة في البند *وإذ تعترف* أ) (انظر الملاحظة 1)؛

2 بأن يراعي مشغِّلو أنظمة الخدمة RNSS الإرشادات الواردة في الملحقَيْن 2 و3، قبل تنسيق الخدمة RNSS وأثناءه.

الملاحظة 1 – قد يكون من الصعب تطبيق الطريقة المعروضة في الملحق 1 على أنظمة الخدمة RNSS ذات النفاذ المتعدد بتقسيم التردد والمتعددة السواتل. ففي هذه الحالة تُستعمَل الطريقة المعروضة في الملحق 2.

الملحق 1

طريقة لتقدير التداخل بين أنظمة وشبكات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)

جدول المحتويات

		الصفحة
1	مقدمة	5
2	طريقة تحليل التداخل	5
3	المعطيات المستعملة في الحسابات	8
1.3	نماذج الكوكبات والمرسِلات الساتلية	8
2.3	نموذج مستقبِل المستعمِل	9
3.3	نموذج التداخل والضوضاء	9
4	طريقة لحساب عامل الكسب التجميعي (G^{agg}) مبنية على المحاكاة	10
5	مثال افتراضي على تطبيق الطريقة	14
1.5	تقدير سويات التداخل	14
2.5	تقدير القيَم الفعلية لنسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء وقيَم الانحطاط المرتبطة بها	16
6	خصائص ونمذجة طيف الشفرة القصيرة للخدمة RNSS	18
1.6	مثال على طيف شفرة PRN القصيرة في الخدمة RNSS	18
2.6	الجوانب العامة للنمذجة الدينامية المفصلة لشفرات PRN القصيرة في الخدمة RNSS	19
7	الاستنتاج	20

1 مقدمة

يُقصد بهذه الطريقة توفير تقنية لتقدير التداخل بين أنظمة وشبكات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS). فهي مفيدة، من هذا القبيل، في التنسيق بين أنظمة الخدمة RNSS (توخّياً للإيجاز، تُستَعمل كلمة "نظام" بديلاً عن "نظام أو شبكة"، في كل ما بقي من هذه الوثيقة) وتنطبق المنهجية الآتي عرضها على أنظمة الخدمة RNSS التي تستعمل النفاذ المتعدد بتقسيم الشفرة (CDMA) والنفاذ المتعدد بتقسيم التردد (FDMA) من أجل إتاحة تقاسم نطاقات الخدمة RNSS، وتُقِرّ هذه الطريقة بأن مجرّد جمع قيم لكثافة قدرة الإرسال غير وافٍ لتحديد الأثر الذي يوقِعُه نظام للخدمة RNSS على غيره. إذ إنه، خلافاً لحال أنظمة النفاذ CDMA العاملة في الخدمة RNSS، حيث يكون في المعتاد موجة حاملة واحدة لكل نطاق مشغول، تشتمل أنظمة النفاذ FDMA على عدة موجات حاملة للنطاق المشغول الواحد. ولذا فقد لا يكون عملياً تطبيق الطريقة التالي عرضها على كل تردد للموجة الحاملة مستعمَل في نظام FDMA متعدد السواتل.

2 طريقة تحليل التداخل

عادة، تُستعمَل نسبة الكثافة الفعلية للموجة الحاملة إلى الضوضاء بعد عملية الترابط C/N_0'، لقياس أثر التداخل الذي تسببه مصادر متنوِّعة في الأداء التشغيلي للمستقبِلات المقصودة. والنسبة C/N_0' تابعة للمستقبِل والهوائي والضوضاء الخارجية من مصادر خلاف المصادر العاملة في خدمة RNSS. ومع ذلك فهي تُستعمَل لتقدير التداخل بين أنظمة خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS).

في حالة التداخل المستمر[1]، تكون النسبة C/N_0' مساوية لحاصل المعادلة التالية:

$$\frac{C}{N_0'} = \frac{C}{\nu N_0 + I_{ref} + I_{int} + I_{ext}} \quad (1)$$

حيث:

C: القدرة (W)، بعد عملية الترابط، للإشارة الواردة من الساتل الذي في الكوكبة المرجعية، بما في ذلك كل خسائر المعالجة ذات الصلة[2]

N_0: الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء الحرارية (W/Hz) في المستقبِل قبل عملية الترابط

N_0': الكثافة الطيفية للقدرة الفعلية للضوضاء الحرارية (W/Hz) في المستقبِل بعد عملية الترابط

I_{ref}: الكثافة الطيفية للقدرة الفعلية للضوضاء البيضاء (W/Hz) بعد عملية الترابط والناجمة عن تجميع التداخل من جميع الإشارات المستقبَلة، باستثناء الإشارة المرغوبة، والمرسلة من جميع السواتل المرئية في الكوكبة المرجعية، بما في ذلك خسائر المعالجة ذات الصلة

I_{int}: الكثافة الطيفية للقدرة الفعلية للضوضاء البيضاء (W/Hz) بعد عملية الترابط والناجمة عن تجميع التداخل من جميع الإشارات المرسلة في نطاق التردد موضع النظر من جميع السواتل المرئية في الخدمة RNSS باستثناء السواتل التي في الكوكبة المرجعية، بما في ذلك خسائر المعالجة ذات الصلة

I_{ext}: الكثافة الطيفية للقدرة الفعلية للضوضاء البيضاء (W/Hz) بعد عملية الترابط والناجمة عن تجميع التداخل من جميع الإشارات الراديوية غير إشارات الخدمة RNSS، بما في ذلك خسائر المعالجة ذات الصلة

---

[1] في حالة حضور تداخل نبضي قوي، يجب تعديل المعادلة (1). إذ إن التداخل النبضي يقلل نسبة الإشارة إلى الضوضاء بأنه يكبت الإشارة المرغوبة ويزيد ضوضاء الخلفية.

[2] خسائر المعالجة ذات الصلة تشتمل على ما يلي: كسب هوائي المرسِل وهوائي المستقبِل؛ خسارة تنفيذ المستقبِل مثل خسارات الترشيح والتكمية؛ وخسارات عدم المواءمة بين الإشارة المستقبَلة والشفرة المرجعية.

ν: عامل ضوضاء حرارية فعلي، دون أبعاد، ويعطى بالمعادلة التالية:

$$\nu = \int_{-\infty}^{\infty} \left|\overline{H}(f)\right|^2 S(f)\mathrm{d}f$$

$\overline{H}(f)$: دالة نقل مكافئة مقيَّسة، بتردد f (Hz) وتعطى بالمعادلة التالية:

$$\overline{H}(f) = \frac{H(f)}{\max_{\gamma} |H(\gamma)|}$$

$H(f)$: دالة نقلِ مرشاحِ مستقبِلٍ مكافئة (بدون أبعاد)، بتردد f (Hz) تمثِّل مجموع الإشارات المرشَّحة في مدخل المستقبِل قبل عملية الترابط

$S(f)$: الكثافة الطيفية ثنائية الجانب للقدرة المكافئة المثالية ثنائية الجانب (W/Hz)، بتردد f (Hz) للإشارة المرغوبة غير المرشَّحة وقبل عملية الترابط، مضبوطة الوحدة على عرض نطاق لامتناهٍ، ويُدخَل في عمليات حسابها افتراض شفرات تمديد عشوائية

γ: متغيِّر وهمي.

في غياب ضوضاء خارجية، يؤول المستوى الفعلي للضوضاء الحرارية في المستقبِل، بعد الترابط، إلى مؤدّى المعادلة $N_0' = \nu N_0$. وإضافة إلى ذلك، إذا كانت H تمثِّل مرشاحَ تمريرِ نطاقٍ مثالياً بعرض نطاق قدره B_R (لا دالّة مرشاح مدخل المستقبِل لنقل الاتساع التفصيلي)، فحينئذ تؤول ν إلى مؤدّى المعادلة المبسَّطة التالية:

$$\nu = \int_{-B_R/2}^{B_R/2} S(f)\mathrm{d}f \le \int_{-\infty}^{\infty} S(f)\mathrm{d}f = 1$$

ويجدر بالملاحظة أيضاً أن الصيغة I_{int} (W/Hz) يمكن تجزئتها من أجل النظر في التداخل الذي يسببه نظام معيّن في الخدمة RNSS، كما يلي:

$$I_{int} = I_{alt} + I_{rem}$$

حيث:

I_{alt}: الكثافة الطيفية للقدرة الفعلية للضوضاء (W/Hz) بعد عملية الترابط والناجمة عن تجميع التداخل من جميع الإشارات المرسلة في نطاق التردد موضع النظر، من جميع السواتل المرئية لكوكبة "بديلة" معيّنة

I_{rem}: الكثافة الطيفية للقدرة الفعلية للضوضاء (W/Hz) بعد عملية الترابط والناجمة عن تجميع التداخل من جميع الإشارات المرسلة في نطاق التردد موضع النظر، من جميع السواتل "الباقية" المرئية في الخدمة RNSS، أي السواتل التي ليست في الكوكبة المرجعية ولا في الكوكبة البديلة.

