

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R RA.1513-2
(2015/03)

مستويات فقدان البيانات في عمليات الرصد
للفلك الراديوي ومعايير النسبة المئوية الزمنية
الناجمة عن الترددي الناتج عن التداخل
بالنسبة للنطاقات الترددية الموزعة
لخدمة الفلك الراديوي على أساس أولي

السلسلة RA

علم الفلك الراديوي

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 المدى 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 الكهروتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد الاستثمارات 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>)

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

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

التوصية ITU-R RA.1513-2*

مستويات فقدان البيانات في عمليات الرصد للفلك الراديوي
ومعايير النسبة المئوية الزمنية الناجمة عن الترددي الناتج عن التداخل
بالنسبة للنطاقات الترددية الموزعة لخدمة الفلك الراديوي على أساس أولي

(2015-2003-2001)

مجال التطبيق

تتناول هذه التوصية مستويات فقدان البيانات في عمليات الرصد للفلك الراديوي ومعايير النسبة المئوية الزمنية الناجمة عن الترددي الناتج عن التداخل بالنسبة للنطاقات الترددية الموزعة لخدمة الفلك الراديوي على أساس أولي. وهي تتضمن دراسات لحالات تقاسم للتطبيقات الأرضية والفضائية، وكذلك قسماً واسعاً عن قياس فقدان البيانات جراء التداخل النبضي الضعيف.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

(أ) أن البحوث في مجال علم الفلك الراديوي تعتمد بشدة على القدرة على القيام برصدات بالحدود القصوى للحساسية و/أو الدقة، وأن الاستخدام المتزايد للطيف الراديوي يزيد من إمكانية وقوع تداخل ضار على خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)؛

(ب) أن ارتفاع احتمال النجاح مرغوب لبعض رصدات علم الفلك الراديوي، مثل تلك التي تنطوي على مرور مذنب أو خسوف القمر أو انفجار سوبر نوبا، بسبب صعوبة أو استحالة تكرارها؛

(ج) أن التداخل من العديد من الخدمات أو الأنظمة يمكن أن يقع في أي نطاق لعلم الفلك الراديوي لأن التداخل على علم الفلك الراديوي يمكن أن ينجم عن إرسالات غير مطلوبة من خدمات في النطاقات المجاورة أو القريبة أو ذات الصلة توافقياً؛

(د) أن الضرورة قد تقتضي تقاسم الأعباء لتيسير الاستخدام الكفء للطيف الراديوي؛

(هـ) أن أساليب التخفيف تشكل جزءاً من تقاسم الأعباء، ويجري تطوير تقنيات أكثر تقدماً لتنفيذ في المستقبل وتتيح استخدام الطيف الراديوي بمزيد من الكفاءة؛

(و) أن التوصية ITU-R RA.769 تورد مستويات عتبة التداخل (على افتراض أن كسب الهوائي 0 dBi) الضارة بخدمة علم الفلك الراديوي (RAS) لفترات تكامل مدتها 2 000 s، دون تحديد نسبة مئوية زمنية مقبولة للتداخل من خدمات ذات إرسالات موزعة عشوائياً زمنياً وتتناسب النطاق الترددي مع خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) أو تنتج إرسالات غير مطلوبة تقع ضمن نطاق علم الفلك الراديوي؛

(ز) أن الإدارات قد تتطلب معايير لتقييم التداخل بين خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) والخدمات الأخرى في النطاقات المشتركة أو المجاورة أو القريبة أو ذات الصلة توافقياً؛

(ح) أن أساليب (مثل أسلوب مونت كارلو) قد وُضعت لتحديد المسافة الفاصلة المناسبة بين مواقع علم الفلك الراديوي وتجمع للمحطات الأرضية المتنقلة، وأن هذه الأساليب تتطلب توصيف نسبة مئوية زمنية مقبولة تتجاوز خلالها قدرة التداخل الكلية لمستويات العتبة الضارة بخدمة علم الفلك الراديوي (RAS)؛

* أجرت لجنة الدراسات 7 تعديلات صياغية على هذه التوصية في عام 2017 طبقاً للقرار ITU-R 1.

ط) أن دراسات سيناريوهات التقاسم والخبرة المكتسبة من طول المراس قد أفرزت قيماً مقبولة للفقدان الزمني بفعل ترددي الحساسية، على مقاييس زمنية لرصد واحدة يرد شرحها بمزيد من التفصيل في الملحق 1،

توصي

- 1 من أجل تقييم التداخل، باستخدام معيار 5% لفقدان البيانات المجمع إلى خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) بسبب التداخل من جميع الشبكات، في أي نطاق ترددي موزع لخدمة علم الفلك الراديوي (RAS) على أساس أولي، علماً بأن المزيد من الدراسات مطلوبة بشأن التحاصص بين شبكات مختلفة؛
- 2 من أجل تقييم التداخل، باستخدام معيار 2% لفقدان البيانات المجمع إلى خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) بسبب التداخل من أي شبكة واحدة، في أي نطاق ترددي موزع لخدمة علم الفلك الراديوي (RAS) على أساس أولي؛
- 3 بتحديد نسبة فقدان البيانات، في النطاقات الترددية الموزعة لخدمة علم الفلك الراديوي (RAS) على أساس أولي، باستخدام أحد الخيارات التالية: (1) التوصية ITU-R S.1586؛ أو (2) التوصية ITU-R M.1583؛ أو (3) النسبة المئوية لفترات تكامل مدتها 2 000 s، يُتجاوز خلالها متوسط كثافة تدفق القدرة الطيفية في تلسكوب راديوي المستويات المحددة (على افتراض أن كسب الهوائي 0 dBi) في التوصية ITU-R RA.769، أيما يكن من الخيارات مناسبة؛
- 4 باستخدام المعايير التي يرد وصفها في الفقرة 2.3.3 من الملحق 1 لتقييم التداخل، في أي نطاق ترددي موزع لخدمة علم الفلك الراديوي (RAS) على أساس أولي، من الإرسالات غير المطلوبة التي ينتجها أي نظام ساتلي غير مستقر بالنسبة إلى الأرض في مواقع علم الفلك الراديوي.

