التقريـــر ITU-R SM.2091 [*،**]

دراسات متعلقة بتأثير الخدمات الفضائية النشيطة التي لها توزيعات في النطاقات المجاورة والقريبة على خدمة علم الفلك الراديوي

(2007)

جدول المحتويات

الصفحة

1 مقدمة 5
2 المنهجية 5
1.2 معلومات عامة 5
2.2 وصف مسهب للمخطط الإجمالي (الشكل 1) 8
3 تحليل المواءمة بين أنظمة الخدمة RAS العاملة في النطاق 153,0-150,05 MHz وأنظمة الخدمة المتنقلة الساتلية (فضاء–أرض) العاملة في النطاق 138-137 MHz 17
1.3 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) 17
2.3 الخدمة المتنقلة الساتلية (MSS) 18
3.3 عتبة المواءمة 19
4.3 تقدير التداخل 20
5.3 تقنيات تخفيف التداخل 26
4 تحليل المواءمة بين أنظمة خدمة علم الفلك الراديوي العاملة في النطاق 328,6-322 MHz وأنظمة الخدمة المتنقلة الساتلية (فضاء–أرض) العاملة في النطاق 390-387 MHz 27
1.4 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) 27
2.4 الخدمة المتنقلة الساتلية (MSS) 28
3.4 عتبة المواءمة 30
4.4 تقدير التداخل 30
5.4 تقنيات تخفيف التداخل 34
5 تحليل المواءمة بين أنظمة خدمة علم الفلك الراديوي العاملة في نطاق الترددات 410-406,1 MHz وأنظمة الخدمة المتنقلة الساتلية (فضاء–أرض) العاملة في نطاق الترددات 401-400,15 MHz 35
1.5 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) 35
2.5 الخدمة المتنقلة الساتلية (MSS) 36
3.5 عتبة المواءمة 36
4.5 تقدير التداخل 37
5.5 تقنيات تخفيف التداخل 43

* تحتفظ سورية بحقها في عدم قبول معايير الحماية المقترحة الواردة في هذا التقرير والناتجة عن استعمال نطاقات ترددات موزعة على الخدمة الثابتة الساتلية (FSS) وخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) والخدمة المتنقلة الساتلية (MSS) والخدمة الإذاعية الساتلية (BSS) في نطاقات مجاورة لخدمة علم الفلك الراديوي.

** صرحت إدارات الدول العربية الممثلة في الجمعية RA-03 بأنها لا تقبل بمحتوى التوصية ITU-R RA.769 الذي تحيل إليه هذه التوصية.

الصفحة

6 تحليل المواءمة بين أنظمة خدمة علم الفلك الراديوي العاملة في النطاق 608-614 MHz وأنظمة الخدمة المتنقلة الساتلية (فضاء–أرض) التي قد تعمل في النطاق 620-790 MHz 44
1.6 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) 44
2.6 الخدمة الإذاعية الساتلية (BSS) 45
3.6 عتبة المواءمة 47
4.6 تقدير التداخل 48
5.6 تقنيات تخفيف التداخل 51
7 تحليل المواءمة بين أنظمة خدمة الفلك الراديوي العاملة في النطاقين 400 1-427 1 MHz و610,6 1-613,8 1 MHz وأنظمة الخدمة المتنقلة الساتلية غير المستقرة بالنسبة للأرض (فضاء–أرض) العاملة في النطاق 525 1-559 1 MHz ... 52
1.7 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) 52
2.7 الخدمة المتنقلة الساتلية (MSS) 55
3.7 عتبة المواءمة 60
4.7 تقدير التداخل 60
5.7 تقنيات تخفيف التداخل في الخدمة RAS 66
6.7 نتائج الدراسة 67
8 دراسة المواءمة بين أنظمة خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) العاملة في النطاق 400 1-427 1 MHz وأنظمة الخدمة الإذاعية الساتلية (BSS) (فضاء–أرض) العاملة في النطاق 452 1-492 1 MHz 67
1.8 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) 67
2.8 الخدمة الإذاعية الساتلية (BSS) 70
3.8 عتبة المواءمة 70
4.8 تقدير التداخل 70
5.8 تقنيات تخفيف التداخل 73
6.8 نتائج الدراسات 74
9 دراسة المواءمة بين أنظمة خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) العاملة في النطاق 400 1-427 1 MHz وأنظمة الخدمة الإذاعية الساتلية (BSS) (فضاء–أرض) العاملة في النطاق 525 1-559 1 MHz 74
1.9 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) 74
2.9 الخدمة المتنقلة الساتلية (MSS) 76
3.9 عتبة المواءمة 77
4.9 تقدير قيمة التداخل 77
5.9 تقنيات تخفيف التداخل 79
6.9 نتائج الدراسات 79
10 تحليل المواءمة بين أنظمة الخدمة RAS العاملة في النطاق 610,6 1-613,8 1 MHz وأنظمة خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) العاملة في النطاق 559 1-610 1 MHz 80
1.10 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) 80
2.10 خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) 82
3.10 عتبة المواءمة 94
4.10 تقدير التداخل 94

الصفحة

5.10 تقنيات تخفيف التداخل 101
6.10 نتائج الدراسة 103
11 تحليل المواءمة بين أنظمة الخدمة RAS العاملة في النطاق 610,6-613,8 MHz 1 وأنظمة الخدمة MSS (فضاء-أرض) العاملة في النطاق 613,8-626,5 MHz 1 103
1.11 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) 103
2.11 الخدمة المتنقلة الساتلية (MSS) 105
3.11 عتبة المواءمة 105
4.11 تقدير التداخل 106
5.11 تقنيات تخفيف التداخل 106
6.11 نتائج الدراسات 107
12 تحليل المواءمة بين أنظمة الخدمة RAS العاملة في النطاق 610,6-613,8 MHz 1 وأنظمة الخدمة MSS المستقرة بالنسبة للأرض (فضاء-أرض) العاملة في النطاق 525-559 MHz 1 108
1.12 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) 108
2.12 الخدمة المتنقلة الساتلية (MSS) 109
3.12 عتبة المواءمة 110
4.12 تقدير التداخل 110
5.12 تقنيات تخفيف التداخل 111
6.12 نتائج الدراسات 112
13 تحليل المواءمة بين أنظمة الخدمة RAS (فضاء-أرض) العاملة في النطاق 690-2 700 MHz 2 وأنظمة الخدمتين BSS وFSS (فضاء-أرض) العاملة في النطاق 655-2 690 MHz 2 113
1.13 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) 113
2.13 النطاق النشيط 115
3.13 عتبة المواءمة 116
4.13 تقدير التداخل 116
5.13 تقنيات تخفيف التداخل 118
6.13 نتائج الدراسة 119
14 تحليل المواءمة بين أنظمة الخدمة RAS العاملة في النطاق 10,6-10,7 GHz وأنظمة الخدمة FSS (فضاء-أرض) العاملة في النطاق 10,7-10,95 GHz 120
1.14 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) 120
2.14 الخدمة الثابتة الساتلية (FSS) 121
3.14 عتبة المواءمة 122
4.14 تقدير التداخل 122
5.14 تقنيات تخفيف التداخل 128
6.14 نتائج الدراسة 131
15 تحليل المواءمة بين أنظمة الخدمة RAS العاملة في النطاق 22,21-22,5 GHz وأنظمة الخدمة BSS (فضاء-أرض) العاملة في النطاق 21,4-22 GHz. 131
1.15 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) 131
2.15 الخدمة الإذاعية الساتلية (BSS) 133

الصفحة

3.15 عتبة المواءمة 134
4.15 تقدير التداخل 134
5.15 تقنيات تخفيف التداخل 135
6.15 نتائج الدراسة 136
16 تحليل المواءمة بين أنظمة الخدمة RAS العاملة في النطاق GHz 43,5-42,5 وأنظمة الخدمة FSS والخدمة BSS (فضاء–أرض) العاملة في النطاق GHz 42,5-41,5 136
1.16 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) 136
2.16 الخدمتان FSS وBSS 139
3.16 عتبة المواءمة 141
4.16 تقدير التداخل 141
5.16 تقنيات تخفيف التداخل 142
6.16 نتائج الدراسة 145

1 مقدمة

تقوم خدمة علم الفلك الراديوي المنفعلة (RAS) بدراسة الظواهر الطبيعية التي تنتج إشعاعات راديوية عند ترددات تحددها قوانين الطبيعة.

وقد جرت توزيعات أولية على خدمات فضائية مختلفة في الاتجاه أرض–فضاء مثل الخدمة الثابتة الساتلية (FSS) وخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) والخدمة المتنقلة الساتلية (MSS) والخدمة الإذاعية الساتلية (BSS) في نطاقات مجاورة أو في نطاقات قريبة من النطاقات التي لها توزيعات على خدمة علم الفلك الراديوي.

وتعرض الدراسات المذكورة في هذا التقرير التقني المنهجية والإطار اللازمين لتوثيق نتائج تقدير التداخل بين الخدمات النشيطة وخدمة علم الفلك الراديوي العاملة في النطاقات المجاورة والقريبة. وتستند المنهجية إلى مفهوم كثافة تدفق القدرة المكافئة (epfd) من أجل حساب التداخل الناجم عن الإشعاعات غير المطلوبة الصادرة عن الأنظمة الساتلية غير المستقرة بالنسبة للأرض.

ويضم الجدول 1 قائمة بالنطاقات التي شملتها هذه الدراسة. أما نتائج هذه الدراسات فترد في الفقرات التالية من هذا التقرير.

الجدول 1

قائمة بدراسات المواءمة مع خدمة علم الفلك الراديوي (المنفعلة)

نطاقات الخدمة RAS	نطاقات الخدمة النشيطة
MHz 153,0-150,05	(non-GSO MSS)↓ MHz 138-137
MHz 328,6-322	(MSS)↓ MHz 390-387
MHz 410-406,1	(non-GSO MSS)↓ MHz 401-400,15
MHz 614-608	(BSS) MHz 790-620
MHz 1 427-1 400	(BSS) 1 492-1 452
MHz 1 427-1 400	(MSS)↓ MHz 1 559-1 525
MHz 1 613,8-1 610,6	(RNSS)↓ MHz 1 610-1 559
MHz 1 613,8-1 610,6	(MSS)↓ MHz 1 626,5-1 613,8
MHz 1 613,8-1 610,6	(non-GSO MSS)↓ MHz 1 559-1 525
MHz 2 700-2 690	(BSS, FSS)↓ MHz 2 690-2 655
GHz 10,7-10,6	(FSS)↓ GHz 10,95-10,7
GHz 22,5-22,21	(BSS) GHz 22-21,4
GHz 43,5-42,5	(BSS, FSS)↓ GHz 42,5-41,5

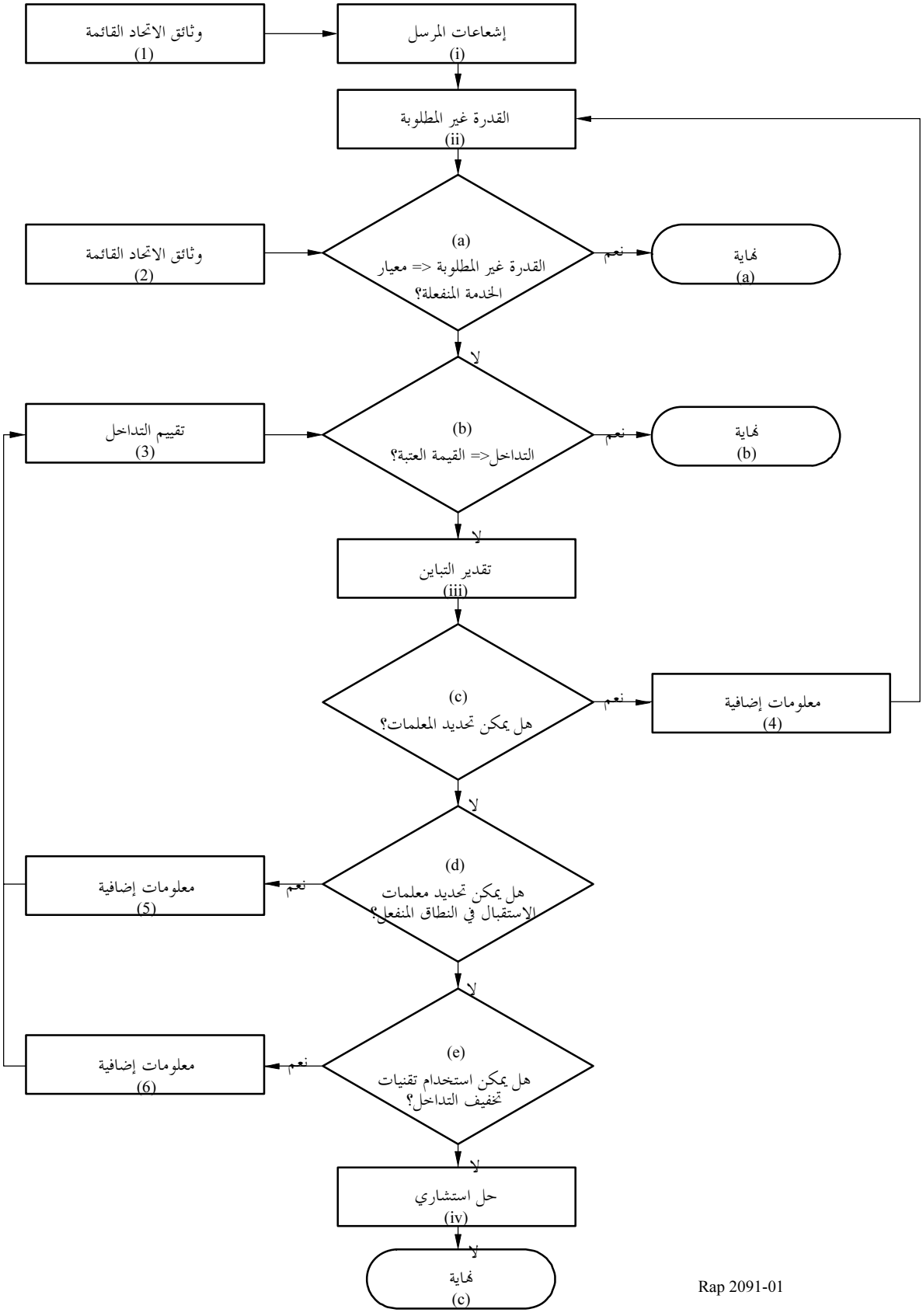
2 المنهجية

1.2 معلومات عامة

تحدد المنهجية العامة التالية وسائل علمية من أجل استنتاج معايير مواءمة مقبولة من الأطراف ذات الصلة من مشغلي الخدمات النشيطة والمنفعلة العاملة في النطاقات الموزعة عليها. ويلخص المخطط الإجمالي (انظر الشكل 1) هذه المنهجية وجميع المراحل الواردة بالتفصيل في الفقرة 2.2 أدناه. ونظراً لأن الإجراء تكراري، قد يكون من الضروري إجراء عدة دورات قبل التوصل إلى حل.

الشكل 1

عملية تقييم تشغيل الخدمات المنفعلة والنشيطة
في النطاقات المجاورة والقريبة



Rap 2091-01

تتمثل المرحلة الأولى في تحديد معلمات إرسالات الخدمة النشيطة (المربع (i)). ونقطة البداية هي سيناريو الحالة الأسوأ الذي يستعمل لتحديد احتمال وقوع تداخل ضار في الخدمات المنفعلة يصدر عن إحدى الخدمات النشيطة العاملة في نطاق مجاور أو قريب. وغالباً ما يمكن تحديد هذه السوية لقدرة الحالة الأسوأ بالرجوع إلى الحدود النظامية القائمة (المربع (1))، مثل قيم كثافة تدفق القدرة المحددة في المادة 21 من لوائح الراديو. ولذا يجب استخدام هذه القيم النظامية للقدرة التي ترسلها الخدمة النشيطة في تحديد سوية الحالة الأسوأ للإشعاعات غير المطلوبة في النطاق المنفعل (المربع (ii)).

وتنطوي المرحلة التالية على تحديد ما إذا كانت سوية تداخل الحالة الأسوأ هذه أعلى من عتبة التداخل المحددة للخدمة المنفعلة في النطاق موضوع الدراسة (المعين (a)). وترد سويات العتبة هذه في توصيات مختلفة صادرة عن القطاع ITU-R (المربع (2))، مثل التوصيتين ITU-R RA.769 وITU-R RS.1029. وإذا كانت عتبة التداخل هذه أعلى من السوية الأسوأ للإشعاعات غير المطلوبة في النطاق، فليس هنالك تأثير ضار على عمليات الخدمة المنفعلة. وفي هذه الحالة، تتبع المنهجية الخط "نعم" وتنتهي العملية. وعند هذه النقطة وكذلك عند جميع نقاط النهاية في هذه المنهجية، تشكل الفرضيات المستخدمة في الوصول إلى نقطة النهاية الأساس التقني لترتيب تشغيل متوائم بين الخدمات النشيطة والمنفعلة ذات الصلة. أما كيفية استخدام هذه الفرضيات التقنية والاستنتاجات التي تنجم عنها فمسألة تنظيمية تتجاوز مجال التطبيق التقني لهذه التوصية. لكن في حالة المعين (a)، إذا تجاوز تقدير التداخل المعيار المحدد للخدمة المنفعلة، من الضروري عندئذٍ اتباع الخط "كلا" وصولاً إلى المعين (b). وفي الإعادة الأولى، لا تتوافر معلومات جديدة. لذا يستمر المسير إلى المربع (iii). أما في الإعادات التالية، فقد تكون العتبة في المعين (b) مختلفة عن معيار الخدمة المنفعلة المستعمل في المعين (a) بسبب تعديل بعض المعلمات أو إضافتها وبسبب تقاسم الأعباء. وقد تنتج هذه المعلمات المعدلة أو المضافة عن المعينات (c) أو (d) أو (e). بينما يتيح المعين (b) تقديراً إضافياً لتحقيق المواءمة.

وفي مثل هذه الحالة تتبع العملية الخط "نعم" وينتهي الإجراء، وإلا يتعين تقدير التباين الذي ينبغي البحث من خلاله وحتى الوصول إلى المعينات (c) أو (d) أو (e) عن البدائل التالية:

- تحديد معلمات إرسال الخدمة النشيطة مثل معلمات النظام الفعلية، والقدرة الأولية المتاحة وغيرها؛ و/أو
- تحديد معلمات الإرسال في النطاق المنفعل؛ و/أو
- مزيد من تقنيات تخفيف التداخل في الخدمتين النشيطة والمنفعلة على حد سواء مما قد يشمل كلا البديلين (a) و(b).

وإذا ظهر خلال تقدير التباين على النحو المبين في المربع (iii) أن الاختلاف بين السويتين كبير، يتضح عندئذ أن الفرضيات المستخدمة في أول مرة غير كافية لحل المشكلة وأنه يجب وضع فرضيات أكثر تفصيلاً عن خصائص وعمليات كل من الخدمتين. أما إذا كان الاختلاف ضئيلاً قد يكون من الممكن تعديل الفرضيات المستخدمة بصورة طفيفة على نحو يتيح التقارب مع إيجاد حل في المرة التالية. وقد يساعد استعراض المعطيات المتوفرة على اقتراح فرضيات إضافية مفيدة.

وبناءً على ما تقدم، يمكن النظر في تعديل معلمة واحدة أو أكثر من معلمات الخدمة النشيطة أو الخدمة المنفعلة أو معايير المواءمة أو تقنيات تخفيف التداخل الممكنة أثناء الإعادات المتتالية. وينبغي إجراء ما يلزم من الإعادات لحل المشكلة تماماً أو نفاذ كل الحلول الممكنة وإذا نفذت جميع الحلول الممكنة دون التوصل إلى عملية متوائمة تنتهي الطريقة "بالحل الاستشاري". وذلك ينطوي على أن الحل الوحيد الممكن هو أن يتشاور مشغل نظام الخدمة النشيطة مع مشغل نظام الخدمة المنفعلة من أجل التوصل إلى حل يرضي الطرفين إن أمكن. ولا تدخل مواصفات حل استشاري من هذا القبيل، في إطار هذه التوصية.

ولا تتناول هذه المنهجية بالدراسة إلا التداخل المحتمل أن تسببه خدمة نشيطة عاملة في نطاق موزع. وبما أن الخدمة الساتلية لاستكشاف الأرض (EESS) (المنفعلة) قد تتعرض للتداخل الصادر من عدة خدمات في آن واحد، فمن الضروري إجراء مزيد من الدراسة من أجل حساب الآثار المجتمعة لعدة خدمات نشيطة.

2.2 وصف مسهب للمخطط الإجمالي (انظر الشكل 1)

1.2.2 المربع (1): وثائق الاتحاد القائمة

يحيل هذا المربع إلى الوثائق التي قد تساعد على تحديد إشعاعات المرسل. وفيما يلي المواد المستخدمة من لوائح الراديو وكذلك التوصيات والتقارير الصادرة عن القطاع ITU-R والمتعلقة بتحديد قدرة المرسل التي قد تنتقل إلى النطاقات المنفعلة، وهي متاحة كمراجع. وينبغي استخدام هذه النصوص التنظيمية وهذه التوصيات بوصفها نقطة البداية لعملية تقييم احتمال الإشعاعات غير المطلوبة الصادرة عن خدمة نشيطة ما في نطاقات خدمة منفعلة.

لوائح الراديو

المواد 1 و5 و21 و22 والتذييل 3.

التوصيات الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية

التوصية ITU-R F.758: اعتبارات متعلقة بوضع معايير التقاسم بين الخدمة الثابتة والخدمات الأخرى.

التوصية ITU-R F.1191: عروض النطاقات والإشعاعات غير المطلوبة في الأنظمة الرقمية للخدمة الثابتة.

التوصية ITU-R SM.326: تحديد وقياس القدرة في المرسلات الراديوية بتشكيل الاتساع.

التوصية ITU-R SM.328: أطياف الإرسالات وعرض نطاقها.

التوصية ITU-R SM.329: الإشعاعات غير المطلوبة في النطاق الهامشي.

التوصية ITU-R SM.1446: تعريف وقياس نواتج التشكيل البيني في مرسل يستخدم تقنيات تشكيل التردد والطور وغيرها من تقنيات التشكيل المعقدة.

التوصية ITU-R SM.1539: تغير الحدود بين مجال الإرسالات خارج النطاق ومجال البث الهامشي والذي ينبغي مراعاته في تطبيقات التوصيتين ITU-R SM.1541 وITU-R SM.329.

التوصية ITU-R SM.1540: إشعاعات غير مطلوبة في مجال الإرسال خارج النطاق الواقع في النطاقات المجاورة الموزعة.

التوصية ITU-R SM.1541: إشعاعات غير مطلوبة في مجال الإرسال خارج النطاق.

وقد يكون من الضروري توفير بعض البيانات إضافة إلى هذه التوصيات من قبيل:

- دورة تشغيل الأنظمة موضوع الدراسة؛
- التوزيع الجغرافي وكثافة المرسلات بما في ذلك كثافة الانتشار؛
- توجيه الهوائي أو مسحه في أنظمة التحديد الراديوي أو الإرسال باتجاه أرض–فضاء؛
- تغطية الخدمة في الإرسالات باتجاه فضاء–أرض؛
- الأقنعة الطيفية ذات الصلة؛
- مخططات الهوائيات.

وقد لا تتوافر جميع البيانات المطلوبة لجميع البنود المذكورة آنفاً. وقد يكون من الضروري افتراض بعض المعلمات. وقد تستدعي معلومات أخرى مثل الانتشار وضع نماذج افتراضية.

2.2.2 المربع (2): وثائق الاتحاد القائمة

يحيل هذا المربع إلى الوثائق المتصلة بانتقاء المعايير المناسبة لحماية الخدمة المنفعلة من التداخل. وتستخدم المعايير المختلفة للخدمة المنفعلة التي وضعتها فرق العمل المختصة المكلفة بالخدمات المنفعلة كمدخلات للمعين (a) من المخطط الإجمالي. وقد وضعت

هذه التوصيات عبر الزمن بهدف مساعدة فرق عمل أخرى تهتم بالخدمات النشيطة على تقييم التداخل المحتمل الذي قد تسببه خدماتهم في الخدمات المنفعلة. وفيما يلي قائمة بالتوصيات التي ينبغي أخذها بعين الاعتبار.

توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

ITU-R RA.769: معايير الحماية المستخدمة في قياسات علم الفلك الراديوي.

ITU-R RA.1513: مستويات فقدان البيانات في عمليات الرصد الفلكي الراديوي ومعايير النسبة المئوية من الوقت الناتجة عن الانحطاط الذي يسببه التداخل في نطاقات الترددات التي لها توزيعات على أساس أولي لخدمة علم الفلك الراديوي.

ITU-R RS.1028: معايير أداء خدمة الاستشعار عن بعد المنفعلة الساتلية.

ITU-R RS.1029: معايير التداخل في خدمة الاستشعار عن بعد المنفعلة الساتلية.

3.2.2 المربع (3) تقييم التداخل

وظيفة هذا المربع هي الإتاحة للخدمة المنفعلة إنتاج معيار تقاسم جديد استناداً إلى المعلومات التي يوفرها المربعان (5) و(6). مثال، يمكن افتراض مستويات نصوص جانبية أقل بمقدار 0 dBi من مستويات كسب هوائي الاستقبال الذي يفترض عادة في خدمة علم الفلك الراديوي. وفي هذه الحالة، يمكن إجراء عملية حساب معيار التقاسم من جديد في المربع (3).

ومن أجل تقييم التداخل الصادر عن أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض (non-GSO FSS) في محطات خدمة علم الفلك الراديوي، ينبغي اتباع المنهجية التي تنص عليها التوصية ITU-R S.1586. أما من أجل تقييم التداخل الصادر عن أنظمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) والخدمة المتنقلة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض في محطات خدمة الفلك الراديوي، فينبغي اتباع المنهجية الواردة في التوصية ITU-R M.1583.

4.2.2 المربعات (4) و(5) و(6): معلومات إضافية

وظيفة هذه المربعات هي معالجة المعلومات الجديدة المستمدة من دراسات التقاسم وذلك أثناء عمليات الإعادة المتعددة، مثل استعمال المعلومات الواردة في التذييل 4 للوائح الراديو والمقدمة إلى مكتب الاتصالات الراديوية والمتوفرة في المربع (4) من أجل تبرير استعمال كثافة تدفق قدرة في النطاق تقل عن القيمة النظامية. وقد تحتوي بعض المعلومات الأخرى على معلومات عن المرشاح أو الهوائي في أحد المربعات (4) و(5) و(6) والتي تدرج في العملية من أجل التوصل إلى حل. كما قد تضم المعلومات الجديدة مدخلات جديدة لم تذكر سابقاً من قبيل توصيات محددة صادرة عن القطاع ITU-R أو توصيات ومعايير إقليمية. وفيما يلي بعض الأمثلة للمربعات ذات الصلة:

المربع (4)

عند الترددات المرتفعة، يمكن أن يكون لمخططات هوائيات الإرسال فتحة حزمة أضيق بكثير من أجل زيادة القدرة إلى أكبر حد ممكن في مجال خدمة محدود على نحو يرفع المعدل ويمكّن من التغلب على الآثار الجوية. ونتيجة لذلك، يتلقى القسم الأكبر من سطح الأرض كثافة تدفق قدرة وإشعاعات غير مطلوبة أقل بكثير من السوية الضارة للخدمة المنفعلة. وبدلاً من تحديد السوية المستخدمة في كامل سطح الأرض، قد يكون بالإمكان تخفيف السوية فوق جزء من سطح الأرض. ونتيجة لذلك، يصبح احتمال أن تتعرض محطة خدمة علم فلك لتداخل ضار من اتجاه محدد ضئيلاً جداً.

وفيما يخص النطاق GHz 42,5-40، تحتوي التوصية ITU-R S.1557، بعنوان "المتطلبات والخصائص التشغيلية لأنظمة الخدمة الثابتة الساتلية العاملة في النطاقات GHz 40/50 من أجل استعمالها في دراسات التقاسم بين الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة" على معلمات يمكن استعمالها في الدراسات المتصلة بهذا النطاق.

المربع (5)

هنالك خصائص من قبيل مخططات هوائي استقبال محدد لكل نطاق يمكن استعمالها للتقليص من الفرق بين سوية التداخل الضار بالخدمة المنفعلة وسوية الإشعاعات الواصلة غير المطلوبة.

المربع (6)

وتضم التوصية ITU-R SM.1542 قائمة بتقنيات عديدة لتخفيف التداخل من شأنها أن تقلل إلى أبعد حد تأثير الخدمة النشيطة على الخدمة المنفعلة. ولا تستخدم في كل حالة إلا بعض تقنيات تخفيف التداخل المذكورة لمعالجة تلك الحالة. وغالباً ما يكون من الضروري لدى استخدام هذه التقنيات أن تتحدد كيفية توزيع الأعباء الناجمة عن ذلك الاستخدام.

5.2.2 المربع (i): إرسالات المرسل

الغرض من هذا المربع هو تحديد كثافة قدرة الإرسال في النطاق عند شريط تثبيت الهوائي.

1.5.2.2 الحالة العامة

يمكن التعبير عموماً عن القيمة في المعادلة التالية:

$$p_{density} = e.i.r.p._{density} - G_t \quad (1)$$

حيث:

$p_{density}$: كثافة قدرة الإرسال في هوائي الإرسال ((dB(W/Hz)

$e.i.r.p._{density}$: كثافة القدرة e.i.r.p. عند الإرسال ((dB(W/Hz)

G_t: كسب هوائي الإرسال (dBi).

