التوصيـــة ITU-R M.1831

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

(المسألتان ITU-R 217/8 وITU-R 239/8)

(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 (WRC-03) 610 ينطبق على جميع الأنظمة والشبكات في إطار الخدمة RNSS ويحتوي 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.

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

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

د) وأنه يوجد عدة أنظمة وشبكات شغّالة ومخطط لتشغيلها 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) وأنه يلزم وضع طرائق جديدة تُستعمَل في مباحثات التنسيق، وتوفِّر أساساً مشتركاً لتقدير التداخل بين الأنظمة والشبكات في إطار الخدمة RNSS؛

و) وأن الخصائص التقنية والتشغيلية، ومعايير الحماية، لمستقبِلات 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 و010 5-030 5 MHz، يمكن الوقوف عليها في السلسلة M من توصيات القطاع ITU-R أو تكون قيد الدراسة في هذا القطاع؛

ز) وأن 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 5-030 5 MHz، يمكن الوقوف عليها في السلسلة M من توصيات القطاع ITU-R أو تكون قيد الدراسة في هذا القطاع؛

ح) وأن التوصية ITU-R M.1318 تعطي 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،

* هذه التوصية لا تعالج معايير تطبيقية، إذ إن هذه المعايير يمكن معالجتها أثناء عمليات التنسيق الثنائي، حسبما يناسب.

وإذ تعترف

أ) بأن نطاقات التردد: 164 1-215 1 MHz و215 1-300 1 MHz و559 1-610 1 MHz و010 5-030 5 MHz موزَّعة على أساس أولي لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) (فضاء–أرض وفضاء–فضاء) في المناطق الثلاث جميعها؛

ب) وأن نطاقات التردد: 164 1-215 1 MHz و215 1-300 1 MHz و559 1-610 1 MHz و010 5-030 5 MHz موزَّعة أيضاً على أساس أولي لخدمات أخرى في المناطق الثلاث جميعها؛

ج) وأن 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"؛

د) وأنه، بموجب أحكام الرقم 328B.5 من لوائح الراديو (RR)، تخضع الأنظمة والشبكات التي تعتزم العمل، في إطار الخدمة RNSS، بنطاقات 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 و12A.9 و13.9 من لوائح الراديو (RR)؛ وأنه يجري حالياً التخطيط لدراسات تهدف إلى وضع طرائق ومعايير إضافية لتسهيل عمليات التنسيق المذكور؛

هـ) وأن 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 تلاحظ

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

توصي بما يلي

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

2 أن 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)

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 لفظة "نظام" بديلاً عن "نظام أو شبكة"، في كل ما بقي من هذه الوثيقة). تنطبق الطريقة 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 الشغّالة 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، C/N_0'، لقياس أثر التداخل الذي تسببه مصادر متنوِّعة في الأداء التشغيلي للمستقبِلات المقصودة. والنسبة C/N_0' تابعة للمستقبِل والهوائي والضوضاء الخارجية. ومع ذلك فهي تُستعمَل لتقدير التداخل البيني لأنظمة 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 المستلَمَة من الساتل الذي في الكوكبة المرجعية، بما في ذلك كل خسائر معالجية ذات صلة[2]

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

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

I_{ref}: الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء البيضاء (W/Hz)، القدرة المكافئة بعد عملية الترابط والناجمة عن تجميع التداخل من جميع الإشارات المستقبَلة، باستثناء الإشارة المرغوبة، والمرسلة من كل ساتل في الكوكبة المرجعية، بما في ذلك كل خسائر معالجية ذات صلة

I_{int}: الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء البيضاء (W/Hz)، القدرة المكافئة بعد عملية الترابط والناجمة عن تجميع التداخل من جميع الإشارات المرسلة في نطاق التردد موضع النظر، من جميع سواتل الخدمة RNSS باستثناء السواتل التي في الكوكبة المرجعية، بما في ذلك كل خسائر معالجية ذات صلة

[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 معالجية ذات صلة* تشتمل على ما يلي: كسب هوائي المرسِل وهوائي المستقبِل؛ خسارة تنفيذ المستقبِل مثل خسارات الترشيح والتكمية؛ وخسارات عدم المواءمة بين الإشارة المستقبَلة والشفرة المرجعية.