وفي سبيل حساب الكثافات الطيفية للقدرة الفعلية للضوضاء نحدد معامل الفصل الطيفي β (بوحدات 1/Hz) بين الإشارة المسببة للتداخل رقم n الصادرة عن الساتل رقم m والإشارة المرغوبة x، طبقاً للمعادلة التالية:

$$\int \beta_{m,n}^{x} = \int_{-\infty}^{\infty} \left|\overline{H}(f)\right|^2 \overline{S}_x(f)\overline{S}_{m,n}(f)\mathrm{d}f \qquad (2)$$

حيث:

$\overline{S}_x(f)$: كثافة طيفية مقيّسة لقدرة ثنائية الجانب (W/Hz) (قدرة مضبوطة الوحدة على عرض نطاق الإرسال)، بتردد f (Hz) للإشارة المرغوبة، طبقاً للمعادلة التالية:

$$\overline{S}_x(f) = \begin{cases} \dfrac{S_x(f)}{\int_{-B_{TD}/2}^{B_{TD}/2} S_x(\gamma)\mathrm{d}\gamma} & |f| \le B_{TD}/2 \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases}$$

B_{TD}: عرض نطاق الإرسال (Hz) الذي تحدد عليه قدرة الإشارة المرغوبة

$S_x(f)$: كثافة طيفية لقدرة ثنائية الجانب، بتردد f (Hz) للإشارة المرغوبة غير المرشَّحة (1/Hz)، مقيَّسة مضبوطة الوحدة على عرض نطاق لامتناهٍ

$\overline{S}_{m,n}(f)$: كثافة طيفية لقدرة ثنائية الجانب (W/Hz)، مقيَّسة (مضبوطة الوحدة على عرض نطاق الإرسال)، للإشارة رقم n المسببة للتداخل الصادرة عن الساتل رقم m في كوكبة معينة، طبقاً للمعادلة التالية:

$$\overline{S}_{m,n}(f) = \begin{cases} \dfrac{S_{m,n}(f)}{\int_{-B_T/2}^{B_T/2} S_{m,n}(\gamma)\mathrm{d}\gamma} & |f| \le B_T/2 \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad \text{and}$$

$S_{m,n}(f)$: كثافة طيفية لقدرة ثنائية الجانب (W/Hz) عند التردد (Hz) للإشارة المسببة للتداخل غير المرشحة الصادرة عن الساتل رقم m في كوكبة معينة.

B_T: عرض نطاق الإرسال (Hz) الذي تحدد عليه قدرة الإشارة المسببة للتداخل

تستند المعادلة (2) إلى فرضية ضمنية مفادها أن إشارات RNSS المشكلة بشفرة ضوضاء شبه عشوائية (PRN)، التي تمثِّلها S، يمكن تقريبها كطيف مستمر في الطيف التجميعي للتداخل. وقد لا يصح ذلك على الإشارات ذات الشفرات PRN "القصيرة". ويأتي مزيد من الشرح في الفقرة 6.

فلْنفترِض:

M_{ref}: عدد السواتل التي تُرى في كوكبة السواتل المرجعية

$N_{ref,m}$: عدد الإشارات المسببة للتداخل (بدون الإشارة المرغوبة من الساتل المرغوب) التي يرسلها الساتل رقم m من الكوكبة المرجعية للسواتل

M_{alt}: عدد ما يُرى من سواتل الخدمة RNSS في كوكبة السواتل البديلة

$N_{alt,m}$: عدد الإشارات المسببة للتداخل التي يرسلها الساتل رقم m في كوكبة السواتل البديلة (يمكن افتراضه واحداً بخصوص جميع السواتل التي في الكوكبة البديلة إذا ضُبطت على الصفر قدرة الإشارة الغائبة)

M_{rem}: عدد ما يُرى من سواتل الخدمة RNSS، غير الموجودة في الكوكبة المرجعية للسواتل ولا في الكوكبة البديلة للسواتل

$N_{rem,m}$: عدد الإشارات المسببة للتداخل التي يرسلها الساتل رقم m غير الموجود في الكوكبة المرجعية ولا في الكوكبة البديلة

$P_{m,n}^{ref}$: قدرة التداخل الأعظمية (W) للإشارة المسببة للتداخل رقم n على الساتل رقم m في الكوكبة المرجعية

$L_{m,n}^{ref}$: (بدون أبعاد) خسارة المعالجة للإشارة المسببة للتداخل رقم n على الساتل رقم m في الكوكبة المرجعية

$P_{m,n}^{alt}$: قدرة تسبيب التداخل الأعظمية (W) للإشارة رقم n على الساتل رقم m في الكوكبة البديلة

$L_{m,n}^{alt}$: (بدون أبعاد) خسارة معالجة للإشارة المسببة للتداخل رقم n على الساتل رقم m في الكوكبة البديلة

$P_{m,n}^{rem}$: قدرة تسبيب التداخل الأعظمية (W) للإشارة رقم n على الساتل رقم m في باقي كوكبات سواتل الخدمة RNSS

$L_{m,n}^{rem}$: (بدون أبعاد) خسارة المعالجة للإشارة رقم n على الساتل رقم m في باقي كوكبات سواتل الخدمة RNSS.

ونستطيع، مستعينين بهذه التعريفات، كتابة معادلات لحساب الكثافة الطيفية لقدرة التداخل الفعلية في الاستقبال، الناجمة عن الكوكبة المرجعية، والكوكبة البديلة، وباقي كوكبات سواتل الخدمة، كما يلي:

$$I_{ref} = \sum_{m=1}^{M_{ref}} \sum_{n=1}^{N_{ref,m}} \frac{\beta_{m,n}^{x} P_{m,n}^{ref}}{L_{m,n}^{ref}} \quad (3)$$

$$I_{alt} = \sum_{m=1}^{M_{alt}} \sum_{n=1}^{N_{alt,m}} \frac{\beta_{m,n}^{x} P_{m,n}^{alt}}{L_{m,n}^{alt}} \quad (4)$$

$$I_{rem} = \sum_{m=1}^{M_{rem}} \sum_{n=1}^{N_{rem,m}} \frac{\beta_{m,n}^{x} P_{m,n}^{rem}}{L_{m,n}^{rem}} \quad (5)$$

فيمكن، باستعمال المعادلات من (1) إلى (5)، حساب النسبة C/N_0' للكثافة الفعلية لنسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء. والرقم المحصّل من عملية الحساب هذه يمكن مقارنته بالقيمة العتبية للنسبة C/N_0'، وهي قيمة مبنية على أسلوب الاستقبال، وحيازة الشفرة، وتتبع الشفرة، وتتبع الموجة الحاملة، وإزالة تشكيل المعطيات، وذلك من أجل قياس أثر التداخل.

وفي الإمكان استعمال طرائق أخرى مبنية على النسبة الفعلية للموجة الحاملة إلى الضوضاء C/N_0'، بما في ذلك انحطاط هذه النسبة بسبب كوكبة بديلة معيّنة فقط. ويمكن أيضاً أن يؤخَذ في الحسبان درجة الاشتغال البيني فيما بين الإشارات، أو خواص معيّنة لترابط الشفرات بين الأنظمة. ويرد في الفقرة 2.5 أمثلة على تطبيق هذه القياسات.

3 المعطيات المستعملة في الحسابات

في كثير من الأحيان يُجرى قياس المعطيات المستعملة في الحسابات، وتحديدها بالمحاكاة أو تعديلها، بحيث تأتي بنتائج متسقة مع التجربة. وبالإضافة إلى ذلك، يُجرى عادة حساب هذه القيم بخصوص كل ساتل وكل إشارة بالمحاكاة طيلة فترة من الزمن، فوق مساحة موضع النظر، ثم يمكن الحصول على إحصائيات عن قيم التداخل بين الأنظمة من أجل الدراسة.

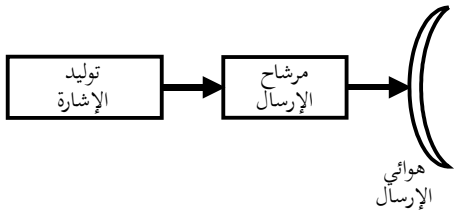
وتوفّر المقاطع الفرعية التالية مزيداً من الشروح عن كيفية الحصول على المعطيات المدخَلة في هذه الحسابات.

1.3 نماذج الكوكبات والمرسِلات الساتلية

في تحديد مستويات القدرة المستَقبَلة بخصوص الإشارات المرغوبة والإشارات المسببة للتداخل، تُستعمَل نماذج دينامية لمحاكاة الكوكبات، مع المعلمات المدارية لكل منها. ويعرض الشكل 1 نموذجاً مبسَّطاً لمرسِل ساتلي.

الشكل 1

نموذج مبسَّط لمرسِل ساتليّ



1.1.3 مستويات الإشارة المستقبَلة في أسوأ حالة

في حساب أثر التداخل في أسوأ حالة، تؤخذ القيمة الصغرى لقدرة الإشارة المرغوبة والقيمة الأعظمية لقدرة الإشارة المسببة للتدخل. وينطبق ذلك على جميع الإشارات المرسلة من سواتل الكوكبة المرجعية لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)، باستثناء الإشارة المرغوبة.

2.1.3 معامل الفصل الطيفي (β)

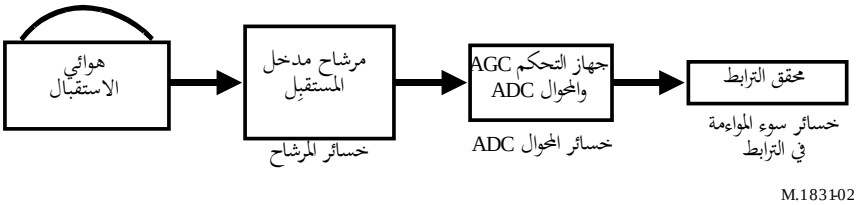
تُحسَب قيَم المعامل β بناء على افتراض واحد بخصوص كلا عرضَيْ نطاقَي الإرسال والاستقبال. ويلاحظ أن القيم المحسوبة باستعمال المعادلة (2) يمكن أن تكون أقل من القيم المعهودة في التجربة. وقد يحصل ذلك، على سبيل المثال، في الشفرات "القصيرة" للضوضاء شبه العشوائية (انظر الفقرة 6). ويعود ذلك إلى أن الشفرات PRN الأقصر دوراً تكون بنية خطوطها الطيفية أكثر تقريبية، فلا يمكن تمثيلها تمثيلاً دقيقاً بالدالّة المستمرة للكثافة الطيفية للقدرة المستعملة في المعادلة (2).