كما يمكن حساب كثافة قدرة الإرسال في المعادلة:

$$p_{density} = 10\ \log(p_t) - OBO - 10\log(BW_{nb}) - L_c \quad (2)$$

حيث:

p_t: القدرة الاسمية القصوى في مضخم الإرسال (W)

OBO: قدرة الخرج باتجاه الخلف (dB)

BW_{nb}: عرض النطاق اللازم (Hz)

L_c: خسارة الدارة بين مكبر الإرسال وهوائي الإرسال (dB).

ويجدر بالذكر أن المعادلة (2) تفترض أن كثافة قدرة الإرسال موزعة بانتظام على طول عرض النطاق اللازم. وإذا كانت هذه الفرضية خاطئة أمكن تصحيحها من خلال تعديل عرض النطاق بصورة ملائمة.

2.5.2.2 سوية قدرة الساتل المرسلة في النطاق استناداً إلى الجدول 21-4 الوارد في لوائح الراديو

تحسب كثافة قدرة الإرسال من القيم الحدية لكثافة تدفق القدرة (pfd)، وينتج:

$$P_{density} = pfd + 10\ \log(4\pi d^2) - G_t + L_c \quad (3)$$

حيث:

pfd: كثافة تدفق القدرة في الوصلة الهابطة (dB(W/(m^2 · MHz)))

d: المسير المائل من الساتل إلى المحطة الأرضية (km)

G_t: كسب هوائي الإرسال (dBi)

L_c: خسارة الدارة بين مكبر الإرسال وهوائي الإرسال (dB).

وإذا استخدمت هذه القيم تنتج أعلى سوية إرسال للمرسل. لكن ذلك غالباً ما يكون منافياً للواقع. ذلك لأن عدة عوامل مثل التناقص الفعلي لهوائي الإرسال وأشكال الموجات الطيفية لا تدخل في الحسبان. وينبغي عند إجراء الحسابات المذكورة آنفاً الانتباه إلى أن كسب هوائي الإرسال يرتبط بالنظام المستخدم وتطبيقاته. وعموماً، يتغير كسب هوائي الإرسال الساتلي على النحو التالي:

- يتراوح الكسب في أنظمة الخدمة المتنقلة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض بين 17 dBi و31 dBi تبعاً لارتفاع الساتل وزاوية الارتفاع؛
- يتراوح الكسب في أنظمة الخدمة المتنقلة الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض بين 41 dBi و45 dBi؛
- يتراوح كسب هوائي ساتل في الخدمة الثابتة الساتلية العاملة في النطاقين GHz 6/4 وGHz 14/12، بين 20 dBi و42 dBi. غير أن كسب هوائي الأنظمة الساتلية المستقبلية في النطاقين المذكورين قد يكون أكبر بكثير من كسب الأنظمة الحالية.
- يتراوح كسب هوائي إرسال ساتل في الأنظمة الساتلية للخدمة الثابتة الساتلية العاملة في النطاقين GHz 30/20 وGHz 50/40، بين 44 dBi و60 dBi.

3.5.2.2 كثافة القدرة استناداً إلى القدرة الإجمالية للترددات الراديوية للمحطة الفضائية

يرتبط حساب كثافة القدرة e.i.r.p. للإرسال بقدرة التردد الراديوي الإجمالية للإرسال وخسارة الدارات بين مضخم قدرة الإرسال وهوائي الإرسال، وكسب هوائي الإرسال وخطة إعادة استعمال التردد وعرض النطاق المخصص وعدد الحزم إلى ما غير ذلك. ويمكن حساب متوسط كثافة القدرة e.i.r.p. للإرسال كالتالي:

$$P_{density} = 10\ \log(P_{total}) - 10\ \log(N_{beam}) - 10\ \log\left(\frac{BW_{as}}{N_{freq}}\right) - OBO \quad (4)$$

حيث:

p_{total}: القدرة الإجمالية لإرسال التردد الراديوي (W)

N_{beam}: عدد الحزم

BW_{as}: عرض النطاق المخصص (Hz)،

مثال: 500 MHz للنطاق GHz 6/4؛ 1 000 MHz للنطاق GHz 14/12 وهكذا.

N_{freq}: خطة إعادة استعمال التردد

OBO: قدرة الخرج باتجاه الخلف (dB).

4.5.2.2 كثافة القدرة استناداً إلى بطاقات التبليغ عن السواتل في الاتحاد

يمكن حساب كثافة قدرة إرسال السواتل مباشرة من بطاقات التبليغ عن المحطات الساتلية بموجب التذييل 4 للوائح الراديو.

6.2.2 المربع (ii): قدرة التداخل

الغرض من هذه الخطوة هو استنتاج سوية الإشعاعات غير المطلوبة التي تتلقاها الخدمة المنفعلة وذلك استناداً إلى كثافة تدفق القدرة في النطاق المحددة في المربع (i). وتختلف كيفية تقدير هذه القيمة باختلاف خصائص خدمة الإرسال وخصائص الخدمة المنفعلة المعرضة للتداخل. أما التداخل المحتمل حدوثه في الخدمة المنفعلة والناجم عن الإشعاعات غير المطلوبة الصادرة عن أنظمة الخدمة النشيطة يمكن حسابه استناداً إلى ما يلي:

$$pfd_{(unwanted\ emissions)} = pfd_{in-band_active} - OoB - L \quad (5)$$

حيث:

$pfd_{(unwanted\ emissions)}$: سوية كثافة تدفق القدرة في مواقع استقبال خدمة علم الفلك الراديوي

$pfd_{in-band_active}$: سويات كثافة تدفق القدرة في أنظمة الخدمة النشيطة. وبالإمكان استعمال القيم القصوى للكثافة pfd المسموح بها والواردة في الجدول 21-4 لإجراء الحسابات. وفي بعض الحالات لا تتوفر القيم pfd في الوصلة الهابطة ويمكن عندئذ استعمال الحدود القصوى للكثافة pfd في الوصلة الهابطة للنظام النشيط.

OoB: قناع نبذ الإشعاع خارج النطاق (استناداً إلى التوصية ITU-R SM.1541 مثلاً).

L: التوهين الناجم عن الغازات الجوية، الخسارة الناجمة عن التلألؤ (انظر التوصية ITU-R P.676 – "التوهين الناجم عن الغازات الجوية").

ويقترح الرقم 153.1 من لوائح الراديو والتوصية ITU-R SM.1541 طرائق لتحديد إشعاعات الخدمات النشيطة ضمن مجال الإرسالات خارج النطاق. ووفقاً للتوصية ITU-R SM.1541، يتحدد مدى مجال الإشعاعات خارج النطاق من خلال تطبيق التوصية ITU-R SM.1539. وتُستخدم التوصية ITU-R SM.329 في حساب سويات الإشعاعات غير المطلوبة الناتجة عن الخدمات النشيطة والتي تحدث في مجال البث الهامشي.

1.6.2.2 المستقبلات في الخدمة الساتلية لاستكشاف الأرض (EESS)

الخدمة EESS شديدة الحساسية للتداخل الصادر عن مرسلات الأرض، بما فيها المرسلات البسيطة عالية المستوى والإشعاعات المتراكمة للمرسلات منخفضة القدرة لكنها كثيفة الانتشار. كما تزيد المرسلات المحمولة جواً الطاقة التي يستقبلها المحساس عبر انعكاسات سطح الأرض في حزمة الهوائي الرئيسية أو مباشرة في جوانبه أو في جزئه الخلفي.

وتشمل النقاط المطلوبة لتقييم القدرة الناتجة عن أنظمة نشيطة في مستقبلات الخدمة EESS ما يلي:

- كسب نظام الخدمة EESS؛
- خصائص تسديد نظام الخدمة EESS؛
- ارتفاع نظام الخدمة EESS؛
- الامتصاص الجوي.

1.1.6.2.2 كثافة المرسلات جغرافياً

الأنظمة المنتشرة على سطح الأرض مستقرة عموماً أثناء فترة قياس المحساس. ويتزايد احتمال التداخل عندما تظهر عدة مرسلات في الحزمة الرئيسية لهوائي المحساس. أما المعلومات المطلوبة من أجل تقييم القدرة الصادرة عن الأنظمة النشيطة والذي يتلقاها بيكسل الخدمة EESS فهي التالية:

- حجم بيكسل الخدمة EESS؛
- عدد المطاريف التي ستنشر في حجم البيكسل والتي ستستعمل نفس التردد في نفس الوقت؛

– الكسب التقريبي للأنظمة الأرضية المتجهة إلى سواتل الخدمة EESS.

وتقدم التوصية ITU-R F.1245 مخطط هوائي لأنظمة الخدمة الثابتة من نقطة إلى نقطة (P-P)، وتعرض التوصية ITU-R F.1336 مخططات الإشعاع المرجعية للأنظمة من نقطة إلى نقاط متعددة (P-MP). ونظراً إلى أن مطاريف الخدمة الثابتة مسددة في اتجاه قريب من الأفق، فإن احتمال توافر نظام خدمة ثابتة بتسديد مباشر في الخدمة الرئيسية لهوائي ساتل خدمة EESS ضئيل جداً. وفي البدء، يمكن إجراء تقدير تقريبي لمتوسط كسب أنظمة الخدمة الثابتة في اتجاه ساتل الخدمة EESS واستخدامه في حساب القدرة المتراكمة في ساتل الخدمة EESS، وذلك بافتراض كسب لكل مطراف خدمة ثابتة يساوي الكسب الذي كسب لزاوية قدرها 90° خارج المحور.

وينبغي في حالة أنظمة الخدمة الثابتة مراعاة المعلمات التالية:

– ترتيب القنوات (إن وجدت) كخطوة أولية (فحص "أقرب" قناة إلى نطاق الخدمة EESS)؛

– نص التوصية ITU-R F.1191 القاضي، فيما يخص الأنظمة الرقمية للخدمة الثابتة، بضرورة اعتبار عرض النطاق اللازم مساوياً لعرض النطاق المشغول وعدم تجاوز قدرة الخدمة الثابتة خارج عرض النطاق المشغول (الأعلى والأسفل) لنسبة 0,5% من إجمالي القدرة المتوسطة للإرسالات المعنية (انظر الرقم 153.1 من لوائح الراديو). وترد قيم متوسط القدرة الإجمالية في التوصية ITU-R F.758.

2.1.6.2.2 مرسل مسدد باتجاه المحاسيس

قد تسبب بعض المرسلات، في بعض الحالات، أخطاءً في القياسات عندما يقع المحساس في الفص الرئيسي لمحطة الأرض. أما المعلومات المطلوبة من أجل تقييم القدرة الصادرة عن النظام النشيط فهي:

– كسب المرسل المسدد باتجاه الخدمة EESS؛

– مسير الوصلة.

3.1.6.2.2 الوصلات الهابطة الساتلية

قد يحدث التداخل في بعض الحالات بسبب إشارات منعكسة من سطح الأرض قد تصل إلى الحزمة الرئيسية للمحطة الفضائية. أما المعلومات الضرورية من أجل تقييم القدرة الصادرة عن النظام النشيط فهي:

– عامل انعكاس سطح الأرض أو سطح الماء؛

– كسب النظام الفضائي في اتجاه الأرض؛

– ارتفاع النظام الفضائي أو كثافة تدفق القدرة عند سطح الأرض.

2.6.2.2 مستقبل خدمة علم الفلك الراديوي

1.2.6.2.2 إشعاعات غير مطلوبة صادرة عن الخدمة الثابتة

من المتوقع حدوث تداخل تسببه أنظمة المحطات على منصات عالية الارتفاع (HAPS) في خدمة علم الفلك الراديوي. و لم تحدد التوصية ITU-R SM.1542 قضايا أخرى تتعلق بمصادر التداخل الأرضية في نطاقات خدمة علم الفلك الراديوي.

2.2.6.2.2 إشعاعات غير مطلوبة صادرة عن الأنظمة الفضائية

إن القدرة غير المطلوبة في محطات علم الفلك الراديوي تصدر عن الوصلات الهابطة الساتلية المستقرة أو غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض على حد سواء. وفي الحالة الأولى لا يتغير التداخل عموماً تبعاً للموقع أو للوقت. أما في الحالة الثانية، فإن التداخل يتغير في الجو تبعاً للوقت والموقع لذا يعالج هذين النوعين من التداخل كلاً على حدة.

1.2.2.6.2.2 إشعاعات غير مطلوبة صادرة عن الأنظمة الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض (الوصلة الهابطة)

يمكن تقدير كثافة تدفق القدرة للإشعاعات غير المطلوبة كالتالي:

$$pfd_{unwanted\ emission} = \int_{f_1}^{f_2} \frac{p(f) \cdot g(f)}{SL \cdot ATM(f)} \mathrm{df} \quad (6)$$

حيث:

$pfd_{unwanted\ emissions}$: كثافة تدفق القدرة في محطة علم الفلك الراديوي (W/m^2)

f_1, f_2: الحافتان العليا والدنيا على التوالي لنطاق مستقبل خدمة علم الفلك الراديوي (Hz)

$p(f)$: كثافة قدرة الإشعاعات غير المطلوبة في نقطة تثبيت هوائي الإرسال (W/Hz)

$g(f)$: كسب هوائي الإرسال في اتجاه موقع علم الفلك الراديوي

SL: الخسارة الناجمة عن التمديد (M_2)

$ATM(f)$: الامتصاص الجوي في النطاق $f_2 - f_1$ بدلالة التردد.

ويجدر بالذكر أن كثافة قدرة الإشارة المرسلة وكسب النظام الفرعي للهوائي والامتصاص الجوي كلها عوامل تختلف باختلاف التردد، ولذلك فهي تمثل دلالات للتردد. وكثافة تدفق قدرة الإشعاعات غير المطلوبة في موقع محطة علم الفلك الراديوي هي كامل هذه الدلالات كما تبيَّن آنفاً في تردد نطاق مرور لمستقبِل. وفي الحالات التي تمثل فيها كثافة قدرة الإشعاعات غير المطلوبة وكسب الهوائي والامتصاص الجوي قيماً ثابتة في عرض نطاق مستقبل الخدمة المنفعلة يمكن تبسيط المعادلة على النحو التالي:

$$pfd_{unwanted\ emission} = \frac{p \cdot g}{SL \cdot ATM}(f_2 - f_1) \quad (7)$$

وفي الحالات التي يكون فيها نطاق الخدمة النشيطة مجاوراً أو قريباً من نطاق الخدمة المنفعلة، يمكن افتراض أن كسب هوائي الإرسال يبقى ثابتاً تقريباً في كل من النطاقين. لكن غالباً ما يكون الأمر على عكس ذلك، خاصة عندما يكون النطاق المنفعل أقل من تردد قطع شبكة تغذية دليل الموجة في النظام الفرعي للهوائي.

2.2.2.6.2.2 إشعاعات غير مطلوبة صادرة عن أنظمة ساتلية غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض (الوصلة الهابطة)

ينبغي اتباع المنهجية الواردة في التوصية ITU-R S.1586 من أجل تقييم التداخل الذي تسببه أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض في محطات خدمة علم الفلك الراديوي. كما ينبغي اتباع منهجية التوصية ITU-R M.1583 من أجل تقييم التداخل الذي تسببه أنظمة الخدمتين RNSS وMSS الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض في محطات خدمة علم الفلك الراديوي.

7.2.2 المربع (iii): تقدير التباين

الغرض من هذا المربع هو إتاحة استعراض البيانات المدخلة والتباين قبل البدء بعملية تكرار للطريقة. ويعني الوصول إلى هذا المربع أن قيمة التداخل الناتج أعلى من قيمة العتبة، وأنه يجب إجراء تغييرات في العملية التالية من أجل تقليص التباين بين القيمتين.

وفي عمليات التكرار الأولى، ينبغي التركيز على تحسين الدقة في تقدير التداخل الناتج في الخدمة المنفعلة. وبما أن دراسات التقاسم الأولية تتضمن فرضيات عامة بشأن النظامين، يتعين تحسين هذه الفرضيات بحيث تصبح قادرة على تقدير التداخل المحتمل بصورة صحيحة. وقد تتطلب آليات توصيف الأنظمة التفصيلي وطرائق الحساب الدقيقة درجة أعلى من التعقيد الحسابي، لكنها قد تُظهر في نهاية المطاف أن التداخل المحتمل أقل بكثير من التداخل الذي ينتج باستعمال الفرضيات العامة.

وعندما تصبح الدراسة دقيقة بدرجة كافية ويبقى التباين كبيراً، ينبغي على أحد الطرفين أو كليهما أن يلجأ إلى استخدام بعض القيود من أجل حل المشكلة. وقد تتخذ هذه القيود شكل تقييدات تشغيلية أو تغييرات في خصائص التجهيزات أو تعديلات لمعايير التقاسم.

وبعد تحديد نقاط التغيير الممكن للمرحلة التالية في هذا المربع، فإن مربع القرارات المناسب سيتولى عملية التغيير التي ستؤدي إلى تقدير جديد لقيمة التداخل.

8.2.2 المربع (iv): الحل الاستشاري

بعد تكرار العمليات عدة مرات، قد تظل هنالك فجوة بين الخدمة النشيطة والخدمة المنفعلة. وفي حال استنفاذ جميع التغييرات الممكنة لمعلمات النظام أو للمعايير أو لتقنيات تخفيف التداخل، يتعذر التوصل إلى حل ممكن يتيح لمستعملي النطاق النشيط التقاسم مع جميع مستعملي الخدمة المنفعلة. والحل الوحيد المتبقي الذي يمكن استكشافه هو أن يبدأ مستعملو الأنظمة الفرعية للنطاقين النشيط والمنفعل مناقشات ويتوصلوا إلى اتفاق فيما بينهم. على سبيل المثال، فيما يتعلق بنطاقين متجاورين قد يتعذر التوصل إلى حل بين الخدمة الثابتة الساتلية وخدمة علم الفلك الراديوي، لكن قد يكون ذلك ممكناً بين الخدمة الثابتة الساتلية غير المستقرة بالنسبة للأرض وبين خدمة علم الفلك الراديوي.

وقد تكون الطريقة الموضحة في الشكل 1 مفيدة للشروع في مناقشات بين الأنظمة الفرعية للمشغلين الذين يتقاسمون النطاق.

وإذا لم تنجح الأطراف المتحاورة الصغيرة بالتوصل إلى اتفاق، تنتهي العمليات دون سد فجوة التباين. وقد يساعد التقدم المحرز في عمليات إعادة الطرائق على سد الفجوة واقتراح مواضيع للدراسة فيما بعد. كما قد يكون أساساً لحلول عديدة من شأن المنظمين أن يفيدوا منها.

9.2.2 المعين (a): قدرة التداخل ≥ معايير الخدمة المنفعلة

تقارن قدرة التداخل المقدرة في المربع (ii) مع المعايير المناسبة لحماية الخدمة المنفعلة في المربع (2). وإذا كانت أعلى من السوية الضارة تنتقل الطريقة إلى معين القرارات (b). وتنتهي العمليات إذا ما كان التداخل أقل من هذه المعايير أو مساوياً لها.

10.2.2 المعين (b): قدرة التداخل ≥ قيمة العتبة

أثناء العمليات الأخيرة قد تشير العتبة في المعين (b) إلى إمكانية استعمال ترتيبات تشغيل تتيح حماية الخدمة المنفعلة حماية كافية ولا تفرض سوى تغييرات ضئيلة على الخدمة النشيطة. وتنتج المعلمات المستخدمة عن عمليات المعينات (c) أو (d) أو (e). أما الأعباء الناتجة عن هذه الترتيبات فتوزع بالتساوي على الخدمتين. وفي حالة وجود عدة خدمات نشيطة غير مطلوبة، ينبغي استعمال إجراء الإعادة لكل خدمة على حدة، مما قد يؤدي إلى ترتيبات تشغيل مختلفة لكل منها. والمبدأ الأساسي هو أن لا يحول إجمالي أعباء الأطراف المشاركة دون تشغيل أحدهما تشغيلاً فعالاً.

11.2.2 المعين (c): هل يمكن استخدام تقنيات تخفيف التداخل؟

بعد تفحص المربع (iii)، يمكن تعديل معلمات إرسال الخدمة المنفعلة. وعلى سبيل المثال، قد تحل القيم الحدية النظامية المستعملة كسويات دنيا والتي تمثل بصورة الحالة موضوع الدراسة محل فرضيات الحالة الأسوأ في الأنظمة المخطط لها مستقبلاً. وتؤخذ عندئذ هذه الفرضيات المعدلة بالحسبان في العمليات اللاحقة.

12.2.2 المعين (d): هل يمكن تحسين معلمات الإرسال في النطاق المنفعل؟

بعد تفحص المربع (iii) يمكن تعديل معلمات استقبال الخدمة المنفعلة. فعلى سبيل المثال يمكن استعمال مخططات الهوائي الفعلية بدلاً من المخططات الأكثر تحفظاً. ويمكن بعدئذ أخذ هذه الفرضيات المعدلة بالحسبان في العمليات اللاحقة.

13.2.2 المعين (e): هل يمكن استخدام تقنيات تخفيف التداخل؟

بعد استنفاذ إمكانيات تعديل معلمات الخدمتين النشيطة والمنفعلة وبقاء فجوة بين التداخل وعتبة التقاسم، يمكن التفكير في تقنيات تخفيف التداخل كسبيل لتقليص هذا التباين. وهناك ثلاث تقنيات ممكنة ترد في هذه الفقرة. غير أن هنالك تقنيات أخرى متوفرة (مثال: القائمة الواردة في الملحق 3 للتوصية ITU-R SM.1542).

1.13.2.2 النظام النشيط

1.1.13.2.2 الترشيح باستعمال النظام النشيط

إحدى طرق الحماية الملائمة للخدمات المنفعلة هي إدراج ترشيح إضافي في سلسلة التردد الراديوي للمرسل من أجل خفض مستوى الإشعاعات غير المطلوبة. وقد لا يترتب على ذلك أحياناً سوى مشكلة بسيطة للغاية. إذ إن معمارية المرسل تسمح بإدراج مرشاح أو تحسين المرشاح المتوفر. غير أن استعمال المراشيح في حالات أخرى قد تخضع لاعتبارات التكاليف والوزن و/أو انخفاض القدرة.

2.1.13.2.2 استعمال نطاق الحراسة

إحدى تقنيات خفض مستوى الإشعاعات غير المطلوبة في النطاق المنفعل والصادرة عن مرسل الخدمة النشيطة هي إدراج نطاق حراسة. ويتيح نطاق الحراسة خفض قدرة التداخل التي يتلقاها مشغل الخدمة المنفعلة. وعلى الرغم من أن ذلك قد يكون فعالاً في حالة تقاسم النظامين للنطاقات المتجاورة لكنه قليل الأثر عندما يكون الفصل بين النطاقين كبيراً لأن عرض النطاق المضاف قد لا يؤدي إلى أي تحسين فعلي للتوهين بالمرشاح. وعلاوة على ذلك، فإن إدراج نطاق الحراسة يقلص من عرض النطاق المتاح لإحدى الخدمتين أو لكلتيهما.

ومن أجل تقدير تأثير نطاق الحراسة ينبغي إجراء الحسابات التالية. وتحسب قدرة التداخل (W) التي تتعرض لها الخدمة المنفعلة باستعمال المعادلة التالية:

$$I = \int_{f_1}^{f_2} \frac{p(f) \cdot g_1(f) \cdot g_2(f) \cdot |h(f)|^2}{FSL \cdot ATM(f)} \, \mathrm{d}f \tag{8}$$

حيث:

I: قدرة التداخل في مستقبل الخدمة المنفعلة داخل عرض نطاق استقباله (W)

f_1, f_2: الحافتان الدنيا والعليا على التوالي لنطاق مستقبل الخدمة المنفعلة (Hz)

$p(f)$: كثافة قدرة الإشعاعات غير المطلوبة كدلالة للتردد عند نقطة تثبيت هوائي الإرسال (W/Hz)

$g_1(f)$: كسب هوائي الإرسال كدلالة للتردد في اتجاه هوائي الخدمة المنفعلة

$g_2(f)$: كسب هوائي الخدمة المنفعلة كدلالة للتردد في اتجاه هوائي الإرسال

FSL: الخسارة في الفضاء الحر

$ATM(f)$: الامتصاص الجوي في النطاق كدلالة للتردد

$h(f)$: وظائف نقل مراشيح الاستقبال في الخدمة المنفعلة.

وينطوي إدراج نطاق حراسة على زحزحة منحنيات المستقبل والمرسل على حد سواء. ونتيجة لزحزحة التردد قد يتغير شكل بعض المنحنيات كيما يتلاءم مع عرض النطاق المتاح.

3.1.13.2.2 استخدام العزل الجغرافي

ثمة طريقة أخرى لتجنب التداخل الضار هو التأكد من أن المحطة الأرضية للخدمة المنفعلة بعيدة بصورة كافية عن محور تسديد مرسل الخدمة النشيطة. فإذا وقعت محطات الخدمة المنفعلة الأرضية في مناطق بعيدة عن منطقة خدمة المخطط الفضائية تضاءل التداخل إلى حد بعيد. وعلاوة على ذلك، فإن عدد المحطات الأرضية للخدمة المنفعلة قليل ومواقعها معروفة جيداً على نحو يتمكن مصممو المحطات الفضائية فيه من تسديد حزم الهوائيات بحيث تتجنب المحطات الأرضية للخدمة المنفعلة.

2.13.2.2 النظام المنفعل

انظر التوصية ITU-R SM.1542.

14.2.2 دوائر النهاية (a) و(b) و(c)

النهاية (a): تتيح الطريقة التي تنتهي عند هذه النقطة تحديد توفر المواءمة بين المعلمات الأصلية للخدمة المنفعلة والمعلمات الأصلية أو المعدلة للخدمة النشيطة. ومن الممكن أن تُظهر هذه النقطة أن لا حاجة إلى تعديلات وأن المعلمات الأصلية المحللة تظهر أنظمة متوائمة.

النهاية (b): وتتيح الطريقة التي تنتهي عن هذه النقطة تحديد توفر المواءمة بين المعلمات الأصلية أو المعدلة للخدمة المنفعلة والمعلمات الأصلية أو المعدلة للخدمة النشيطة، أو بفضل استخدام تقنيات أخرى لتخفيف التداخل.

النهاية (c): تتيح الطريقة التي تنتهي عند هذه النقطة تحديد عدم توفر المواءمة بين المعلمات الأصلية أو المعدلة لكل من الخدمتين. ولا بد للإدارات المسؤولة عن بعض الأنظمة من أن تتفاوض بشأن هذه الأنظمة.

3 تحليل المواءمة بين أنظمة الخدمة RAS العاملة في النطاق MHz 153,0-150,05 وأنظمة الخدمة المتنقلة الساتلية (فضاء–أرض) العاملة في النطاق MHz 138-137

1.3 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

1.1.3 النطاق الموزع

النطاق MHz 153,0-150,05 موزع على أساس أولي للخدمة الثابتة والخدمة المتنقلة (ما عدا المتنقلة للطيران) وخدمة علم الفلك الراديوي في الإقليم 1. كما أن هذا النطاق موزع أيضاً على أساس أولي لخدمة علم الفلك الراديوي في أستراليا والهند بموجب الرقم 225.5 من لوائح الراديو.

وينص الرقم 149.5 من لوائح الراديو على حث الإدارات على اتباع جميع الخطوات العملية من أجل حماية الخدمة RAS من التداخلات الضارة.

2.1.3 نمط عمليات الرصد

يستعمل هذا النطاق لعمليات رصد (في النطاق العريض) الطيف المتصل.

ويتعين تأمين التغطية الطيفية اللازمة لعمليات رصد الطيف المتصل للمصادر الراديوية الكونية. ونظراً للمباعدة الثمانية اللازمة من أجل توفير هذه التغطية، فإن هذه الترددات تقع بين 73 وMHz 74,6 وMHz 328,6-322 وهما نطاقان تستعملهما خدمة علم الفلك الراديوي أيضاً لهذا الغرض. كما أن هذين النطاقين مستعملان أيضاً لعمليات رصد إشعاعات الشمس ورصد الإرسالات السريعة والدورية للنجوم النابضة.

3.1.3 معايير الحماية المطلوبة

ترد قيم العتبة للتداخل الضار بعمليات الرصد الفلكي الراديوي في التوصية ITU-R RA.769.

وهي مستويات العتبة التي تبدأ بعدها بيانات علم الفلك الراديوي بالانحطاط وربما بالتلف. ومبدئياً وفي أفضل الظروف، عندما يمر تجاوز هذه المستويات تجاوزاً طفيفاً يبقى بإمكان المرصد التعويض عن ذلك بإطالة فترة الرصد الفلكي؛ لكن ذلك ينقص من قدرة قناة التلسكوب وبالتالي من معدل البيانات العملية الناتجة. وإذا زاد مستوى التداخل وفقاً للفرضيات الواردة في التوصية ITU-R RA.769 (مثال: أداء الهوائي، ...)، بمقدار 10 dB أو أكثر عن المستوى الوارد في هذه التوصية، فإن إطالة فترة الرصد لن تضمن صحة البيانات العلمية التي تقدم إلى أخصائيين. وسيتعذر عندئذ على محطة خدمة الفلك الراديوي العمل في نطاق ترددات متأثر وستفقد قدرتها على توفير الخدمة إذا لم تستخدم تقنيات تخفيف التداخل الملائمة.

ويستخدم عادة كامل عرض النطاق 153,0-150,05 MHz البالغ 2,95 MHz لأغراض عمليات رصد الطيف المتصل. وتبلغ عتبة كثافة تدفق القدرة للتداخل الضار لعمليات الرصد بهوائي مكافئي وحيد −194 dB(W/m^2).