I_{ext}: الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء البيضاء (W/Hz)، القدرة المكافئة بعد عملية الترابط والناجمة عن تجميع التداخل من جميع الإشارات الراديوية غير إشارات الخدمة RNSS، بما في ذلك كل خسائر معالجية ذات صلة

ν: عامل ضوضاء حرارية فعلي، دون أبعاد، هو مؤدّى المعادلة 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) هو مؤدّى المعادلة التالية:

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

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

S: الكثافة الطيفية للقدرة المكافئة المثالية، بتردد f (Hz) للإشارة المرغوبة، غير المرشَّحة وقبل عملية الترابط، تردد مقيَّس مضبوط الوحدة، عرض نطاقه غير متناهٍ، ويُدخَل في عمليات حسبانه افتراض شفرات تمديد عشوائية

γ: متغيِّر وهمي.

في غياب ضوضاء خارجية، تؤول السويّة الفعلية للضوضاء الحرارية في المستقبل، بعد الترابط، إلى مؤدّى المعادلة $N_0' = \nu N_0$. وإضافة إلى ذلك، إذا كانت H تمثِّل مرشاحَ تمريرِ نطاقٍ مثالياً (لا دالّةَ مرشاح مدخل المستقبِل لنقل الاتساع التفصيلي)، فحينئذ تؤول ν إلى مؤدّى المعادلة المبسَّطة التالية:

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

يُسترعى الانتباه إلى أن النسبة C/N_0' خُفِضت إلى قيمة أصغرية بافتراض $\nu = 1$.

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 الضوضائية المكافئة (W/Hz) بعد عملية الترابط والناجمة عن تجميع التداخل من جميع الإشارات المرسلة في نطاق التردد موضع النظر، من جميع سواتل كوكبة "بديلة" معيّنة

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

وفي سبيل حساب الكثافات الطيفية للقدرة الضوضائية المكافئة نحدد معامل الفصل الطيفي، β (بوحدات 1/Hz)، بين الإشارة النونية الرقم (n-th) من الكوكبة الميمية الرقم (m-th) والإشارة المرغوبة x، نحدده بمؤدّى المعادلة التالية:

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

حيث:

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

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

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

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

$\overline{S}_{m,n}(f)$: كثافة طيفية لقدرة ثنائية الجانب (1/Hz)، مقيَّسة (مضبوطة الوحدة على عرض نطاق الإرسال)، للإشارة النونية الرقم (n-th) المسببة للتداخل غير المرشَّحة، الصادرة عن الكوكبة الميمية الرقم (m-th)، طبقاً للمعادلة التالية:

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

$S_{m,n}(f)$: كثافة طيفية لقدرة ثنائية الجانب (W/Hz) للإشارة المسببة للتداخل، بتردد f (Hz).

تستند المعادلة (2) إلى فرضية ضمنية مفادها أن الشفرة التي تمثِّلها S يمكن تقريبها كطيف مستمر في الطيف التجميعي للتداخل. وقد لا تصدق هذه الفرضية على الشفرات القصيرة إذ يمكن في صددها أن يكون الارتباط المتبادل قوياً بين خطوط الطيف في البنية الدقيقة لطيف الشفرة. ففي هذه الحالة، بدلاً من النموذج التحليلي الموصوف هنا، يلزم التعويل على نموذج محاكاة مبني على موازنات دينامية للوصلة لمستقبِل معيّن، بالنظر إلى خاصة الطيف المضبوطة للإشارات (بما فيها خطوط الطيف). ويأتي مزيد من الشرح في المقطع 6.

فلْنفترِض:

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

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

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

N_{alt}: عدد الإشارات التي يرسلها ساتل بديل (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 ولا في الكوكبة البديلة

N_{rem}: عدد الإشارات التي يرسلها ساتل غير موجود في الكوكبة المرجعية ولا في الكوكبة البديلة

$P_{m,n}^{ref}$: قدرة التداخل الأعظمية (W) للإشارة النونية الرقم (n-th) على الساتل الميمي الرقم (m-th) في الكوكبة المرجعية

$N_{m,n}^{ref}$: (بدون أبعاد) خسارة معالجة للإشارة النونية الرقم (n-th) على الساتل الميمي الرقم (m-th) في الكوكبة المرجعية

$P_{m,n}^{alt}$: قدرة تسبيب التداخل الأعظمية (W) للإشارة النونية الرقم (n-th) على الساتل الميمي الرقم (m-th) في الكوكبة البديلة

$L_{m,n}^{alt}$:: (بدون أبعاد) خسارة معالجة للإشارة النونية الرقم (n-th) على الساتل الميمي الرقم (m-th) في الكوكبة البديلة

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

$L_{m,n}^{rem}$: (بدون أبعاد) خسارة معالجة للإشارة النونية الرقم (n-th) على الساتل الميمي الرقم (m-th) في باقي كوكبات سواتل الخدمة RNSS.