2.3 نموذج مستقبِل المستعمِل

يعرض الشكل 2 نموذج مستقبِل المستعمِل. فهوائي المستقبِل – وخرجه هو دخل المرشاح الأمامي للمستقبِل – يستقبل كلتا الإشارتين، المرغوبة والمسببة للتداخل. وعروة التحكم الأوتوماتي في كسب الهوائي (AGC) تستبقي التوتر في دخل المحوال التماثلي الرقمي (ADC) ضمن المدى الديناميّ لهذا المحوال. ويُجرى الترابط باستعمال الإشارة المستقبَلَة وإشارةٍ محليةِ التوليد موائمة للإشارة المرسَلة، وذلك قبل ترشيح الإرسال. وتُجمَّع الخسائر كلها، أي الناجمة عن الترشيح والتحويل التماثلي الرقمي وسوء مواءمة الترابط، في عامل خسارة وحيد. إلا أن خسائر الإشارة المرغوبة يمكن أن تختلف عن خسائر الإشارات المسببة للتداخل.

الشكل 2

نموذج مبسَّط لمستقبِل المستعمِل



3.3 نموذج التداخل والضوضاء

يُستعمَل للتعبير عن معلمات إشارة الملاحة مصطلحات مثل: معدل البيانات، ومعدل نبض شفرة PRN وغيره من خصائص الشفرة، وأنماط التشكيل. ويُستعمَل تقريب للطيف المستمر في نمذجة الطيف المركّب للإشارات المسببة للتداخل المستقبَلَة، باستثناء الشفرات القصيرة الدور التي يراعى بخصوصها طبيعة الخطوط الطيفية للشفرة.

ويمكن أن يؤخذ أيضاً في الحسبان موقع المستعمِل، وذلك بأن تقاس قدرة التداخل في كل موقع على الأرض طيلة 24 ساعة. ففي صدد نمط معيّن من إشارات للخدمة RNSS مسببة للتداخل، يُحسَب المستوى الأعظمي للتداخل التجميعي لهذا النمط، ويقارَن مع قدرة التداخل الأعظمية لإشارة واحدة من هذا النمط مسببة للتداخل ومرسَلة من كل ساتل، فينتج من هذه المقارنة عامل كسب تجميعي (G^{agg}). وبعبارة أخرى، يأخذ عامل الكسب التجميعي (G^{agg}) القدرة الأعظمية لإشارة واحدة من نمط معيّن من إشارات الخدمة RNSS، وهو الزيادة اللازمة لربط هذه القدرة بقدرة جميع الإشارات المسببة للتداخل التي من هذا النمط. وعليه فإن هذا العامل يصلح لجميع الإشارات الأخرى التي من نفس النمط، كما يفيد عن تغير كسب الهوائي تجاه جميع السواتل التي ترسل إشارات من هذا النمط.

ومن الناحية العملية، يمكن حساب قيمة عامل الكسب التجميعي (G^{agg}) بخصوص كوكبة معيّنة وإشارة واحدة، كما هو مبيَّن في الفقرة 4، ثم يطبَّق على جميع إشارات تلك الكوكبة، أو يمكن إخضاعه لمباحثات تنسيقية. ويمكن أيضاً تبسيط قيم تداخل أخرى على نفس النحو.

والتداخل الذي تسببه مصادر عريضة النطاق خارجية مستمرة يُنمذَج عادة كمصدر ضوضاء بقيمة ثابتة مكافئة للكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء، I_{ext}. ويراد بهذا الحد الإفادة عن جميع المصادر الراديوية التي خارج الخدمة RNSS، وقد يشمل التداخل ضمن النطاق أو خارجه الذي تسببه خدمات راديوية أخرى.

ويلزم وضع طرائق إضافية من أجل حساب قيمة التداخل في النطاق الضيق والتداخل النبضي.

4 طريقة لحساب عامل الكسب التجميعي (G^{agg}) مبنية على المحاكاة

تُكتَب معادلة الكثافة الطيفية لقدرة التداخل التجميعية، الحاصلة بعد عملية الترابط، والملازمة لنمط إشارة مرغوبة دليله k، نمط يرسله جميع السواتل في منظومة خدمة RNSS إلى مستقبِل منصوب في موقع معيّن ودليله i، تُكتَب بالحدود التالية: معامل الفصل الطيفي، وقدرة الإرسال، وكسب هوائي الإرسال/الاستقبال، وخسارة المسير، وخسارة المعالجة، وذلك كما يلي:

$$I_{i,k}(t) = \sum_{m=0}^{M_i^S(t)} \left[G_{i,m}^T(t) G_{i,m}^R(t) \alpha_{i,m} \sum_{n=1}^{N_m} \frac{\beta_{m,n}^k P_{m,n}}{L_{k,n}} \right] - G_{0,k}^T(t) G_{0,k}^R(t) \alpha_{k,0}(t) \cdot \frac{\beta_{0,k}^k P_{0,k}}{L_{k,k}} \quad (6)$$

حيث:

i: دليل المستقبل

k: دليل نمط الإشارة المرغوبة

t: الوقت الذي بخصوصه يجري حساب قدرة التداخل التجميعية

$M_i^S(t)$: عدد سواتل RNSS المرئية في موقع المستقبِل رقم i، في الوقت t

m: دليل الجمع عبر السواتل المنظورة، وm = 0 في حالة دليل الساتل المصاحب للإشارة المرغوبة

$G_{i,m}^T$: (بدون أبعاد) كسب هوائي الإرسال (بالنسبة إلى الكسب المتناحي) بين الساتل رقم m وموقع المستقبِل رقم i

$G_{i,m}^R$: (بدون أبعاد) كسب هوائي الاستقبال (بالنسبة إلى الكسب المتناحي) بين موقع المستقبِل رقم i والساتل رقم m

$\alpha_{i,m}$: (بدون أبعاد) خسارة المسير من الساتل رقم m إلى موقع المستقبِل رقم i

N_m: العدد الكلي لأنماط الإشارات على الساتل رقم m

$\beta_{m,n}^k$: معامل الفصل الطيفي (1/Hz) بين نمط الإشارة رقم k ونمط الإشارة رقم n للساتل رقم m

$P_{m,n}$: قدرة إرسال (W) الإشارة رقم n على الساتل رقم m

$L_{k,n}$: (بدون أبعاد) خسارة المعالجة لنمط الإشارة رقم n (حين يكون نمط الإشارة رقم k هو المرغوب).

في المعادلة (6) الحد الأول هو مجموع كل الكثافات الطيفية للقدرة من جميع السواتل المنظورة، ولجميع الإشارات بما فيها الإشارة المرغوبة الصادرة عن الساتل المرغوب، بينما يمثِّل الحد الثاني الكثافة الطيفية لقدرة الإشارة المرغوبة الصادرة عن الساتل المرغوب.

كما يظهر من المعادلة (6)، تُسبّب الكثافة الطيفية للقدرة المكافئة ارتفاعاً في ضوضاء الخلفية الحرارية. فقيمة الحد $I_{i,k}(t)$ تابعة للوقت، وموقع المستعمِل، ومعامل الفصل الطيفي. وتقوم طريقة بسيطة لحساب قيمة الحد $I_{i,k}(t)$ هذا على استعمال برمجيات محاكاة الكوكبة في كل سيناريوهات التداخل بلا استثناء، من أجل معرفة مقدار التداخل الحاصل. لكنه أمر ثقيل ومستهلك للوقت إجراء هذا الحساب باستعمال محاكاة الكوكبة كلما وحيثما لزم تحليل التداخل. فمن الأمور المساعدة التعويل على عامل وحيد يُكرر استعماله في تحليلات التداخل، دون اللجوء إلى محاكاة الكوكبة بصدد جميع السيناريوهات. وهذا العامل يمكن اشتقاقه باستعمال نماذج محاكاة، فيُجتَنب من ثَمَّ تكرار حساب قيمة $I_{i,k}(t)$. يُسمّى هذا العامل عامل الكسب التجميعي (G^{agg})، الذي يمكن الحصول عليه من خلال أخذ قيد أعلى في المعادلة (6) يطابق سيناريو أسوأ حالة. صحيح أن هذه الوسيلة تؤدي في أكثر الحالات إلى قيمة مَزيدة للتداخل، لكنها تعطي الثقة أنه لن يحصل تجاوز مستوى التداخل العتبي المحسوب.

وعامل الكسب التجميعي، بخصوص نمط إشارة معيّن، يمكن اشتقاقه كما يلي:

أ) في كل موقع (دليله i) في الفضاء (ولكن عادة على سطح الأرض أو بقربه)، تُكتَب معادلة قدرة التداخل المستقبَلة (W) في الموقع رقم i للمستقبِل، كما يلي:

$$P_i^R(t) = \sum_{m=0}^{M_i^S(t)} G_{i,m}^T(t) G_{i,m}^R(t) \alpha_{i,m}(t) P_m \tag{7}$$

يُسترعى الانتباه إلى أنه جرى في المعادلة (7)، توخياً للإيجاز، إسقاط الدليل k المحيل إلى نمط الإشارة المرغوبة، وأن خسارات المعالجة، L_m، أُخِذت في الحسبان في موضع آخر (انظر المعادلة (9)). وإذا كانت الإشارة المرغوبة والإشارة المسببة للتداخل من نفس النمط، يلزم إدخال تعديل طفيف على المعادلة (7) وهو طرح قدرة الإشارة المرغوبة من المعادلة (7).