4.1.3 الخصائص التشغيلية

تجري عمليات رصد الطيف المتصل عموماً بطريقة تفاضلية؛ إذ يمكن رسم خريطة المنطقة الجوية المحيطة بالمصدر الراديوي الكوني مع حجب إرسالات الخلفية، أو قياس القدرة الآتية في اتجاه المصدر (في المصدر) ومن موقع قريب أو أكثر في الجو (خارج المصدر). وبطرح القيم خارج المصدر من قيم المصدر يفصل الإرسال الناتج في المصدر عن الإرسالات الأخرى المساهمة في التداخل عند خرج المستقبل.

2.3 الخدمة المتنقلة الساتلية (MSS)

1.2.3 نطاق الإرسال الموزع

النطاقان 137-137,025 MHz و137,825-137,175 MHz موزعان للخدمة المتنقلة الساتلية (فضاء–أرض) على أساس أولي في جميع المناطق. أما النطاقان 137,175-137,025 MHz و138-137,825 MHz فموزعان للخدمة المتنقلة الساتلية (MSS) على أساس ثانوي في جميع المناطق.

ويطبق الرقمان 208A.5 و209.5 من لوائح الراديو على الخدمة MSS في هذا النطاق.

وينص الرقم 208A.5 على أنه "يجب على الإدارات، عندما تخصص ترددات للمحطات الفضائية في الخدمة المتنقلة الساتلية في النطاقات 138-137 MHz و390-387 MHz و401-400,15 MHz، أن تتخذ جميع التدابير الممكنة عملياً لحماية خدمة علم الفلك الراديوي في النطاقات 153-150,05 MHz و328,6-322 MHz و410-406,1 MHz و614-608 MHz من التداخلات الضارة الناجمة عن الإرسالات غير المطلوبة. وسويات العتبة للتداخلات الضارة بخدمة علم الفلك الراديوي مبينة في الجدول 1 من التوصية ITU-R RA.769-1. (WRC-97)"

وينص الرقم 209.5 على "أن استعمال الخدمة المتنقلة الساتلية للنطاقات 138-137 MHz و150,05-148 MHz و400,05-399,9 MHz و401-400,15 MHz و456-454 MHz و460-459 MHz يقتصر على أنظمة السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض. (WRC-97)"

2.2.3 التطبيق

أنظمة الخدمة المتنقلة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض والعاملة تحت التردد 1 GHz قادرة على إرسال رزم بيانات رقمية بمعدلات منخفضة (19,2-2,8 kbit/s). وتقدم هذه الأنظمة اتصالات لا سلكية عالية الجودة للبيانات. وينتج عن الترددات المنخفضة (أقل من 1 GHz) وعن المدار الأرضي المنخفض قدرة ضئيلة منخفضة في المحطات الأرضية والسواتل، وبالتالي تكون تكاليف تطبيق النظام زهيدة. وتصمم الشبكات لتكون قادرة على تأمين تغطية العالم بأسره أو معظمه (لا تشمل بعض الأنظمة تغطية كاملة للمناطق القطبية). وتعمل هذه الأنظمة للخدمة MSS عموماً بأسلوب الوقت الفعلي تقريباً عندما يغطي نفس الساتل محطة المستعمل ومحطة وصلة التغذية على حد سواء. غير أن هذه الأنظمة قادرة أيضاً على العمل بأسلوب التخزين ثم العرض عندما لا تقع محطتا المستعمل ووصلة التغذية داخل نفس رقعة إسقاط الساتل، على سبيل

المثال عندما يقع مستعمل ما في منطقة محيطية مفتوحة. وتعمل الأنظمة في هذا الأسلوب بفارق زمني قد يتراوح من عدة ثوان إلى عدة ساعات تبعاً لمرور الساتل التالي فوق محطة وصلة التغذية.

3.2.3 المستويات استناداً إلى الأحكام التنظيمية

لا تطبق أي حدود صارمة على الخدمة المتنقلة الساتلية في هذا النطاق.

4.2.3 الخصائص التشغيلية

تقدم التوصية ITU-R M.1184 وصفاً للخصائص التقنية والتشغيلية لأربعة أنظمة للخدمة MSS غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض تستعمل أو يتوقع أن تستعمل النطاق لأغراض الوصلات الهابطة للخدمة أو للبوابة. وهذه هي الأنظمة التي يرمز إليها بـ L وM وP وQ. وتختلف الخصائص المدارية للنظام Q الفعلي عن تلك الواردة في التوصية المذكورة. ويقدم الجدول 2 الخصائص الفعلية مع خصائص الأنظمة L وM وP.

الجدول 2

المعلمات المدارية لشبكات الخدمة MSS غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض
تحت التردد 1 GHz

النظام	L	M			P	Q	
عدد السواتل	48				6	26	
الارتفاع (km)	950	825		775	893	1 000	
الميل (بالدرجات)	50	45	0	70، 108	99	66	83
مستويات المدار	8	3	1	2	2	4	2
الساتل/المستوى	6	8			3	6	1
طالع مستقيم للعقدة الصاعدة (بالدرجات)	0، 45، 90، 135، 180، 225، 270، 315	0، 120، 240	0	0، 180	9.8	0، 90، 180، 270	0، 90
قدرة الإرسال في الوصلة الهابطة (W)	25	18,2			1	32	
القدرة e.i.r.p. في الوصلة الهابطة (dBW)	19,7	13,6			3,8	17,8	
عرض النطاق اللازم (kHz)	25	25			855	25	
الكثافة pfd في نطاق الخدمة MSS ($dB(W/m^2)$)	111–	115–			126–	113–	

3.3 عتبة المواءمة

فيما يتعلق بالكوكبات الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض، تستنتج عتبة كثافة تدفق قدرة مكافئة (epfd) قدرها 238– dB(W/m2) للنطاق 150,05-153 MHz استناداً إلى عتبة كثافة القدرة (pfd) للتداخل الضار بعمليات الرصد الفلكي الراديوي الواردة في التوصية ITU-R RA.769 وإلى أعلى كسب هوائي لمحطة الفلك الراديوي الوارد في التوصية ITU-R RA.1631 وهو 44 dBi في نطاق الترددات هذا.

4.3 تقدير التداخل

1.4.3 المنهجية المتبعة لتقدير مستوى التداخل

تقدم التوصية ITU-R M.1583 منهجية لتقييم مستويات الإشعاعات غير المطلوبة التي تنجم عن نظام ساتلي غير مستقر بالنسبة للأرض في مواقع علم الفلك الراديوي. وتستند هذه المنهجية إلى تقسيم الأيونوسفير إلى خلايا بزوايا مجسمة متساوية تقريباً وإلى دراسات إحصائية يكون فيها اتجاه تسديد هوائي الخدمة RAS وبداية نشاط الكوكبة الساتلية هما المتغيران العشوائيان. وفي كل محاولة اختبار يحسب متوسط مستوى الإشعاعات غير المطلوبة (معبراً عنها بالكثافة epfd) خلال فترة مدتها 2 000 ثانية.

وتعادل الخصائص المحددة للخدمة RAS في محطة الرصد الفلكي الراديوي خصائص التلسكوب الراديوي لمحطة ايفلسبرغ في ألمانيا، الذي يجري عمليات رصد في النطاق المذكور مع هوائي يبلغ طول قطره 100 m وكسبه الأقصى 44 dBi تقريباً. أما مخطط الهوائي وكسبه الأقصى فمستمدان من التوصية ITU-R RA.1631.

الإحداثيات الجغرافية لمحطة ايفلسبرغ هي:

خط العرض: 50,7° شمالاً خط الطول: 7,0° شرقاً

وقد أجريت عمليات المحاكاة بافتراض زاوية ارتفاع قدرها 0° لهوائي الخدمة RAS، من أجل الحصول على نتائج عامة تماماً.

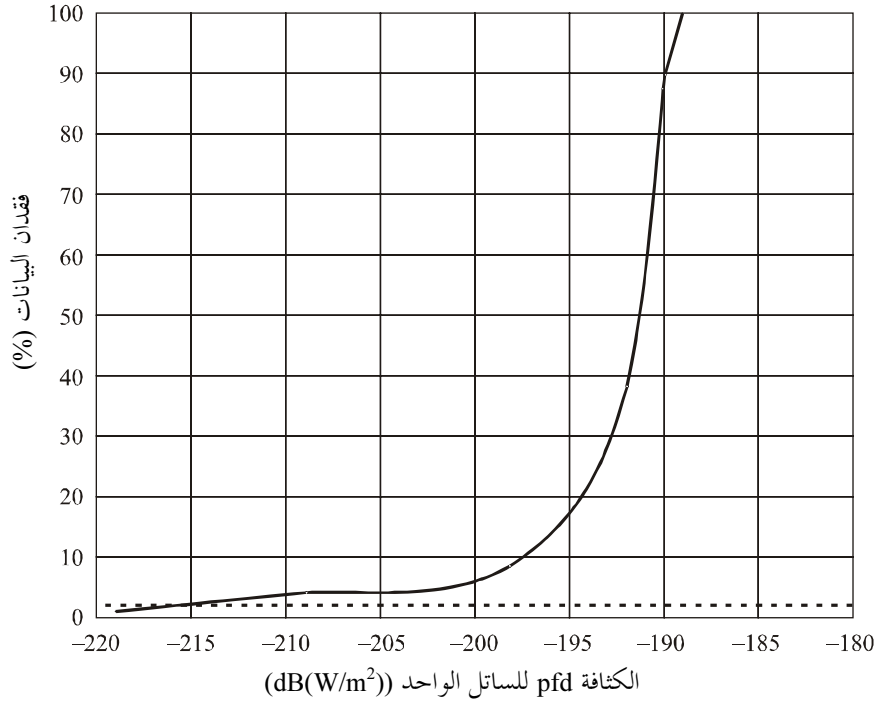
2.4.3 حساب مستوى التداخل

1.2.4.3 النظام L للخدمة المتنقلة الساتلية (MSS)

يبين الشكل 2 النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز مستوى العتبة epfd في محطة علم فلك راديوي بالنسبة إلى قيمة pfd معينة لكل ساتل خدمة MSS (وكما يرد في التوصية ITU-R RA.1513، فإن تجاوز هذه العتبة يعني فقدان بيانات).

الشكل 2

النسبة المئوية لفقدان البيانات مقابل الكثافة pfd للساتل الواحد في موقع ايفلسبرغ للخدمة RAS، النظام L للخدمة المتنقلة الساتلية



Rap 2091-02

ومن أجل التقيد بمستوى العتبة للكثافة epfd خلال ما يزيد عن 98% من الوقت وسطياً في كامل الأيونوسفير ينبغي أن تكون الكثافة pfd التي يولدها كل ساتل في النظام L للخدمة MSS أقل من –216 dB(W/m^2) في نطاق خدمة الفلك الراديوي.

ويبين الشكل 3 النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز العتبة epfd، وذلك في كل خلية أيونوسفيرية ولكل كثافة pfd قدرها –216 dB(W/m^2) (للساتل الواحد).

وفي الأشكال 3 و5 و7 و9 تتحدد زاوية السمت 0° باتجاه الشمال وتزداد في الاتجاه من الغرب إلى الشرق.

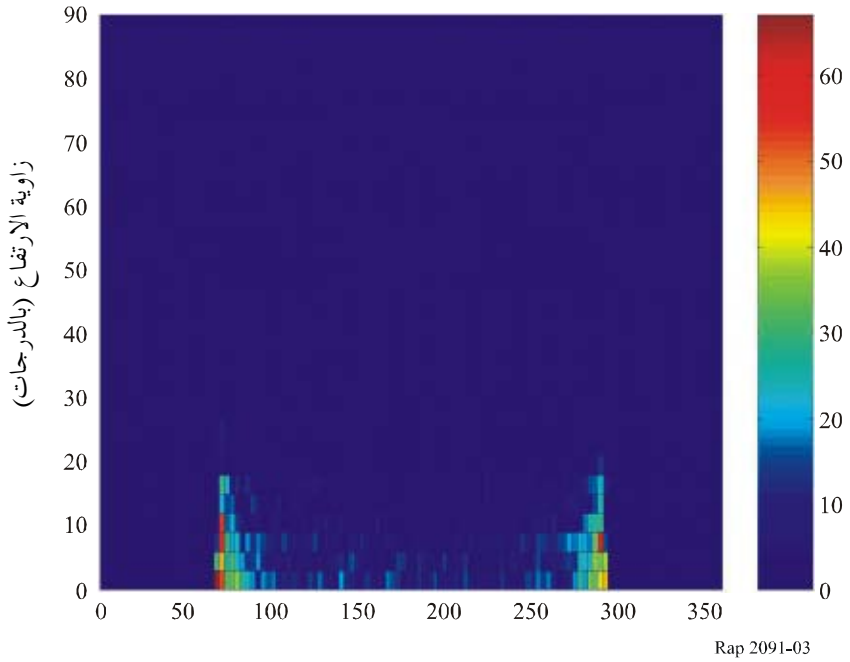
2.2.4.3 النظام M في الخدمة المتنقلة الساتلية (MSS)

يبين الشكل 4 النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز عتبة الكثافة epfd في محطة علم فلك راديوي وذلك نسبة لقيمة pfd معينة للساتل الواحد في الخدمة MSS.

ومن أجل التقيد بمستوى العتبة epfd خلال ما يزيد عن 98% من الوقت وسطياً في كامل الأيونوسفير، ينبغي ألاّ تزيد الكثافة pfd التي يولدها كل ساتل في النظام M للخدمة MSS عن –212 dB(W/m^2).

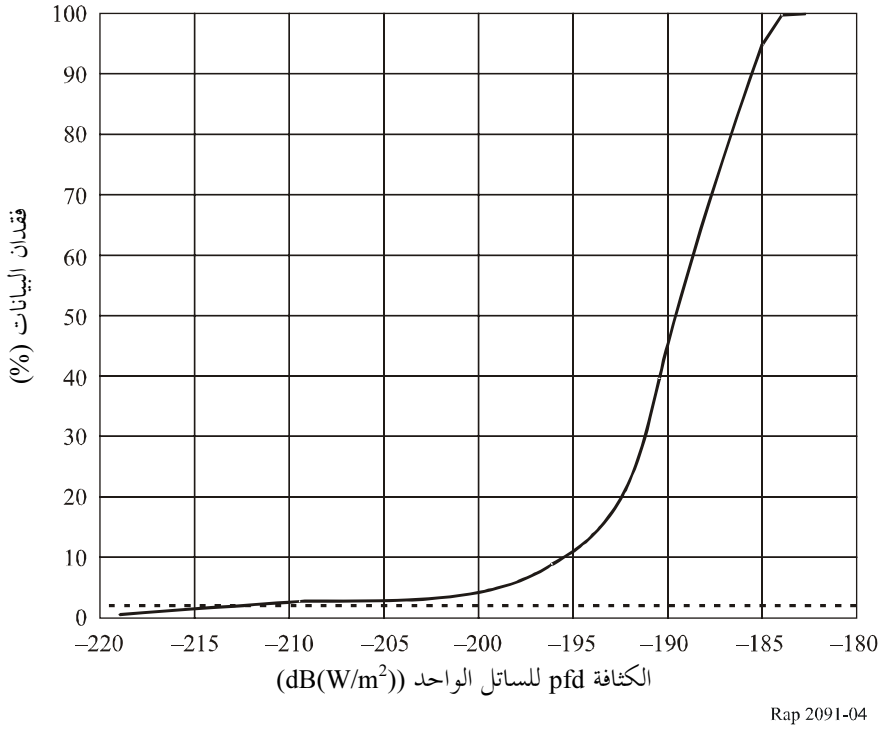
الشكل 3

النسبة المئوية لخسارة البيانات في كامل الأيونوسفير لقيمة pfd تبلغ –216 dB(W/m^2) في موقع ايفلسبرغ لعلم الفلك الراديوي وفي النظام L للخدمة المتنقلة الساتلية



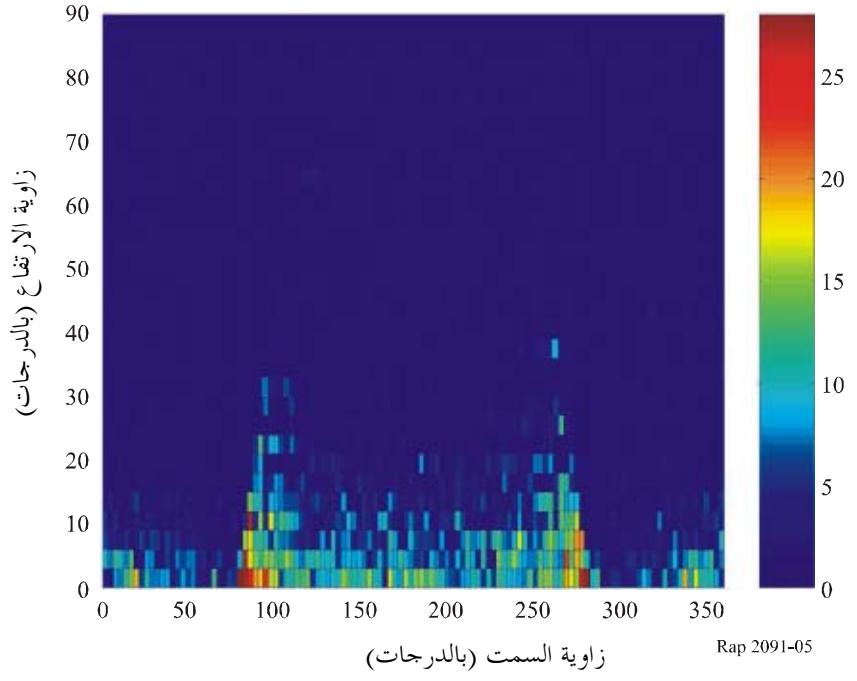
الشكل 4

النسبة المئوية لخسارة البيانات مقابل قيمة pfd للساتل الواحد في موقع علم الفلك الراديوي ايفلسبرغ وفي النظام M للخدمة المتنقلة الساتلية



الشكل 5

النسبة المئوية لفقدان البيانات في كامل الأيونوسفير لكل قيمة pfd قدرها –212 dB(W/m^2) في موقع الخدمة RAS ايفلسبرغ وفي النظام M للخدمة المتنقلة الساتلية

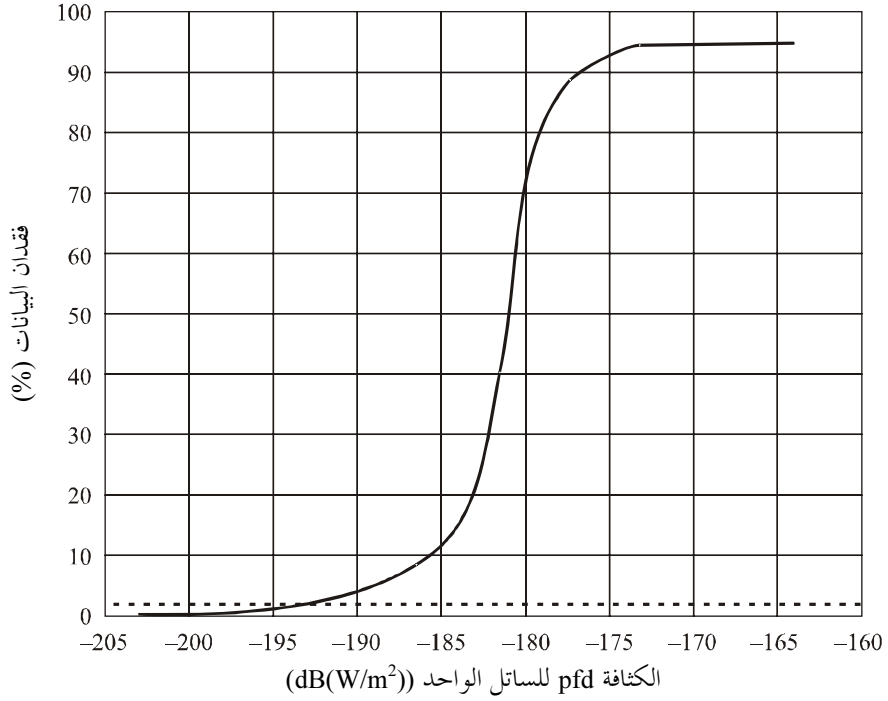


3.2.4.3 النظام P في الخدمة المتنقلة الساتلية

يبين الشكل 6 النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز عتبة الكثافة epfd في محطة علم الفلك الراديوي، وذلك بالنسبة لقيمة pfd معينة لكل ساتل من سواتل الخدمة المتنقلة الساتلية.

الشكل 6

النسبة المئوية لفقدان البيانات مقابل قيمة pfd للساتل الواحد في موقع ايفلسبرغ للخدمة RAS في النظام P للخدمة MSS

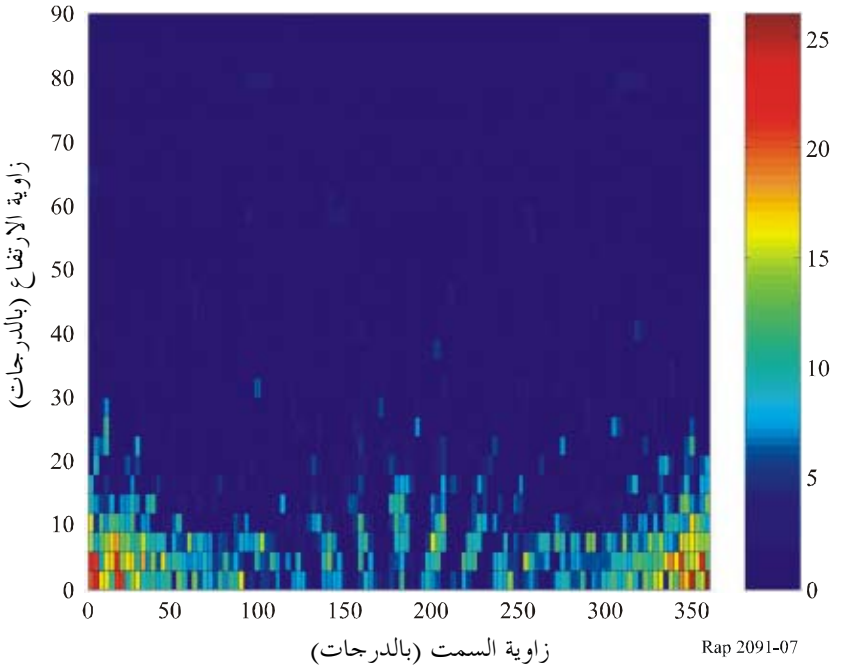


ومن أجل التقيد بسوية عتبة الكثافة epfd خلال ما يزيد عن 98% من الوقت وسطياً في كامل الأيونوسفير، ينبغي ألاّ تزيد قيمة الكثافة pfd التي يولدها كل ساتل في النظام P في الخدمة MSS عن –193 (dB(W/m^2)، وذلك في نطاق خدمة علم الفلك الراديوي.

ويبين الشكل 7 النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز العتبة epfd، وذلك في خلية أيونوسفيرية ولكل كثافة pfd قدرها –193 dB(W/m^2) (للساتل الواحد).

الشكل 7

النسبة المئوية لفقدان البيانات في كامل الأيونوسفير لكل قيمة pfd قدرها –193 dB(W/m^2)
في موقع ايفلسبرغ لخدمة علم الفلك الراديوي وفي النظام P للخدمة MSS



4.2.4.3 النظام Q للخدمة المتنقلة الساتلية

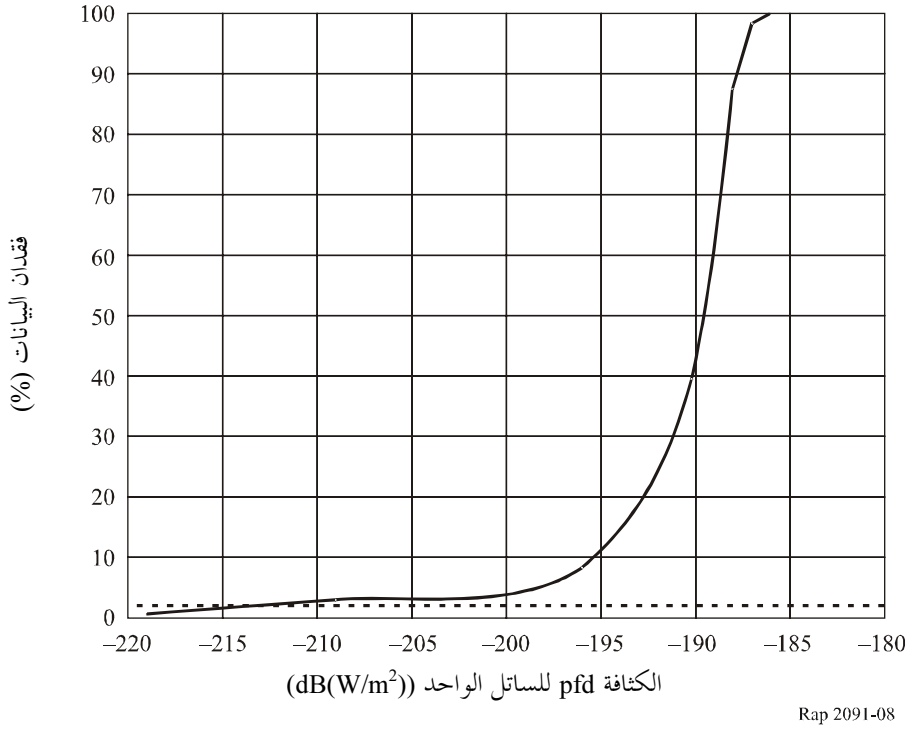
يبين الشكل 8 النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز عتبة الكثافة epfd في محطة علم الفلك الراديوي، وذلك بالنسبة لقيمة pfd معينة للساتل الواحد في الخدمة المتنقلة الساتلية.

ومن أجل التقيد بسوية عتبة الكثافة epfd خلال ما يزيد عن 98% من الوقت وسطياً في كامل الأيونوسفير، ينبغي ألا تزيد الكثافة التي يولدها كل ساتل في النظام Q للخدمة MSS عن –212 dB(W/m^2)، وذلك في نطاق خدمة علم الفلك الراديوي.

ويبين الشكل 9 النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها العتبة epfd وذلك لكل خلية من الأيونوسفير ولكل قيمة pfd قدرها –212 dB(W/m^2) (للساتل الواحد).

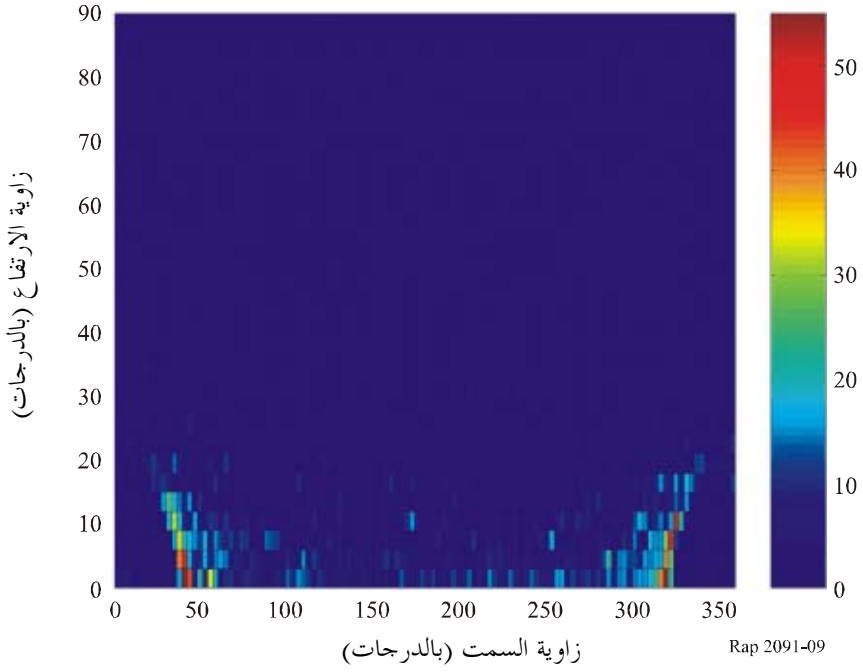
الشكل 8

النسبة المئوية لفقدان البيانات مقابل القيمة pfd للساتل الواحد في موقع ايفلسبرغ للخدمة RAS وفي النظام Q للخدمة المتنقلة الساتلية



الشكل 9

النسبة المئوية لفقدان البيانات في كامل الأيونوسفير لكل قيمة pfd قدرها –212 dB(W/m^2) في موقع ايفلسبرغ للخدمة RAS وفي النظام Q للخدمة المتنقلة الساتلية



3.4.3 القيم الناتجة

إن الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن السواتل غير المستقرة بالنسبة للأرض في الخدمة MSS والتي تستعمل النطاق MHz 138-137 الذي يقع ضمن النطاق MHz 153-150,05 تقع في مجال البث الهامشي.

ويبين الجدول 3 التوهين اللازم في كل من الأنظمة الأربعة المذكورة للخدمة المتنقلة الساتلية غير المستقرة بالنسبة للأرض العاملة تحت التردد GHz 1، وذلك من أجل عدم تجاوز عتبة الكثافة epfd الحرجة.