فنستطيع، 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:

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

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

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

فيمكن، باستعمال المعادلات (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'، 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. ويأتي في المقطع 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.

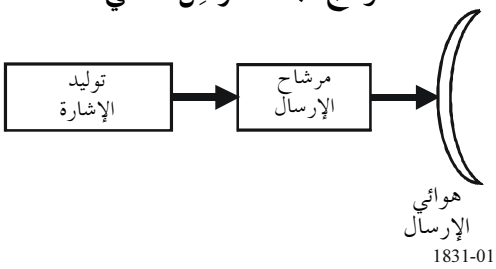
وتوفّر المقاطع الفرعية التالية مزيداً من الشروح عن كيفية الحصول على المعطيات المُدخَلة في هذه الحسابات.

1.3 نماذج الكوكبات والمرسِلات الساتلية

في تحديد سويات 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.

الشـــكل 1

نموذج مبسَّط لمرسِل ساتليّ



1.1.3 سويات الإشارة المستقبَلة في أسوأ حالة

في حساب أثر التداخل في أسوأ حالة، تؤخذ القيمة الأصغرية 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)

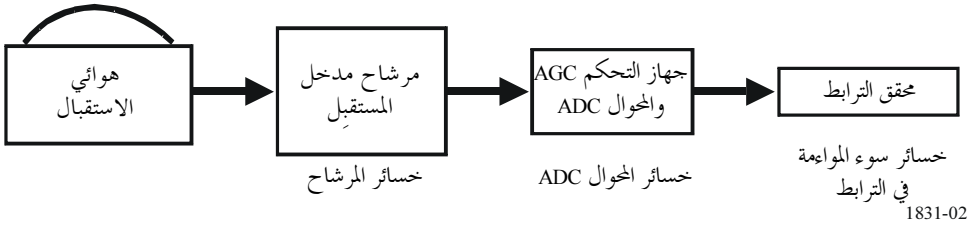
تُحسَب قيَم المعامل β بناء على افتراض واحد بخصوص كلا عرضَيْ نطاقَي الإرسال والاستقبال. وبالإضافة إلى ذلك يمكن أن تكون قيَمُه المحسوبة باستعمال المعادلة (2) أخفض من القيم المعهودة في التجربة. وهذا يحصل، على سبيل المثال، في صدد الشفرات القديمة شبه العشوائية المتصفة بدور شفرة قصير. وسببه هو أن الشفرات الأقصر دوراً تكون بنية خطوطها الطيفية أكثر تقريبية، فلا يمكن تمثيلها تمثيلاً دقيقاً بدالّة مستمرة للكثافة الطيفية للقدرة، الدالّة المستعملة عادة في المعادلة (2).

2.3 نموذج مستقبِل المستعمِل

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

الشـــكل 2

نموذج مبسَّط لمستقبِل المستعمِل



3.3 نموذج التداخل والضوضاء

يُستعمَل للتعبير عن معلمات إشارة الملاحة مصطلحات مثل: معدل المعطيات، ومعدل قِطَع شفرة التمديد 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، تُحسَب السويّة الأعظمية للتداخل التجميعي لهذا النمط، وتقارَن مع قدرة التداخل الأعظمية لإشارة واحدة من هذا النمط مسببة للتداخل ومرسَلة من كل ساتل، فينتج من هذه المقارنة عامل كسب تجميعي (G^{agg}, *aggregate gain factor*). 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 بصدد جميع الإشارات الأخرى التي من نفس النمط، كما يفيد عن تغير كسب الهوائي تجاه جميع السواتل التي ترسل إشارات من هذا النمط.

مثلاً، يُبسَّط حساب قيمة تداخل الكوكبة البديلة، I_{alt}، في المعادلة (4)، إلى مؤدّى المعادلة التالية:

$$I_{alt} = \sum_{m=1}^{Malt} \left[G_m^{agg} \sum_{n=1}^{K_{alt}} \frac{\beta_{m,n}^{alt} P_{m,n}^{alt}}{L_{m,n}^{alt}} \right] \tag{6}$$