الملحق 1

فقدان البيانات الناتج عن التداخل

صفحة

3	.....	1	مقدمة
4	.....	2	فقدان البيانات وانسداد السماء
5	.....	3	حالات التقاسم
6	.....	1.3	التداخل الناجم عن ظروف الانتشار المتغيرة
6	.....	1.1.3	التطبيقات الأرضية
6	.....	2.1.3	التطبيقات الفضائية
7	.....	2.3	تقاسم النطاق، حيث يمكن أن يتغير الإرسال في الوقت والموقع
7	.....	1.2.3	التطبيقات الأرضية
7	.....	2.2.3	التطبيقات الفضائية
7	.....	3.2.3	تطبيقات علم الفلك الراديوي الفضائية
7	.....	3.3	الإرسالات غير مطلوبة إلى النطاق الترددي لعلم الفلك الراديوي، حيث الإرسال متغير في الوقت و/أو اتجاه الورد

7	التطبيقات الأرضية	1.3.3	
7	التطبيقات الفضائية	2.3.3	
9	قياس فقدان البيانات جراء التداخل النبضي الضعيف	4.3	
10	الأسلوب	1.4.3	
11	تأثير النبضات المنتظمة	2.4.3	
12	النبضات طويلة الدور	3.4.3	
12	أساليب التخفيف	4.4.3	
12	تكافؤ النبضات السريعة والبث المستمر	5.4.3	
13	ملخص	6.4.3	
13	الاستنتاجات		4

1 مقدمة

تعتبر النسبة المئوية من الوقت الذي أهدره التداخل معلمة هامة لجميع خدمات الاتصالات الراديوية. ولعل الإدارات تحتاج لمعايير كمية بالنسبة لعمليات علم الفلك الراديوي مع الخدمات النشطة التي تعمل في النطاقات نفسها أو المجاورة أو القريبة أو ذات الصلة توافقياً. فعلى سبيل المثال، تستخدم التوصية ITU-R M.1316 هذه النسبة المئوية للوقت الضائع بسبب التداخل في حساب المسافة الفاصلة افتراضياً بين المحطات العاملة في الخدمة المتنقلة الساتلية (أرض-فضاء) ومرصد علم الفلك المرصد الراديوي، باستخدام منهجية مونت كارلو.

وللمقارنة، ترد في الجدول 1 حدود مجمل الوقت الضائع التي يمكن للخدمات "العلمية" الأخرى التغاضي عنه.

الجدول 1

مثال على معايير النسبة المئوية الزمنية الإجمالية لاستخدام فقدان البيانات في الخدمات العلمية الأخرى

0,01 5,0-1,0	خدمة استكشاف الأرض الساتلية (EESS) (أجهزة استشعار منفصلة) (%) (التوصية ITU-R SA.1029-2): - سبر ثلاثي الأبعاد للغلاف الجوي - جميع أجهزة الاستشعار الأخرى
1,0-0,1	أنظمة التحكم وإرسال البيانات في الخدمتين الساتليتين لاستكشاف الأرض ولأرصاد الجوية (%) (التوصية ITU-R SA.514-3)
0,1-0,0025	الخدمتان الساتليتان لاستكشاف الأرض ولأرصاد الجوية في مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض (%) (التوصية ITU-R SA.1161-1)
1,0	أنظمة العمليات الفضائية $S/N > 20$ dB خلال 99% من الوقت (%) (التوصية ITU-R SA.363-5)

صُممت التلسكوبات الراديوية لتشغّل باستمرار، متبعةً الجدول الزمني لبرامج الرصد المطلوبة من علماء الفلك. وكقاعدة عامة، يتاح النفاذ إلى التلسكوبات الراديوية على أساس تنافسي، حيث تفوق المقترحات البحثية في كثير من الأحيان الوقت المتاح لاستخدام تلسكوب بعامل 2-3. وإذا تكاد تشغّل جميع منشآت علم الفلك الراديوي من الأموال العامة، يجب أن تُستخدم بكفاءة عالية. ولكن لا مفر من ضياع بعض من وقت الرصد، لدواعي الصيانة، أو ترقية العتاد أو البرمجيات. وتبين تجربة إحدى الإدارات على مدى سنوات عديدة من العمل بالأجهزة الرئيسية أن لا حاجة لهذا الضياع لأن يزيد عن 5% من الوقت، من قبيل يوم مدته 8 ساعات في الأسبوع. وتبين اعتبارات الكفاءة والتكلفة الكلية للتشغيل أن مجمل ضياع الوقت الإضافي بسبب التداخل ينبغي أن يقتصر على نسبة 5% مماثلة.

ومن أجل تحقيق الأرقام الواردة في الجدول 1، ينبغي لفرادى الخدمات أن تصمم أنظمتها وتتحكم في عملياتها وفق جزء مناسب من هذه الأرقام. ويملي الاحتراز ألا يتاح لفرادى الأنظمة إلا جزء صغير من ميزانية التداخل، حسب عوامل تتعلق بوضع التوزيع الفعلي، مثل تقاسم النطاق واحتمال التداخل بسبب إرسالات غير مطلوبة من الخدمات الأخرى.

وتجدر الإشارة إلى أن مفهوم فقدان البيانات المجمع ليست مكتملاً تماماً في الوقت الحاضر. وتتيح أدوات المحاكاة، كالأداة الموضحة في التوصية ITU-R M.1316، النظر في حالة التداخل الناجم عن نظام واحد. ويجري أيضاً تطوير منهجيات أخرى لفرادى الأنظمة. وفي هذا الوقت لا توجد أي أداة مشابهة لحالة فقدان البيانات المجمع الناتجة عن العديد من الأنظمة. وقد يصعب تطوير أسلوب يأخذ خصائص عدة أنظمة بعين الاعتبار. ويصعب على وجه الخصوص توزيع حصص فقدان البيانات المجمع بين الأنظمة المختلفة. وتدعو الحاجة إلى مزيد من الدراسات لهذه المشاكل.

ويتطلب ظهور الخدمات الراديوية باستخدام المحطات الفضائية ومحطات المنصات عالية الارتفاع إعادة تقييم التدابير التي تحمي خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) من التداخل. ويستحيل تقاسم الترددات مع مثل هذه الخدمات عادة، ولكن الآثار السلبية المحتملة على خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) من الخدمات في النطاقات القريبة تنشأ من خلال عاملين:

(أ) الإرسالات غير المطلوبة التي تقع في النطاقات الموزعة لخدمة علم الفلك الراديوي (RAS)؛

(ب) التشكيل البيئي وحالات الخروج عن الخطية في أنظمة التلسكوب الراديوي بسبب إشارات قوية في النطاقات المجاورة.