ب) فنستطيع عندئذ كتابة معادلة عامل الكسب التجميعي G^{agg}، بخصوص كل موقع استقبال (بدون أبعاد)، على النحو التالي:

$$G^{agg} = \frac{\max\limits_{all\ i}\left[\max\limits_{all\ t}\left(P_i^R(t)\right)\right]}{P_{max}^R} \tag{8}$$

وهنا، يمثِّل الحد P_{max}^R القدرة (W) الأعظمية للإشارة المسببة للتداخل التي نمطها قيد النظر، الصادرة عن أي ساتل معيّن، مَقيسة في خرج الهوائي المستقبِل المرجعي قبل مرشاح المستقبِل (RF)، وفي جميع مواقع الاستقبال الموضوع لها دليل. يُسترعى الانتباه إلى أن الهوائي المستقبِل المرجعي (لنظام معيّن) يمكن أن يكون هوائياً لا متناحي مناسباً. ومن الجائز في هذا الهوائي أن لا يتواءم في الاستقطاب مع نمط الإشارة المستقبَلة، فيسبب بعض التوهين الإضافي. ويُحسب عامل الكسب التجميعي G^{agg}، انطلاقاً من المعادلة (8) بخصوص جميع أنماط الإشارات المسببة للتداخل.

وتكون قيمة العامل G^{agg} المحصَّلة هي قيمته في أسوأ حالة بخصوص جميع مواقع الاستقبال المستعملة في حسبانها. وحينئذ تُستعمَل هذه القيمة لتمثيل قيمة هذا العامل في أسوأ حالة وفي جميع مواقع الاستقبال التي تُستعمَل في تحليل التداخل (بخصوص نمط الإشارة المرغوبة):

ومن ثَمّ فإن الكثافة الطيفية للقدرة I_0 (W/Hz) الناجمة عن تداخل من جميع إشارات الخدمة RNSS الصادرة عن جميع السواتل المرئية للخدمة RNSS، يمكن أن تُرسَم حدودها العليا طبقاً للمعادلة التالية:

$$I_0 \le \sum_{n=1}^{N} \frac{G_n^{agg} \beta_n P_{max,n}^R}{L_n} \tag{9}$$

حيث β_n هو معامل الفصل الطيفي بين الإشارة المرغوبة ونمط الإشارة رقم n، وL_n هو خسارة المعالجة بين الإشارة المرغوبة ونمط الإشارة رقم n. ويسترعى الانتباه أيضاً إلى أن عوامل خسارة المسير، $\alpha_{i,m}$، مستوعَبَة في عوامل الكسب التجميعي G^{agg}، وأن القدرة الأعظمية للإشارة المستقبَلَة، $P^R_{max\,n}$ ، مستعمَلَة في هذه المعادلة بدلاً من قدرة الإشارة المرسَلَة.

على سبيل المثال، أُجريَت محاكاة استعين فيها بنموذج الانتشار المداري المعروض في التوصية ITU-R M.1642. استُعمِلت في هذه المحاكاة كوكبة تضم 27 ساتلاً، واعتُمِدت فيها المعلمات المدارية المعروضة في الجدول 1. ويبيِّن الشكل 3 مستوى القدرة المستقبَلة كدالّة في ارتفاع الزاوية، بينما يعرض الشكل 4 مخطط هوائي الاستقبال. ويقدّم الشكل 5 بيان القدرة الأعظمية طيلة 24 ساعة في كل موقع (على مراحل مقدار الواحدة منها 5 درجات عرضاً و5 درجات طولاً). ففي حالة قدرة أعظمية مستقبَلَة قيمتها –153 dBW، تكون قيمة الكسب التجميعي، مأخوذاً من جميع المواقع، –142,0 – (–153) = 11,0 dB.

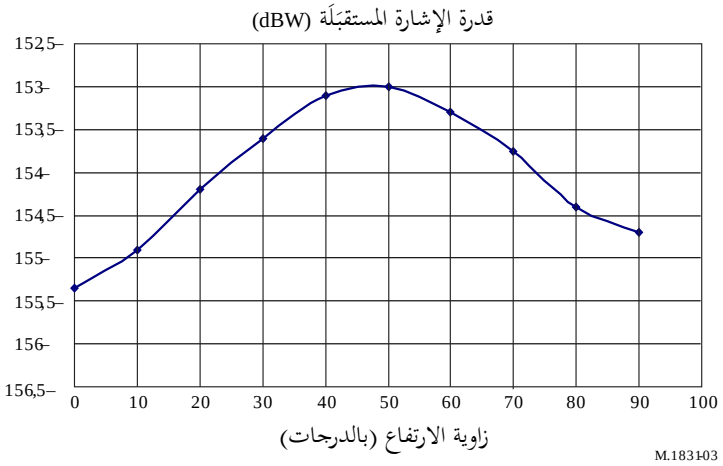
الجدول 1

المعلمات المدارية المعتَمَدة في المثال

معرِّف هوية الساتل	نصف قُطر المدار (بالكيلومتر)	انحراف المركز	الميل (بالدرجات)	الطالع المستقيم (بالدرجات)	زاوية الحضيض (بالدرجات)	الشذوذ المتوسط (بالدرجات)
1	26 559,8	0	55	58,21285	0	6,33
2	26 559,8	0	55	58,21285	0	134,62
3	26 559,8	0	55	58,21285	0	234,13
4	26 559,8	0	55	58,21285	0	269,42
5	26 559,8	0	55	118,21285	0	30,39
6	26 559,8	0	55	118,21285	0	61,53
7	26 559,8	0	55	118,21285	0	152,22
8	26 559,8	0	55	118,21285	0	176,92
9	26 559,8	0	55	118,21285	0	289,68
10	26 559,8	0	55	178,21285	0	90,83
11	26 559,8	0	55	178,21285	0	197,11
12	26 559,8	0	55	178,21285	0	227,99
13	26 559,8	0	55	178,21285	0	322,09
14	26 559,8	0	55	238,21285	0	0,00
15	26 559,8	0	55	238,21285	0	28,67
16	26 559,8	0	55	238,21285	0	131,04
17	26 559,8	0	55	238,21285	0	228,26
18	26 559,8	0	55	238,21285	0	255,7
19	26 559,8	0	55	298,21285	0	56,33
20	26 559,8	0	55	298,21285	0	165,07
21	26 559,8	0	55	298,21285	0	267,07
22	26 559,8	0	55	298,21285	0	293,95
23	26 559,8	0	55	358,21285	0	68,43
24	26 559,8	0	55	358,21285	0	99,32
25	26 559,8	0	55	358,21285	0	201,63
26	26 559,8	0	55	358,21285	0	320,60
27	26 559,8	0	55	358,21285	0	349,16

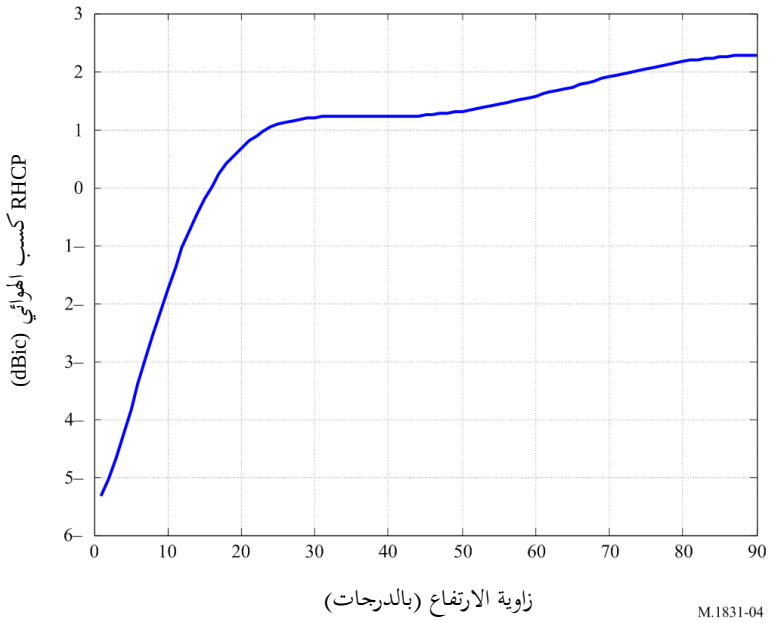
الشكل 3

مثال على قدرة الإشارة المستقبَلَة في نظام أرضي كدالة في زاوية الارتفاع



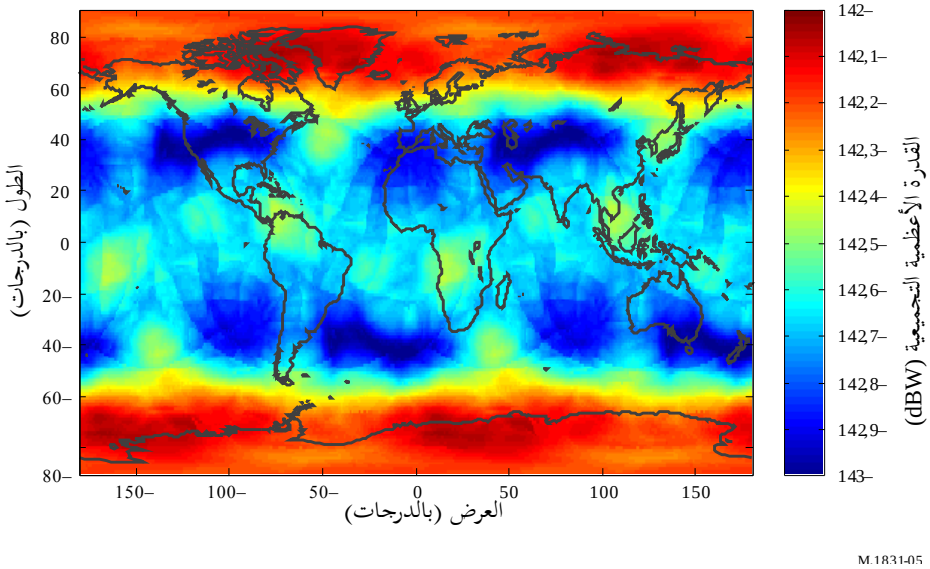
الشكل 4

مثال على كسب هوائي الاستقبال كدالة في زاوية الارتفاع



الشكل 5

مثال على قدرة مجمّعة أعظمية مَقيسة على سطح الأرض على مدى 24 ساعة



5 مثال افتراضي على تطبيق الطريقة

1.5 تقدير سويات التداخل

سعياً إلى إيضاح كيف تُطبَّق الطريقة المتقدم وصفها على تحليل التداخل الذي يسببه نظام آخر لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)، نعرض في الجدول 2 مثالاً افتراضياً. ويسترعى الانتباه إلى أن القيم المستعمَلة هي لغرض الإيضاح فقط، وتخضع لمباحثات تنسيقية.