حيث الجمع الخارجي يجرى عبر عدد كوكبات سواتل الخدمة RNSS، M'_{alt}، والجمع الداخلي يُجرى عبر عدد الإشارات المتميِّزة في الكوكبة البديلة، K_{alt}. وفي الممارسة، يمكن حساب قيمة عامل الكسب التجميعي (G^{agg}) بخصوص كوكبة معيّنة وإشارة واحدة، كما هو مبيَّن في المقطع 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، قيمة كثافة طيفية لقدرة ضوضاء، 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:

$$I_{i,k}(t) = \sum_{m=0}^{M_i^S(t)} \left[G_{i,m}^T(t) G_{i,m}^R(t) \alpha_{i,m} \sum_{n=1}^{N_m} \frac{\beta_{m,n}^k P_{m,n}}{L_{k,n}} \right] - G_{0,k}^T(t) G_{0,k}^R(t) \alpha_{k,0}(t) \cdot \frac{\beta_{0,k}^k P_{0,k}}{L_{k,k}} \tag{7}$$

حيث:

i: دليل المستقبل

k: دليل نمط الإشارة المرغوبة

t: الوقت الذي بخصوصه يجري حساب قدرة التداخل التجميعية

$M_i^S(t)$: عدد السواتل المنظورة في موقع المستقبِل اليائي الرقم (i-th)، في الوقت t

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

$G^T_{i,m}$: (بدون أبعاد) كسب هوائي الإرسال (بالنسبة إلى الكسب المتناحي) بين الساتل الميمي الرقم (m-th) وموقع المستقبِل اليائي الرقم (i-th)

$G^R_{i,m}$: (بدون أبعاد) كسب هوائي الاستقبال (بالنسبة إلى الكسب المتناحي) بين موقع المستقبِل اليائي الرقم (i-th) والساتل الميمي الرقم (m-th)

$\alpha_{i,m}$: (بدون أبعاد) خسارة المسير من الساتل الميمي الرقم (m-th) إلى موقع المستقبِل اليائي الرقم (i-th)

N_m: العدد الكلي لأنماط الإشارات على الساتل الميمي الرقم (m-th)

$\beta^k_{m,n}$: معامل الفصل الطيفي (1/Hz) بين نمط الإشارة الكافية الرقم (k-th) ونمط الإشارة النونية الرقم (n-th) للساتل الميمي الرقم (m-th)

$P_{m,n}$: قدرة إرسال (W) الإشارة النونية الرقم (n-th) على الساتل الميمي الرقم (m-th)

$L_{k,n}$: (بدون أبعاد) خسارة المعالجة لنمط الإشارة النونية الرقم (n-th) (حين يكون نمط الإشارة الكافية الرقم (k-th) هو المرغوب).

في المعادلة (7) 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 (7)، 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 برامجيات 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 $I_{i,k}(t)$. ويُسمّى هذا العامل بعامل الكسب التجميعي(G^{agg}, aggregate gain factor)، الذي يمكن الحصول عليه من خلال أخذ قيد أعلى في المعادلة (7) يطابق سيناريو أسوأ حالة. صحيح أن هذه الوسيلة تؤدي في أكثر الحالات إلى قيمة مَزيدة للتداخل، لكنها تعطي الثقة أنه لن يحصل تجاوز سوية التداخل العتبية المحسوبة.

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 اليائي (i-th) للمستقبِل، كما يلي:

$$P^R_i(t) = \sum_{m=0}^{M^S_i(t)} G^T_{i,m}(t) G^R_{i,m}(t) \alpha_{i,m}(t) P_m \tag{8}$$

يُسترعى الانتباه إلى أنه جرى في المعادلة (8)، توخياً للإيجاز، إسقاط الدليل k المحيل إلى نمط الإشارة المرغوبة، وأن خسارات المعالجة، L_m، أُخِذت في الحسبان في موضع آخر (انظر المعادلة (10)). وإذا كانت الإشارة المرغوبة والإشارة المسببة للتداخل من نفس النمط، يلزم إدخال تعديل طفيف على المعادلة (8) وهو طرح قدرة الإشارة المرغوبة من المعادلة (8).

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

$$G^{agg} = \frac{\max\limits_{all\ i}\left[\max\limits_{all\ i}\left(P_i^r(t)\right)\right]}{P_{max}^R} \quad (9)$$

وهنا، يمثّل الحد P_{max}^R القدرة (W) الأعظمية للإشارة المسببة للتداخل التي نمطها قيد النظر، الصادرة عن أي ساتل معيّن، مَقيْسة في خرج الهوائي المرجعي قبل عمل مرشاح المستقبِل (RF)، وفي جميع مواقع الاستقبال الموضوع لها دليل بواسطة الكسب G^R لهوائيات الاستقبال المرجعية المصاحبة لهذه المواقع. يُسترعى الانتباه إلى أن الهوائي المستقبِل المرجعي (لنظام معيّن) يمكن أن يكون هوائياً متباين المناحي 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 (9) بخصوص جميع أنماط الإشارات المسببة للتداخل.