ويُفترض أن مشغلي الساتل سيلجؤون إلى الوسائل العملية كافة للتقليل من الإرسالات غير المطلوبة إلى أدنى حد، وأن علماء الفلك الراديوي سيلجؤون إلى الوسائل العملية كافة للتقليل من الحساسية للإشارات في النطاقات المجاورة أو القريبة إلى أدنى حد. ومع ذلك، يجب أن يكون البند (ب) أحد الاعتبارات الهامة عند تشغيل الأنظمة في نطاقات مجاورة أو قريبة من النطاقات الموزعة لخدمة علم الفلك الراديوي (RAS).

2 فقدان البيانات وانسداد السماء

كلما جاء ذكر فقدان البيانات في هذه التوصية، فهو يشير إلى البيانات التي يجب التخلص منها لأنها ملوثة بالتداخل المجمع، من واحد أو أكثر من المصادر المتجاوزة لمستويات التوصية ITU-R RA.769، بموجب الافتراضات المذكورة آنفاً. ويُستخدم مصطلح انسداد هنا للإشارة إلى اتجاهات الهوائي التي يتجاوز فيها مستوى التداخل المستقبّل المستويات المحددة للتداخل الضار في التوصية ITU-R RA.769. وفي ظل وجود مثل هذا التداخل، لا يتسنى عموماً الحصول على بيانات مفيدة للبحوث في تخوم المعرفة. وقد ينجم فقدان البيانات عن فقدان جزء من النطاق أو جزء من وقت الرصد، أو عن انسداد جزء من السماء. ويمكن التعبير عن كل ذلك كضياع وقت الرصد الفعّال.

وجاء في التوصية ITU-R RA.1031 أن العديد من قياسات علم الفلك الراديوي يمكنها تحمّل التداخل من الخدمات المشتركة التي تتجاوز عتبات معينة في التوصية ITU-R RA.769، خلال 2% من الوقت. وتجدر الإشارة إلى أن هذه الرصدات، التي يمكنها تحمّل أخطاء القياس المعززة، تمثل رصدات مثل دوريات الوهج الراديوي الشمسي. والرصدات ذات الأهمية في علم الفلك الراديوي هي تلك التي تؤدي إلى معرفة جديدة للظواهر الفلكية، والتي تتطلب إما القيام برصدات للأجرام التي لم تُدرس من قبل، أو رصد الأجرام المعروفة بمزيد من الدقة. وتستدعي كلتا الحالتين رصدات بأعلى حساسية

قابلة للتحقيق. وبما أن علم الفلك الراديوي قد نضج، تدنت فائدة البيانات ذات الدقة المحدودة بوجود التداخل، ودأب علماء الفلك على حذف البيانات التي يشوبها أي تداخل مثبت. وهكذا فإن وقوع التداخل على أي مستوى واضح يؤدي إلى فقدان البيانات الملوثة في الواقع العملي.

ويبلغ نصف قطر كفاف 0 dBi، 19°، في مخطط إشعاع الهوائيات الكبيرة المحدد في التوصية ITU-R SA.509 بين 2 GHz وحوالي 30 GHz. وعندما يوجّه تلسكوب راديوي بزواوية تقل عن 19° من مرسل ييثر في نطاق علم الفلك الراديوي بمستوى ضار محدد في التوصية ITU-R RA.769، يقع التداخل. ويسد ذلك فعلياً رصد علم الفلك الراديوي ضمن منطقة من السماء نصف قطرها الزاوي 19°. أما انسداد السماء الكسري فهو نسبة انسداد السماء (فوق الأفق)، على النحو المعرّف أعلاه، إلى الزاوية المخروطية لنصف الكرة المرئي.

ويبين الشكل 1 أثر مرسل افتراضي في الأفق في مركز مقياس السمات، وهو يفني بالكاد بمستوى كثافة تدفق القدرة الطيفية للتوصية ITU-R RA.769 في محطة علم الفلك الراديوي. وتُظهر الأكمة في الشكل مستوى الديسيبل الذي تتجاوز عنده القدرة المستقبلية من المرسل المستوى الضار بعلم الفلك الراديوي، تبعاً لزاوية توجيه هوائي الفلك الراديوي. ويسبب الإرسال المستقبل تداخلاً ضاراً عندما تستقبله الفصوص الجانبية لهوائي فلك راديوي بكسب يفوق 0 dBi. ويبين الجدول 2 النسبة المئوية للسمات المستقبلية لمثل هذا التداخل الضار، في زوايا توجيه للهوائي على ارتفاعات أعلى من 5°. وإذ يندر توجيه هوائيات الفلك الراديوي دون 5°، فهذا أدنى ارتفاع يُؤخذ في الاعتبار. وبالنسبة لمصدر تداخل فوق زاوية ارتفاع قيمتها 19° (مثل مرسل محمول جواً أو فضائي) ويفني بالكاد بمستوى كثافة تدفق القدرة الطيفية للتوصية ITU-R RA.769 في محطة علم الفلك الراديوي، ينسد الرصد الفلكي الراديوي في منطقة دائرية من السماء نصف قطرها 19° وتمرّكزة في مصدر التداخل، في مستويات الحساسية المفيدة. وتقابل هذه المنطقة زاوية مخروطية قيمتها 0,344 sr وهي 5,5% من π sr 2 من السماء فوق الأفق.

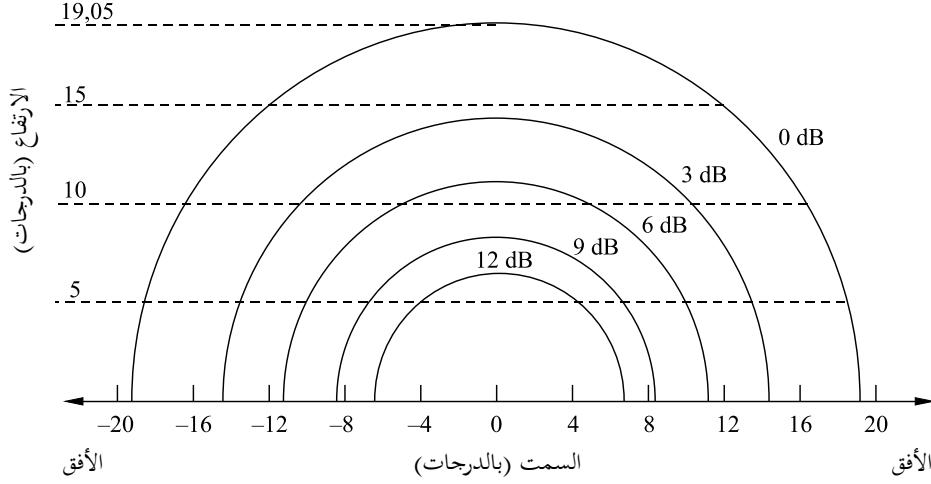
ويتطلب تطبيق مفهوم انسداد السماء في بيئة غير ساكنة (كبيئة الأنظمة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض أو الاتصالات المتنقلة) مزيداً من الدراسة.