الجدول 3

التوهين اللازم في شبكات الخدمة المتنقلة الساتلية غير المستقرة بالنسبة للأرض والعاملة تحت التردد GHz 1 من أجل تحقيق التقيد بمستوى الكثافة epfd الحرج

النظام	L	M	P	Q
قدرة الإرسال في نطاق الخدمة MSS (W)	25	18,2	1	32
القيمة pfd في نطاق الخدمة MSS ($dB(W/m^2)$)	111–	115–	126–	113–
$43 + 10 \times \log (P)$	57	56	43	58
توهين البث الهامشي وفقاً للتذييل 3 (dBc في 4 kHz)	57	56	43	58
مستوى البث الهامشي وفقاً للتذييل 3 (dB (W في 4 kHz))	43–	43–	43–	43–
سوية توهين البث الهامشي في نطاق الخدمة RAS (dBW)	14,3–	14,3–	14,3–	14,3–
الكثافة pfd الناجمة عن البث الهامشي في نطاق الخدمة RAS ($dB(W/m^2)$)	139–	142–	140,3–	143–
الكثافة pfd المطلوبة في النطاق المنفعل ($dB(W/m^2)$)	216–	212–	193–	213–
التوهين اللازم (dB)	77	70	52,7	70

ويجدر بالذكر أنه افترض من أجل حساب إجمالي الإرسالات الهامشية في نطاق الخدمة RAS أن سوية هذه الإرسالات ثابتة في كامل النطاق. وهذه فرضية شديدة الصرامة ومخالفة للواقع، لأن الإرسالات الهامشية تظهر عموماً عند بعض الترددات المنفصلة. لذلك يتعين إجراء مزيد من الدراسات لمراعاة المكونات "المنفصلة" للإرسالات الهامشية من أجل الحصول على سويات إرسالات هامشية للخدمة MSS أقرب إلى الواقع في نطاق خدمة علم الفلك الراديوي.

5.3 تقنيات تخفيف التداخل

1.5.3 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

هنالك تقنيات مختلفة، منها تلك المذكورة آنفاً، يمكن استخدامها في خفض الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن المرسلات الساتلية في تلسكوب راديوي.

أداء الفصوص الجانبية للهوائي: تستمثل عادة إضاءة فتحة التلسكوب الراديوي للحصول على أفضل نسبة *G/T*، أي نسبة كسب التلسكوب إلى درجة حرارة النظام، وذلك من أجل زيادة نسبة الإشارة إلى الضوضاء (*S/N*) إلى أبعد حد في المصادر النقطية. وهنالك عنصر هام في هذه الطريقة هو خفض إشعاعات سطح الأرض التي تصل إلى الفصوص الجانبية البعيدة، الأمر الذي يؤدي حتماً إلى زيادة مقابلة في سويات الفصوص الجانبية القريبة. وقد أظهرت التجربة أن غالبية التلسكوبات الراديوية تتقيد بشروط قناع غلاف الفصوص الجانبية الواردة في التوصية ITU-R SA.509 وذلك في معظم الاتجاهات.

الانقطاع في الزمن و/أو التردد: يمكن استخدام هذه التقنية في بعض الحالات التي يتحدد فيها التداخل في نطاق ترددات علم الفلك الراديوي تماماً ودون لبس في الزمن و/أو التردد.

2.5.3 التأثير المحتمل على الخدمة RAS

أداء الفصوص الجانبية للهوائي: من المرجح أن تساهم محاولات خفض حساسية هوائي خدمة علم الفلك الراديوي للإشعاعات غير المطلوبة في المحطات الفضائية في زيادة حساسية تلسكوب علم الفلك الراديوي باتجاه إشعاعات سطح الأرض وقد تقلص كسب حزمته الرئيسية. وسيُضعف هذان التأثيران من قدرة قنوات التلسكوب مما يؤدي إلى زيادة إجمالي الوقت المطلوب للتكامل.

الانقطاع في الزمن و/أو التردد: ينطوي الانقطاع على احتمال المس بتكاملية البيانات، وقد يفضي إلى وقوع أخطاء في التفسير العلمي لهذه البيانات. كما قد يسبب هذا الانقطاع زيادة ملازمة لوقت التكامل الإجمالي المطلوب لعملية الرصد، ويعني ذلك خسارة في قدرة قنوات التلسكوب.

4 تحليل المواءمة بين أنظمة خدمة علم الفلك الراديوي العاملة في النطاق MHz 328,6-322 وأنظمة الخدمة المتنقلة الساتلية (فضاء–أرض) العاملة في النطاق MHz 390-387

1.4 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

1.1.4 النطاق الموزع

النطاق MHz 328,6-322 موزع على أساس أولي للخدمة الثابتة والخدمة المتنقلة (ما عدا المتنقلة للطيران) وخدمة علم الفلك الراديوي.

ويحث الرقم 149.5 من لوائح الراديو الإدارات على اتخاذ جميع الخطوات الممكنة عملياً لحماية خدمة علم الفلك الراديوي من التداخلات الضارة.

2.1.4 نمط عمليات الرصد

يستعمل هذا النطاق لعمليات رصد الطيف المتصل (النطاق العريض) ورصد الخطوط الطيفية (النطاق الضيق) على حد سواء وذلك بأسلوب الهوائي المكافئي الواحد وأسلوب القياس بالتداخل ذي خط الأساس الطويل جداً (VLBI).

ومن الضروري تأمين التغطية الطيفية اللازمة لعمليات رصد الطيف المتصل لمصادر الترددات الراديوية الكونية. ونظراً لضرورة المباعدة الثمانية الضرورية لهذه التغطية، فإن ترددها تقع في النطاق MHz 153-150,5 وMHz 614-608 وهما نطاقان تستعملهما خدمة علم الفلك الراديوي أيضاً لنفس الأغراض.

ويحتوي النطاق على خط طيفي ذري هام هو خط فائق الدقة من الهيدروجين الثقيل يقع عند التردد MHz 327,4 تم اكتشافه مؤخراً (مايو، 2005). وتوافر الهيدروجين الثقيل نسبة إلى الهيدروجين مرتبط مباشرة بمشاكل ذات صلة ببداية الكون وتركيب العناصر، أما تحديد توافره أو تحديد الحد العلوي الأدنى لقيمته فسيساعد على بلورة النظرية الكونية.

كما يستعمل هذا النطاق لعمليات رصد الإشعاعات ذات الزحزحة الحمراء الشديدة الصادرة عن الخط الطيفي عند التردد MHz 1 420,4 للهيدروجين الذري المحايد (HI). وهذا هو الخط الطيفي الذي يرصد معظم الأحيان في المجرات القريبة. وتتيح عمليات الرصد في المدى الطيفي MHz 328,6-322 البحث عن حقبة تشكل المجرات والبنى العظمى للكون، وستساعد بالتالي على توضيح النظرية الكونية.

3.1.4 معايير الحماية المطلوبة

ترد سويات عتبة التداخل الضار بعمليات الرصد الفلكي الراديوي في التوصية ITU-R RA.769. وهي سويات العتبة التي تتراجع عند تجاوزها نوعية بيانات الرصد الفلكي الراديوية وقد تتلف كلياً. ومبدئياً في الظروف المثلى، وعندما يكون تجاوز هذه السويات طفيفاً، يمكن التعويض عنه في مرصد علم الفلك الراديوي وذلك بإطالة مدة الرصد. وفي هذه الحالة، تنقص قدرة قنوات التلسكوب مقترنة بنقص مقابل لكمية البيانات العلمية الناتجة. وإذا زادت سوية التداخل ضمن إطار فرضيات

التوصية ITU-R RA.769 (مثل أداء الهوائي وغيره) بمقدار 10 dB أو أكثر عن سوية العتبة الضارة المحددة في هذه التوصية، فإن زيادة مدة الرصد لن تكون كافية للحصول على بيانات علمية صالحة. ولن تبقى محطة علم الفلك الراديوي عندئذ قادرة على العمل في نطاق الترددات المتأثر، كما ستفقد قدرتها على تأمين الخدمة إن لم تستخدم تقنيات تخفيف تداخل ملائمة.

ويُستعمل النطاق 322-328,6 MHz لعمليات رصد الطيف المتصل والرصد في الخطوط الطيفية. ففي عمليات رصد الطيف المتصل بهوائي مكافئي واحد يستعمل كامل عرض النطاق البالغ 6,6 MHz، وتتحدد عتبة الكثافة pff للتداخل الضار بالقيمة –204 dB(W/m^2) في عرض نطاق قدره 10 kHz. أما عمليات الرصد VLBI التي تسجل فيها الإشارات من هوائيات متباعدة جداً ثم يتم تجميعها بعد الرصد، فإنها أقل حساسية بكثير للتداخل. وذلك يظهر في سوية العتبة للكثافة pfd التي تبلغ –147 dB(W/m^2) في العمليات VLBI في هذا النطاق وذلك في كامل عرض نطاق قدره 6,6 MHz.

4.1.4 الخصائص التشغيلية

تجري عمليات الرصد عموماً بصورة تفاضلية.

ففي عمليات رصد الطيف المتصل، يمكن رسم منطقة الأيونوسفير المحيطة بالمصدر الراديوي الكوني وتطرح إشعاعات الخلفية أو تجري قياسات القدرة الآتية باتجاه المصدر (في المصدر) وكذلك في موقع واحد أو أكثر من المواقع القريبة في المنطقة (خارج المصدر). وبطرح القيم خارج المصدر من القيم في المصدر، تفصل الإرسالات الناتجة في المصدر عن الإرسالات الأخرى المساهمة في قدرة خرج المستقبل.

وفي حالة عمليات رصد الخطوط الطيفية، تسجل الأطياف في أمدية الترددات التي تحدث فيها إرسالات الخطوط ذات الأهمية (أطياف الخطوط)، ثم في مدى متخالف نسبة إلى تردد إرسالات الخطوط أو نسبة إلى نفس التردد لكن في موقع قريب في الجو (الأطياف المرجعية). وعند طرح الأطياف المرجعية من أطياف الخطوط، تطرح إسهامات الإشعاعات والعناصر الأخرى غير المطلوبة من النتائج.

وتجري عمليات رصد الخطوط الطيفية باستعمال مقاييس طيفية متعددة القنوات قادرة على إدراج القدرة في نفس الوقت في عدد كبير (يصل عادة إلى 192 8) من قنوات التردد التي لها توزيعات في النطاق. ويتحدد اختيار عدد القنوات وعرض نطاق كل قناة من أجل اعتيان طيف الإرسالات الصافية التي تشعها الأجسام الكونية في حزمة الهوائي بصورة مناسبة.

أما في عمليات الرصد VLBI، فيعاد تردد الإشارات إلى تردد النطاق الأساسي وتجري رقمنة الإشارات دون تسويتها وتسجل على شريط مغنطيسي أو على وسائط أخرى مع وسمها وسماً زمنياً محدداً. ثم ترسل البيانات بعد ذلك إلى مركز معالجة البيانات VLBI حيث يجري تزامن الإشارات وترابطها. ولذلك قد لا يعرف تأثير التداخلات إلاّ بعد انتهاء فترة الرصد ومعالجة البيانات.

2.4 الخدمة المتنقلة الساتلية (MSS)

1.2.4 النطاق الموزع للإرسال

النطاق 387-390 MHz موزع للخدمة المتنقلة الساتلية (فضاء–أرض) على أساس ثانوي في جميع المناطق.

ويطبق الرقمان 208A.5 و255.5 من لوائح الراديو على الخدمة المتنقلة الساتلية في هذا النطاق.

وينص الرقم 208A.5 على أن "يجب على الإدارات، عندما تخصص ترددات للمحطات الفضائية في الخدمة المتنقلة الساتلية في النطاقات 137-138 MHz و387-390 MHz و400,15-401 MHz، أن تتخذ جميع التدابير الممكنة عملياً لحماية خدمة علم الفلك الراديوي في النطاقات 150,05-153 MHz و322-328,6 MHz و406,1-410 MHz و608-614 MHz من التداخلات الضارة الناجمة عن الإرسالات غير المطلوبة. وسويات العتبة للتداخلات الضارة بخدمة علم الفلك الراديوي مبينة في الجدول 1 من التوصية ITU-R RA.769-1. (WRC-97)".

وينص الرقم 255.5 على: "إن النطاقين MHz 315-312 (أرض–فضاء) وMHz 390-387 (فضاء–أرض) الموزعين للخدمة المتنقلة الساتلية يجوز أن تستعملهما أيضاً أنظمة سواتل غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض. وسيخضع هذا الاستعمال للتنسيق بموجب الرقم **11A.9**."

2.2.4 التطبيق

إن أنظمة الخدمة المتنقلة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض والعاملة تحت التردد GHz 1 مصممة للإرسالات والاتصالات الرقمية.

3.2.4 السويات استناداً إلى الأحكام التنظيمية

لا توجد حدود صارمة تطبق على الخدمة المتنقلة الساتلية في هذا النطاق.

4.2.4 الخصائص التشغيلية

1.4.2.4 أنظمة الخدمة المتنقلة الساتلية غير المستقرة بالنسبة للأرض

لا توجد أي معلومات في توصيات القطاع ITU-R عامة، وفي التوصية ITU-R M.1184 خاصة، عن أنظمة الخدمة المتنقلة الساتلية التي تستعمل النطاق MHz 390-387.

والنظام الروسي GONETS مسجل في السجل الأساسي الدولي للترددات في الاتحاد. ويعرض الجدول 4 خصائص نظام سواتل الخدمة MSS التي تستند إليها الدراسة.

ومن أجل تقليص الإشعاعات غير المطلوبة في النطاق MHz 328,6-322، تزود السواتل GONETS-M بمراشيح خاصة تتيح توهيناً قدره dB 50.

الجدول 4

خصائص السواتل GONETS-M

المعلمة	القيمة
نمط المدار	دائري
الارتفاع (km)	1 500
زاوية الميل (بالدرجات)	82,5
عدد السواتل في المستوي	8
عدد المستويات المدارية	6
المباعدة بين السواتل في المستوي (بالدرجات)	22,5
الفصل بين المستويات (بالدرجات)	60
نطاق ترددات التشغيل (MHz)	390-387
أقصى كثافة طيفية للقدرة ((dB(W/Hz)	32,3–
قدرة الإرسالات في النطاق MHz 328,6-322 ((dB(W/6,6 MHz)	34,8–
الكثافة الطيفية للقدرة في kHz 10 من النطاق MHz 328,6-322 ((dB(W/10 kHz)	63–
التخفيف الناتج عن المرشاح (dB)	50
أقصى كسب هوائي إرسال ساتلي (dB)	3
مخطط هوائي الإرسال	لا اتجاهي

2.4.2.4 الأنظمة المستقرة بالنسبة للأرض (GSO)

توجد بعض السواتل المستقرة بالنسبة للأرض للخدمة المتنقلة الساتلية (MSS GSO) مسجلة في السجل الأساسي MIFR ومعددة في الجدول 5 لكن المعلمات التقنية غير متاحة.

الجدول 5

السواتل المسجلة في السجل الأساسي في النطاق النشيط 387-390 MHz

الإدارة	اسم الساتل
AUS	ADF/ADF West
F	SYRACUSE-4
G	SKYNET-5
RUS	VOLNA

ونتيجة لذلك، اعتمد الساتل النمطي GSO عند خط الطول 0° من أجل تقدير التداخلات.

3.4 عتبة المواءمة

1.3.4 أنظمة السواتل غير المستقرة بالنسبة للأرض (Non-GSO)

في حالة كوكبة سواتل non-GSO، يمكن استنتاج سوية عتبة كثافة epfd قدرها −240 (dB(W/m^2)) لعمليات رصد الطيف المتصل في النطاق 322-328,6 MHz استناداً إلى سوية العتبة pfd للتداخل الضار بعمليات الرصد الفلكي الراديوي المحددة في التوصية ITU-R RA.1631 والبالغة 51 dBi في نطاق الترددات هذا. وفي عمليات رصد الخطوط الطيفية، تتحدد سوية عتبة الكثافة epfd المقابلة بالقيمة −255 (dB(W/m^2)) في نطاق يبلغ 10 kHz.

2.3.4 أنظمة السواتل المستقرة GSO

تتضمن التوصية ITU-R RA.769 سويات العتبة للتداخل الضار بعمليات الرصد (عريضة النطاق) الفلكي الراديوي المتواصل. ويعاد عرض هذه السويات في الجدول 6.

الجدول 6

معايير حماية خدمة علم الفلك الراديوي

نطاق نشيط (MHz)	خدمة نشيطة	نطاق منفعل (MHz)	القدرة القصوى (RA.769) (dBW)	الكثافة pfd (RA.769) (dB(W/m²))	الكثافة spfd (RA.769) (dB(W/(m² · Hz)))
387-390	MSS	322-328,6	201–	189–	258–

4.4 تقدير التداخل

1.4.4 أنظمة السواتل غير المستقرة بالنسبة للأرض

1.1.4.4 المنهجية المستخدمة في تقدير سوية التداخل

تقدم التوصية ITU-R M.1583 طريقة لتقييم سويات الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض في مواقع علم فلك راديوي. وتستند هذه الطريقة إلى تقسيم الأيونوسفير إلى خلايا متساوية الحجم تقريباً وإلى دراسة

إحصائية حيث يكون توجيه تسديد هوائي خدمة علم الفلك الراديوي ووقت بدء عمل كوكبة السواتل هما المتغيران العشوائيان. وفي كل محاولة، يجري حساب متوسط سوية الإشعاعات غير المطلوبة (المعبر عنها بقيمة الكثافة epfd) في فترة مدتها 2 000 ثانية.

ويبلغ قطر هوائي ومحطة علم الفلك الراديوي المعنية 100 m وكسبه الأقصى 51 dBi. أما مخطط الهوائي وكسبه الأقصى فمستمدان من التوصية ITU-R RA.1631. وتقع هذه المحطة في وسط فرنسا.

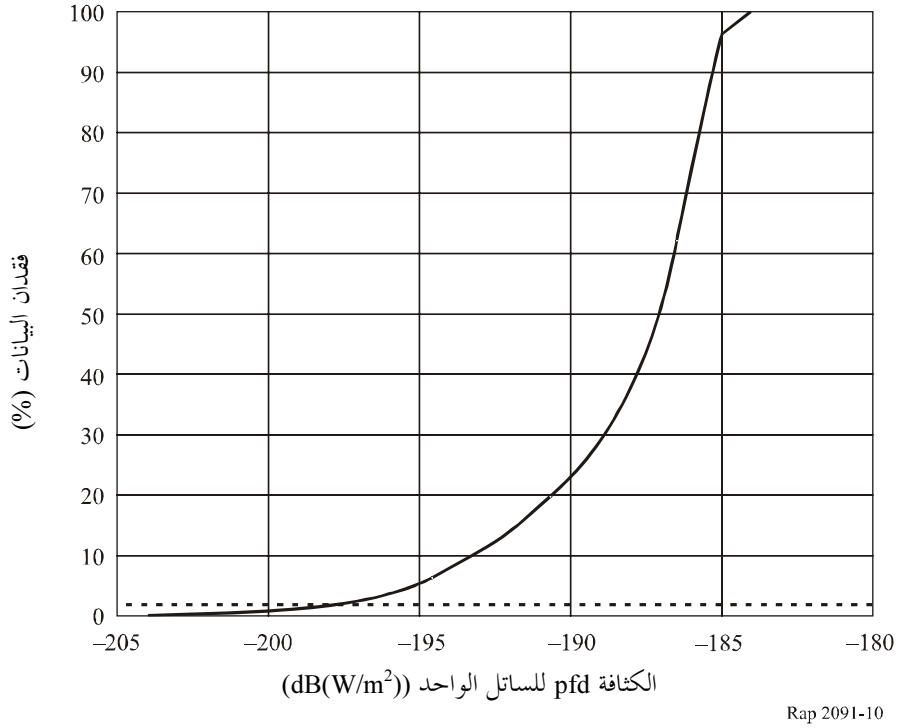
وقد جرت عمليات المحاكاة بافتراض أن زاوية ارتفاع الهوائي الدنيا للمحطة RAS تبلغ 0° وذلك من أجل الحصول على نتائج عامة تماماً.

2.1.4.4 حساب سوية للتداخل

يبين الشكل 10 النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز سوية عتبة الكثافة epfd للرصد المتواصل في محطة علم الفلك الراديوي، وذلك لقيمة pfd معينة للساتل الواحد في الخدمة MSS (وكما يرد في التوصية ITU-R RA.1513، فإن تجاوز هذه العتبة يعني فقدان البيانات).

الشكل 10

النسبة المئوية لخسارة البيانات مقابل الكثافة pfd للساتل الواحد في موقع خدمة RAS في نظام سواتل GONETS-M للخدمة MSS



ومن أجل استيفاء شرط العتبة epfd بشكل متواصل خلال ما يزيد عن 98% من الوقت وسطياً في كامل الأيونوسفير، ينبغي أن تقل الكثافة pfd التي يولدها كل ساتل في النظام GONETS-M للخدمة MSS عن –198 dB(W/m^2) في النطاق 328,6-322 MHz لخدمة علم الفلك الراديوي.

ويبين الشكل 11 فيما يخص كل خلية من خلايا الأيونوسفير وكل قيمة pfd (للساتل الواحد) قدرها –198 dB(W/m^2)، النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز العتبة epfd.

وفي الشكل 11 تتجه زاوية السمت 0° إلى الشمال وتتزايد الزوايا من الغرب إلى الشرق.

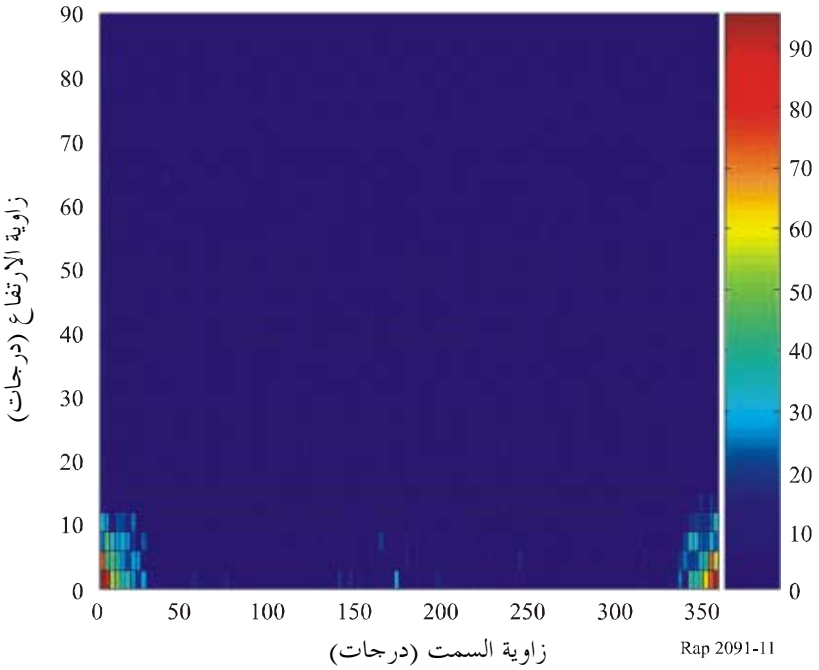
ويمكن استنتاج القيمة pfd المطلوبة لعمليات رصد الخطوط الطيفية مباشرة ودون إجراء عمليات محاكاة إضافية من القيمة المطلوبة لعمليات رصد الطيف المتصل، وذلك باستعمال العلاقة (9):

$$pfd_{spectral} = pfd_{continuum} + epfd_{spectral} - epfd_{continuum} \quad (9)$$

ومن أجل التقيد بعتبة الكثافة epfd للخطوط الطيفية خلال ما يزيد عن 98% من الوقت وسطياً في كامل الأيونوسفير، ينبغي أن تقل قيمة الكثافة pfd التي يولدها كل ساتل في النظام GONETS-M للخدمة MSS عن −213 dB(W/m^2) في أي عرض نطاق قدره 10 kHz من النطاق 322-328,6 MHz الموزع لخدمة علم الفلك الراديوي.

الشكل 11

النسبة المئوية لفقدان البيانات في الأيونوسفير لقيمة كثافة pfd قدرها -198 dB(W/m^2) في موقع خدمة علم فلك راديوي في نظام GONETS-M للخدمة MSS



واستناداً إلى أداء النظام، تساوي كثافة القدرة الطيفية التي تصل إلى سطح الأرض من أي نظام ساتلي GONETS-M في أي جزء عرضه 10 kHz من نطاق الترددات 322-328,6 MHz القيمة −244,5 dB(W/(m^2.10 kHz)) (انظر الفقرة 1.3.4)، وهي قيمة لا تتجاوز المعيار المذكور آنفاً والبالغ −213,5 dB(W/(m^2.10 kHz)).

2.4.4 النظام المستقر بالنسبة للأرض GSO

ثمة معلومات عن السواتل القائمة المدونة متاحة في السجل الأساسي MIFR. وفي هذه الحالة، تعتمد قيمة كثافة تدفق قدرة تبلغ −244,5 dBW/m^2 10 kHz عند خط الطول 0° من أجل الساتل النمطي GSO.

وفيما يخص الدراسات الواردة في الفقرات التالية:

– جميع خصائص محطات خدمة علم الفلك الراديوي مستمدة من الموقع الإلكتروني: http://www.astron.nl/craf/raobs.htm وتقع هذه المحطات في بلدان المؤتمر الأوروبي لإدارات البريد والاتصالات (CEPT).

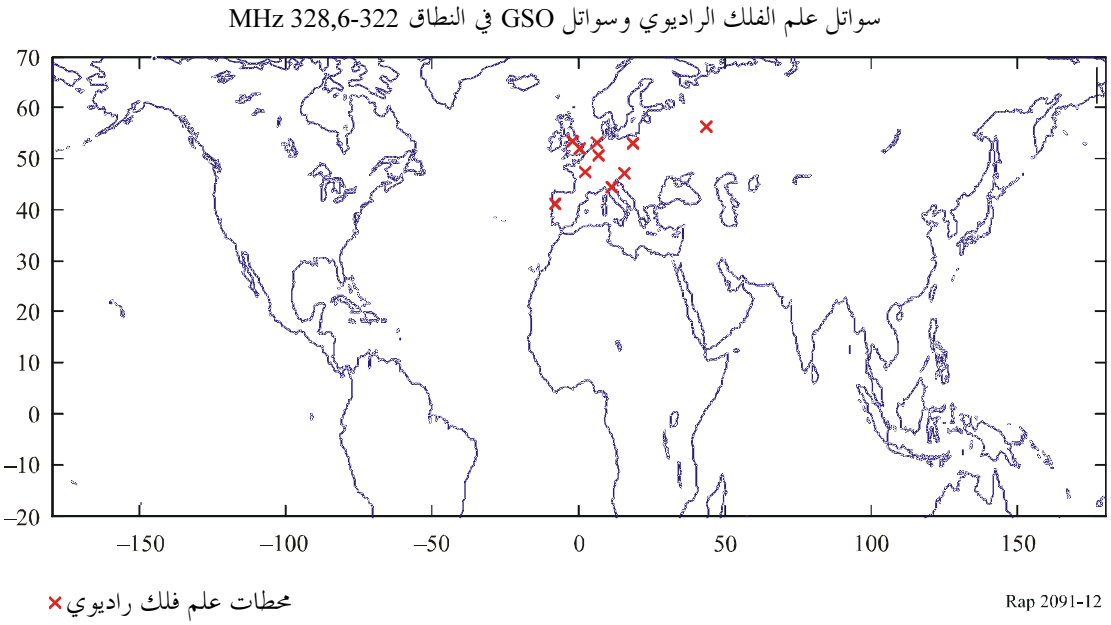
ومع مراعاة المواقع المختلفة للسواتل GSO والمحطات RA ذات الصلة، يمكن حساب القدرة e.i.r.p. المسموح بها في نطاق الخدمة RAS من أجل الامتثال لمعايير الحماية في جميع المحطات RA التي تظهر في الشكل 12.

ونتيجة لذلك، وعندما تتوفر بعض المعلمات النمطية لساتل GSO، يمكن تحديد عامل توهين الإرسال خارج النطاق بأنه الفرق بين القدرة e.i.r.p. للساتل GSO في الخدمة النشيطة وأقصى قيمة مسموحة من هذه القدرة في النطاق المنفعل.

ويشكل امتثال عامل التوهين الضروري هذا للبيانات المتعلقة به وفقاً لتوصيات القطاع ITU-R ذات الصلة (مثال الحدود الواردة في التذييل 3 للوائح الراديو) في هذه الحالة خلاصة تقدير التداخل.

الشكل 12

محطات خدمة علم الفلك الراديوي والسواتل GSO العاملة في النطاق MHz 328,6-322



3.4.4 القيم الناتجة

1.3.4.4 نظام سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض

استناداً إلى المعطيات الواردة في الفقرة 4.2.4 يمكن حساب الكثافة pfd التي يشعها كل ساتل خدمة متنقلة ساتلية في نطاق خدمة علم الفلك الراديوي كما يرد في الجدول 7.

الجدول 7

أقصى كثافة pfd يشعها ساتل من النظام GONETS-M

المعلمة	رصد الطيف المتصل (النطاق MHz 328,6-322)	رصد الخطوط الطيفية (كل عرض نطاق قدره 10 kHz من النطاق)
الارتفاع (km)	1 500	
قدرة الإرسال (dBW)	34,8–	63–
توهين بمرشاح إضافي (dB)	50	
أقصى كسب هوائي إرسال ساتلي (dB)	3	
أقصى كثافة pfd للساتل الواحد ($dB(W/m^2)$)	216,3–	244,5–

ويُظهر تحليل النتائج (الفقرة 2.1.4.4) أن هامش التجاوز لم يتعد 18 dB في عمليات رصد الطيف المتصل و31 dB في عمليات رصد الخطوط الطيفية. وتنطبق هذه النتيجة أيضاً على عمليات الرصد VLBI الفلكي الراديوي في نطاق الترددات 328,6-322 MHz.