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

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

$$I_0 = \sum_{n=1}^{N} \frac{G_n^{agg}\,\beta_n P_{max,n}^R}{L_n} \quad (10)$$

حيث β_n هو معامل الفصل الطيفي بين الإشارة المرغوبة ونمط الإشارة النونية الرقم (n-th)، وL_n هو خسارة المعالجة بين الإشارة المرغوبة ونمط الإشارة النونية الرقم (n-th). ويسترعى الانتباه أيضاً إلى أن عوامل خسارة المسير، $\alpha_{i,m}$، مستوعَبَة في عوامل الكسب التجميعي G^{agg}، وأن القدرة الأعظمية للإشارة المستقبَلة، $P_{max,n}^R$، 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 سوية القدرة المستقبَلة كدالّة على 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 مستقبَلة قيمتها −153 dBW، تكون قيمة الكسب التجميعي، مأخوذاً من جميع المواقع، هي مؤدّى المعادلة:
dB 11,4 = (153–) – 141,6–

الجـــدول 1

المعلمات المدارية المعتَمَدة في المثال

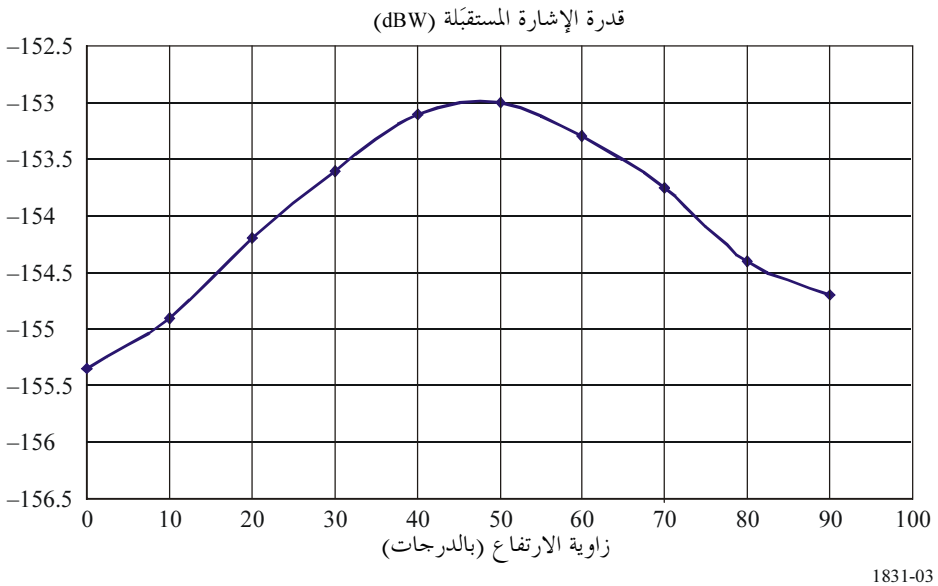
معرِّف هوية الساتل	نصف قطر المدار (بالكيلومتر)	انحراف المركز	الميل (بالدرجات)	الطالع المستقيم (بالدرجات)	زاوية الحضيض (بالدرجات)	الشذوذ المتوسط (بالدرجات)
1	26559,8	0	55	58,21285	0	6,33
2	26559,8	0	55	58,21285	0	134,62
3	26559,8	0	55	58,21285	0	234,13
4	26559,8	0	55	58,21285	0	269,42
5	26559,8	0	55	118,21285	0	30,39
6	26559,8	0	55	118,21285	0	61,53
7	26559,8	0	55	118,21285	0	152,22

الجـــدول 1 (تتمة)

معرِّف هوية الساتل	نصف قطر المدار (بالكيلومتر)	انحراف المركز	الميل (بالدرجات)	الطالع المستقيم (بالدرجات)	زاوية الحضيض (بالدرجات)	الشذوذ المتوسط (بالدرجات)
8	26559,8	0	55	118,21285	0	176,92
9	26559,8	0	55	118,21285	0	289,68
10	26559,8	0	55	178,21285	0	90,83
11	26559,8	0	55	178,21285	0	197,11
12	26559,8	0	55	178,21285	0	227,99
13	26559,8	0	55	178,21285	0	322,09
14	26559,8	0	55	238,21285	0	0,00
15	26559,8	0	55	238,21285	0	28,67
16	26559,8	0	55	238,21285	0	131,04
17	26559,8	0	55	238,21285	0	228,26
18	26559,8	0	55	238,21285	0	255,7
19	26559,8	0	55	298,21285	0	56,33
20	26559,8	0	55	298,21285	0	165,07
21	26559,8	0	55	298,21285	0	267,07
22	26559,8	0	55	298,21285	0	293,95
23	26559,8	0	55	358,21285	0	68,43
24	26559,8	0	55	358,21285	0	99,32
25	26559,8	0	55	358,21285	0	201,63
26	26559,8	0	55	358,21285	0	320,60
27	26559,8	0	55	358,21285	0	349,16