3 حالات التقاسم

يستفاد في تقييم التداخل من التمييز بين الإرسالات ذات المنشأ الأرضي، لا سيما في الحالات التي لا يوجد فيها مسير خط البصر (LoS)، وتلك القادمة من مرسلات الطائرات والمنصات عالية الارتفاع والمرسلات الفضائية في خط بصر التلسكوب الراديوي المتضرر. وفيما يتعلق بالنسبة المئوية لوقت الرصد الضائع، ينبغي للمرء أن يميز بين التداخل من مرسلات بعيدة بسبب ظروف الانتشار المتغيرة (أي الخارجة عن سيطرة الإنسان) والتداخل من التطبيقات النشيطة حيث يكون البث عشوائياً فعلياً بالنسبة إلى مستوى القدرة وزاوية الورد إلى تلسكوب راديوي (انظر الفقرة 1.3).

الشكل 1

أثر مصدر تداخل على المستوى الضار لخدمة علم الفلك الراديوي (RAS) في الأفق في السمات الصفري



RA.1513-01

تُظهر المنحنيات مستوى الديدسيبل الذي تتجاوز عنده القدرة التي يستقبلها مستقبل علم الفلك الراديوي المستوى الضار في زوايا توجيه مختلفة للهوائي الفلكي الراديوي؛ علماً بأن الرصدات الفلكية الراديوية تجرى عموماً بزوايا فوق ارتفاع 5°.

الجدول 2

النسبة المئوية من السماء التي يمنع فيها التداخل، المستقبل فوق المستوى الضار،
الرصدات الحساسة تبعاً لارتفاع توجيه التلسكوب الراديوي،
بالنسبة إلى المصدر المسبب للتداخل في الشكل 1

الانسداد (%)	الارتفاع الأدنى (بالدرجات)
2,0	5
1,3	10
0,6	15
0	20

1.3 التداخل الناجم عن ظروف الانتشار المتغيرة

1.1.3 التطبيقات الأرضية

في الحالات التي تتنوع فيها شدة الإشارة المسببة للتداخل نتيجة ظروف الانتشار المتغيرة مع الزمن، يجب تحديد نسبة مئوية زمنية لحسابات الانتشار. وترد نسبة 2% في التوصية ITU-R RA.1031. بيد أن ذلك لا يؤدي تلقائياً إلى فقدان 2% من بيانات رصدات علم الفلك الراديوي. إذ تختلف ظروف الانتشار على فترات، وعادة ما تمتد كل منها لبضعة أيام. ولذلك تجدر الإشارة إلى أن الفترة التي تكون فيها البيانات ملوثة بالتداخل قد تدوم لبضعة أيام فقط، على مدى فترات تمتد كل منها لأسابيع. وتحدث هذه المؤثرات في أطوال الموجات الأطول في المقام الأول، أي ما دون التردد 1 GHz. ويمكن تقصير فترات فقدان البيانات بإعادة الجدولة الزمنية للرصدات الفلكية الراديوية دينامياً.

2.1.3 التطبيقات الفضائية

لا حاجة، في إطار خط البصر، للنظر في ظروف الانتشار في طبقة التروبوسفير بمرور الوقت.

2.3 تقاسم النطاق، حيث يمكن أن يتغير الإرسال في الوقت والموقع

1.2.3 التطبيقات الأرضية

لتحقيق أقصى قدر من الكفاءة في استخدام التلسكوبات الراديوية، ينبغي تجنب ضياع وقت الرصد بسبب التداخل من المستخدمين الآخرين للطيف. ولكن قد يتعذر تجنب بعض الضياع الطفيف. ومثال ذلك، إرسالات غير مطلوبة من محطات (أرضية) متنقلة في الخدمة المتنقلة الساتلية. والمستوى العملي المقبول لفقدان البيانات في مثل هذا النظام هو 2% وتورد التوصية ITU-R M.1316 مثالاً على التنسيق بين خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) والخدمة المتنقلة الساتلية (أرض-فضاء). وفي هذه التوصية، تُستخدم النسبة المئوية لضياع وقت الرصد في حساب المسافة الفاصلة افتراضياً بين المحطات الأرضية المتنقلة في الخدمة المتنقلة الساتلية (أرض-فضاء) ومحطة علم الفلك الراديوي، وذلك باستخدام منهجية مونت كارلو.

2.2.3 التطبيقات الفضائية

يتعذر تقاسم الوصلات الهابطة الساتلية في النطاقات التي يكون فيها لخدمة علم الفلك الراديوي (RAS) توزيع أولي.

3.2.3 تطبيقات علم الفلك الراديوي الفضائية

يتطلب علم الفلك الراديوي الفضائي التحليل الفردي المناسب للتطبيق.

3.3 الإرسالات غير المطلوبة إلى النطاق الترددي لعلم الفلك الراديوي، حيث الإرسال متغير في الوقت

و/أو اتجاه الورد

1.3.3 التطبيقات الأرضية

لا يُعتبر التقاسم الزمني بين التطبيقات الأرضية وعلم الفلك الراديوي مجدياً عادة من الناحية العملية. ويُلجأ إلى اصطفاء المرسلات وإلى الفصل الجغرافي لكبت مستويات البث غير المطلوب نحو نطاق علم الفلك الراديوي إلى ما دون القيم الحدية للتوصية ITU-R RA.769 في موقع تلسكوب راديوي. ويُحتمل وقوع تداخل عند توجيه الحزمة الفلكية الراديوية نحو مصدر الأرضي بزاوية أقرب من 19° (انظر الشكل 1). وتستند المستويات الواردة في التوصية ITU-R RA.769 إلى افتراض وجود مصدر التداخل في الكفاف المتناحي. وعلى النحو المبين في الشكل 1، يمكن لمصدر أرضي في الأفق (الارتفاع = 0°) أن يسبب تداخلاً ضاراً يصل إلى 2% من نصف الكرة المرئية لتلسكوب يمكنه التوجه ضمن 5° من الأفق. غير أن التلسكوبات الراديوية، كقاعدة عامة، لا توجّه ضمن 5° من الأفق سوى خلال جزء من إجمالي وقت رصدها. وبعض مصادر التداخل معروفة ويمكن تجنبها. وفي الواقع العملي، يمكن تحمّل مستوى فقدان بيانات يصل إلى 2% من نظام واحد يسبب التداخل. وتُجدر الإشارة إلى أن توجيه تلسكوب راديوي بزوايا ارتفاع منخفضة جداً يزيد ضوضاء النظام التي تقلل من الحساسية. ولا يُؤخذ ذلك في الحسبان في التوصية ITU-R RA.769، لأن حد الارتفاع المعتاد الذي يتراوح بين 5° و 10° يسفر عن إمضاء وقت قصير جداً في مجال الحساسية المتردية.