ويجدر بالذكر أيضاً أن هذه الطريقة لا تأخذ في الحسبان التخصيص الدينامي للقنوات في المحطات الفضائية للنظام الساتلي GONETS-M. كما أن هذه المحطات ترسل المعلومات في رشقات قصيرة لكل منها تردد مختلف. أما في الدراسة، فقد افترض أن جميع السواتل ترسل في نفس قناة التردد في جميع الأوقات. وذلك يفسر السبب في أن النتائج تمثل سيناريو تداخلات الحالة الأسوأ.

2.3.4.4 النظام الساتلي المستقر بالنسبة للأرض (GSO)

استنتجت قيم القدرة e.i.r.p. الواردة في الجدول 8 استناداً إلى سويات عتبة الكثافة pfd الواردة في نفس الجدول (العمود الأخير) مع مراعاة الخسارة الناجمة عن الفضاء الحر. ويجب التذكير بأن الساتل الواقع على خط الطول 0° نظراً لعدم توفر أي معلمات تقنية للسواتل المدونة في السجل الأساسي الدولي للترددات.

الجدول 8

القدرة EIRP القصوى المسموح بها في نطاق خدمة RAS عند الساتل

نطاق نشيط (MHz)	نطاق منفعل (MHz)	القدرة e.i.r.p. القصوى في نطاق الخدمة RAS (dB(W/Hz))	القدرة e.i.r.p. القصوى في نطاق الخدمة RAS (dBW)
390-387	328,6-322	94,5–	26,3–

5.4 تقنيات تخفيف التداخل

1.5.4 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

هنالك تقنيات مختلفة، بما فيها تلك المذكورة آنفاً، يمكن استخدامها في خفض الإشعاعات غير المطلوبة الصادرة عن المرسلات الساتلية في تلسكوب راديوي.

أداء الفصوص الجانبية للهوائي: تستمثل عادة إضاءة فتحة تلسكوب راديوي للحصول على أفضل نسبة *G/T*، أي نسبة كسب التلسكوب إلى درجة حرارة النظام. وذلك من أجل زيادة نسبة الإشارة المرسلة إلى الضوضاء (*S/N*) إلى أبعد حد في المصادر النقطية. وهنالك عنصر هام في هذه الطريقة هو خفض إشعاعات سطح الأرض التي تصل إلى الفصوص الجانبية البعيدة؛ الأمر الذي يؤدي حتماً إلى زيادة مقابلة في سويات الفصوص الجانبية القريبة. وقد أظهرت التجربة أن غالبية التلسكوبات الراديوية تفي بشروط قناع غلاف الفص الجانبي الوارد في التوصية ITU-R SA.509 وذلك في معظم الاتجاهات.

الانقطاع في الزمن و/أو التردد: تستخدم هذه التقنية في بعض الحالات التي يمكن فيها تحديد التداخل في نطاق ترددات عمليات الفلك الراديوي بصورة تامة ودون لبس في الزمن و/أو التردد.

2.5.4 التأثير المحتمل على خدمة علم الفلك الراديوي

أداء الفصوص الجانبية للهوائي: من المرجح أن تساهم محاولات تخفيف حساسية هوائي خدمة الفلك الراديوي للإشعاعات غير المطلوبة والصادرة عن محطات فضائية في زيادة حساسية تلسكوب هذه الخدمة لإشعاعات سطح الأرض، وربما في تقليص كسب حزمته الرئيسية. وسيُضعف هذان التأثيران من قدرة قناة التلسكوب مما يؤدي إلى زيادة إجمالي الوقت المطلوب للتكامل.

الانقطاع في الوقت و/أو في التردد: ينطوي الانقطاع على احتمال المسّ بتكاملية البيانات، وقد يفضي إلى وقوع أخطاء في التفسير العلمي لهذه البيانات. كما قد يسبب الانقطاع زيادة ملازمة لإجمالي الوقت المطلوب للتكامل اللازم لعملية الرصد وذلك يعني خسارة في قدرة قناة التلسكوب.

5 تحليل المواءمة بين أنظمة خدمة علم الفلك الراديوي العاملة في نطاق الترددات MHz 410-406,1 وأنظمة الخدمة المتنقلة الساتلية (فضاء–أرض) العاملة في نطاق الترددات MHz 401-400,15

1.5 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

1.1.5 النطاق الموزع

نطاق الترددات MHz 410-406,1 موزع على أساس أولي للخدمة الثابتة والخدمة المتنقلة (ما عدا المتنقلة للطيران) وخدمة علم الفلك الراديوي.

ويحث الرقم 149.5 من لوائح الراديو الإدارات على اتخاذ جميع الخطوات الممكنة عملياً لحماية خدمة الفلك الراديوي من التداخلات الضارة.

2.1.5 نمط عمليات الرصد

لا يستعمل هذا النطاق إلا لعمليات رصد الطيف المتصل (بالنطاق العريض).

ومن الضروري تأمين التغطية الطيفية اللازمة لعمليات رصد الطيف المتصل (بالنطاق العريض) للمصادر الراديوية الكونية والتي تقع بين النطاقين MHz 328,6-322,0 وMHz 614-608 اللذين تستعملهما خدمة الفلك الراديوي لنفس الأغراض.

3.1.5 معايير الحماية المطلوبة

ترد سويات عتبة التداخل الضار بعمليات الرصد الفلكي الراديوي في التوصية ITU-R RA.769.

وهذه السويات هي معايير الحماية التي تتراجع بعدها نوعية البيانات الفلكية الراديوية وقد تتلف كلياً. ومبدئياً وفي الظروف المثلى، إذا ما كان تجاوز هذه السويات طفيفاً، يمكن التعويض عن ذلك في مرصد علم الفلك الراديوي، وذلك بإطالة مدة الرصد. وفي هذه الحالة، تنقص قدرة قنوات التلسكوب، ويقابل ذلك نقص في كمية البيانات العلمية الناتجة. وإذا زاد مستوى التداخل في إطار فرضيات التوصية ITU-R RA.769 (مثل أداء الهوائي وغيره) بمقدار 10 dB أو أكثر عن سوية العتبة الضارة المحددة في هذه التوصية، فإن زيادة مدة الرصد لن تكون كافية للحصول على بيانات علمية صالحة. ولن تبقى محطة علم الفلك الراديوي عندئذ قادرة على العمل في نطاق الترددات المتأثر، كما وستفقد قدرتها على تأمين الخدمة إن لم تستعن بتقنيات تخفيف تداخل ملائمة.

ولا يستعمل النطاق MHz 410-406,1 إلا لعمليات رصد الطيف المتصل. وعموماً يستعمل كامل عرض النطاق البالغ MHz 3,9 لأغراض رصد الطيف المتصل. وفيما يتعلق بعمليات الهوائي المكافئي الواحد تبلغ قيمة عتبة الكثافة pfd للتداخل الضار –189 $dB(W/m^2)$.

4.1.5 الخصائص التشغيلية

تجري عمليات رصد الطيف المتصل عموماً بصورة تفاضلية؛ إذ ترسم خريطة المنطقة الأيونوسفيرية التي تحيط بالمصدر الراديوي الكوني وتطرح إشعاعات الخلفية منها، أو تجرى قياسات القدرة الآتية من اتجاه المصدر (في المصدر) وفي موقع واحد أو أكثر من المواقع القريبة في الجو (خارج المصدر). وبطرح القيم خارج المصدر من القيم في المصدر يفصل الإرسال الناتج في المصدر عن الإرسالات الأخرى الداخلة في خرج المستقبل.

2.5 الخدمة المتنقلة الساتلية

1.2.5 النطاق الموزع للإرسال

نطاق الترددات 401-400,15 MHz موزع للخدمة المتنقلة الساتلية (فضاء–أرض) على أساس أولي وفي جميع المناطق.

ويطبق الرقمان 208A.5 و209.5 من لوائح الراديو على الخدمة المتنقلة الساتلية في هذا النطاق.

وينص الرقم 208A.5 من لوائح الراديو على أنه "يجب على الإدارات، عندما تخصص ترددات للمحطات الفضائية في الخدمة المتنقلة الساتلية في النطاقات 138-137 MHz و390-387 MHz و401-400,15 MHz، أن تتخذ جميع التدابير الممكنة عملياً لحماية خدمة علم الفلك الراديوي في النطاقات 153-150,05 MHz و328,6-322 MHz و410-406,1 MHz و614-608 MHz من التداخلات الضارة الناجمة عن الإرسالات غير المطلوبة. وسويات العتبة للتداخلات الضارة بخدمة علم الفلك الراديوي مبينة في الجدول 1 من التوصية ITU-R RA.769-1. (WRC-97)"

وينص الرقم 209.5 من لوائح الراديو على "إن استعمال الخدمة المتنقلة الساتلية للنطاقات 138-137 MHz و150,05-148 MHz و400,05-399,9 MHz و401-400,15 MHz و456-454 MHz و460-459 MHz يقتصر على أنظمة السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض. (WRC-97)".

2.2.5 التطبيق

إن أنظمة الخدمة المتنقلة الساتلية غير المستقرة بالنسبة للأرض والعاملة تحت التردد 1 GHz قادرة على إرسال رزم البيانات الرقمية بمعدلات منخفضة (من 2,8 إلى 19,2 kbit/s). وتؤدي الترددات المنخفضة (تحت 1 GHz) ومدار الأرض المنخفض إلى محطات أرضية وسواتل صغيرة ومنخفضة القدرة. أما الشبكات فمصممة لتكون قادرة على تأمين تغطية للعالم بأكمله أو بمعظمه (لا تشمل بعض الأنظمة تغطية كاملة للمناطق القطبية). وعموماً تعمل أنظمة الخدمة MSS تحت التردد 1 GHz بأسلوب الوقت شبه الفعلي عندما يغطي نفس الساتل كلاً من محطة المستعمل ومحطة التغذية. بيد أن الأنظمة تعمل أيضاً بأسلوب التسجيل وإعادة الإرسال عندما لا تقع محطة المستعمل ومحطة التغذية داخل أثر إشعاع نفس الساتل كما هو الحال بالنسبة لمستعمل موجود في منطقة محيطية مفتوحة. وفي هذا الأسلوب، تعمل الأنظمة مع تأخير تتراوح مدته بين ثوان وساعات تبعاً لمرور الساتل التالي فوق محطة التغذية.

ويتيح هذا النوع من الأنظمة اتصالات لا سلكية للبيانات عالية الجودة في مجال التجارة والصناعة والأعمال الحكومية وخدمة المستهلكين على الصعيد العالمي.

3.2.5 السويات استناداً إلى الأحكام التنظيمية

لا تطبق حدود صارمة على الخدمة MSS في هذا النطاق.

4.2.5 الخصائص التشغيلية

تقدم التوصية ITU-R M.1184 وصفاً للخصائص التقنية والتشغيلية لأربعة أنظمة للخدمة MSS غير المستقرة بالنسبة للأرض تستعمل أو يتوقع لها أن تستعمل النطاق لأغراض الوصلات الهابطة للخدمة أو للبوابة. وهذه الأنظمة هي الأنظمة L وN وQ وS. وتختلف الخصائص المدارية للنظام Q الفعلي عن تلك الواردة في التوصية المذكورة. ويقدم الجدول 9 هذه الخصائص الفعلية بموازاة خصائص الأنظمة L وN وS.

3.5 عتبة المواءمة

فيما يخص حالة الكوكبات الساتلية غير المستقرة بالنسبة للأرض، يمكن حساب عتبة الكثافة epfd استناداً إلى العتبة pfd المحددة في التوصية ITU-R RA.769 والكسب الأقصى للهوائي المحدد في التوصية ITU-R RA.1631، الذي يبلغ 53 dBi لنطاق الترددات هذا. وبالتالي تبلغ عتبة الكثافة epfd للنطاق 410-406,1 MHz القيمة -242 ($dB(W/m^2)$).

الجدول 9

المعلمات المدارية لعدة شبكات خدمة MSS غير مستقرة بالنسبة للأرض تعمل تحت التردد 1 GHz

النظام	L	N	Q		S
عدد السواتل	48	3	26		6
الارتفاع (km)	950	800	1 000		692,667
الميل (بالدرجات)	50	88	66	83	98,04
مستويات المدار	8	3	4	2	2
الساتل/المستوى	6	1	6	1	3
طالع مستقيم للعقدة الصاعدة (بالدرجات)	0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315	0, 15, 90	0, 90, 180, 270	0, 90	143,5, 53,5
قدرة الإرسال في الوصلة الهابطة (W)	25	6,3	32		10
القدرة e.i.r.p. في الوصلة الهابطة (dBW)	19,7	10	17,8		18
عرض النطاق اللازم (kHz)	35	85	45		300
الكثافة pfd في نطاق الخدمة MSS ($dB(W/m^2)$)	–111	–119	–113		–110

4.5 تقدير التداخل

1.4.5 المنهجية المتبعة لتقدير مستوى التداخل

تقدم التوصية ITU-R M.1583 منهجية لتقييم مستويات الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن نظام ساتلي غير مستقر بالنسبة للأرض في مواقع الفلك الراديوي. وتقوم هذه المنهجية على تقسيم الأيونوسفير إلى خلايا متساوية الحجم تقريباً – وإلى دراسات إحصائية يكون فيها اتجاه تسديد هوائي الخدمة RAS وبداية نشاط الكوكبة الساتلية هما المتغيران العشوائيان. وفي كل محاولة اختبار، يحسب متوسط مستوى الإشعاعات غير المطلوبة (يعبر عنها بالكثافة epfd) خلال فترة مدتها 000 2 ثانية.

ويبلغ قطر هوائي الخدمة RAS 100 m، أي ما يقابل كسب هوائي أقصى قدره 53 dBi تقريباً. أما مخطط الهوائي والكسب الأقصى للهوائي فمستمدان من التوصية ITU-R RA.1631.

والإحداثيات الجغرافية هي:

خط العرض: 46,9° شمالاً خط الطول: 2,4° شرقاً

وجرت عمليات المحاكاة بافتراض زاوية ارتفاع قدرها 0°، وذلك بهدف الحصول على نتائج عامة تماماً.

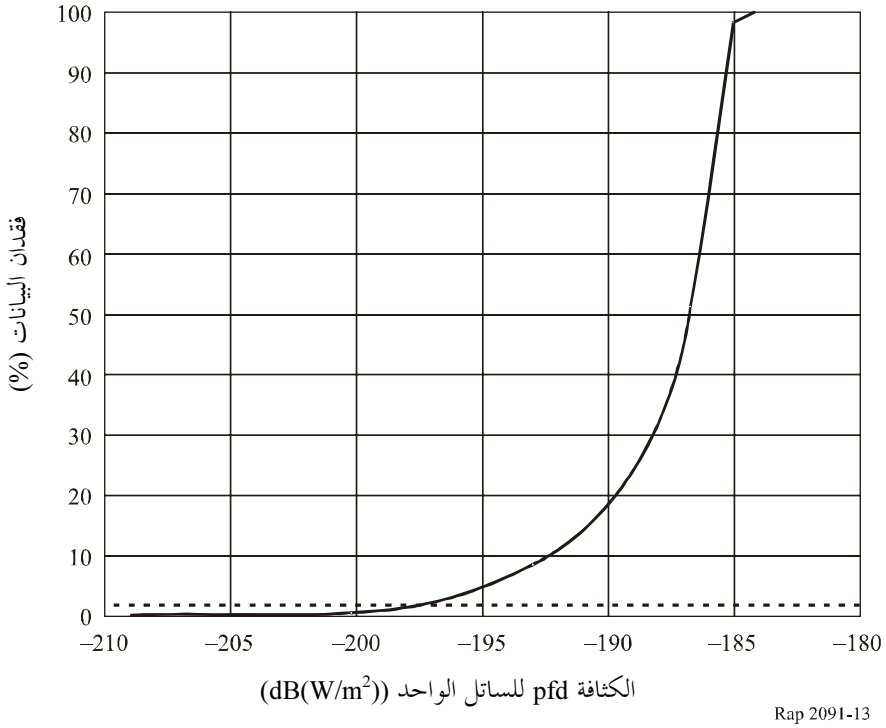
2.4.5 حساب مستوى التداخل

1.2.4.5 النظام L للخدمة MSS

يبين الشكل 13 النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز العتبة epfd في موقع الفلك الراديوي بالنسبة لقيمة كثافة pfd معينة للساتل الواحد (وكما يرد في التوصية ITU-R RA.1513، يعني تجاوز هذه العتبة فقدان البيانات).

الشكل 13

النسبة المئوية لفقدان البيانات مقابل القيمة pfd للساتل الواحد في موقع خدمة RAS

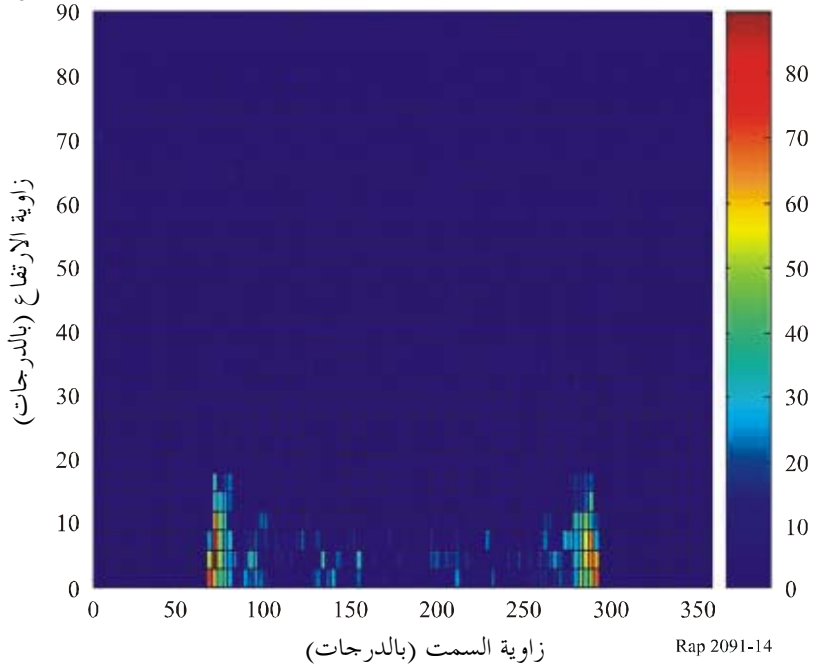


ومن أجل التقيد بسوية العتبة epfd خلال ما يزيد عن 98% من الوقت وسطياً في كامل الأيونوسفير ينبغي أن تكون الكثافة pfd التي يولدها كل ساتل في النظام L للخدمة MSS أقل من –197 dB(W/m^2) في نطاق خدمة الفلك الراديوي.

ويبين الشكل 14 النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز عتبة الكثافة epfd، وذلك في كل خلية أيونوسفيرية وكل كثافة pfd قدرها –197 dB(W/m^2) (للساتل الواحد).

الشكل 14

النسبة المئوية لفقدان البيانات في الجو لكل قيمة pfd قدرها –197 dB(W/m^2) في موقع خدمة RAS



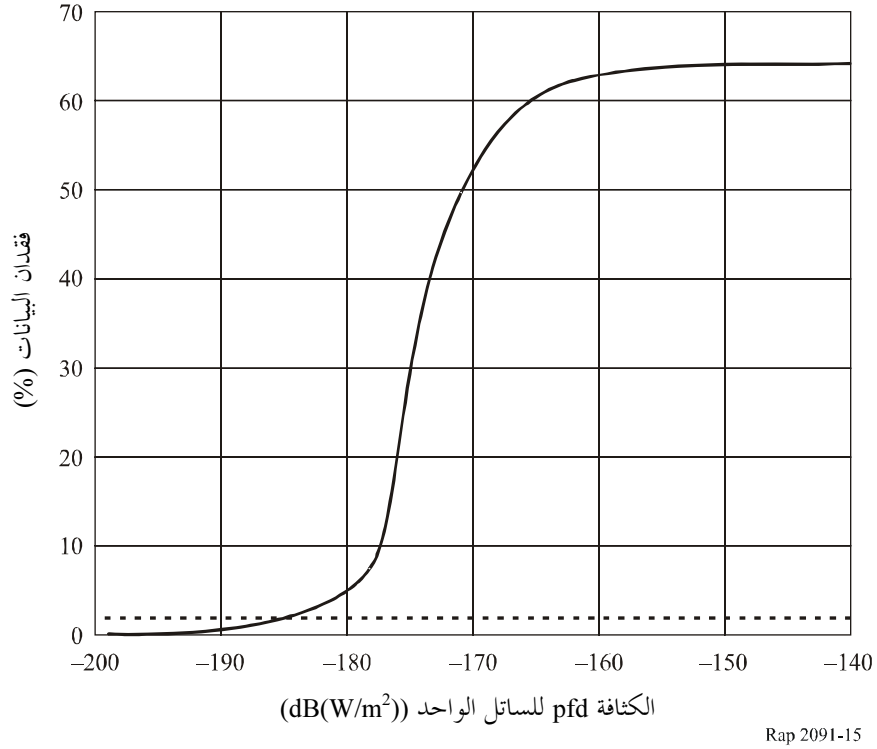
وفي الأشكال 14 و16 و18 و20، تتجه زاوية السمت 0° إلى الشمال وتزداد كلما توجهت من الغرب إلى الشرق.

2.2.4.5 النظام N في الخدمة MSS

يبين الشكل 15 النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز عتبة الكثافة epfd في موقع خدمة الفلك الراديوي، وذلك بالنسبة لقيمة pfd محددة للساتل الواحد.

الشكل 15

النسبة المئوية لفقدان البيانات مقابل قيمة pfd للساتل الواحد في موقع خدمة RAS



ومن أجل التقيد بمستوى عتبة الكثافة epfd خلال ما يزيد عن 98% من الوقت وسطياً وفي كامل الأيونوسفير، ينبغي أن تكون الكثافة pfd التي ينتجها كل ساتل في النظام N للخدمة MSS أقل من –185 dB(W/m^2) في نطاق خدمة الفلك الراديوي.

ويبين الشكل 16 النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز عتبة الكثافة epfd، وذلك في كل خلية من الأيونوسفير ولكل قيمة pfd قدرها –185 dB(W/m^2) (للساتل الواحد).

3.2.4.5 النظام Q للخدمة المتنقلة الساتلية

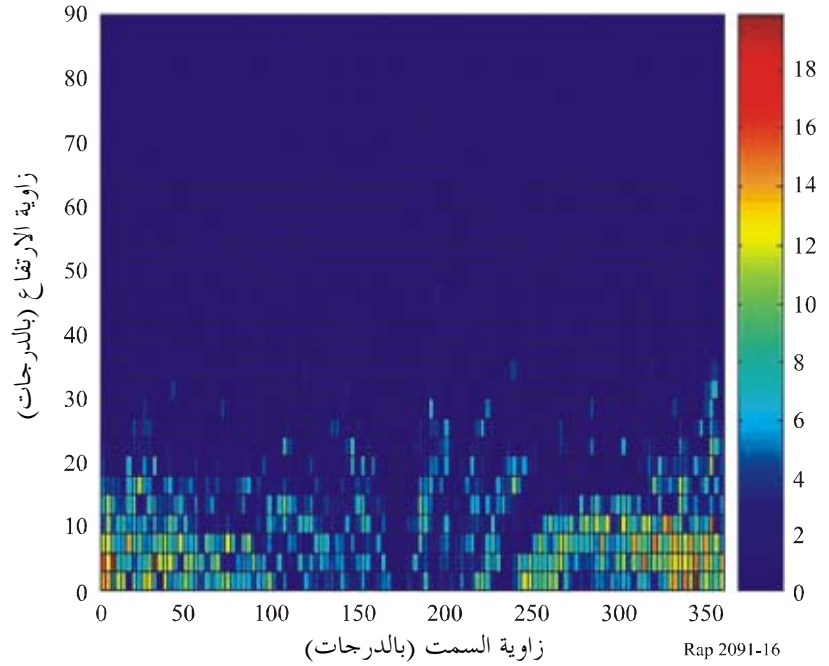
يبين الشكل 17 النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز عتبة الكثافة epfd في موقع فلكي راديوي نسبة إلى قيمة pfd معينة للساتل الواحد في الخدمة المتنقلة الساتلية.

ومن أجل التقيد بمستوى عتبة الكثافة epfd خلال ما يزيد عن 98% من الوقت وسطياً وفي كامل الأيونوسفير، ينبغي أن تكون الكثافة pfd التي ينتجها كل ساتل في النظام Q للخدمة MSS أقل من –195 dB(W/m^2) في نطاق خدمة الفلك الراديوي.

ويبين الشكل 18 النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز عتبة الكثافة epfd، وذلك في كل خلية من الأيونوسفير ولكل قيمة pfd قدرها –195 dB(W/m^2) (للساتل الواحد).

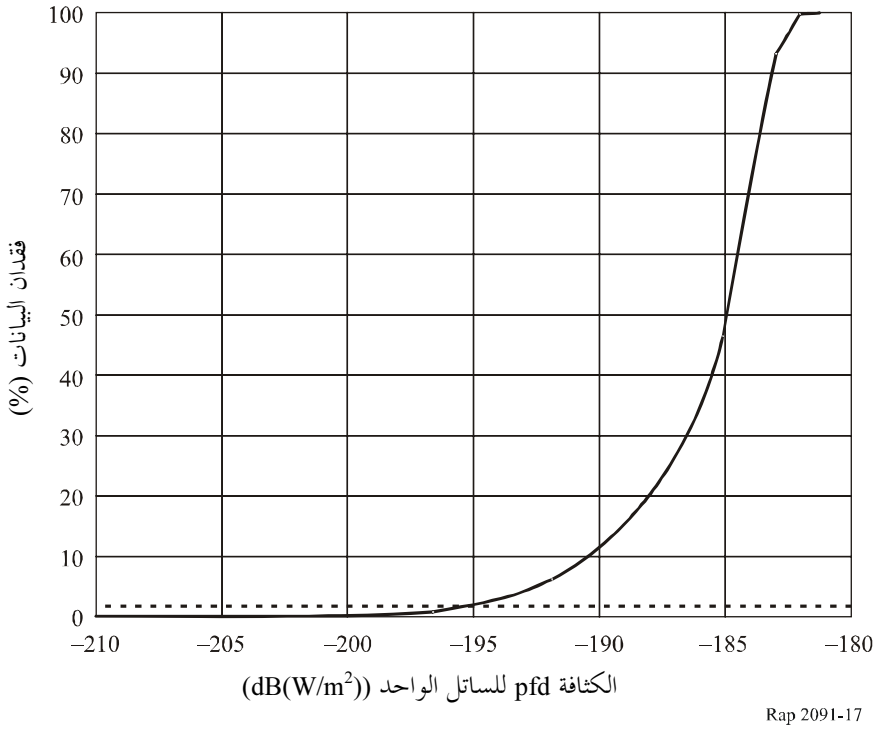
الشكل 16

النسبة المئوية لفقدان البيانات مقابل قيمة pfd للساتل الواحد –185 dB(W/m^2) في موقع خدمة RAS



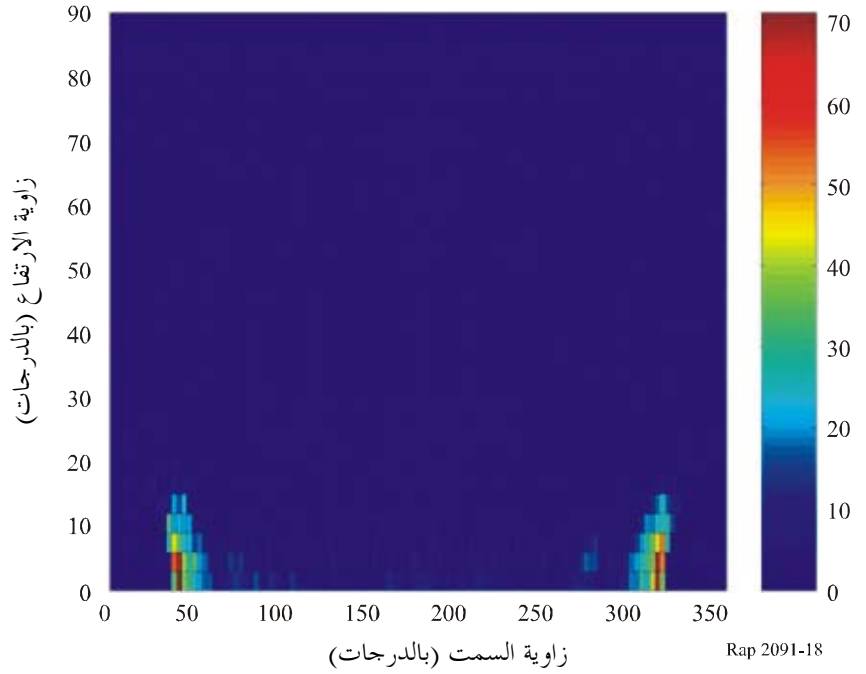
الشكل 17

النسبة المئوية لفقدان البيانات مقابل قيمة pfd للساتل الواحد في موقع خدمة RAS



الشكل 18

النسبة المئوية لفقدان البيانات مقابل قيمة pfd للساتل الواحد –195 dB(W/m^2) في موقع خدمة RAS

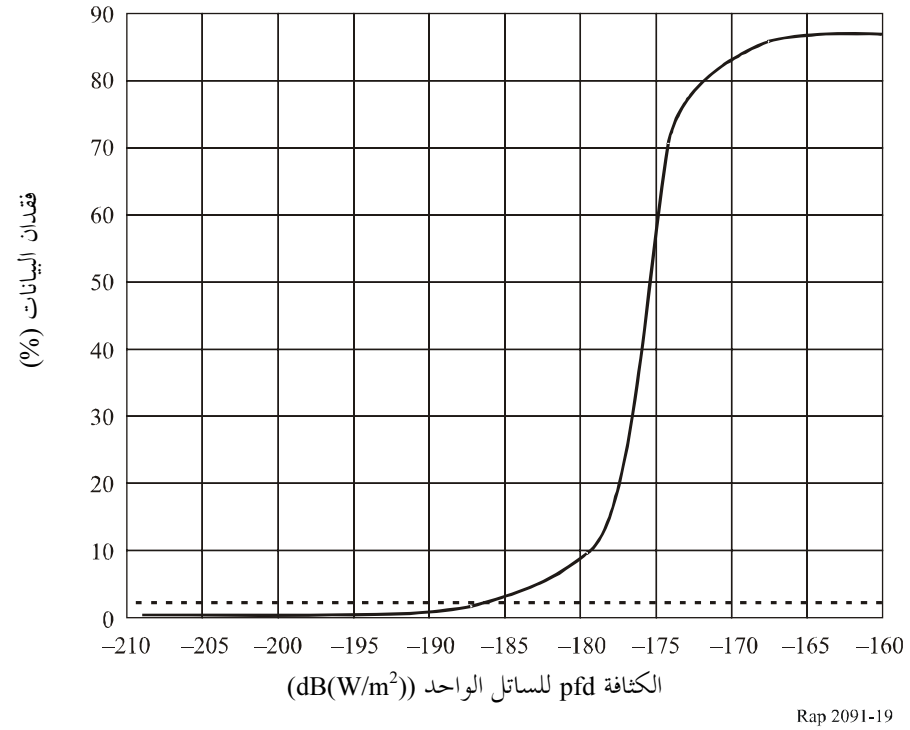


4.2.4.5 النظام S للخدمة المتنقلة الساتلية

يبين الشكل 19 النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز عتبة الكثافة epfd في الموقع الفلكي الراديوي وذلك نسبة لقيمة pfd معينة للساتل الواحد.