الشـــكل 3

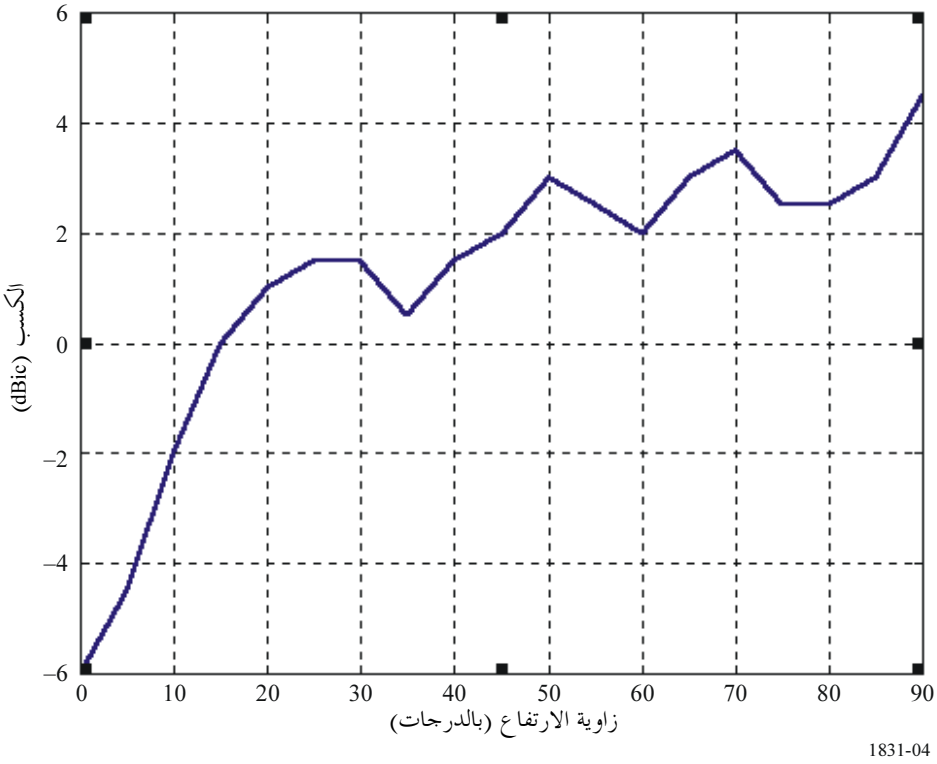
مثال على قدرة الإشارة المستقبَلَة في نظام أرضي كدالة على زاوية الارتفاع