ويمكن أيضاً أن تستخدم المنهجية الواردة في التوصية ITU-R M.1316 لتقييم تأثير الإرسالات غير المطلوبة الأرضية على نطاق علم الفلك الراديوي.

2.3.3 التطبيقات الفضائية

تناول التوصية ITU-R RA.769 حماية علم الفلك الراديوي بوجود سواتل مستقرة بالنسبة إلى الأرض.

ووضع قطاع الاتصالات الراديوية توصيتين لمعالجة التوافق بين الكوكبات غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض ومواقع خدمة علم الفلك الراديوي:

التوصية ITU-R S.1586 - حساب مستويات الإرسال غير المطلوب التي يولدها نظام سواتل غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض تابع للخدمة الثابتة الساتلية في مواقع علم الفلك الراديوي.

التوصية ITU-R M.1583 - حساب التداخل بين أنظمة الخدمة المتنقلة الساتلية أو خدمة الملاحة الراديوية الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض ومواقع مراقبة علم الفلك الراديوي.

وتوفر هذه التوصيات منهجية لتقييم مستويات الإرسالات غير المطلوبة التي تنتجها الكوكبات غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض وبعض الأنظمة الأخرى في مواقع علم الفلك الراديوي قبل وضعها في الخدمة. وعلى وجه الخصوص، تقدم هذه التوصيات أساليب لتحديد التوافق بين مواقع علم الفلك الراديوي والأنظمة الساتلية، خلال مرحلة بناء هذه الأنظمة وقبل إطلاقها، استجابةً لفقرتي يقرر 1 و 2 من القرار (Rev.WRC-07) 739.

وتنطوي الخطوة الأولى في هذا النهج على تقسيم السماء إلى خلايا. ويُختار أولاً اتجاه توجيه هوائي خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) عشوائياً، وهو سيقع ضمن خلية معينة في السماء. ثم يُختار وقت بدء الكوكبة عشوائياً. ثم تُحسب كثافة تدفق القدرة المكافئة (epfd) المقابلة لهذه التجربة في اتجاه التوجيه ووقت بدء الكوكبة المختارين باستخدام المعادلة التالية لتحديد كثافة تدفق القدرة المكافئة المقابلة لكل عينة زمنية:

$$(1) \quad epfd_{G_r = 0 \text{ dB}} = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^{N_a} 10^{10} \cdot \frac{G_t(\theta_i)}{4\pi d_i^2} \cdot G_r(\phi_i) \right]$$

حيث:

N_a : عدد المحطات الفضائية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض المرئية من التلسكوب الراديوي؛

i : دليل المحطة الفضائية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض المعنية؛

P_i : القدرة RF للإرسالات غير المطلوبة عند دخل الهوائي (أو القدرة RF المشعة في حالة هوائي نشيط) للمحطة الفضائية المرسله المعنية في النظام غير المستقر بالنسبة إلى الأرض (بوحدة dBW) في عرض النطاق المرجعي؛

θ_i : الزاوية خارج المحور (بالدرجات) بين تسديد المحطة الفضائية المرسله المعنية في النظام غير المستقر بالنسبة إلى الأرض واتجاه التلسكوب الراديوي؛

$G_t(\theta_i)$: كسب هوائي الإرسال (كنسبة) للمحطة الفضائية المعنية في النظام غير المستقر بالنسبة إلى الأرض في اتجاه التلسكوب الراديوي؛

d_i : المسافة (بالمتر) بين محطة الإرسال المعنية في النظام غير المستقر بالنسبة إلى الأرض والتلسكوب الراديوي؛

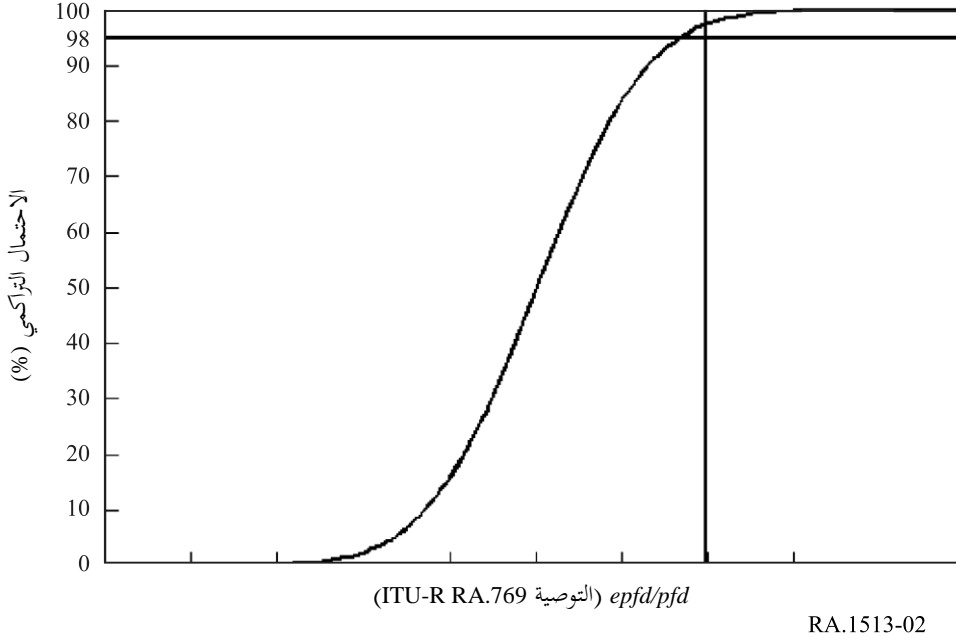
ϕ_i : الزاوية خارج المحور (بالدرجات) بين اتجاه توجيه التلسكوب الراديوي واتجاه المحطة الفضائية المرسله المعنية في النظام غير المستقر بالنسبة إلى الأرض؛

$G_r(\phi_i)$: كسب هوائي الاستقبال (كنسبة) للتلسكوب الراديوي، في اتجاه المحطة الفضائية المرسله المعنية في النظام غير المستقر بالنسبة إلى الأرض.