الجدول 2

مثال افتراضي على أثر التداخل بين نظامين:
من نظام B إلى نظام A مؤتلف مع نظام تكميلي ساتلي (SBAS)

الكثافة الطيفية للقدرة الفعلية لضوضاء النظام المرجعي: **N_0 + التداخل الذاتي للنظام المرجعي، I_{ref}،** **تداخل ناجم عن الضوضاء الحرارية وإشارات أخرى في الكوكبة المرجعية (النظام A)**	
القدرة الأعظمية للإشارة 1 (dBW)	157,50–
القدرة الأعظمية للإشارة 2 (dBW)	160,50–
القدرة الأعظمية للإشارة 3 (dBW)	157,50–
خسارة المعالجة بخصوص الإشارة المسببة للتداخل (dB)	1,00
عامل الكسب التجميعي، G^{agg} (dB)	12,00
معامل الفصل الطيفي، β (dB/Hz)	
بين الإشارة 1 والإشارة 1 [1]	61,80–
بين الإشارة 2 والإشارة 1	70,00–
بين الإشارة 3 والإشارة 1	67,90–
كثافة الضوضاء الحرارية، N_0 (dB(W/Hz))	[2]201,50–
[3] I_{ref} (dB(W/Hz))	207,09–
$N_0 + I_{ref}$ (dB(W/Hz))	200,44–

الجدول 2 (*تتمة*)

الكثافة الطيفية للقدرة الفعلية للضوضاء المشتركة بين عدة أنظمة: **I_{rem} + تداخل الخدمة RNSS عدا النظامين A وB، I_{ref} + N_0،** **بسبب الضوضاء الحرارية، وإشارات أخرى صادرة عن الكوكبة المرجعية (النظام A)، وبسبب الإشارة المسببة للتداخل الصادرة عن النظام التكميلي الساتلي (SBAS)، ولكن بدون الإشارة 0 الصادرة عن النظام B**	
القدرة الأعظمية لإشارة النظام التكميلي الساتلي SBAS (dBW)	160,50–
عامل الكسب التجميعي، G^{agg}، لإشارة النظام التكميلي الساتلي، SBAS (dB)	7,70
معامل الفصل الطيفي، β **(**dB/Hz**)**	
بين الإشارة SBAS للنظام A والإشارة 1	61,80–
خسارة المعالجة بخصوص الإشارات المسببة للتداخل (dB)	1,00
I_{rem} (dB(W/Hz)) [3]	215,60–
$N_0 + I_{ref} + I_{rem}$ (dB(W/Hz))	200,31–
الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء الفعلية الكلية للنظام: **I_{ext} + تداخل الخارجي غير تداخل الخدمة RNSS، I_{rem} + I_{ref} + N_0** **بسبب الضوضاء الحرارية، وإشارات أخرى صادرة عن الكوكبة المرجعية (النظام A)، وبسبب الإشارة المسببة للتداخل الصادرة عن النظام التكميلي الساتلي (SBAS)، التداخل الخارجي غير تداخل الخدمة RNSS، ولكن بدون الإشارة 0 الصادرة عن النظام B**	
I_{ext} (dB(W/Hz))	206,50–
$N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext}$ (dB(W/Hz))	199,37–
الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء الفعلية الكلية المشتركة بين عدة أنظمة: **I_{alt} + تداخل النظام B، I_{ext} + I_{rem} + I_{ref} + N_0،** **بسبب الضوضاء الحرارية، وجميع إشارات الخدمة RNSS المسببة للتداخل والتداخل الخارجي**	
القدرة الأعظمية للإشارة 0 (dBW)	154,00–
عامل الكسب التجميعي، G^{agg}، للنظام B (dB)	12,00
معامل الفصل الطيفي، β، (dB/Hz**)**	
بين الإشارة 0 والإشارة 1	67,80–
خسارة المعالجة بخصوص الإشارات المسببة للتداخل (dB)	1,00
I_{alt} (dB(W/Hz)) [3]	210,80–
$N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext} + I_{alt}$ (dB(W/Hz))	199,07–

[1] هذه القيمة تستند إلى المعادلة (2)، وهي عبارة عن تقريب لا يجوز أن يكون ممثلاً لجميع المستقبِلات التي تستعمل شفرات PRN قصيرة.

[2] هذه القيمة قيمة نمطية، فلا يجوز أن تكون ممثِّلة للمستقبِلات المنخفضة الضوضاء.

[3] في هذا المثال حسبت قيم I_{ref} وI_{rem} وI_{alt} باستخدام العامل G^{agg}. وهي بالتالي تمثل قيم الحد الأعلى.

في المثال المقدَّم، الإشارة 1 من النظام A هي الإشارة المرغوبة، والنظام A هو "النظام المرجعي". وكل ما عدا الإشارة 1 من إشارات النظام A تُعتَبَر مسببة للتداخل، والواقع هو هكذا إذ يجب تفحص كل إشارة على حدة. وهكذا فإن الإشارة 1 لها أيضاً تداخل ذاتي من الإرسالات الأخرى للإشارة 1، والنظام A له أيضاً تداخل ذاتي من إشارات النظام A الأخرى. وبخصوص هذا المثال، الإشارات الأخرى للنظام A هي الإشارة 2 والإشارة 3. وفي هذا المثال أيضاً، كل إشارة مسببة للتداخل من إشارات النظام A لها معامل للفصل الطيفي خاص بها.

وعامل الكسب التجميعي، G^{agg} للنظام A (12,0 dB أو 7,7 dB في حالة تداخل النظام التكميلي الساتلي (SBAS) للنظام A)، يراعى فيه مخطط كسب هوائي مستقبِل النظام A، ومخطط كسب هوائي مرسِل النظام A، وهو نسبي إلى قدرة التداخل المستقبَلة التي تفوق، في 99,99% من جميع الحالات، قدرة التداخل الأعظمية للإشارة الصادرة عن ساتل واحد للنظام المرجعي. (تخضع النسبة

المئوية الفعلية لمباحثات تنسيقية). ويسترعى الانتباه إلى أن الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء الإجمالية هي: –201,50 dB(W/Hz) قبل مراعاة التداخل الذاتي للنظام الواحد، لكنها تساوي بعد هذه المراعاة: –200,44 dB(W/Hz).

و"الأنظمة الباقية" ممثلة في الحساب بشبكة SBAS واحدة للخدمة RNSS. (في واقع الممارسة، يشمل الحساب عادة عدة أنظمة وشبكات). ويُفتَرَض أن الضوضاء الخارجية حصيلة تجميع من جميع مصادر التداخل غير العاملة في إطار الخدمة RNSS، ويُخصص لها كثافة طيفية للقدرة بقيمة –206,5 dB(W/Hz). وعندئذ يتبيّن أن التداخل الإجمالي الناجم عن النظام المرجعي، والنظام الباقي، ومصادر التداخل الخارجية يساوي –199,37 dB/Hz (افتراضياً).

وعندئذ يُدخَل النظام B في حساب التداخل بصفة "النظام البديل"، وتُضمّ الإشارة 0 للنظام B إلى حساب قيمة التداخل بخصوص الإشارة 1 للنظام A. ويُفترَض أن عامل الكسب التجميعي للنظام B له نفس قيمة العامل المستعمَل بخصوص النظام A. (في واقع الممارسة، تختلف قيم الكسب التجميعي، بالنظر إلى اختلاف الكوكبة). يظهر من النتيجة النهائية المعروضة في الجدول 2 أن الإشارة 0 للنظام B، في هذا المثال الافتراضي، تزيد الكثافة الطيفية لقدرة ضوضاء الخلفية الإجمالية في المستقبِل حتى –199,07 dB(W/Hz).

2.5 تقدير القيَم الفعلية لنسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء وقيَم الانحطاط المرتبطة بها

في سبيل إيضاح كيف تُطبَق الطريقة في تحليل تغيّر القيمة الفعلية للنسبة C/N_0، بسبب نظام آخر للخدمة RNSS، يواصل هذا المقطع دراسة المثال الافتراضي المعروض في المقطع السابق، ويعرضها في الجدول 3. والقيم هنا كما في المقطع السابق مسوقة على سبيل الإيضاح وحسب، فهي خاضعة لمباحثات تنسيقية. ويسترعى الانتباه إلى أن قيمة النسبة C/N_0 هي 36,00 dB(Hz) للإشارة 1 للنظام A، قبل مراعاة التداخل الذاتي للنظام، لكنها تساوي 33,87 dB(Hz) بعد احتساب جميع حالات التداخل باستثناء الإشارة 0 للنظام B.

وعندئذ تؤخذ الإشارة 0 "للنظام البديل" B في حساب التداخل من أجل حساب النسبة الجديدة C/N_0 للإشارة 1 للنظام A. ويظهر من النتيجة النهائية المعروضة في الجدول 3 أن الإشارة 0 للنظام B، في هذا المثال الافتراضي، تخفض قيمة النسبة C/N_0 بخصوص الإشارة 1 للنظام A حتى 33,57 dB(Hz).