الشكل 19

النسبة المئوية لفقدان البيانات مقابل قيمة pfd للساتل الواحد في موقع خدمة RAS

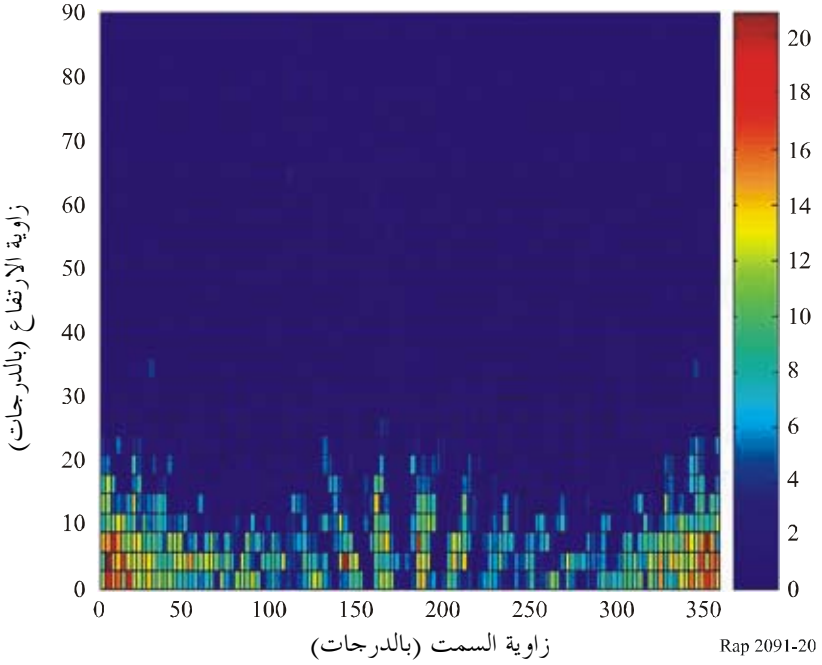


ومن أجل التقيد بمستوى عتبة الكثافة خلال ما يزيد عن 98% من الوقت وسطياً وفي كامل الجو، ينبغي أن تكون الكثافة pfd التي ينتجها كل ساتل في النظام S للخدمة MSS أقل من –187 dB(W/m^2) في نطاق خدمة الفلك الراديوي.

ويبين الشكل 20 النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز عتبة الكثافة epfd، وذلك في كل خلية أيونوسفيرية ولكل قيمة pfd قدرها –187 dB(W/m^2) (للساتل الواحد).

الشكل 20

النسبة المئوية لفقدان البيانات مقابل قيمة pfd للساتل الواحد -187 dB(W/m^2)
في موقع خدمة RAS



3.4.5 القيم الناتجة

إن الإشعاعات غير المطلوبة الصادرة عن السواتل غير المستقرة بالنسبة للأرض العاملة في الخدمة MSS والتي تستعمل النطاق MHz 401-400,15 الواقع داخل نطاق الخدمة RAS MHz 410-406,1 تقع في مجال البث الهامشي. ويبين الجدول 10 التوهين اللازم من أجل عدم تجاوز عتبة الكثافة epfd الضارة، وذلك لكل من الأنظمة الأربعة للسواتل غير المستقرة بالنسبة للأرض في الخدمة MSS والعاملة تحت التردد GHz 1.

ويجدر بالذكر أن حساب إجمالي الإرسالات الهامشية في نطاق الخدمة RAS افترض أن سوية هذه الإرسالات ثابتة في كامل النطاق. وهذه فرضية شديدة الصرامة ومخالفة للواقع لأن الإرسالات الهامشية تظهر عموماً عند بعض الترددات المنفصلة. ولذلك يتعين إجراء مزيد من الدراسة لمراعاة هذه المكونات المنفصلة للإرسالات الهامشية من أجل الحصول على سويات إرسالات هامشية للخدمة MSS أقرب إلى الواقع في نطاق خدمة علم الفلك الراديوي.

الجدول 10

التوهين اللازم في شبكات الخدمة MSS غير المستقرة بالنسبة للأرض والعاملة تحت التردد 1 GHz من أجل تحقيق التقيد بمستوى الكثافة epfd الحرج

النظام	L	N	Q	S
قدرة الإرسال في نطاق الخدمة MSS (W)	25	6.3	32	10
$43 + 10 \log P$	57	51	58	53
توهين البث الهامشي بموجب التذييل 3 (dBc in 4 kHz)	57	51	58	53
سوية البث الهامشي بموجب التذييل 3 (dBW in 4 kHz)	43–	43–	43–	43–
الكثافة pfd في نطاق الخدمة MSS ($dB(W/m^2)$)	111–	110–	113–	110–
سوية البث الهامشي في نطاق الخدمة RAS (dBW)	13,1–	13,1–	13,1–	13,1–
الكثافة pfd في نطاق الخدمة RAS ($dB(W/m^2)$)	138–	131–	141–	133–
الكثافة pfd القصوى في نطاق الخدمة RAS ($dB(W/m^2)$)	197–	185–	195–	187–
التوهين اللازم (dB)	59	54	54	54

5.5 تقنيات تخفيف التداخل

1.5.5 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

هنالك تقنيات مختلفة، بما فيها تلك المذكورة آنفاً، يمكن استخدامها في خفض الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن المرسلات الساتلية في تلسكوب راديوي.

أداء الفصوص الجانبية للهوائي: تستمثل عادة إضاءة فتحة التلسكوب الراديوي للحصول على أفضل نسبة *G/T* أي نسبة كسب التلسكوب إلى درجة حرارة النظام، وذلك من أجل زيادة نسبة الإشارة إلى الضوضاء (*S/N*) إلى أبعد حد في المصادر النقطية. أحد العناصر الرئيسية في هذا النهج هو خفض إشعاعات سطح الأرض التي تصل إلى الفصوص الجانبية البعيدة. الأمر الذي يؤدي حتماً إلى زيادة مقابلة للسويات في الفصوص الجانبية القريبة. وقد أظهرت التجربة أن غالبية التلسكوبات الراديوية تتقيد بشروط قناع أغلفة الفصوص الجانبية الواردة في التوصية ITU-R SA.509، وذلك في معظم الاتجاهات.

الانقطاع في الزمن و/أو التردد: تستخدم هذه التقنية في بعض الحالات التي يمكن فيها تحديد التداخل في نطاق ترددات خدمة الفلك الراديوي تماماً ودون لبس في الزمن و/أو التردد.

2.5.5 التأثير المحتمل على خدمة علم الفلك الراديوي

أداء الفصوص الجانبية للهوائي: من المرجح أن تساهم محاولات خفض حساسية هوائي خدمة الفلك الراديوي للإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن المحطات الفضائية في زيادة حساسية تلسكوب الفلك الراديوي تجاه إشعاعات سطح الأرض، كما قد تخفض من كسب حزمته الرئيسية. وسيضعف هذان التأثيران من قدرة قنوات التلسكوب، مما قد يؤدي إلى زيادة إجمالي الوقت المطلوب للتكامل.

الانقطاع في الزمن و/أو التردد: ينطوي الانقطاع على خطر المسّ بتكاملية البيانات وقد يفضي إلى وقوع أخطاء في التفسير العلمي لهذه البيانات. كما قد يسبب الانقطاع زيادة ملازمة لإجمالي وقت التكامل المطلوب لإجراء عملية الرصد، وذلك يعني خسارة في قدرة قناة التلسكوب.

6 تحليل المواءمة بين أنظمة خدمة علم الفلك الراديوي العاملة في النطاق MHz 614-608 وأنظمة الخدمة المتنقلة الساتلية (فضاء–أرض) التي قد تعمل في النطاق MHz 790-620

1.6 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

1.1.6 النطاق الموزع

النطاق MHz 614-608 موزع لخدمة علم الفلك الراديوي على أساس أولي في الإقليم 2 في الهند بموجب الرقم 307.5 من لوائح الراديو وفي الصين بموجب الرقم 305.5 من لوائح الراديو.

وهذا النطاق موزع أيضاً بموجب الرقم 306.5 لخدمة الفلك الراديوي على أساس ثانوي في الإقليم 1، باستثناء المنطقة الإفريقية للإذاعة (انظر الرقمين 10.5 و13.5 من لوائح الراديو)، وفي الإقليم 3.

وينطبق الرقم 149.5 من لوائح الراديو على هذا النطاق في الإقليمين 1 و3. ويحث نص هذا الرقم الإدارات على اتخاذ جميع الخطوات الممكنة عملياً من أجل حماية خدمة علم الفلك الراديوي من التداخلات الضارة.

2.1.6 نمط عمليات الرصد

يُستعمل هذا النطاق لعمليات رصد الطيف المتصل (بالنطاق العريض) بأسلوبي الهوائي المكافئي الواحد والأسلوب VLBI.

ومن الضروري تأمين التغطية الطيفية اللازمة لعمليات رصد الطيف المتصل (بالنطاق العريض) لمصادر الترددات الراديوية الكونية. وهي تمتد بين النطاقين MHz 410-406,1 وMHz 1 427-1 400 اللذين تستخدمهما أيضاً الخدمة RAS لنفس الغرض.

3.1.6 معايير الحماية المطلوبة

ترد سويات عتبة التداخل الضار بعمليات الرصد الفلكي الراديوي في التوصية ITU-R RA.769.

وهذه السويات هي معايير الحماية التي عندما يحدث تجاوزها تتراجع نوعية بيانات الرصد الفلكي وقد تتلف تماماً. ومبدئياً في الظروف المثالية، وعندما يكون التجاوز طفيفاً يمكن التعويض عنه في مرصد علم الفلك الراديوي من خلال إطالة وقت الرصد. وفي هذه الحالة، تنقص قدرة قنوات التلسكوب ويصاحبها نقص مقابل في معدل البيانات العلمية. وإذا ازدادت سوية التداخلات في إطار فرضيات التوصية ITU-R RA.769 (أداء الهوائي وغيره) بمقدار 10 dB أو أكثر عن السوية المحددة في هذه التوصية، فإن إطالة مدة الرصد لن تكون كافية لضمان توفير بيانات علمية صالحة للعلماء. وستبقى محطة الفلك عندئذٍ غير قادرة على العمل في نطاق الترددات المتأثر، كما ستفقد قدرتها على تأمين الخدمة إن لم تلجأ إلى تقنيات تخفيف التداخل الملائمة.

ويُستعمل النطاق MHz 614-608 لعمليات رصد الطيف المتصل لا غير. ومن أجل إجراء عمليات رصد الطيف المتصل بهوائي مكافئي واحد، يُستعمل كامل عرض النطاق البالغ 6 MHz، وتحدد العتبة الحد للكثافة pfd للتداخل الضار في هذه الحالة بالقيمة -185 $dB(W/m^2)$.

أما عمليات الرصد VLBI حيث تسجَّل الإشارات الواردة من هوائيات شديدة التباعد فيما بينها ويجري ترابطها بعد عمليات الرصد، فهي أقل حساسية للتداخل. ويظهر ذلك في سوية عتبة الكثافة pfd للعمليات VLBI في هذا النطاق وهي −143 $dB(W/m^2)$ لعرض نطاق قدره 6 MHz.

4.1.6 الخصائص التشغيلية

تجري عمليات الرصد عموماً بصورة تفاضلية؛ إذ يمكن رسم منطقة الأيونوسفير المحيطة بالمصدر الراديوي الكوني وطرح إشعاعات الخلفية منها، أو إجراء قياس القدرة الآتية من اتجاه المصدر (في المصدر) وفي موقع واحد أو أكثر من المواقع القريبة في المنطقة (خارج المصدر). وبطرح قيم خارج المصدر من القيم في المصدر يمكن فصل الإرسالات الناتجة في المصدر عن الإرسالات الأخرى المساهمة في قيمة خرج المستقبل.

وتجري عمليات الرصد VLBI من خلال تحويل الإشارات إلى إشارات النطاق الأساسي ثم إجراء رقمنتها دون تصحيح وتسجيلها على شريط مغنطيسي وفي وسائط تخزين أخرى مع قرنها بإشارات توقيت دقيقة. وترسل البيانات بعد ذلك إلى مركز معالجة بيانات VLBI حيث يتم تزامنها وترابطها. ونتيجة لذلك، فإن التأثير الكامل للتداخل قد لا يعرف إلا بعد انتهاء فترة الرصد ومعالجة البيانات.

2.6 الخدمة الإذاعية الساتلية (BSS)

1.2.6 النطاق الموزع للإرسال

يطبق على هذا النطاق الرقم 311.5 من لوائح الراديو الذي ينص على ما يلي: "يمكن أن تخصص للمحطات التلفزيونية العاملة بتشكيل التردد في الخدمة الإذاعية الساتلية ترددات محصورة ضمن النطاق 620-790 MHz، شريطة الاتفاق بين الإدارات المعنية والإدارات التي قد تتأثر خدماتها العاملة طبقاً لهذا الجدول (انظر القرارين **(Rev.WRC-03) 33** و**(Rev.WRC-03) 507**). ويجب على مثل هذه المحطات ألا تنتج كثافة لتدفق القدرة تفوق –129 ($dB(W/m^2)$ من أجل زوايا وصول أصغر من 20° (انظر التوصية **705**) داخل أراضي البلدان الأخرى دون موافقة إدارات هذه البلدان. وينطبق القرار **(WRC-03) 545**. (WRC-03)".

ويطلب القرار (WRC-03) 545 إجراء دراسات ووضع معايير تقاسم وأحكام تنظيمية قبل انعقاد المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية عام 2007، وذلك بشأن حماية خدمات الأرض وخاصة الخدمات الإذاعية التلفزيونية للأرض في النطاق 620-790 MHz من شبكات الخدمة GSO BSS والشبكات أو الأنظمة الساتلية BSS غير المستقرة بالنسبة للأرض التي يخطط لها أن تعمل في هذا النطاق.

2.2.6 التطبيق

الغرض من أنظمة الخدمة الإذاعية الساتلية التي تستعمل هذا النطاق هو تقديم خدمة إذاعية على الصعيد الوطني أو الإقليمي. ويمكن استعمال النطاق لأنظمة الخدمة الإذاعية الساتلية المستقرة أو غير المستقرة بالنسبة للأرض.

ويمكن إرسال عدد كبير من المحتويات عبر هذا النظام إلى مطاريف متنقلة وبكميات كبيرة وذلك بفضل التقنيات عالية الفعالية للانضغاط والتشفير وتعدد الإرسال.

3.2.6 السويات استناداً إلى الأحكام التنظيمية

ينبغي ألا تتجاوز أقصى كثافة تدفق قدرة على سطح الأرض لفترة محددة تنتج عن محطة فضائية لخدمة BSS داخل منطقة خدمة محطة إذاعية تعمل في النطاق 620-790 MHz القيم التالية:

$\delta \leq 20°$	من أجل	$dB(W/m^2)$	–129
$20° < \delta < 60°$	من أجل	$dB(W/m^2)$	$–129 + 0,4 (\delta – 20)$
$60° < \delta < 90°$	من أجل	$dB(W/m^2)$	–113

حيث δ هي زاوية الوصول (التوصية 705).

4.2.6 الخصائص التشغيلية

1.4.2.6 أنظمة الخدمة الإذاعية الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض

1.1.4.2.6 معلمات الكوكبة

يستعمل النظام موضوع الدراسة سواتل في مدارات إهليليجية شديدة الانحناء (HEO). ويجري تحسين معلمات الكوكبة إلى أبعد حد من أجل توفير ظروف رؤية حسنة إلى جميع المستعملين داخل منطقة الخدمة. ويوضح المثال الوارد أدناه حالة كوكبة السواتل Tundra التي تغطي بلدان أوروبا الغربية من خلال ثلاثة سواتل ذات دور يستغرق 24 ساعة:

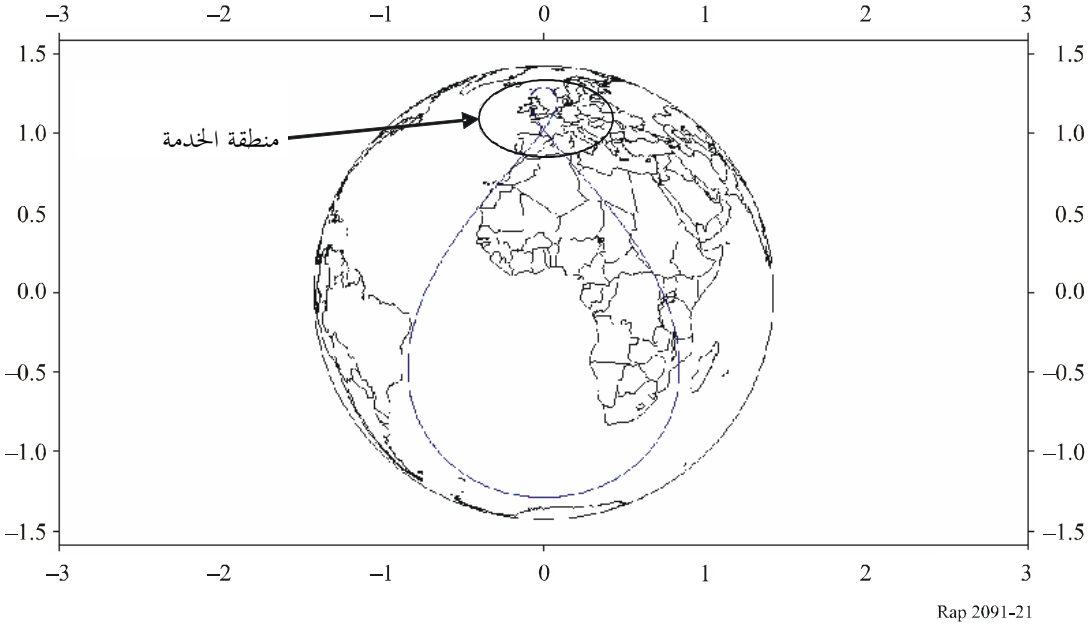
– محور شبه رئيسي: 42 164 km

- اختلاف مركزي: 0,2684
- زاوية ميل المدار: °63,4
- زاوية الحضيض: °270
- الطالع المستقيم للعقدة الصاعدة: °110 و°230 و°350
- متوسط الزاوية الحضيضية: °340 و°220 و°100

ويبين الشكل 21 مسار تتبع الساتل على سطح الأرض.

الشكل 21

مسار تتبع كوكبة سواتل HEO على الأرض



Rap 2091-21

2.1.4.2.6 أوقات نشاط السواتل

بسبب المعلمات المدارية لكوكبة سواتل HEO، فإن ساتلاً بزاوية ارتفاع أكبر من °60 لا يُرى في منطقة الخدمة إلا لفترة تعادل 1/3 الوقت على النحو التالي:

- طوال دور الساتل البالغ 24 ساعة، يكون متوسط الساتل بزاوية ارتفاع أكبر من °60 قابلاً للرؤية في منطقة الخدمة خلال فترة متواصلة مدتها 8 ساعات تليها 16 ساعة من "عدم الرؤية".
- تبرمج السواتل بحيث يتوقف نشاطها خلال فترات الست عشر ساعة من "عدم الرؤية". مما يعني أن ساتلاً واحداً فقط يرسل باتجاه منطقة الخدمة في أي وقت كان.

3.1.4.2.6 الهوائي الساتلي وإدارة القدرة

يجب المحافظة على الكثافة pfd ثابتة على سطح الأرض داخل محطة الخدمة بغض النظر عن الوقت وعن موقع المستقبل. ومن أجل تحقيق ذلك، يُصمم هوائي الساتل بحيث يستوفي عدداً من المتطلبات أثناء فترات الإرسال النشيط، وهذه المتطلبات هي:

– *إرسال تدفق متساو في منطقة الخدمة*

يستعمل الساتل هوائياً متساوي التدفق (متاحٍ) من أجل تحسين متطلبات قدرته إلى أبعد حد ومن أجل مراعاة حدود كثافة تدفق القدرة في منطقة الخدمة. وذلك يعني أن يكون كسب هوائي الساتل داخل منطقة الخدمة على نحو تبقى فيه الكثافة pfd على سطح الأرض ثابتة] بغض النظر عن وضعية المستقبل في منطقة الخدمة.

– *تزويم الحزمة*

إن الزاوية المجسمة التي يرى الساتل منها منطقة الخدمة تتغير بمرور الزمن وتبعاً لارتفاعه. ومن أجل التكيف مع "آثار التزويم" ومن أجل التخفيف من شروط القدرة الإجمالية، يعمل الساتل على تسوية القدرة وشكل حزمته تبعاً لارتفاعه.

2.4.2.6 النظام الساتلي المستقر بالنسبة للأرض (GSO)

هنالك ساتلان GSO مسجلان في السجل الأساسي MIFR. وهما تابعان للاتحاد الروسي ويسميان STATSIONAR.

وقد أخذت معلمات الساتلين STATSIONAR بالاعتبار في دراسات المواءمة الرامية إلى تقدير تأثير الأنظمة القادمة ذات الخصائص المماثلة، وهي ترد في الجدول 11:

الجدول 11

معلمات الساتل STATSIONAR

الاسم	STATSIONAR-T	STATSIONAR-T2
خط الطول (بالدرجات)	99	99
تردد الموجة الحاملة (MHz)	714	754
عرض النطاق (MHz)	24	24
قدرة الذروة (dBW)	23	21,5
قدرة الذروة (dB(W/Hz))	51−	52,3−
أقصى كسب هوائي (dBi)	34	33,5
وضعية مركز أثر الساتل (بالدرجات)	$L = 91$، $l = 73$	$L = 95{,}24$، $l = 69{,}16$
الزاوية بين اتجاه تسديد السواتل GSO والاتجاه من الساتل GSO إلى محطة فلك راديوي (بالدرجات)	8,7	4,4
كسب الهوائي المتجه إلى المحطة RA الأكثر تعرضاً للتداخل (dBi)	27,5	13,5
القدرة e.i.r.p. في النطاق النشيط باتجاه محطة علم الفلك الراديوي الأكثر تعرضاً (dB(W/Hz))	23,5−	38,8−

3.6 عتبة المواءمة

1.3.6 الأنظمة الساتلية غير المستقرة بالنسبة للأرض

فيما يتعلق بكوكبات السواتل غير المستقرة بالنسبة للأرض، يمكن استنتاج سوية العتبة للكثافة epfd البالغة 241− dB(W/m^2) في النطاق 608-614 MHz من سوية عتبة الكثافة pfd للتداخل الضار بعمليات الرصد الفلكي الراديوي والتي ترد في التوصية ITU-R RA.769 ومن القيمة القصوى لكسب الهوائي في خدمة الفلك الراديوي الواردة في التوصية ITU-R RA.1631 والبالغة 56 dBi في نطاق التردد هذا.

2.3.6 الأنظمة الساتلية المستقرة بالنسبة للأرض

تتضمن التوصية ITU-R RA.769 سويات العتبة للتداخل الضار بعمليات رصد الطيف المتصل الفلكية الراديوية (بالنطاق العريض). ويعيد الجدول 12 عرض هذه السويات.

الجدول 12

معايير حماية الفلك الراديوي

نطاق نشيط (MHz)	خدمة نشيطة	نطاق منفصل (MHz)	أقصى قدرة مستقبلة (RA.769) (dBW)	الكثافة pfd (RA.769) (dB(W/m^2))	الكثافة spfd (RA.769) (dB(W/(m^2 · Hz))
790-620	BSS	614-608	202−	185−	253−

4.6 تقدير التداخل

1.4.6 الأنظمة الساتلية غير المستقرة بالنسبة للأرض

1.1.4.6 المنهجية المتبعة في تقدير سوية التداخل

تقدم التوصية ITU-R S.1586 طريقة تقييم الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن نظام ساتلي غير مستقر بالنسبة للأرض في مواقع الفلك الراديوي. وتقوم هذه الطريقة على أساس تقسيم الأيونوسفير إلى خلايا متساوية الحجم تقريباً وعلى دراسات إحصائية يكون فيها اتجاه تسديد هوائي الخدمة RAS ووقت بدء عمل الكوكبة الساتلية هما المتغيران العشوائيان. وفي كل محاولة يحسب متوسط سوية الإشعاعات غير المطلوبة (معبراً عنها بقيمة الكثافة epfd) خلال فترة مدتها 000 2 ثانية.

وفي حالة النظام HEO، يصبح الحساب بسيطاً جداً لعدم وجود سوى ساتل واحد يرسل باتجاه الأرض في كل الأوقات.

2.1.4.6 حساب سوية التداخل

أظهرت الدراسات أنه بالإمكان تأمين المواءمة بين الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن الأنظمة HEO BSS العاملة في النطاق MHz 790-620 وبين الخدمة RAS في النطاق MHz 614-608 إذا ضبطت قيمة الكثافة pfd التي يشعها الساتل HEO BSS في جميع المحطات RAS بأقل من −188 dB(W/m^2) في كامل نطاق عمليات الفلك الراديوي.

وتضمن هذه السوية أن تكون نسبة فقدان بيانات الخدمة RAS أقل من 2% في جزء الأيونوسفير الذي تجري فيه عمليات رصد محطة الفلك الراديوي مع مراعاة أصغر زاوية ارتفاع θ_{min} تجري عندها المحطة عمليات الرصد في نطاق التردد (كما هو محدد في الجدول A من الملحق 2 بالتذييل 4 للوائح الراديو).

ويقدم الشكل 22 لكل موقع فلكي راديوي من مواقع Jodrell Bank (المملكة المتحدة)، ولكل خلية في كامل الأيونوسفير، عدد المحاولات التي تبلغ مدة كل منها 000 2 ثانية والتي يحدث فيها تجاوز لمعايير الكثافة epfd. ويبلغ إجمالي عدد المحاولات للخلية الواحدة 30، علماً بأن عمود اليمين يمثل عدد المحاولات في الخلية الواحدة التي تم فيها تجاوز معيار الكثافة epfd. وعلى سبيل المثال، يبين الشكل 22 أنه إذا سدد التلسكوب الراديوي باتجاه زاوية سمت قدرها 350° وزاوية ارتفاع تقع بين 84° و87° (انظر الخلية المقابلة في الشكل 22)، فإن جميع عمليات الرصد ستتأثر بالتداخل الذي يتجاوز السوية الحرجة المحددة في التوصية ITU-R RA.769.

2.4.6 أنظمة ساتلية مستقرة بالنسبة للأرض

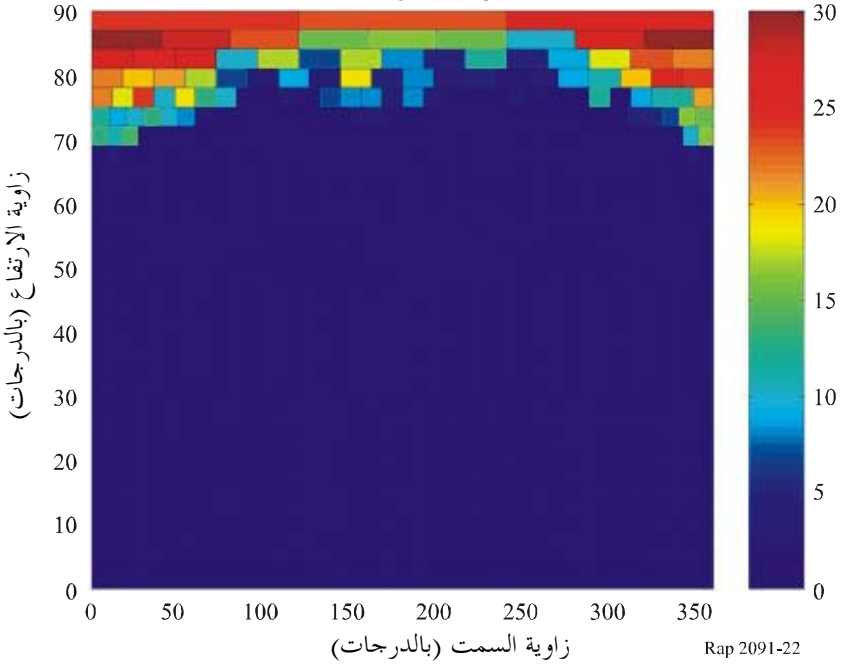
فيما يتعلق بالدراسات الواردة في الفقرات التالية:

- جميع خصائص محطات خدمة الفلك الراديوي مأخوذة من الموقع الإلكتروني http://www.astron.nl/craf/raobs.htm. وتقع كلها في بلدان المؤتمر الأوروبي لإدارات البريد والاتصالات (CEPT).
- وجميع خصائص السواتل GSO مأخوذة من السجل الأساسي للاتحاد (ITU MIFR).