1831-03

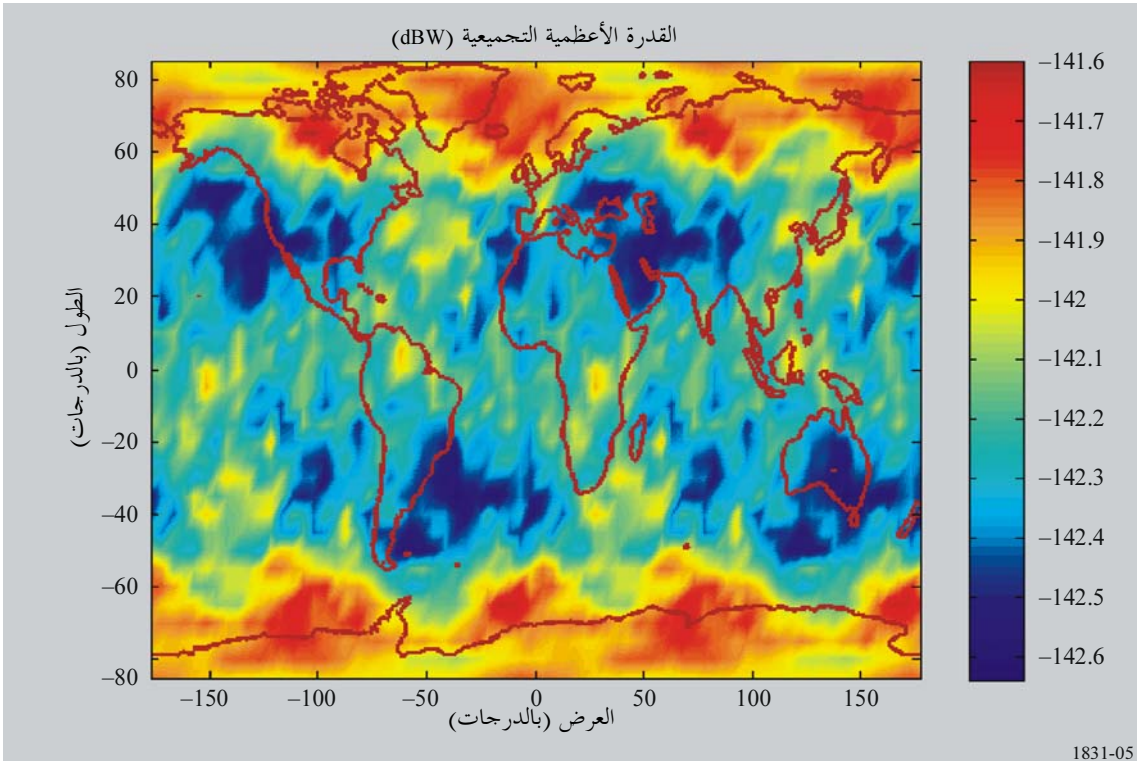
الشـــكل 4

مثال على كسب هوائي الاستقبال كدالة على زاوية الارتفاع



الشـــكل 5

مثال على قدرة أعظمية مَقيسة 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 جيء بها لغرض الإيضاح فقط، فهي خاضعة لمباحثات تنسيقية.

الجـــدول 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	61,80–
بين الإشارة 2 والإشارة 1	70,00–
بين الإشارة 3 والإشارة 1	67,90–
كثافة الضوضاء الحرارية، N_0، (dB(W/Hz))	[1]201,50–
I_{ref} (dB(W/Hz))	207,09–
$N_0 + I_{ref}$ (dB(W/Hz))	200,44–
الكثافة الطيفية للقدرة الفعلية للضوضاء المشتركة بين عدة أنظمة: $I_{ref} + N_0$ + تداخل الخدمة RNSS عدا النظامين A وB، I_{rem}، 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))	215,60–
$N_0 + I_{ref} + I_{rem}$ (dB(W/Hz))	200,31–

الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء الفعلية الكلية للنظام: I_{ext}، RNSS التداخل الخارجي غير تداخل الخدمة + 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))	210,80–
$N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext} + I_{alt}$ (dB(W/Hz))	199,07–

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

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 الأخر 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 B، وهو نسبي إلى قدرة التداخل المستقبَلة التي تفوق، في 99,99% من جميع الحالات، قدرة التداخل الأعظمية للإشارة الصادرة عن ساتل واحد للنظام البديل. (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، قبل مراعاة التداخل الذاتي للنظام، لكنها تساوي 33,87 dB-Hz بعد احتساب جميع حالات التداخل باستثناء الإشارة 0.

وعندئذ يؤخذ النظام B في حساب التداخل بوصفه "النظام البديل"، وتُضمّ الإشارة 0 للنظام B إلى حساب قيمة التداخل بخصوص الإشارة 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.

الجـــدول 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))	[1]201,50–
C/N_0 (dB-Hz)	36,00
القيمة الفعلية للنسبة C/N_0 (dB-Hz): $N_0 + I_{ref} + I_{rem}$، تداخل النظام التكميلي SBAS + I_{ext}، التداخل من مصادر خارجة عن الخدمة RNSS	
$N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext}$ (dB(W/Hz))	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 ممثلة للمستقبِلات المنخفضة الضوضاء.

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 (11) 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.

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

الجـــدول 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		–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 (1)	–204,00 (2)
I_{ref} (dBW/Hz)		–207,09
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)		–210,80
كثافة الضوضاء الحرارية، N_0 (dBW/Hz)	–201,50 (1)	–204,00 (2)
انحطاط النسبة C/N_0'' الذي تحدده المعادلة (11) (dB)	0,38	0,57

(1) هذه القيمة قيمة نمطية، فلا يجوز أن تكون ممثّلة للمستقبلات المنخفضة الضوضاء.

(2) هذه القيمة قيمة نمطية للمستقبلات المنخفضة الضوضاء.