الجدول 3

مثال افتراضي على انخفاض قيمة النسبة C/N_0 بسبب التداخل بين أنظمة:
من نظام B إلى نظام A مؤتلف مع نظام تكميلي ساتلي (SBAS)

نسبة الكثافة الفعلية بين الموجة الحاملة والضوضاء، C/N_0 (dB-Hz)، للإشارة (الإشارة 1 للنظام A) بسبب الضوضاء الحرارية، N_0	
القدرة الأصغرية للإشارة 1 (dBW)	–158,50
خسارة معالجة الإشارة المرغوبة (dB)	2,50
الكسب الأصغري لهوائي المستقبِل (dBi)	–4,50
قدرة الإشارة المرغوبة C (dBW)	–165,50
كثافة الضوضاء الحرارية، N_0 (dB(W/Hz))	–201,50[1]
C/N_0 (dB(Hz))	36,00
القيمة الفعلية للنسبة C/N_0 (dB-Hz): $N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext}$، تداخل النظام التكميلي SBAS، التداخل من مصادر خارجة عن الخدمة RNSS	
$N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext}$ (dB(W/Hz))[2]	–199,37
$C/(N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext})$ (dB(Hz))	33,87
القيمة الفعلية للنسبة C/N_0 (dB-Hz) بين الأنظمة: $N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext} + I_{alt}$ التداخل بسبب الإشارة 0 للنظام B	
$N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext} + I_{alt}$ (dB(W/Hz))	–199,07
$C/(N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext} + I_{alt})$ (dB(Hz))	33,57

(1) هذه القيمة قيمة نمطية، فلا يجوز أن تكون ممثِّلة للمستقبِلات المنخفضة الضوضاء.

(2) في هذا المثال حسبت قيم I_{ref} وI_{rem} وI_{alt} باستخدام العامل G^{agg}، وهي بالتالي تمثل قيم الحد الأعلى.

بالإضافة إلى هذه الحسابات المنصبة على القيم الفعلية لنسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء، يمكن استعمال قياسات أخرى مبنية على القيمة الفعلية للنسبة C/N_0'. فهناك مثال على حساب أثر التداخل الذي تسببه على وجه التحديد الإشارة 0 للنظام B. يُطبَّق هذا المثال بإعطاء قيمة صفر للمعلمتين I_{rem} وI_{ext}، وهكذا يوضع في الاعتبار فقط التداخل الذاتي للنظام، التداخل I_{ref} الذي يسببه النظام المرجعي، من أجل حساب الانحطاط الذي تعطينا المعادلة (10) قيمته، ويُعبَّر عنه بالصيغة $\Delta(C/N_0')$. وتشبَّه قيمة الانحطاط هذه بعتبة انحطاط للنسبة C/N_0'. ويعرض الجدول 4 مثالاً على حساب ذلك.

$$\Delta\left(\frac{C}{N_0'}\right)=\frac{\left(\dfrac{C}{N_0+I_{ref}}\right)}{\left(\dfrac{C}{N_0+I_{ref}+I_{alt}}\right)}=1+\frac{I_{alt}}{N_0+I_{ref}} \tag{10}$$

الجدول 4

مثال افتراضي على أثر التداخل بين بعض الأنظمة: من النظام B إلى النظام A

الكثافة الطيفية للقدرة الفعلية لضوضاء النظام المرجعي:		
القدرة الأعظمية للإشارة 1 (dBW)	157,50–	
القدرة الأعظمية للإشارة 2 (dBW)	160,50–	
القدرة الأعظمية للإشارة 3 (dBW)	157,50–	
خسارة المعالجة للإشارة المسببة للتداخل (dB)	1,00	
عامل الكسب التجميعي، G^{agg} (dB)	12,00	
معامل الفصل الطيفي، β (dB/Hz):		
بين الإشارة 1 والإشارة 1[1]	61,80–	
بين الإشارة 2 والإشارة 1	70,00–	
بين الإشارة 3 والإشارة 1	67,90–	
كثافة الضوضاء الحرارية، N_0 (dBW/Hz)	201,50–[2]	204,00–[3]
I_{ref} (dBW/Hz) [4]	207,09–	
$N_0 + I_{ref}$ (dBW/Hz)	200,44–	202,27–
الكثافة الطيفية للقدرة الفعلية الكلية للضوضاء بين عدة أنظمة:		
القدرة الأعظمية للإشارة 0 (dBW)	154,00–	
عامل الكسب التجميعي للنظام B، G^{agg} (dB)	12,00	
معامل الفصل الطيفي، β (dB/Hz):		
بين الإشارة 0 والإشارة 1	67,80–	
خسارة المعالجة للإشارات المسببة للتداخل (dB)	1,00	
I_{alt} (dBW/Hz) [4]	210,80–	
انحطاط النسبة C/N_0' الذي تحدده المعادلة (10) (dB)	0,38	0,57

[1] هذه القيمة تستند إلى المعادلة (2)، وهي عبارة عن تقريب لا يجوز أن يكون ممثلاً لجميع المستقبِلات التي تستعمل شفرات PRN قصيرة.

[2] هذه القيمة قيمة نمطية، فلا يجوز أن تكون ممثِّلة للمستقبِلات المنخفضة الضوضاء.

[3] هذه القيمة قيمة نمطية للمستقبِلات المنخفضة الضوضاء.

[4] في هذا المثال حسبت قيم I_{ref} وI_{rem} وI_{alt} باستخدام العامل G^{agg}، وهي بالتالي تمثل قيم الحد الأعلى.

يمكن أن يكون الانحطاط الأعظمي المقبول للنسبة C/N_0' مرهوناً بمدى قابلية النظام البديل للتشغيل البيني مع النظام المرجعي. ففي حالة نظامين قابلين للتشغيل البيني، يمكن أن تكون عتبة انحطاط النسبة C/N_0' أعلى منها في حالة نظامين غير قابلين للتشغيل البيني. ويمكن تعديل الإسهام الضوضائي للنظام البديل غير القابل للتشغيل البيني، I_{alt}، مراعاةً لخواص ارتباط الشفرة المتبادل بين النظامين. وفي هذه الحالة يمكن الاستعاضة عن I_{alt} بالمعادلة التالية: $I'_{alt} = \alpha \cdot I_{alt}$، حيث $\alpha \geq 1$.

ويقوم مثال آخر على أن يُحسَب انحطاط النسبة C/N_0' انطلاقاً من التعبير المعطى في المعادلة (11) التالية:

$$\Delta\left(\frac{C}{N_0'}\right) = \frac{\dfrac{C}{N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext}}}{\dfrac{C}{N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext} + I_{alt}}} = 1 + \frac{I_{alt}}{N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext}} \quad (11)$$

إذا طبّقنا المعادلة (11) باستعمال المعلمات الموضوعة في الجدول 3، تأتي نتيجة الحساب أن انحطاط النسبة C/N_0' يساوي 0,3 dB.

6 خصائص ونمذجة طيف الشفرة القصيرة للخدمة RNSS

النموذج التحليلي المتقدم وصفه يقرِّب طيف الإشارات المستقبَلة كطيف تجميعي، أصبحت فيه البنى الدقيقة لأطياف الإشارات الإفرادية مستوعَبَة وسطياً في طيف مستمر بشكل أساسي. وهذه النمذجة "بطيف مستمِرّ" تصلح لإشارات RNSS ذات الشفرات PRN الطويلة[3]. وقد يكون لشفرات PRN أيضاً بنية دقيقة إضافية من قبيل الشفرات المرحلة أو التشكيل بمعدلات أعلى للبيانات توسع عملياً الخطوط الطيفية لشفرة PRN لإعطاء طيف مستمر تقريباً لإشارة معينة. وفي هذه الحالات تكون الإزاحة الدوبلرية بين مختلف الإشارات ذات أثر يمكن إهماله في تقدير التداخل الإجمالي.

إلا أن هذا النموذج لا يناسب تحليل الشفرات القصيرة في نظام للخدمة RNSS[4]، أو بين أنظمة الخدمة RNSS. وفي هذه الحالات يلزم نمذجة دينامية لاستيعاب الخصائص التفصيلية لتشكيل هذه الإشارات، من قبيل خصائص معدلات البيانات وشفرة PRN، وكذلك الإزاحة الدوبلرية للترددات والقدرة النسبية للإشارة المستقبلة.

1.6 مثال على طيف شفرة PRN القصيرة في الخدمة RNSS

تتميز أطياف شفرة PTN القصيرة بغلاف اسمي وبنية أولية من الخطوط المنفصلة. وهذه البنية المنفصلة هي عبارة عن تتابع من الخطوط الطيفية تتحدد مستوياتها بخصائص الشفرة المعينة بما في ذلك معدل النبض وطول الشفرة. وعند تشكيل شفرة بواسطة البيانات، تتوسع بشكل فعلي الخطوط الطيفية الأولية بواسطة طيف البيانات. ويبين الشكل 6 مثالاً على طيف إشارة ذات شفرة PRN قصيرة مع تشكيل للبيانات بمعدل منخفض