ويبين الشكلان 23 و24 حالة المحطة الأكثر حساسية وتوهين التداخل إلى سوية تحت الكسب الأقصى للهوائي المتجه إلى هذه المحطة.

الشكل 22

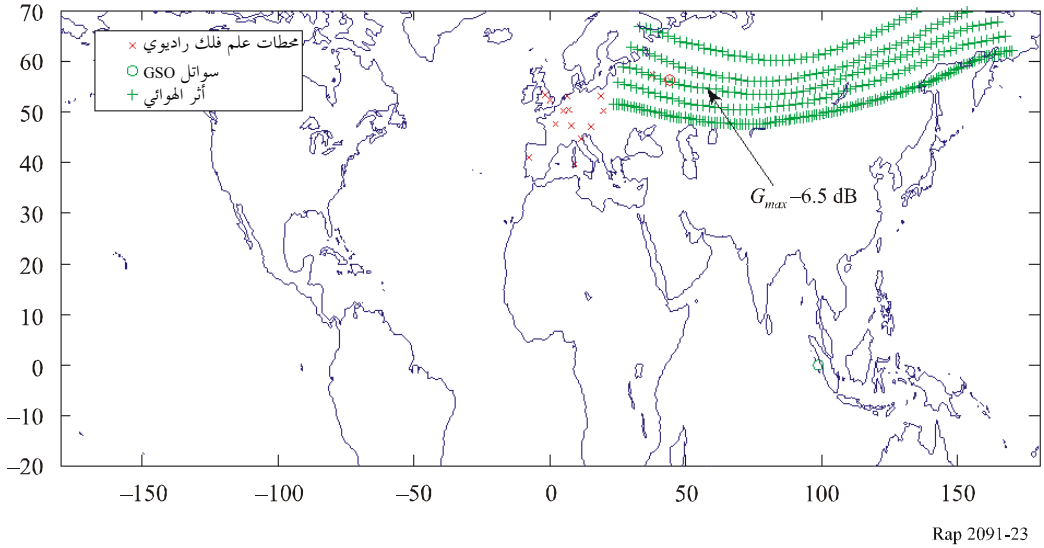
محاكاة النتائج للموقع Jodrell Bank



الشكل 23

الساتل STATSTIONAR-T

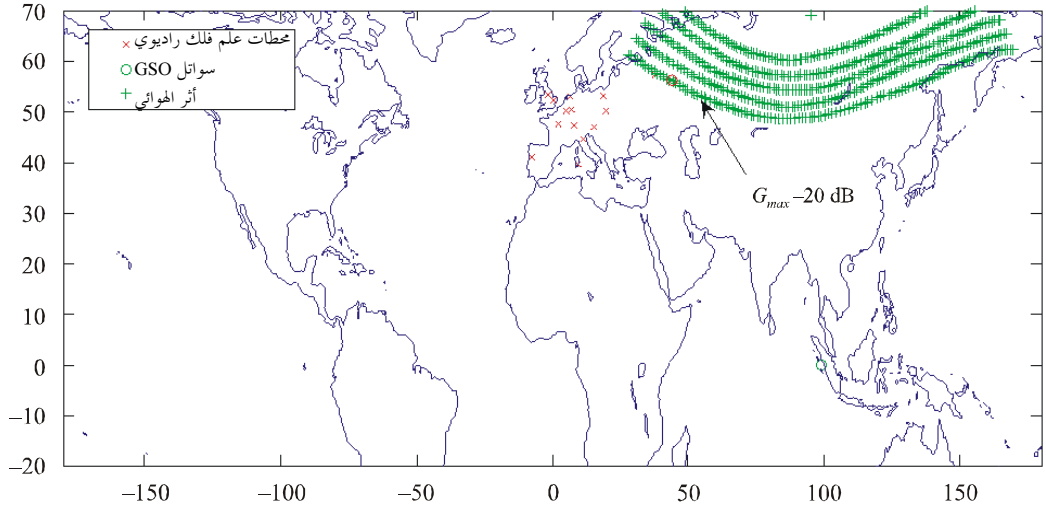
محطات علم الفلك الراديوي والسواتل GSO في النطاق MHz 614-608



الشكل 24

الساتل STATSTIONAR-T2

محطات علم الفلك الراديوي والسواتل GSO في النطاق 608-614 MHz



Rap 2091-24

وتحسب القدرة e.i.r.p. المسموح بها في نطاق خدمة علم الفلك الراديوي مع مراعاة مختلف مواقع الساتل المستقر بالنسبة للأرض ومحطات الفلك الراديوي الأكثر حساسية وذلك من أجل أن تمتثل لمعايير الحماية.

ونتيجة لذلك، يمكن حساب عامل توهين البث خارج النطاق وهو الفرق بين القدرة e.i.r.p. للساتل المستقر GSO في الخدمة النشيطة وأقصى قدرة e.i.r.p. مسموح بها في النطاق المنفعل.

والتطابق بين عامل التوهين اللازم والبيانات ذات الصلة بموجب توصيات القطاع ITU-R ذات الصلة (مثل الحدود الواردة في التذييل 3 للوائح الراديو) يمثل نهاية تقدير التداخل.

3.4.6 القيم الناتجة

1.3.4.6 أنظمة السواتل غير المستقرة بالنسبة للأرض

تعادل قيمة الكثافة pfd، –188 ($dB(W/m^2)$)، للإشعاعات غير المطلوبة توهيناً قدره 74 dB للكثافة pfd التي يشعها ساتل خدمة HEO BSS باتجاه سطح الأرض في عرض نطاق قدره 6 MHz بافتراض أن أقصى قدرة pfd يشعها نظام الخدمة HEO BSS في النطاق 620-740 MHz هي –113 ($dB(W/(m^2 \cdot 8\ MHz))$)، وهي أقصى سوية تحددها التوصية 705.

2.3.4.6 أنظمة السواتل المستقرة بالنسبة للأرض

تحسب قيم القدرة e.i.r.p. الواردة في الجدول 12 استناداً إلى سويات عتبة الكثافة pfd الواردة في نفس الجدول (العمود الأخير) مع مراعاة قيم الخسارة في الفضاء الحر.

الجدول 13

أقصى قدرة e.i.r.p. مسموحة في نطاق خدمة علم الفلك الراديوي في الساتل

نطاق نشيط (MHz)	نطاق منفعل (MHz)	أقصى قدرة e.i.r.p. في نطاق الخدمة RAS (dB(W/Hz))	أقصى قدرة e.i.r.p. في نطاق الخدمة RAS (dBW)
620-790	608-614	92–	24–

ومع مراعاة القيم الواردة في الجدولين 10 و12، يجب أن يزيد عامل التوهين عن 69 dB (92-23,5 dB) في الساتل STATSIONAR-T وعن 53 dB (92-38,8 dB) في الساتل STATSIONAR-T2. أما الإشعاعات غير المطلوبة التي تقع في نطاق خدمة الفلك الراديوي فهي من البث الهامشي.

وتشير لوائح الراديو الخاصة بالخدمة الإذاعية الساتلية (BSS) الواردة في الجدول II من التذييل 3 إلى أقصى توهين مسموح به لسوية قدرة إرسال يفوق القيمة الدنيا التي تتراوح بين 60 dBc و$43 + 10 \log P$، علماً بأن P هي متوسط القدرة معبراً عنه بالوحدات W. وفي هذه الحالة، يكون عامل التوهين 60 dBc.

ومع مراعاة السويات الواردة في التذييل 3 للوائح الراديو، فإن الإشعاعات غير المطلوبة التي يشعها النظام الساتلي STATSIONAR في نطاق خدمة الفلك الراديوي باتجاه محطات هذه الخدمة في بلدان المؤتمر CEPT ستكون أعلى بمقدار 10 dB كحد أقصى من سويات العتبة التي تحددها التوصية ITU-R RA.769. غير أن التجربة أظهرت أن السويات الواردة في التذييل 3 للوائح الراديو مرتفعة جداً وأن البث الهامشي للأنظمة في الحقيقة أقل بكثير، بمقدار يصل إلى 20 dB، من هذه السويات (الأنظمة COSPAS-SARSAT). ولذا، يفترض أنه بالإمكان التقيد بسوية العتبة المحددة في التوصية ITU-R RA.769 في نطاق التردد هذا في أنظمة قادمة تتسم بنفس الخصائص.

5.6 تقنيات تخفيف التداخل

1.5.6 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

هنالك تقنيات مختلفة، بما فيها تلك المذكورة آنفاً، يمكن استعمالها لخفض الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن المرسلات الساتلية في تلسكوب راديوي.

أداء الفصوص الجانبية للهوائي: تستمثل عادة إضافة فتحة التلسكوب الراديوي للحصول على أفضل نسبة *G/T*، أي نسبة كسب التلسكوب إلى درجة حرارة النظام. وذلك من أجل زيادة نسبة الإشارة إلى الضوضاء (*S/N*) إلى أبعد حد في المصادر النقطية. وأحد العناصر الرئيسية في هذا النهج هو خفض إشعاعات سطح الأرض التي تصل إلى الفصوص الجانبية البعيدة. الأمر الذي يؤدي حتماً إلى زيادة مقابلة للسويات في الفصوص الجانبية القريبة.

الانقطاع في الزمن و/أو التردد: تستخدم هذه التقنية في بعض الحالات التي يمكن فيها تحديد نطاق ترددات خدمة الفلك الراديوي تماماً ودون لبس في الزمن و/أو في التردد.

2.5.6 التأثير المحتمل على خدمة علم الفلك الراديوي

أداء الفصوص الجانبية للهوائي: يبدو أن محاولات خفض حساسية هوائي خدمة الفلك الراديوي للإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن محطات فضائية تساهم في زيادة حساسية تلسكوب هذه الخدمة لإشعاعات الأرض، كما قد تخفض من كسب حزمته الرئيسية. وسيضعف هذان التأثيران قدرة قنوات التلسكوب، مما قد يؤدي إلى زيادة إجمالي الوقت المطلوب للتكامل.

الانقطاع في الزمن و/أو التردد: ينطوي الانقطاع على خطر يتهدد تكاملية البيانات وقد يفضي إلى وقوع أخطاء في التفسير العلمي لهذه البيانات. كما قد يسبب الانقطاع زيادة ملازمة لإجمالي وقت التكامل المطلوب لإجراء عملية الرصد، وذلك يعني خسارة في قدرة قنوات التلسكوب.

7 تحليل المواءمة بين أنظمة خدمة الفلك الراديوي العاملة في النطاقين 400 1-427 1 MHz و610,6 1-613,8 1 MHz وأنظمة الخدمة المتنقلة الساتلية غير المستقرة بالنسبة للأرض (فضاء–أرض) العاملة في النطاق 525 1-559 1 MHz

1.7 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

1.1.7 النطاقات الموزعة

النطاق 400 1-427 1 MHz موزع على أساس أولي لخدمات منفعلة فقط هي خدمة علم الفلك الراديوي والخدمة الساتلية لاستكشاف الأرض (المنفعلة) وخدمة الأبحاث الفضائية (SRS) (المنفعلة). ويناقش هذا الملحق حالة خدمة الفلك الراديوي فقط.

ويحظر الرقم 340.5 من لوائح الراديو كل الإرسالات في هذا النطاق. والنطاق 610,6 1-613,8 1 MHz موزع على أساس أولي للخدمة RAS وغيرها من الخدمات النشيطة مثل الخدمة المتنقلة الساتلية أو خدمة الملاحة الراديوية للطيران.

ويحث الرقم 149.5 من لوائح الراديو الإدارات على اتخاذ جميع الخطوات الممكنة عملياً من أجل حماية خدمة علم الفلك الراديوي في هذا النطاق.

2.1.7 نمط عمليات الرصد

1.2.1.7 النطاق 400 1-427 1 MHz

النطاق 400 1-427 1 MHz أكثر استعمالاً من أي نطاق آخر في جميع أقاليم القطاع ITU-R. أما الاستعمال الرئيسي لهذا النطاق في مجال الفلك الراديوي فهو إجراء عمليات رصد في الكون للخطوط الطيفية لذرات الهيدروجين المحايد (المسمى أيضاً HI)، التي تمتلك تردد راحة هو 420,406 1 MHz. والعنصر HI هو العنصر الرئيسي الأول المكوِّن لمجرتنا وللمجرات الأخرى. وهو يتواجد في السحب الكبرى شديدة التعقيد. ويراقب خطه الطيفي أثناء عمليتي الإرسال والامتصاص ويجري توسيع تردده وزحزحته بآثار دوبلر الناجمة عن تحركات محلية كبرى في بنية السحب. وهكذا يمكن استعمال عمليات رصد الهيدروجين HI لرسم توزع المادة وتحركاتها في مجرتنا وفي المجرات الأخرى. وبهذه الطريقة، يمكن رسم بنية المجرة وكيفية حركة المادة فيها.

ويتسع النطاق 400 1-427 1 MHz ليشمل الإرسالات بزحزحة دوبلر التي تشعها السحب في مجرتنا وفي المجرات المجاورة. ويتيح قياس استقطاب إرسال وامتصاص الهيدروجين المحايد معلومات هامة عن المجالات المغنطيسية للكواكب، ويساهم بالتالي في معرفة بنيتها بصورة أفضل.

ويستعمل النطاق 400 1-427 1 MHz أيضاً لعمليات رصد الطيف المتصل للإرسالات عريضة النطاق الناجمة عن البلازما الحارة التي تتشكل عندما تسخن النجوم السحب المحيطة وعن تفاعل الإلكترونات عالية الطاقة في المجال المغنطيسي المجري (إرسال سينكروتروني).

2.2.1.7 النطاق 610,6 1-613,8 1 MHz

يستعمل النطاق 610,6 1-613,8 1 MHz لإجراء عمليات رصد الخطوط الطيفية للعنصر OH (مركب مجموعة الهيدروكسيل). وللخط OH تردد راحة هو 612 1 MHz، وهو أحد أهم الخطوط الطيفية لعلم الفلك الراديوي ويرد ذكره على هذا النحو في التوصية ITU-R RA.314. والمركب OH هو أول مركب كوني كشف في الترددات الراديوية (1963)، وما زال يمثل أداة بحث هامة. وهو ينتج أربعة خطوط طيفية قرب الترددات 612 1 و665 1 و667 1 و720 1 MHz، التي رصدت جميعاً في مجرتنا وفي مجرات أخرى على حد سواء. وتقدم دراسة الخطوط OH معلومات عن عدد كبير من الظواهر الفلكية، مثل تشكل النجوم البدائية وتطور النجوم. ومن أجل تفسير معظم عمليات الرصد في الخطوط OH، لا بد من قياس الشدة النسبية لعدد من هذه الخطوط. وفقدان القدرة على مراقبة أي من هذه الخطوط قد يحول دون دراسة بعض أصناف الظواهر الفيزيائية.

وتنتج هذه الخطوط OH في عمليات متناسقة يُشع فيها تركيز الجذور OH "تدريجياً"، وتنتج إرسالات ضيقة النطاق. وقد توسعت قليلاً بسبب الظروف الفيزيائية في هذا التركيز. وتفرض حركة هذه التركيزات فيما يتعلق بالأرض زحزحة دوبلر في إرسال الخط الطيفي. ويؤدي وجود عدة تركيزات في المنشأ تتحرك بسرعات متباينة إلى تشكل طيف أشد تعقيداً، يتألف من عدد من خصائص الخطوط الغوسية المتراكمة ومختلفة العرض والاتساع وقليلة التباين في ترددها (بسبب زحزحة دوبلر المختلفة). وعرض توزيع النطاق مطلوب من أجل إجراء تمديد الطيف وزحزحته من خلال تحركات تفاضلية وإجمالية في المنشأ.

ولا تشع بعض أصناف النجوم في بعض مراحل تطورها إلا في خط التردد 612 1 MHz. وتتيح دراسة هذا الخط لعلماء الفلك أن يخمنوا الخواص الفيزيائية لهذه النجوم مثل معدل بثها للغازات وإعادة استعمالها في الوسط ما بين النجوم، علماً بأن بعض هذه الخواص لا يمكن استنتاجها من أي عملية رصد فلكية أخرى. كما استعملت قياسات إرسالات النجوم لمركبات OH من أجل تقدير المسافة التي تفصلها عن مركز المجرة وقياس حجم الجسم المركزي للكوكبة الأرضية ودراسة التوزيع في الفضاء للمكونات الجزيئية في هذه المجرة والمجرات الخارجية. وأخيراً، جرى كشف إرسالات ميزرية شديدة القوة قرب نَوَيات عدد من المجرات الخارجية. وتتيح هذه الإرسالات OH الميغاميزرية الناتجة عن النَوَيات المجرية لعلماء الفلك دراسة حرارة وكثافة الجزيئات الغازية في مركز المجرة.

ويرصد الخط الطيفي OH أيضاً في النجوم المذنبة؛ ومن الصعب جداً برمجة عمليات الرصد لهذه "الأهداف المؤقتة".

وتجري عمليات رصد الخطوط الطيفية باستعمال مقاييس طيفية قادرة على تكامل القدرة في عدد كبير من قنوات التردد (عادة 256-096 4) التي لها توزيعات في نطاق التردد المستعمل. ويتعين أن تكون القنوات بعرضها وعددها كافية لإعادة إنتاج طيف الإرسال الذي يستقبله التلسكوب الراديوي بصورة دقيقة. وتستعمل عروض نطاق آنية تتراوح عادة بين 20– kHz ~0,2 للقناة الواحدة، تبعاً للبرنامج العلمي المعني.

والمصادر الراديوية صغيرة، ويتطلب قياس حجمها وبنيتها عمليات رصد تستعمل التقنية VLBI.

3.1.7 معايير الحماية المطلوبة

1.3.1.7 النطاق 400 1-427 1 MHz

ترد سويات عتبة التداخل الضار بعمليات الرصد الفلكي الراديوي في التوصية ITU-R RA.769.

وهذه السويات هي معايير الحماية التي عندما يحدث تجاوزها تتراجع نوعية بيانات الرصد الفلكي وقد تتلف تماماً. ومبدئياً في الظروف المثالية وعندما يكون التجاوز طفيفاً يمكن التعويض عنه في مرصد علم الفلك الراديوي من خلال إطالة وقت الرصد. وفي هذه الحالة، تنقص قدرة قنوات التلسكوب ويصاحبها نقص مقابل في معدل البيانات العلمية. وإذا زادت سوية التداخل حسب فرضيات التوصية ITU-R RA.769 (مثل أداء الهوائي وغير ذلك) بمقدار 10 dB أو أكثر عن السوية المحددة في هذه التوصية، فإن إطالة مدة الرصد لن تكون كافية لضمان توفير بيانات علمية صالحة للعلماء. وستبقى محطة الفلك الراديوي عندئذ غير قادرة على العمل في نطاق الترددات المتأثر، وستفقد قدرتها على تأمين الخدمة إن لم تلجأ إلى استعمال تقنيات تخفيف التداخل الملائمة.

وفي النطاق 400 1-427 1 MHz تتحدد عتبة الكثافة pfd للتداخل الضار بعمليات رصد الخطوط الطيفية بهوائي مكافئي واحد يستخدم عرض نطاق قناة (إحدى قنوات مقياس الطيف) قدره 20 kHz، بالقيمة –196 ($dB(W/m^2)$). ومن أجل إجراء عمليات رصد الطيف المتصل بهوائي مكافئي واحد، يُستعمل كامل عرض النطاق البالغ 27 MHz حيث تتحدد عتبة الكثافة pfd للتداخل الضار بالقيمة –180 ($dB(W/m^2)$).

أما عمليات الرصد VLBI حيث تُسجل الإشارات الواردة من هوائيات شديدة التباعد فيما بينها ويجري ترابطها بعد عمليات الرصد فهي أقل حساسية بكثير للتداخل. وينعكس ذلك في سوية عتبة الكثافة pfd لعمليات الرصد VLBI في هذا النطاق وهي –166 ($dB(W/m^2)$) لعرض نطاق قدره 20 kHz.

2.3.1.7 النطاق 1 610,6-1 613,8 MHz

في النطاق 1 610,6-1 613,8 MHz، تتحدد عتبة الكثافة pfd للتداخل الضار بعمليات رصد الخطوط الطيفية بهوائي مكافئي واحد يستعمل عرض نطاق قناة (إحدى قنوات قياس الطيف) قدره 20 kHz بالقيمة –194 ($dB(W/m^2)$).

4.1.7 الخصائص التشغيلية

النطاق 1 400-1 427 MHz هو أكثر نطاقات علم الفلك الراديوي استعمالاً. إذ يستعمل في العالم أجمع وفي جميع أقاليم الاتحاد، وتقوم بعض التلسكوبات الراديوية من قبيل التلسكوب الراديوي ذي الفتحة التركيبية لمرصد الدومنيون الراديوي لعلم الفيزياء الفلكية (DRAO) قرب مدينة بنتكتون (كندا) بإجراء عمليات رصد طوال الوقت في هذا النطاق. وتستعمل التلسكوبات الراديوية أحادية الهوائي لقياس كثافة تدفق القدرة الطيفية (spfd) المجمعة للمصادر الراديوية ذات القطر الزاوي الصغير ولرسم مخططات البنى ذات الزوايا الكبيرة والتي لا يمكن رسمها باستعمال تلسكوبات بفتحة تركيبية.

تجري عمليات الرصد في النطاق 1612 MHz في عدد من مواقع علم الفلك الراديوي في العديد من البلدان المنتشرة في العالم بأكمله. وترصد العمليات هذه أحياناً أهدافاً "مؤقتة" مثل المذنبات التي لوحظ أنها تنتج إشعاعات دائمة في هذا الخط. كما تجري غالباً عمليات رصد VLBI في هذا النطاق تتم أحياناً بين شبكات VLBI في أمريكا الشمالية وأوروبا.

وتتيح الاستبانة الزاوية العالية التي توفرها أجهزة التلسكوب ذات الفتحة التركيبية رسم خرائط البنى الدقيقة لسحب الهيدروجين ومصادر إشعاعات الطيف المتصل مثل بقايا المستعر الأعظم (supernova). ثم تجمع هذه الخرائط مع الخرائط ذات الاستبانة الأضعف التي أنتجتها أجهزة التلسكوب الراديوية أحادية الهوائي وذلك من أجل الحصول على صور عالية الجودة ثلاثية الأبعاد لمجرتنا وللمجرات الأخرى. وقد تحتاج أجهزة الرصد الراديوية ذات الفتحة التركيبية التي تستعمل شبكة هوائيات متعددة إلى "جلسات رصد" تتراوح مدتها بين الساعة و12 ساعة من أجل إجراء خريطة كاملة لمنطقة واحدة من الأيونوسفير.

ومن أجل تسهيل رسم خرائط بنى المصادر الكبيرة نسبياً، فإن بعض التلسكوبات الراديوية ذات الفتحة التركيبية، مثل التلسكوب DRAO، تستعمل مجموعة هوائيات صغيرة نسبياً. غير أن هذه التلسكوبات غير مزودة بخيار الإلغاء الكلي للفصوص الجانبية، وهي بالتالي أكثر حساسية للتداخل.

وتجري عمليات رصد الخطوط الطيفية باستعمال مقاييس طيف متعددة القنوات قادرة على التجميع الآني لقدرة قنوات التردد الكثيرة (عادة من 256 إلى 4 096) التي لها توزيعات في النطاق. ويختار عدد القنوات وعرض نطاق كل منها من أجل تحقيق اعتيان طيف الإشعاعات الصافية الناجمة عن سحب الهيدروجين في حزمة الهوائي بصورة ملائمة.

وتجري عمليات الرصد عموماً بصورة تفاضلية. ويمكن في حالة إشعاعات الطيف المتصل رسم خريطة منطقة الأيونوسفير المحيطة بالمصدر وطرح إشعاعات الخلفية منها، أو قياس القدرة الآتية إلى المصدر (في المصدر) وفي موقع واحد أو أكثر من المواقع القريبة في الأيونوسفير (خارج المصدر). وبطرح قيم خارج المصدر من القيم في المصدر يمكن فصل الإشعاعات الناتجة في المصدر عن الإرسالات الأخرى المساهمة في قيمة خرج المستقبل.

وفي حالة عمليات رصد الخطوط الطيفية، تسجل الأطياف في مدى ترددات يضم تردد إرسالات الخطوط موضوع القياس (أطياف الخطوط)، ثم في تردد مخالف لتردد إرسالات الخطوط أو في نفس التردد لكن في موقع مجاور في الأيونوسفير (أطياف التردد). وبطرح الأطياف المرجعية للخطوط من أطياف الخطوط الناتجة تُطرح قيمة الضوضاء وغيرها من العناصر غير المطلوبة من المعطيات.

ونظراً لامتلاء المجرة بسحب الهيدروجين المحايد، فإن التلسكوبات الراديوية لا تكشف في حزمة الهوائي الرئيسية الإشعاعات الناجمة عن السحب أو امتصاصها لها فحسب بل جزءاً كبيراً جداً من الإشعاع في الفصوص الجانبية أيضاً للهوائي. وينجم عن هذه "الإشعاعات المسيئة" تشوه في الطيف يقلص من ظهور تفاصيل الخريطة. وتستدعي إزالة هذه الآثار من البيانات إجراء قياسات على النطاق الواسع لكامل حزمة الهوائي (كلما أمكن ذلك) وتقدير تصحيح الإشعاعات غير المطلوبة. وبالتالي، فإن

التداخل والمساحات الكبيرة "المحجوبة" من الأيونوسفير تؤثر على إمكانية رسم خرائط الزوايا الكبرى لأجزاء الأيونوسفير انطلاقاً من مصادر التداخل.

وبالإمكان رسم خريطة مناطق متسعة للإشعاع الراديوي من خلال تسجيل هذه الإشعاعات في شبكة نقطية تغطي المنطقة المعنية. كما يمكن إجراء عمليات رصد الخطوط الطيفية ورصد الطيف المتصل على حد سواء. وفي حالة أجهزة الرصد الراديوية أحادية الهوائي، تمثل كل عملية رصد تجري في نقطة من نقاط الشبكة دلالة لإجمالي القدرة (في حالة الطيف المتصل) أو لطيف الإرسالات (في حالة الخطوط الطيفية) الصادرة عن ذلك الموقع من الأيونوسفير؛ وينبغي ألا تتجاوز المباعدة بين نقاط الشبكة نصف عرض حزمة الهوائي. وعند إجراء عمليات الرصد باستعمال تلسكوب راديوي بفتحة تركيبية وعندما تتجاوز المنطقة الواجب رسمها مجال الرسم المتاح، ينبغي عدم مباعدة نقاط الشبكة بمقدار يزيد عن نصف فتحة حزمة أحد هوائيات التلسكوب الراديوي.

وتتم عمليات الرصد VLBI بتحويل الإشارات المعنية إلى إشارات نطاق أساسي ثم رقمنتها دون تصحيح وتسجيلها على شريط مغنطيسي أو في وسائط تسجيل أخرى وقرنها بإشارات توقيت دقيقة. وترسل البيانات بعد ذلك إلى مركز معالجة بيانات VLBI حيث يضبط تزامنها وترابطها. ولذا، فإن التأثير الكامل للتداخلات لا يعرف إلا بعد انتهاء فترة الرصد واستكمال معالجة البيانات.

2.7 الخدمة المتنقلة الساتلية

1.2.7 النطاق الموزع للإرسال

النطاق الموزع للإرسال (فضاء–أرض) هو النطاق 525 1-559 1 MHz.

وينص الرقم 356.5 من لوائح الراديو على أن "يقتصر استعمال الخدمة المتنقلة الساتلية (فضاء–أرض) للنطاق 544 1-545 1 MHz على اتصالات الاستغاثة والسلامة (انظر المادة **31**)".

2.2.7 التطبيق

لا يستعمل النطاقان 524 1-544 1 MHz و545 1-559 1 MHz إلا للأنظمة الساتلية المستقرة بالنسبة للأرض. ومن الصعب أن تستعمل الأنظمة غير المستقرة هذين النطاقين بسبب خصائص هوائيات المحطات الأرضية (شاملة الاتجاهات) في الخدمة المتنقلة الساتلية. بيد أن التوصية ITU-R M.1184 تقدم خصائص نظام خدمة متنقلة ساتلية غير مستقرة بالنسبة للأرض من شأنه أن يستعمل هذين النطاقين.