ويحدّد لكل من هذه الخلايا التوزيع الإحصائي لكثافة تدفق القدرة المكافئة. ثم تمكن مقارنة توزيعات كثافة تدفق القدرة المكافئة هذه مع مستويات كثافة تدفق القدرة الواردة في التوصية ITU-R RA.769 (المعرّفة على افتراض أن كسب الهوائي المستقبلي 0 dB) في اتجاه التداخل ويعطى فترة تكامل مدتها 2 000 s، بحيث يمكن تحديد نسبة التجارب التي يستوفى خلالها هذا المعيار لكل من الخلايا التي عُرّفت.

الشكل 2

مقارنة بين مستويات عتبة كثافة تدفق القدرة الواردة في التوصية ITU-R RA.769 وتوزع كثافة تدفق القدرة المكافئة (epfd) المعطى لخلية



يمكن استخلاص مستويات عتبة كثافة تدفق القدرة المكافئة (epfd) من مستويات عتبة كثافة تدفق قدرة التداخل الضار بعلم الفلك الراديوي الواردة في التوصية ITU-R RA.769، مع مراعاة الكسب الأقصى لهوائي علم الفلك الراديوي، G_{max} ، المفترض في الحسابات، من خلال المعادلة التالية:

$$epfd_{threshold} = pfd_{RA.769} - G_{max}$$

وعبر السماء، في ارتفاعات أعلى من زاوية الارتفاع التشغيلية الدنيا للتلسكوب الراديوي، ينبغي ألا يتجاوز مستوى عتبة كثافة تدفق القدرة المكافئة (epfd) المعرف أعلاه لأكثر من 2% من الوقت. وطورت هذه المنهجية في البداية لتغطية حالة الأنظمة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض، إلا أنها يمكن أن تُستخدم أيضاً لبعض الأنظمة المحمولة جواً، مثل الخدمة المتنقلة الساتلية للطيران.

4.3 قياس فقدان البيانات جراء التداخل النبضي الضعيف

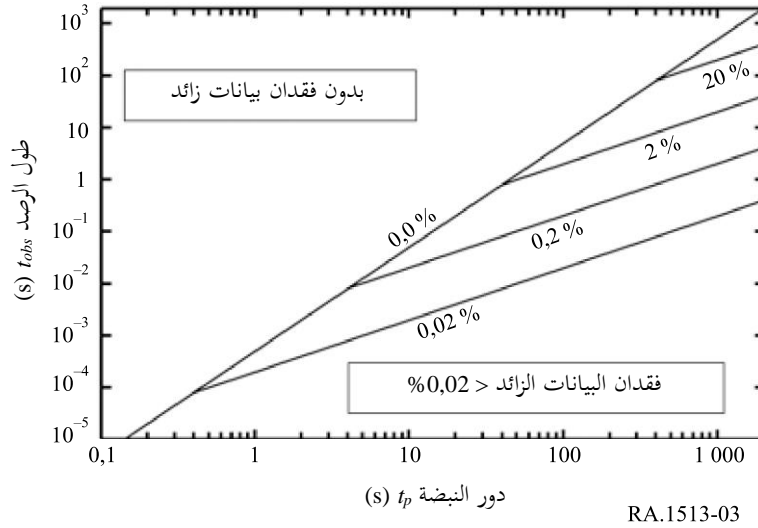
يوصف هذا القسم قياس فقدان البيانات الزائد جراء التداخل النبضي المستوي لمتوسط مستوى عتبة الخط الطيفي الضار خلال s 2 000 على النحو المحدد في التوصية ITU-R RA.769. وتلك هي حالة التداخل الضعيف. وهناك فرق كبير في سلوك التداخل من الإشارات النبضية والإشارات المستمرة. ولن تتضرر الرصدات الأقصر بالتداخل المستمر غير المتغير بمرور الوقت الذي يقع عند أو تحت عتبات المستوى الضار في تكاملات مدتها 2 000 ثانية والذي يرد وصفه في التوصية ITU-R RA.769، لأن نسبة التداخل إلى الضوضاء تكون على أعلاها في التكاملات الطويلة. وليس الحال كذلك دائماً بالنسبة للإشارات المتغيرة بمرور الوقت. ونحدد هنا الحالات التي تستوفي فيها الإشارات النبضية مستوى العتبة الذي يوفره تكامل مدته s 2 000، فيما تظل تسبب فقدان الزائد لبعض البيانات خلال رصدات أقصر.

وفي التداخل الدوري، يعتمد قياس فقدان البيانات الزائد على مقياسين زمنيين لإجراء قياس فردي، هما دور النبضة المسببة للتداخل، t_p ، وفترة الرصد التي يُحسب خلالها متوسط البيانات الفلكية، t_{obs} . وتحدد أسباب تقنية وعلمية فترة t_{obs} التي تمتد لبضع ثوان عادة.

وفي الحالة التي تطول فيها فترة t_{obs} لأكثر من 0,8 s، لا يمكن أن يكون فقدان البيانات الزائد $> 2\%$ إلا إذا طال دور النبضة المسببة للتداخل لأكثر من 40 s كما يتضح من الحسابات أدناه. وتتلخص قياسات فقدان البيانات في الشكل 3.

الشكل 3

فقدان البيانات الزائد $L\%$ بسبب التداخل النبضي



يعتمد فقدان البيانات الزائد حصراً على الجمع بين دور النبضة وطول الرصد، على النحو المبين في الشكل 3. وتعتبر الرصد مهذورة عندما تحتوي على إشارة أقوى من عُشر ضوضاء النظام محسوبةً وسطيّاً طيلة الرصد. ونجد أن الحد الأقصى لفقدان البيانات الزائد يقل عن مدة دور نبضة واحدة في كل 2 000 s. لذلك، فإن الرادارات والإشارات النبضية الأخرى قصيرة الدور لا تتسبب بفقدان زائد للبيانات ذي شأن.

1.4.3 الأسلوب

يُنظر في حالة النبضات الدورية التي تبلغ وسطيّاً، بمرور الوقت، مستويات العتبة الضارة الواردة في التوصية ITU-R RA.769 والمؤدية لفقدان البيانات خلال 2 000 s. ويتضح، بخلاف حالة التداخل الثابت بمرور الوقت، أن الرصدات الأقصر بطبيعتها من 2 000 s (مثل النجوم النابضة التي تبث دورياً بمقاييس زمنية أقصر بكثير من 2 000 s) ستعرض لفقدان البيانات في بعض الحالات، لأن طاقة النبضة المسببة للتداخل قد تتركز في رصدة واحدة، أو في عدد قليل، من هذه الرصدات الأقصر.