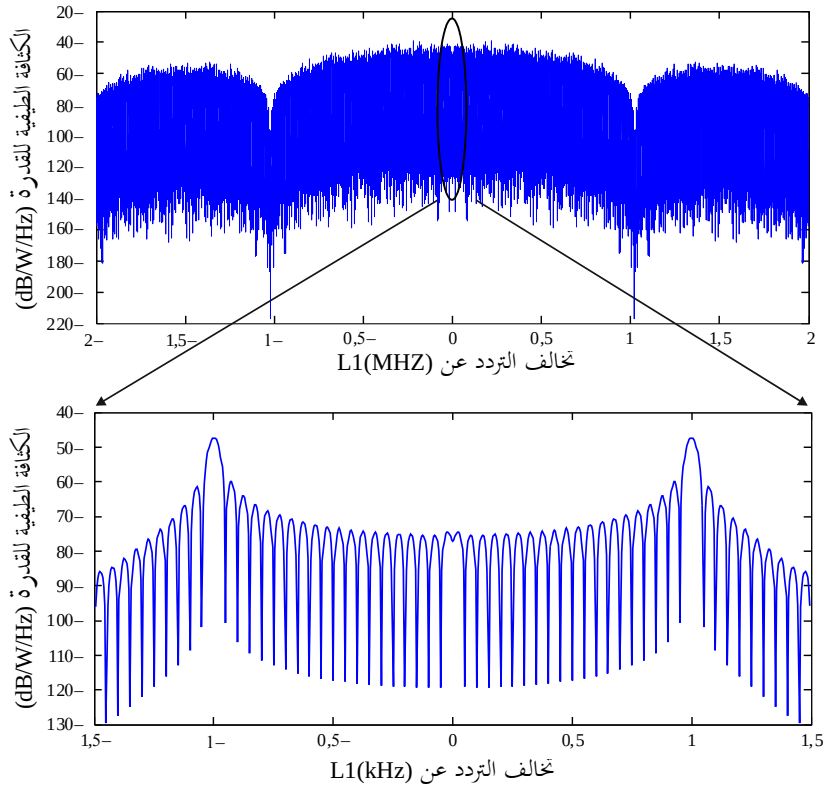
---

[3] تشمل الأمثلة على شفرات PRN الطويلة شفرات نظامي Galileo E1-B وGalileo E1-C (الجدول 3-1 في الملحق 3 بالتوصية ITU-R M.1787-2) وشفرات GPS L1C (الجدول 2-1 في الملحق 2 بالتوصية ITU-R M.1787-2)

[4] تشكل شفرة GPS L1 C/A أحد الأمثلة على شفرات PRN القصيرة (الجدول 2-1 في الملحق 2 بالتوصية ITU-R M.1787-2). وفيما يتعلق بشفرات PRN القصيرة، فإن معامل الفصل الطيفي الناجم (SSC) لا يتبع التقريب الذي تعطيه المعادلة (2) لأزمنة تكامل أكبر من 1 msec، وهي حالة مستقبلات شفرات PRN القصيرة.

الشكل 6

مثال على الكثافة الطيفية لقدرة شفرة PRN قصيرة (معايرة على قيمة إجمالية للقدرة تساوي 1 W)



يبين القسم الأعلى من الشكل 6 الجزء المركزي، الذي يبلغ عرضه 4 MHz، من الشفرة PRN النموذجية القصيرة المشكلة ببيانات بمعدل 50 bit/s (اعتبرت تقريباً عشوائية في هذا المثال). وقد تم توسيع الجزء الداخلي من الطيف، الذي يبلغ عرضه 3 kHz، لتوضيح آثار التوسيع التي يسببها تشكيل البيانات في الخطوط المنفصلة الأولية لشفرة PRN (الفصل بين الخطوط 1 kHz يساوي دور الشفرة/1). ويتسم غلاف هذا الطيف بالشكل التقريبي للدالة $\sin^2(\pi fTChip)/(\pi fTChip)^2$، حيث تبلغ القيمة الذروية –47,1 dBW/Hz والقيم الصفرية عند مضاعفات التردد 1,023 MHz (معدل النبض يساوي 1/TChip) من التردد المركزي.

ويسترعى الانتباه إلى أهمية التخالف الترددي للإزاحة الدوبلرية بالنسبة لأثر التداخل. وبالنسبة لهذا المثال على شفرة PRN القصيرة، يبلغ التأثير أدنى حد له عندما يكون التخالف الدوبلري النسبي بين الإشارة المسببة للتداخل والإشارة المرغوبة مضاعفاً فردياً للتردد 0,5 kHz. ويميل التأثير إلى حده الأقصى عندما يكون التخالف الدوبلري النسبي صفراً أو عدداً صحيحاً صغيراً مضاعفاً للتردد 1 kHz.

2.6 الجوانب العامة للنمذجة الدينامية المفصلة لشفرات PRN القصيرة في الخدمة RNSS

يُفترَض في مستقبِل المستعمِل أن يكون مستقبِلاً أرضياً، ثابت الموقع، يحدد عن طريق المحاكاة كأسوأ حالة للموقع بخصوص انحطاط النسبة (C/N_0'). وفي هذا النموذج، يلزم مراعاة الإزاحة الدوبلرية بين الإشارة المرغوبة والإشارات المسببة للتداخل. وتُحسَب قيم القدرات المستقبَلة، كما تُحسَب قيم الإزاحات الدوبلرية، حساباً دينامياً عن طريق موازنات وصلات مبنية على المعلمات المدارية لمختلف الأنظمة، ومخطط الكسب لكل من هوائي الساتل وهوائي المستعمِل، وعلى موقع مستقبِل المستعمِل.

ويمكن الاتفاق على عوامل أخرى إضافة إلى الإزاحة الدوبلرية لاستعمالها خلال التنسيق لتحديد مستوى التداخل الذاتي في التردد الراديوي للشفرات القصيرة.

7 الاستنتاج

بيَّنت طريقة التحليل الموصوفة أعلاه أنها مفيدة في دراسات الملاءمة بين أنظمة خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)، وأنها تكون من ثَمَّ مفيدة في أنشطة تنسيق الخدمة RNSS بين الأنظمة. وعلى الرغم من كون المبادئ بسيطة، لا بد من نموذج واقعي لجميع أنظمة الخدمة RNSS لتحصيل نتائج مفيدة. يضاف إلى ذلك أنه، ما دامت الخدمة RNSS أنظمتها غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض، قد يكون من الضروري التعويل على المحاكاة لتقرير إحصائيات التداخل بين الأنظمة.

الملحق 2

إعداد معلومات ومقترحات بشأن تقدير التداخل الخارجي بالنسبة إلى أنظمة خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) والتداخل بين هذه الأنظمة

يقدم هذا الملحق طريقة لتقرير كيف يمكن تفنيد موازنة تداخل الخدمة RNSS بين المصادر الخارجية (خارج إطار الخدمة RNSS) ومصادر الخدمة RNSS لأغراض التنسيق بين مشغِّلي هذه الخدمة. ويقدم بالإضافة إلى ذلك بعض الأفكار بشأن التنسيق بين أنظمة الخدمة RNSS.

1 مكوِّنات تداخل الخدمة RNSS

في الطريقة المتقدم عرضها في الملحق 1، عولجت قيمةٌ إجمالية ممثّلة للتداخل الخارجي (من مصادر خارج إطار الخدمة RNSS)، I_{ext}، معالجةَ ضوضاء بيضاء إضافية. أما تحديد هذه القيمة فهو موضع تنسيق. فيمكن من ثَمَّ أن تُحسَب باستعمال الطريقة المعروضة في هذا الملحق 2 من أجل تحديد مستوى مقبول لقدرة التداخل، لكل من قدرتي التداخل الخارجية والداخلية للخدمة RNSS. يشار إلى الطريقة التي تستعمل قيمة واحدة للتداخل الخارجي بتسمية "الطريقة الإجمالية". ويشار إلى الطريقة التي يأتي عرضها في هذا الملحق وتفنِّد موازنة التداخل بين المصادر بتسمية "الطريقة التقسيمية"، ويبحثها تفصيلياً المقطع الفرعي التالي.

2 "الطريقة التقسيمية" في تحديد تداخل الخدمة RNSS

تقوم هذه الطريقة على تقسيم التداخل من نظام واحد مسبب للتداخل في الخدمة RNSS (أو حتى من ساتل واحد مسبب للتداخل) إلى مستقبل في نظام آخر للخدمة RNSS مرغوب. تُسمّى هذه الطريقة إذاً "الطريقة التقسيمية".

ولباب هذه الطريقة هو تحديد حصة النظام الواحد (أو الساتل الواحد) للخدمة RNSS في المستوى الكلي (الإجمالي) للتداخل المقبول، ومقارنة هذه الحصة بالتداخل المحسوب لنظام (أو ساتل) الخدمة RNSS هذا. لننظر في نظام افتراضي للخدمة RNSS مقتدر للعمل بسوية تداخل مقبولة، I_a. ثم نقسّم هذا التداخل إلى حصص كما يلي:

$$I_a = \sigma_{RNSS} \cdot I_a + \sigma_{ext1} \cdot I_a + \sigma_{ext2} \cdot I_a$$

حيث:

σ_{RNSS}: حصة التداخل المقبول الناجم عن جميع أنظمة الخدمة RNSS

σ_{ext1}: حصة التداخل المقبول الناجم عن جميع الخدمات الأولية غير الخدمة RNSS

σ_{ext2}: حصة التداخل المقبول الناجم عن جميع المصادر الخارجية للتداخل والضوضاء

I_a: المستوى المقبول للكثافة الطيفية للقدرة المكافئة الناجمة عن التداخل من جميع الخدمات، (W/Hz)، طبقاً للمعادلة التالية:

$$\sigma_{RNSS} + \sigma_{ext1} + \sigma_{ext2} = 1$$

وإذا كانت σ_{SRNS} هي حصة التداخل المقبول الناجم عن جميع أنظمة الخدمة RNSS، فإن حصة التداخل المقبول العائدة إلى ساتل في نظام "مرجعي" للخدمة SRNS، وهي σ_{ref} ، تؤديها المعادلة التالية:

$$\sigma_{ref} = \sigma_{SRNS} / N$$

حيث:

σ_{ref}: حصة التداخل المقبول الناجمة عن ساتل واحد من سواتل الخدمة RNSS

σ_{RNSS}: حصة التداخل المقبول الناجم عن جميع أنظمة الخدمة RNSS

N: تقدير احترازي بخصوص كوكبات سواتل غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض، داخلة في الخدمة SRNS، تقدير لا يراعي مخطط كسب كل من هوائي المرسِل وهوائي المستقبِل، وتُضبَط قيمته على مؤدّى المعادلة التالية: $N = \max\left\{N^S_{max}, M^S_{ref} / 2\right\}$ حيث N^S_{max} تمثل العدد الأعظمي للسواتل المنظورة، و M^S_{ref} هي العدد الكلي لسواتل الكوكبة المرجعية.