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 (12) التالية:

$$\Delta\left(\frac{C}{N_0'}\right) = \frac{\dfrac{C}{N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext}}}{\dfrac{C}{N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext} + I_{alt}}} = 1 + \frac{I_{alt}}{N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext}} \quad (12)$$

إذا طبّقنا المعادلة (12) باستعمال المعلمات الموضوعة في الجدول 3، تأتي نتيجة الحساب أن انحطاط النسبة C/N_0' يساوي dB 0,3.

6 نمذجة الإشارة بطيف خطوط

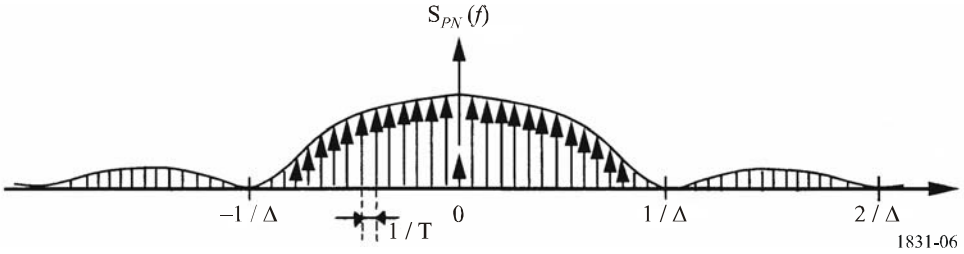
النموذج التحليلي المتقدم وصفه يقرِّب طيف الإشارات المستقبَلة كطيف تجميعي، أصبحت فيه البنى الدقيقة لأطياف الإشارات الإفرادية مستوعَبَة وسطياً في طيف مملَّس. وهذه النمذجة "بطيف مستمِرّ" تصلح بخصوص الإشارات المطابقة لشفرات طويلة التمديد، وتفترض أن الإزاحة الدوبلرية بين مختلف الإشارات ذات أثر يمكن إهماله في تقدير التداخل الإجمالي.

إلا أن هذه النمذجة غير مناسبة للإشارات القصيرة الشفرة، إشارات تستلزم نمذجة مبنية على "طيف حقيقي". وهذه النمذجة أكثر واقعية، فهي تراعي الخواص الحقيقية للإشارات، مثل معدَّل المعطيات، وخصائص شفرة التمديد (طول الشفرة، وحضور قنوات "دليلية" و/أو قنوات "معطياتية")، من خلال تحويل الإشارة المشكَّلَة تحويلاً زمنياً أو ترددياً.

تتميّز الأطياف الحقيقية للإشارات التي لها شفرات تمديد دورية بغلاف وبنية دقيقة. والبنية الدقيقة هي تتابع خطوط طيفية، ذات سويّات مختلفة. وفي حالة وجود معطيات، تُملَّس الخطوط الطيفية للبنية الدقيقة. والخطوط الطيفية تابعة لمعدل القِطَع، وطول الشفرة، وحضور شفرة دليلية، وتابعة أيضاً لبنية الشفرة، كما هو مبيَّن في الشكل 6.

الشـــكل 6

تمثيل الإشارة بشكل طيف خطوط



حيث:

$1/\Delta = R_c$ (معدل قِطَع الشفرة)

$T = N_c T_c$ (حيث N_c هي طول الشفرة، وT_c دور القِطَع).

ويُفترَض في مستقبل المستعمِل أن يكون مستقبلاً 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 لمختلِف الأنظمة، ومخطط الكسب لكل من هوائي الساتل وهوائي المستعمِل، وعلى موقع مستقبِل المستعمِل.

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 سويّة مقبولة 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 السوية الكلية (الإجمالية) 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: السوية المقبولة 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: $N = \max\{N^S_{max}, M^S_{ref}/2\}$ 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: $I_{ext} = \sigma_{ext1} * I_a + \sigma_{ext2} * I_a$

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 السوية العتَبيّة 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 الإتحاد 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 (WRC-03) 610 المعنونة "*التنسيق وتسوية مسائل الملاءمة التقنية ثنائيًا 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:

i) تقديم المعلومات المناسبة من أجل نشرها مسبقاً؛

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

iii) 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 المنطوق *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 I_{ext} 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 أو خارجه. 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 السوية النمطية 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. وسويّة التداخل I_{ext} يمكن أن تكون تابعة للموقع موضع النظر الذي يوجد فيه مستعمل النظام المرجعي، على اعتبار أن بعض الأنظمة لا يُشغَّل إلا في بلدان أو مناطق معيّنة.

_____