فعلى سبيل المثال، ستقع نبضة واحدة مسببة للتداخل كل 2 000 s في رصدة واحدة بين كل رصدتين في سلاسل مدة كل منها 1 000 s. ولا تظل نسبة التداخل إلى الضوضاء (10/1) على النحو المطلوب في التوصية ITU-R RA.769، بل تصبح $\sqrt{2}/10$ في رصدة 0 في الأخرى. أي أن نسبة فقدان البيانات الزائد هي 50% (العامل هو $\sqrt{2}$ لأن شدة متوسط التداخل تبلغ مثلي الشدة في الرصدة المتأثرة، ولكن الضوضاء الفعالة للرصدة الأقصر ليست أعلى إلا بمقدار $\sqrt{2}$) ويورد هذا المثال أسوأ الحالات المحتملة لفقدان البيانات الزائد، كما سيتضح أدناه.

يُستخلص فقدان البيانات الزائد كما يلي:

ليكن:

t_{obs} طول الرصدة بالثواني،

t_p دور النبضة،

N_{obs} عدد الرصدات كل 2 000 s = $t_{obs} / 2 000$

N_p عدد النبضات كل 2 000 s = $t_p / 2 000$

P متوسط قدرة النبضة خلال فاصل الرصدة الزمني t_{obs}

P_{sys} متوسط قدرة ضوضاء النظام غير المعرض للتداخل خلال 2 000 s،

L فقدان البيانات الزائد بالثواني،

$L\%$ النسبة المئوية لفقدان البيانات الزائد.

ينبغي أن تكون الطاقة المزودة من تدفق النبضات $\geq 1/10$ من طاقة النظام غير المعرض للتداخل (انظر التوصية ITU-R RA.769)، لذلك:

$$(2) \quad N_p P t_{obs} \leq (2000 P_{sys})/10$$

وتُستحدث الآن المعلمة P كما يلي:

$$(3) \quad P = (a P_{sys}/10) \sqrt{(2000/t_{obs})}$$

بحيث يعلو متوسط قدرة النبضة بعامل فوق العتبة الضارة للتداخل بالترددات الراديوية (RFI) خلال الفاصل الزمني t_{obs} .

ومن المعادلتين (2) و(3)، يمكن استخراج الحد الأعلى لعدد النبضات المنتظمة في 2 000 s:

$$(4) \quad N_{p,max} = (1/a) \sqrt{(2000/t_{obs})}$$

وما يقابله من أقصر دور مسموح للنبضة:

$$(5) \quad t_{p,min} = a \sqrt{(2000 t_{obs})}$$

ويدل ذلك على أن دور النبضة المسببة للتداخل يجب أن يطول أكثر من المتوسط الهندسي لطول الرصدة و 2 000 s من أجل أن يؤدي إلى فقدان البيانات الزائد في الرصدات الأقصر، فيما يستوفي في الوقت نفسه الحد الضار $a = 1$ في 2 000 s المحدد في التوصية ITU-R RA.769. وهكذا، هناك مثلاً 100 رصدة بالضبط خلال $t_{obs} = 20$ s ضمن فاصل 2 000 s حيث تضمن المعادلة (5) أن $t_{p,min} = 200$ s. وبما أن $t_{p,min}$ هو أطول دور يلي متطلب $a = 1$ ، يمكن لأقل من 10 نبضات أن تؤدي إلى فقدان بيانات، جراء 9 على الأكثر من 100 رصدة مدة كل منها عشرون ثانية.

ويكون فقدان البيانات عندئذ:

$$(6) \quad L = N_p t_{obs} \text{ بالثواني}$$

والنسبة المئوية لفقدان البيانات:

$$(7) \quad L\% = 100 L/2000$$

ومن المعادلتين (5) و(6)، يُستخلص الحد الأعلى L :

$$(8) \quad L(\text{upper limit}) = t_{p,min} \text{ بالثواني}$$

$$(9) \quad L\%(\text{upper limit}) = 100 (t_{p,min}/2000)$$

ويتضح من ذلك أن هذه الإشارات النبضية قصيرة الدور ($t_p < 40$ s) لا يمكنها أن تسبب فقدان بيانات زائد يفوق حد 2%.

وتظهر في الشكل 3 أعلاه العلاقة بين t_{obs} و t_p و $L\%$ لفقدان بيانات زائد بنسب 0 و 0,02 و 0,2 و 2 و 20%.

2.4.3 تأثير النبضات المنتظمة

تمثل نبضات التداخل الدورية ثابتة الشدة أسوأ الحالات من حيث فقدان البيانات الزائد. أما النبضات المتباعدة بصورة غير منتظمة زمنياً أو متفاوتة الشدة فهي تسبب على الأكثر المستوى نفسه من فقدان البيانات، قياساً بمتطلب $a = 1$ مجدداً القاضي بالألا يتجاوز

متوسطها مستوى العتبة الضارة بعد 2 000 s. وفي بعض الحالات، يمكن أن تقع أكثر من نبضة تداخل واحدة خلال الرصد الواحدة، إلا أنها لا تزيد من العدد الكلي للرصدات المفقودة، لأن نبضة واحدة فقط تكفي لذلك.

وبالمثل، يمكن للنبضات المسببة للتداخل المتفاوتة الشدة أن تقلل من عدد الرصدات المفقودة. ويحدث ذلك عندما تمهبط النبضات دون المتوسط بما يكفي لعدم تجاوز المستوى الضار. وبالتالي لا يمكن لأي من الحالتين أن تسبب فقداناً أكبر مما تسببه النبضات الدورية ثابتة الشدة.

3.4.3 النبضات طويلة المدة

إن المدد الوحيدة لنبضة التداخل التي تسبب فقدان بيانات زائد إذا شأن هي الأدوار الطويلة جداً الممتدة بين عشرات ومئات الثواني. وتندر هذه السلاسل النبضية في التطبيقات التجارية، رغم أن تطبيقات "اضغط للتحدث" يمكن أن تنطوي على إرسالات غير منتظمة التباعد تناهز هذه المعدلات.