يُسترعى الانتباه أيضاً إلى أن التداخل الكلي المقبول الآتي من خارج الخدمة RNSS هو: $I_{ext} = \sigma_{ext1} \cdot I_a + \sigma_{ext2} \cdot I_a$.

ويُطبَّق نهج مماثل على خدمات أخرى، إذ إن الخدمة الساتلية الثابتة تستعمل مثل هذه الخطة التقسيمية.

لكن هذه الطريقة تصعِّبها مشكلة أساسية وهي أنه، خلافاً لحال الطريقة المعتمدة على المستوى العتَبيّ للتداخل التجميعي، يلزم منذ البدء تحديد حصة التداخل المقبول الآتية من مختلف الخدمات والأنظمة. يلزم دراسة حصة مقبولة للتداخل الآتي من كل خدمة، وتحديد قيمة هذه الحصة مسبقاً.

يمكن اعتبار حصص التداخل التالية مثالاً على ذلك: $\sigma_{RNSS} = 0{,}89$ حصة للخدمة RNSS، و$\sigma_{ext1} = 0{,}1$ حصة للخدمات الأولية غير الخدمة RNSS، و$\sigma_{ext2} = 0{,}01$ حصة للتداخل الآتي من سائر المصادر التي خارج الخدمة RNSS.

الملحق 3

إرشادات بشأن التنسيق بين أنظمة خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)

يُسدي هذا الملحق بعض الإرشاد بشأن المسائل العامة التالية المتعلقة بمتطلبات التنسيق وطريقته، التي يجب النظر فيها على كل مشغِّل للخدمة RNSS يترتب عليه تنسيق النظام الذي يعتزم تشغيله مع سائر أنظمة الخدمة RNSS.

1 أية هي أنظمة الخدمة RNSS التي يجب مراعاتها في الحسابات؟

وفقاً لقواعد الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU)، أنظمة الخدمة RNSS التي يتوجب التنسيق معها على أي نظام جديد يراد إنشاؤه للخدمة RNSS هي الأنظمة التي قُدِّمت بطاقات تبليغ بشأنها إلى الاتحاد ITU تفيد عن وجود تراكب ترددات، وقُدِّمت بشأنها طلبات تنسيق (أو معلومات تبليغ بخصوص الأنظمة غير الثابتة بالنسبة إلى الأرض قبل 1 يناير 2005) استلمها مكتب الاتصالات الراديوية قبل طلب النظام المخطط لإقامته. فمن الوارد لزوم أن تراعى في الحسابات هذه الأنظمة جميعاً إذا كانت منشورة بالفعل.

وتحتوي الصيغ الأخيرة لتوصيات القطاع ITU-R معلومات عن بعض أنظمة الخدمة RNSS التي تم تبليغ القطاع ITU-R عنها. فبموجب التوصية **610 (WRC-03)** المعنونة "التنسيق وتسوية مسائل الملاءمة التقنية ثنائياً بخصوص شبكات وأنظمة خدمة الملاحة الراديوية الساتلية، المشتغلة ضمن نطاقات التردد: 164 1-300 1 MHz و559 1-610 1 MHz و010 5-030 5 MHz"، يمكن للإدارات أن تتبادل المعلومات عن الأحكام التنظيمية المتعلقة بنشر الأنظمة المخطط تشغيلها، أثناء عملية التنسيق. وقد توضح هذه المعلومات ما إذا كان نظام معيّن للخدمة RNSS، مطلوب التنسيق معه، تجب مراعاته في الحسابات. وعلى وجه أدق، تنص الفقرة 1 من المنطوق *تقرر* من القرار المشار إليه، على أن الإدارة التي تكون قدمت بطاقات تبليغ عن نظام أو شبكة للخدمة RNSS للعمل ضمن نطاقات التردد المذكورة يتوجّب عليها، حين تطلب منها الإدارة المجيبة، أن تُعلِم هذه الإدارة (وترسل نسخة إلى المكتب) ما إذا تم الوفاء بالمعايير الواردة قائمتها في ملحق القرار **610 (WRC-03)**.

والمعايير المشار إليها هي:

'1' تقديم المعلومات المناسبة من أجل نشرها مسبقاً؛

'2' بيِّنات صريحة على وجود اتفاق ملزم بشأن صنع أو توفير سواتل النظام، أو بيِّنات على تمويل مكفول للنظام؛

'3' بيِّنات صريحة على وجود اتفاق ملزم بشأن إطلاق السواتل.

2 حين يلزم أن تؤخذ الشبكات المبلَّغ عنها في الحسبان، أي ترتيب ينبغي اعتماده في مراعاتها (هل هو الترتيب الزمني، تبعاً لتاريخ طلب التنسيق، أم ترتيب مبني على معايير أخرى)؟

تقضي البنود 1 و2 و3 و4 من فقرة *يقرر* من القرار **610 (WRC-03)**، بأن تعالَج أولاً مسألة الملاءمة بين الأنظمة، بخصوص الأنظمة التي تفي بالمعايير المدرجة في ملحق القرار المذكور. ويجوز للإدارات التنسيق بين أكثر من نظامين بترتيب لا علاقة له بتواريخ بطاقات التبليغ عن الأنظمة، وفقاً لما تمليه الظروف. ويجوز أيضاً للإدارات أن تتوافق على تنسيق خاص بها لمعايير التداخل.

وفي الحالات التي تشمل فيها مسائل التنسيق الواردة في المقطع II من المادة **9** من لوائح الراديو (RR) أكثر من نظامين للخدمة RNSS، يكون من المفيد أن تعالج أثناء اجتماعات متعددة الأطراف، تضم جميع الأطراف المعنية، بعد معالجتها في اجتماعات ثنائية يضم كل منها اثنين من هذه الأطراف.

وبالفعل، لو افترضنا، على سبيل المثال، نيّة تشغيل الأنظمة A وB وC في نطاق ترددات معيّن داخل توزيع مخصص للخدمة RNSS، وأنه يترتب على النظام B تحقيق التنسيق مع A، وعلى النظام C تحقيق التنسيق مع كلا النظامين A وB، يلزم في أي اتفاق بين B وC مراعاة أي اتفاق بين A وB وأي اتفاق بين A وC.

3 متى يجب الشروع في التنسيق، وبأية خصائص يجب العمل؟

الخصائص الواجب استعمالها كأساس يُنطلق منه بخصوص نظام معيّن هي الخصائص المصاحبة لبطاقات التبليغ المقدَّمة إلى الاتحاد ITU. إلا أن حسابات التداخل بين الأنظمة ينبغي أن تُبنى على خصائص حقيقية للأنظمة، يُجرى تبادلها بين الإدارات أثناء عملية التنسيق. فالخصائص المطلوبة من أجل الحسابات تكون عادة أكثر تفصيلاً من الخصائص الأساسية التي تحتويها بطاقات التبليغ المناظرة المقدمة إلى الاتحاد ITU، ويجب فيها أن تكون ملائمة للغلاف المحدد بواسطة بطاقات التبليغ هذه.

4 كيف يمكن تقدير قيمة المعلمة Iext المذكورة في الملحقَين 1 و2؟

في بعض الحالات، روعي التداخل I_{ext} الذي سببه خدمات أخرى، في توصية متعلقة بالأداء. وبعبارة أخرى، عند تصميم نظام خدمة ملاحة راديوية ساتلية (RNSS)، يلزم أن يُؤخذ في الحسبان بعض مقادير التداخل الناجمة عن خدمات أخرى أولية مماثلة مشتغلة في نفس النطاق. ويختلف مقدار مراعاة هذا التداخل المسبب عن هذه الخدمات الأخرى من نطاق إلى نطاق. ففي بعض الظروف، تُفرَض حدود تنظيمية على خدمات أخرى عاملة في نفس النطاق بناء على دراسات. يمكن، على سبيل المثال، أن تتخذ

هذه الحدود شكل حدود للقدرة المشَعَّة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) تفرض على الخدمات الأرضية. ولكن، بالنظر إلى كون مطراف مستعمِل الخدمة RNSS مطرافاً متنقلاً، ينبغي أن تراعى الزيادة التجميعية في التداخل ضمن النطاق الناجمة عن جميع المصادر.

حسب الطريقتين المعروضتين في الملحقين 1 و2، التداخل الذي سببه خدمات غير الخدمة RNSS مُنمذَج كمصدر ضوضاء، متَّسِم بأن قيمة الكثافة الطيفية للقدرة الضوضائية المكافئة الناجمة عنه ثابتة، I_{ext}. وهذه المعلمة مقصود بها تمثيل جميع المصادر الراديوية التي خارج إطار الخدمة RNSS، فهي تشمل التداخل الذي تسببه خدمات راديوية أخرى مشتغلة داخل النطاق وخارجه. وهذه الطريقة مناسبة، كما تقدّم عرضه بإيجاز في الملحق 1، لنمذجة مصادر خارجية مستمرّة التداخل عريضة النطاق، فيلزم تحديد طريقتين إضافيتين من أجل التداخل الضيِّق النطاق والتداخل النبضي.

وفي سبيل تحديد قيمة I_{ext}، لا بد من إقامة موازنة لجميع توزيعات التردد الواحد والتوزيعات المجاورة التي يجوز في إطارها تشغيل مصدر يسبب مقداراً كبيراً من التداخل، والحصول على معلومات تقنية عن الأنظمة التي تُشغَّل في إطار هذه التوزيعات من أجل تقدير المستوى النمطي لكل من هذه المصادر. يمكن الاطّلاع على إرشادات بهذا الشأن في المعايير التي يضعها القطاع ITU-R، مثلاً، أو في ما يصدر عنه من توصيات وتقارير. ومستوى التداخل I_{ext} يمكن أن يكون تابعاً للموقع موضع النظر الذي يوجد فيه مستعمل النظام المرجعي، على اعتبار أن بعض الأنظمة لا يُشغَّل إلا في بلدان أو مناطق معيّنة.

_____