ويبين المثال التالي حد الأدوار الطويلة للنبضة. من المعادلة (5)، يجب أن يكون دور النبضة أكبر من المتوسط الهندسي لطول الرصد و 2 000 s للتسبب في فقدان البيانات الزائد. فهناك، على سبيل المثال، مائة تكامل لمدة 20 ثانية في 2 000 s. إذن، يمكن لمتوسط نبضة واحدة محسوب خلال 20 ثانية أن يبلغ 100 مثل مستوى العتبة الضارة خلال 2 000 ثانية وأن يظل هابطاً وسطياً إلى ذلك المستوى، ومسبباً فقدان بيانات زائد بنسبة 1%. ويمكن تخفيض هذه القدرة الزائدة بمعامل $\sqrt{100}=10$ وتوزيعها على أكثر من 10 نبضات على الأكثر قبل أن تمهبط دون المستوى الضار في 20 ثانية. ويعطي ذلك دوراً نبضياً لا يقل عن 200 s.

4.4.3 أساليب التخفيف

إن التداخل الذي تسهل رؤيته في هوائي متناح في أي فترة تكامل تمتد لثانية واحدة أو أكثر يبين بالفعل أن متوسط القدرة خلال 2 000 s سيتجاوز مستوى العتبة الضار، على النحو المبين أدناه.

وبالنسبة للإشارات الواقعة عند أو تحت العتبة الضارة ($a \leq 1$)، تكون الشدة القصوى للنبضة المسببة لفقدان البيانات بنسبة 2% هي نبضة واحدة كل 2 000 s أي 1,5 dB دون متوسط الضوضاء في 40 s. وستلطف ذلك تكاملاً واحداً مدته 40 ثانية من كل 50 تكاملاً، بفقدان نسبته 2%. ويعلو متوسط الضوضاء في 40 s بمقدار $\sqrt{50}$ (8,5 dB) فوق الضوضاء في 2 000 s، في حين يمكن أن تعلو النبضة 50 مثلاً (17 dB) فوق هذا المستوى. والفرق هو 5,8 dB. ويظل ذلك أكثر خفوتاً بمقدار $\sqrt{2}$ من متوسط الضوضاء في 40 s، ولذلك لن يكون قابلاً للكشف في الرصدات العادية. ولا يمكن إلا للرصدات القصيرة جداً (ميلي ثانية) أن تحقق كشفاً ذا دلالة لهذه النبضات، بحدود خمسة سيغمات (تكاملات) أو أكثر فوق الضوضاء.

وفي كل الحالات، يتطلب كشف التداخل النبضي كسباً للهوائي في اتجاه التداخل أعلى بكثير من التناحي، أو استبانة زمنية عالية في حالة النبضات القصيرة جداً. وكنتيجة بديهية، فإن التداخل المرئي في هوائي متناح بتكامل يمتد لضع ثوان لا بد أن يتجاوز الحد الضار عندما يُحسب متوسطه خلال 2 000 s، حتى لو لم يقع مزيد من التداخل.

وتفترض المناقشة في هذا القسم عدم القيام بأي محاولة لمزامنة معدل تحصيل البيانات مع دور النبضة. سوى أن الإشارات النبضية المنتظمة توفر وسيلة تخفيف قوية للغاية إذا أخذ بهذا الخيار. ومن العمل في مجال كشف النجم النابض، تُعرف جيداً إمكانية تعزيز نسبة التداخل إلى الضوضاء بالتناسب مع الجذر التربيعي لنسبة عرض النبضة إلى دور النبضة، بما يتراوح عادةً بين 10 و 20 dB في الرادار.

5.4.3 تكافؤ النبضات السريعة والبث المستمر

يمكن اعتبار النبضات السريعة، كالنبضات الرادارية، تداخلاً مستمراً يقابل في شدته متوسط شدة النبضة. وعلى وجه الخصوص، يمكن للتداخل النبضي الذي يتجاوز حد التوصية ITU-R RA.769 في تكامل مدته 2 000 ثانية أن يكون أقل من الحد الضار المحسوب لتكامل أقصر. يُنظر، على سبيل المثال، في إشارة نبضية دورها 20 ثانية وتقل بنسبة 15 dB عن الضوضاء في كل تكامل مدته 20 ثانية. إذ ستضعف الضوضاء 10 أمثال بعد 2 000 s. وبالتالي فإن هذه الإشارة الحميدة في كل تكامل مدته 20 ثانية، ستعلو بنسبة 5 dB فوق المستوى الضار بعد 2 000 s.

وبعبارة أخرى، تتصرف الإشارة النبضية كالإشارة المستمرة تماماً. ولا يمكن إلا لأدوار النبضة الأطول من المتوسط الهندسي لوقت التكامل و 2 000 s أن تسبب فقدان بيانات زائد في التكاملات القصيرة، في حين أن التداخل النبضي لا يتجاوز عتبة التداخل الضارة المذكورة في التوصية ITU-R RA.769 لتكامل مدته 2 000 ثانية. وقد يكون ذلك نادر الحدوث في الواقع العملي.

6.4.3 ملخص

تبين هذه الحسابات ما يلي، على افتراض أن التداخل النبضي لا يتجاوز عتبة التداخل الضارة المذكورة في التوصية ITU-R RA.769 خلال رصدة مدتها 2 000 ثانية:

- (1) إن ما يهبط وسطياً من الإشعاع الراداري والإشعاع النبضي الآخر، ذا الأدوار التي تقل عن 40 s، إلى المستوى الضار المحدد بالتوصية ITU-R RA.769 في 2 000 s لن يسبب فقدان بيانات زائد < 2%.
- (2) بالنسبة إلى القياسات التي يطول فيها الرصد 40 ثانية، تكون أسوأ حالة لشدة نبضة < 2% كنسبة لفقدان البيانات الزائد، بمستوى 1,5 dB دون ضوضاء النظام، وينحصر ذلك في نبضات نادرة للغاية (نبضة في 2 000 s) في غياب أي مسعى للتخفيف يزامن أخذ البيانات في ترابط عكسي مع نبضات منتظمة.
- (3) سيسبب التداخل غير الدوري و/أو متغير الشدة فقدان بيانات يوازي، أو يقل عن، ما تسببه النبضات الدورية ثابتة الشدة.

4 الاستنتاجات

تُعتبر نسبة 5% من الوقت من جميع المصادر معياراً عملياً لفقدان البيانات الإجمالي الناجم عن تداخل على خدمة علم الفلك الراديوي (RAS). ووجود مصادر متعددة متراكبة للتداخل هو جانب عملي ينبغي أخذه بعين الاعتبار. ويلزم مزيد من الدراسة لقسمة التداخل الكلي بين الشبكات المختلفة.

وينبغي أن يقل فقدان البيانات من أي نظام واحد كثيراً عن 5%. وللالتزام بهذا المطلب، تُعتبر نسبة 2% في كل نظام حداً عملياً.