ويستعمل النطاق 544 1-545 1 MHz منذ سنوات طويلة للنظام العالمي الساتلي للبحث والإغاثة Cospas-Sarsat. وهو نظام ساتلي مصمم لإرسال إنذارات الاستغاثة وبيانات تحديد الموقع من أجل المساعدة في عمليات البحث والإغاثة (SAR) باستعمال المركبات الفضائية والمرافق على سطح الأرض لكشف وتحديد موقع إشارات منارات الاستغاثة العاملة بالتردد 406 MHz أو التردد 121,5 MHz. أما السواتل غير المستقرة (نظام LEOSAR) فإنها ترحل إشارات للتردد 121,5 MHz والبيانات المأخوذة من إشارات التردد 406 MHz إلى التردد 544,5 1 MHz وذلك من أجل معالجتها على الأرض.

3.2.7 السويات استناداً إلى الأحكام التنظيمية

قيمة التوهين المطلوبة هي $43 + 10 \log P$ أو 60 dBc، علماً بأن الاختيار يقع على القيمة الأقل صرامة، حيث P هي قدرة الذروة عند دخل الهوائي (W) في أي عرض نطاق قدره 4 kHz.

4.2.7 الخصائص التشغيلية

1.4.2.7 النظام G للخدمة المتنقلة الساتلية استناداً إلى التوصية ITU-R M.1184

الجدول 14

الخصائص التقنية لأنظمة الخدمة المتنقلة الساتلية غير المستقرة بالنسبة للأرض
(وصلة خدمة الذهاب)

معلمة النظام	النظام G	
	الوصلة 1	الوصلة 2
الاستقطاب		
وصلة التغذية	LHCP	LHCP
وصلة الخدمة	RHCP	RHCP
اتجاه الإرسال	فضاء–أرض	فضاء–أرض
نطاقات التردد (GHz)		
وصلة التغذية	14	14
وصلة الخدمة	0,4	1,5
المدار	دائري	دائري
الارتفاع (km)	1 500	1 500
مباعدة السواتل (درجات)	30	30
عدد السواتل	48	48
المستويات المدارية	4	4
زاوية الميل (درجات)	74	74
هوائيات السواتل		
عدد الحزم (وصلة الخدمة)	1	6
حجم الحزمة (km^2)	5×10^7	$8,4 \times 10^6$
الفصوص الجانبية للحزمة المتوسطة (dB)	3–	2–
إعادة استعمال التردد في الحزمة	1	0,6
خصائص الوصلة		
أقصى قدرة e.i.r.p./حزمة (dBW)	2–	2,8
متوسط الكسب/الحزمة	3	13
القدرة e.i.r.p./الموجة الحاملة (dBW)	15–	7,2–
القدرة e.i.r.p. عند المستعمل دون حجب (dBW)	لا يوجد	لا يوجد
القدرة e.i.r.p. عند المستعمل بعد الحجب (dBW)	لا يوجد	لا يوجد
القدرة e.i.r.p./القناة CDMA (dBW)	5–	10,2–
النسبة *G/T* عند المستعمل ($dB(K^{-1})$)	23,8–	14–
زاوية ارتفاع (بالدرجات)	7	10
معلمات الإرسال		
التشكيل	التشكيل QPSK	التشكيل QPSK
التشفير	تصحيح أمامي للأخطاء	تصحيح أمامي للأخطاء
نظام النفاذ	نفاذ FDMA/CDMA	نفاذ FDMA/CDMA
نظام إرسال مزدوج	كامل	كامل
طول الرتل (ms)	لا يوجد	لا يوجد
معدل الرشقة (kbit/s)	لا يوجد	لا يوجد

2.4.2.7 النظام الساتلي COSPAS-SARSAT

على الرغم من أن الكوكبة الاسمية LEOSAR لا تضم إلا أربعة سواتل (ساتلان COSPAS وساتلان SARSAT)، فإن السواتل المعنية في هذه الدراسة تشمل ساتلين روسيين بحمولة نافعة COSPAS وهما: NADEZHDA-1 وNADEZHDA-6، وذلك إلى جانب خمسة سواتل أمريكية بحمولة نافعة SARSAT وهي السواتل من NOAA-14 إلى NOAA-18، ويقدم الجدول 15 الخصائص المدارية لهذه السواتل.

الجدول 15

خصائص السواتل في النظام COSPAS-SARSAT

اسم الحمولة النافعة	اسم الساتل	تاريخ الإطلاق	الارتفاع (km)	زاوية الميل (درجات)	متوسط زاوية الانحراف (درجات)	الطالع (درجات)
COSPAS-4	NADEZHDA-1	1989	1 000	82,96	302	151
COSPAS-9	NADEZHDA-6	2000	689	98,38	131	219
SARSAT-6	NOAA-14	1994	863	99,08	204	289
SARSAT-7	NOAA-15	1998	825	98,51	213	245
SARSAT-8	NOAA-16	2000	862	99,02	134	198
SARSAT-9	NOAA-17	2002	824	98,65	155	312
SARSAT-10	NOAA-18	2005	868	98,75	22	184

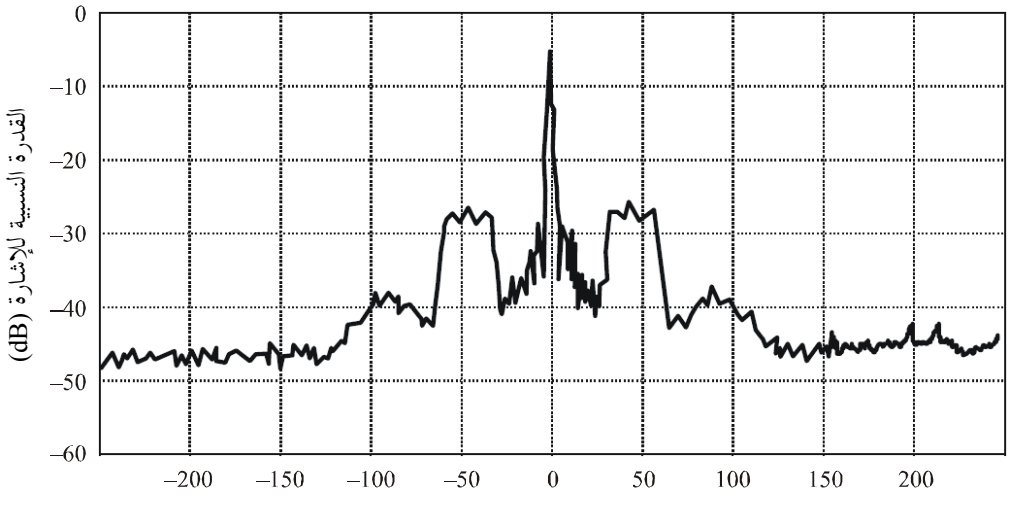
وتتاح مواصفات الحمولة النافعة في الموقع الإلكتروني COSPAS-SARSAT في العنوان: http://www.cospas-sarsat.org/DocumentsTSeries/T3OCT03.pdf. أما هذه الوثيقة فتحتوي على مواصفات سوية البث الهامشي ومخططات هوائيات النظام COSPAS والحمولة النافعة في النظام SARSAT.

1.2.4.2.7 النظام COSPAS

يبين الشكل 25 الطيف النمطي لإشارة COSPAS داخل عرض النطاق الموزع. وسوية البث الهامشي للنظام COSPAS محددة بالقيمة –60 dBW. ولم تعط أي قيمة مرجعية لعرض النطاق. أما الشكل 26 فيبين مخطط الهوائي للوصلة الهابطة للنظام COSPAS.

الشكل 25

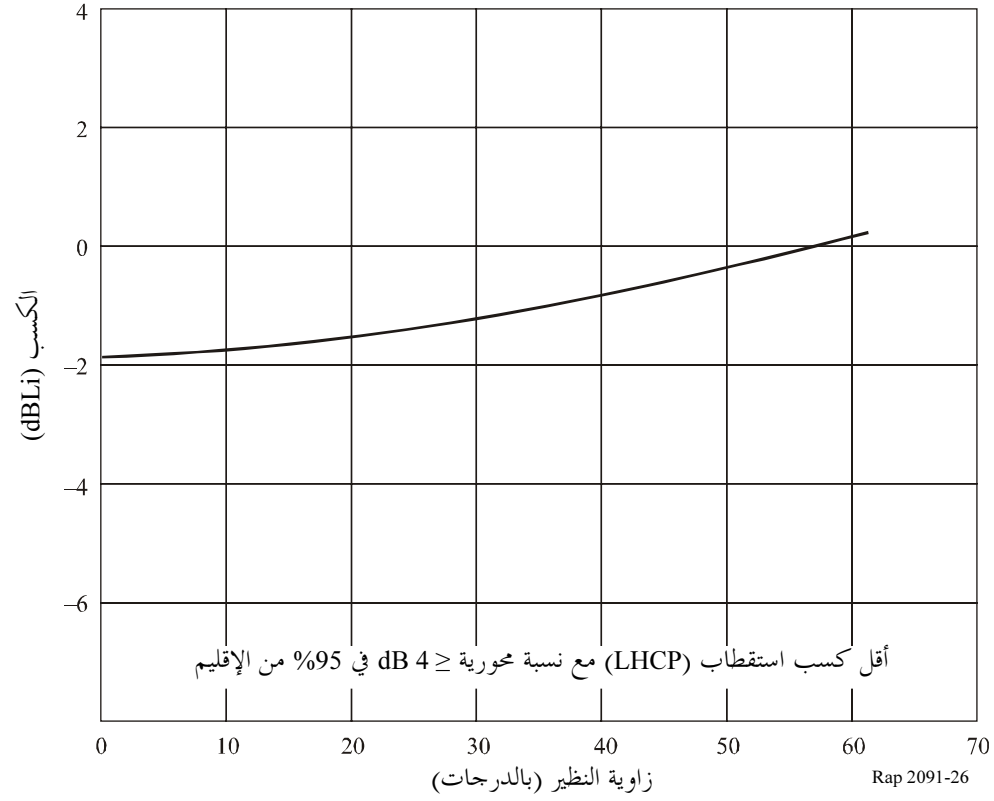
طيف الإشارة COSPAS عند التردد 1 544,5 MHz



Rap 2091-25

الشكل 26

مخطط هوائي النظام COSPAS

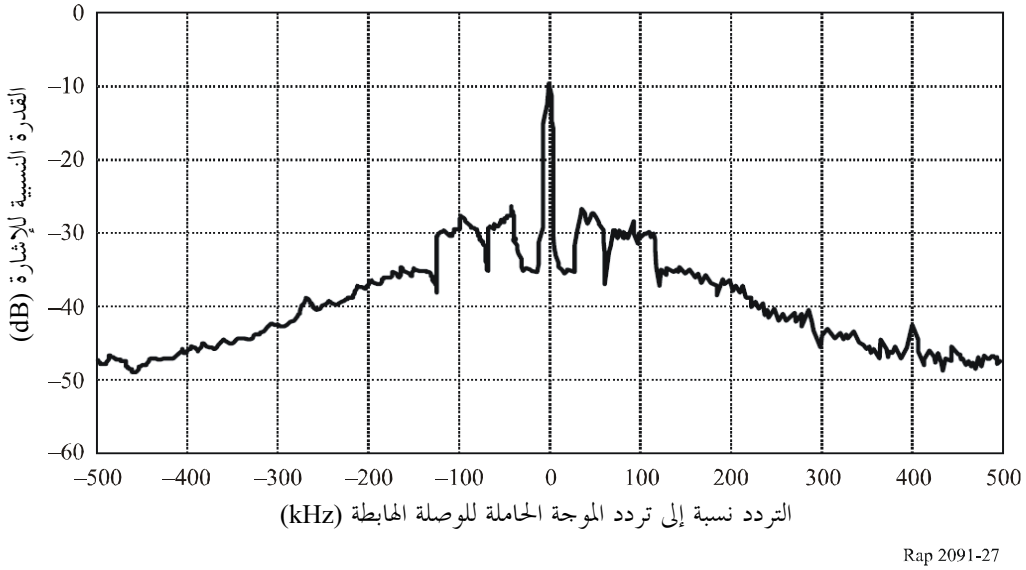


2.2.4.2.7 النظام SARSAT

يبين الشكل 27 الطيف النمطي لإشارة SARSAT داخل عرض النطاق الموزع. وسوية الإشعاعات غير المطلوبة للنظام SARSAT محددة بالأقنعة الموضحة في الشكلين 28 و29، وذلك للبث بالتردد المنفصل والبث الشبيه بالضوضاء على التوالي. ولا يعطي أي عرض نطاق مرجعي لحالة التردد المنفصل. أما الشكل 30 فيبين مخطط هوائي الوصلة الهابطة في النظام SARSAT.

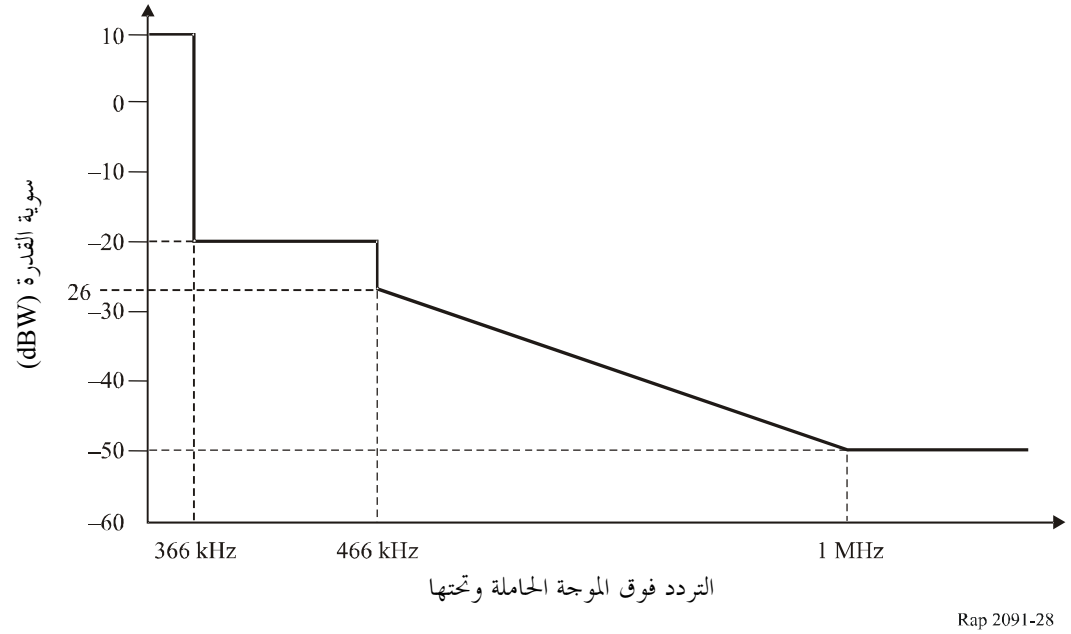
الشكل 27

طيف الإشارة SARSAT عند التردد MHz 1 544,5



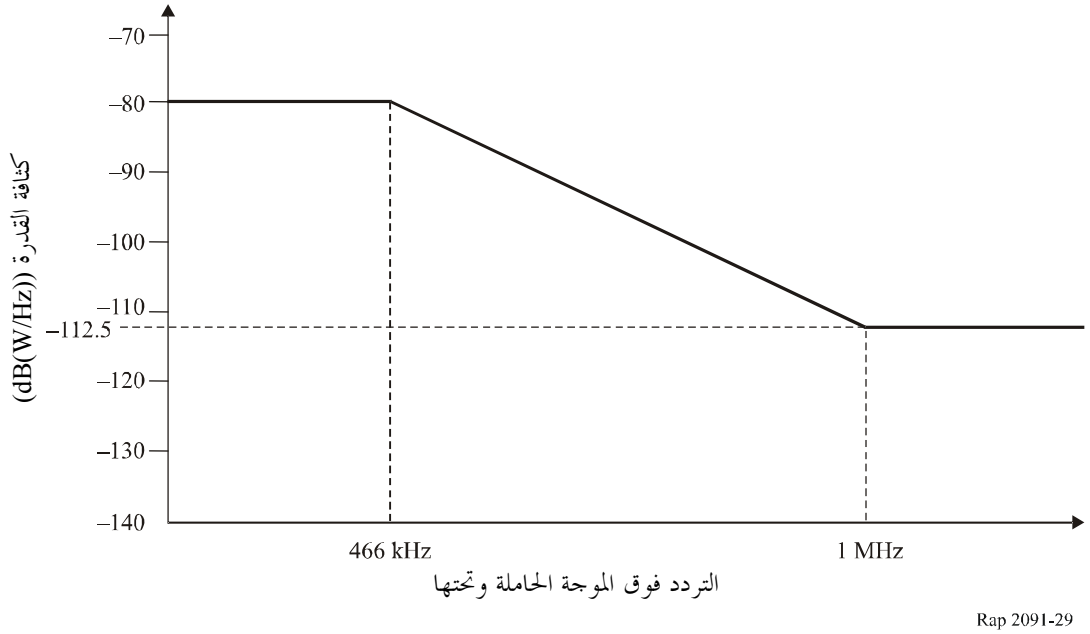
الشكل 28

حدود البث الهامشي المنفصل



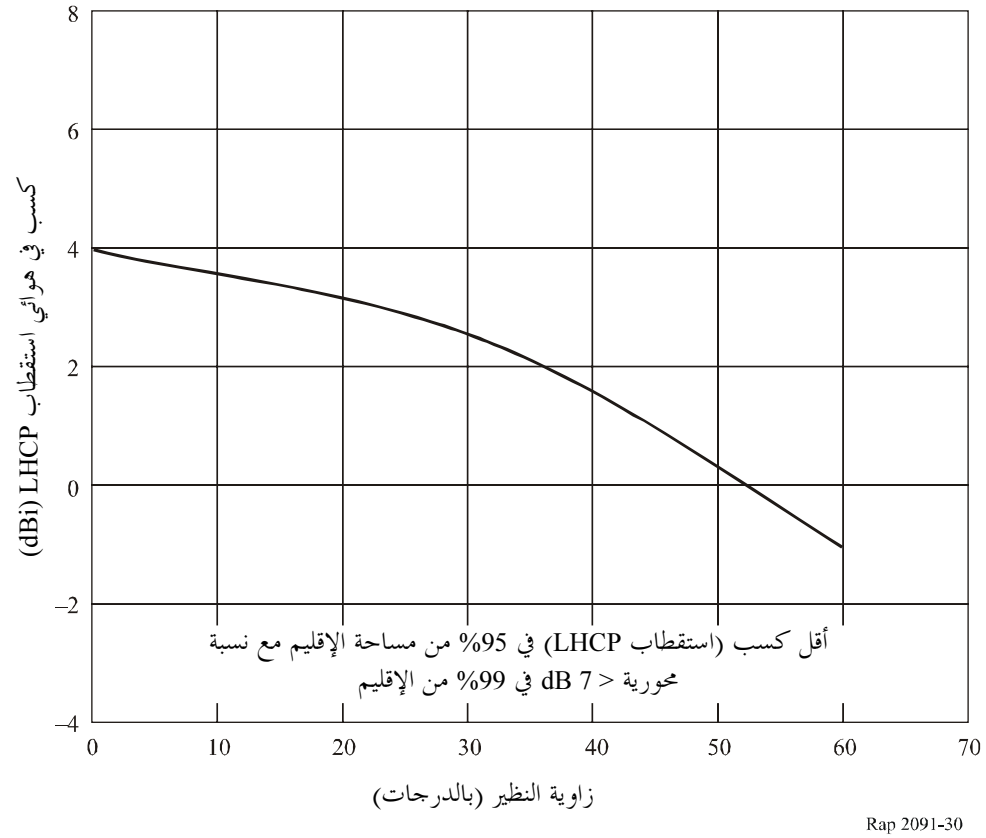
الشكل 29

حدود البث الهامشي الشبيه بالضوضاء



الشكل 30

مخطط الهوائي SARSAT



3.7 عتبة المواءمة

في حالة الكوكبات الساتلية غير المستقرة بالنسبة للأرض تستنتج عتبة الكثافة epfd استناداً إلى عتبة الكثافة pfd الواردة في التوصية ITU-R RA.769 وإلى أقصى كسب هوائي يرد في التوصية ITU-R RA.1631، وهو 63 dBi فيما يخص نطاق الترددات هذا. وبالتالي، فإن عتبة الكثافة epfd للنطاق 400 1-427 1 MHz هي –243 ($dB(W/m^2)$) في كامل النطاق المذكور لعمليات رصد الطيف المتصل بهوائي مكافئي واحد، و–258 ($dB(W/m^2)$) في أي عرض نطاق قدرة 20 kHz من النطاق 610,6 1-613,8 1 MHz لعمليات رصد الخطوط الطيفية بهوائي مكافئي واحد.

4.7 تقدير التداخل

1.4.7 المنهجية المتبعة لتقدير سوية التداخل

تقدم التوصية ITU-R M.1583 طريقة لتقييم سويات الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن نظام ساتلي غير مستقر بالنسبة للأرض في مواقع فلكية راديوية. وتقوم هذه الطريقة على أساس تقسيم الأيونوسفير إلى خلايا متساوية الحجم تقريباً وعلى دراسات إحصائية يكون فيها اتجاه تسديد هوائي الخدمة RAS ووقت بدء تشغيل الكوكبة الساتلية هما المتغيران العشوائيان. وفي كل محاولة يحسب متوسط سوية الإشعاعات غير المطلوبة (المعبر عنها بالكثافة epfd) خلال فترة مدتها 000 2 ثانية.

ويكون قطر هوائي الخدمة RAS 100 m مما يعادل كسب هوائي أقصى يقارب 63 dBi في النطاق 400 1-427 1 MHz و64 dBi في النطاق 610,6 1–613,8 1 MHz. ويستمد مخطط الهوائي وكسبه الأقصى من التوصية ITU-R RA.1631.

أما الإحداثيات الجغرافية المستخدمة فهي:

خط العرض: 46,9° خط الطول: 2,4

وقد جرت عمليات المحاكاة بافتراض زاوية ارتفاع قدرها خط العرض 0° من أجل الحصول على نتائج عامة تماماً.

2.4.7 حساب سوية التداخل

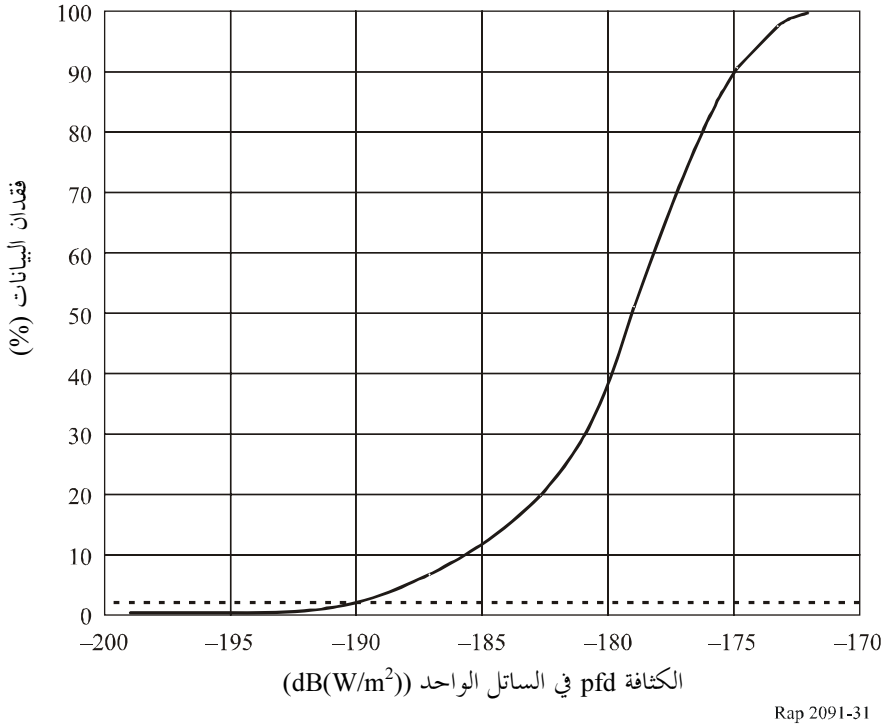
1.2.4.7 عمليات رصد الطيف المتصل في النطاق 400 1-427 1 MHz

1.1.2.4.7 النظام G في الخدمة المتنقلة الساتلية استناداً إلى التوصية ITU-R M.1184

يبين الشكل 31 النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز عتبة الكثافة epfd في موقع علم الفلك الراديوي نسبة إلى قيمة pfd معينة للساتل الواحد في الخدمة MSS (استناداً إلى التوصية ITU-R RA.1513، يعني تجاوز هذه العتبة فقدان بيانات).

الشكل 31

النسبة المئوية لفقدان البيانات مقابل القيمة pfd للساتل الواحد في محطة خدمة RAS



ومن أجل التقيد بسوية عتبة الكثافة خلال ما يزيد عن 98% من الوقت وسطياً في كامل الأيونوسفير، ينبغي أن تكون الكثافة pfd التي يولدها كل ساتل من النظام G في الخدمة MSS أقل من –190 (dB(W/m^2) في نطاق خدمة الفلك الراديوي.

ويبين الشكل 32، فيما يخص كل خلية من خلايا الأيونوسفير وكل قيمة pfd (للساتل الواحد) قدرها –190 (dB(W/m^2)، النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز عتبة الكثافة epfd.

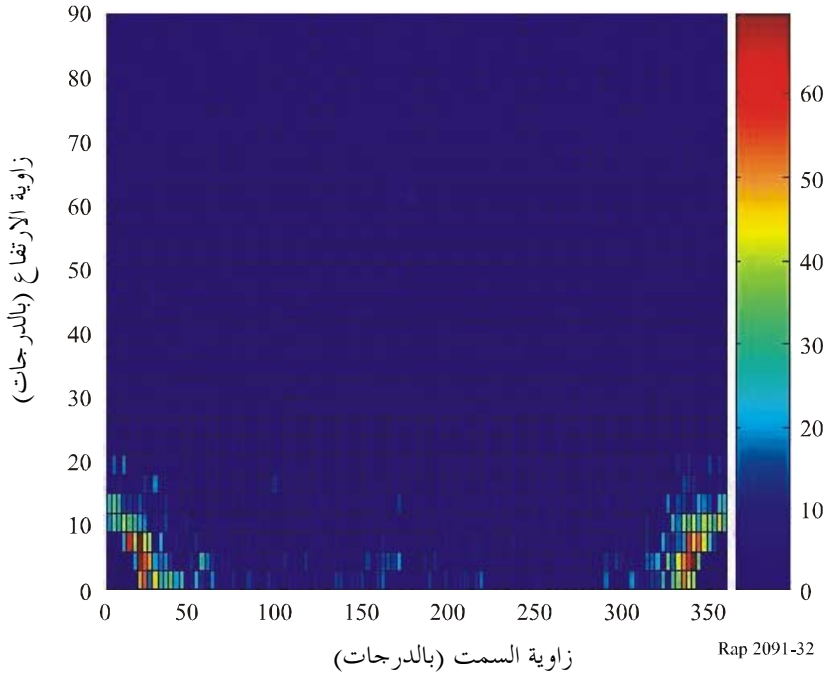
علماً بأن زاوية السمت θ° تتجه شمالاً وتزداد اتساعاً كلما توجهت من الغرب إلى الشرق.

2.1.2.4.7 النظام COSPAS-SARSAT

يبين الشكل 33 النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز عتبة الكثافة epfd في موقع خدمة الفلك الراديوي وذلك نسبة إلى قيمة pfd معينة للساتل الواحد (وكما يرد في التوصية ITU-R RA.1513، يعني تجاوز هذه العتبة فقدان البيانات).

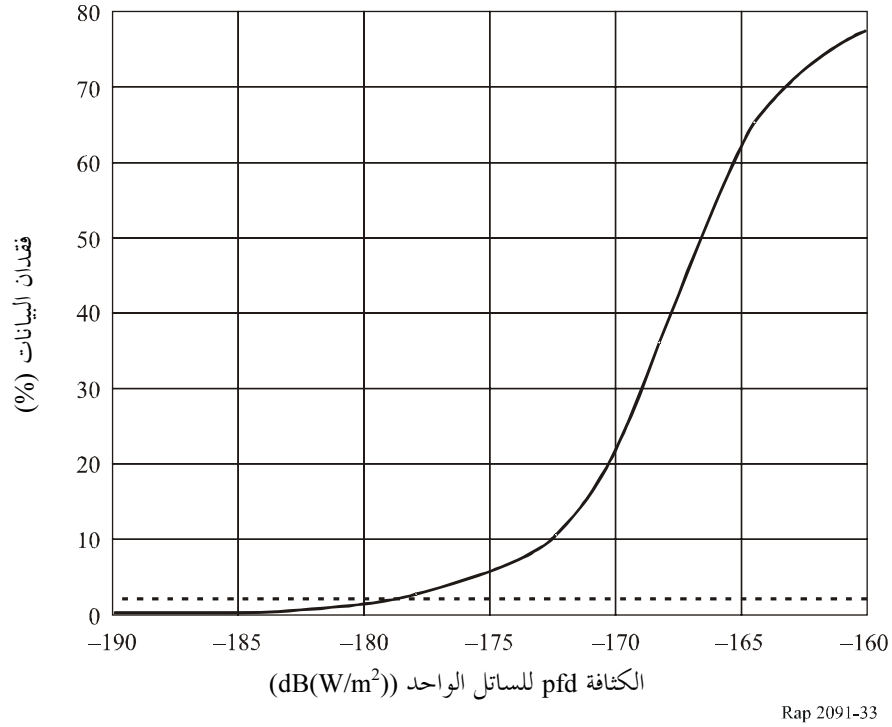
الشكل 32

النسبة المئوية لفقدان البيانات في الأيونوسفير نسبة إلى قيمة pfd قدرها –190 dB(W/m^2) في موقع الخدمة RAS



الشكل 33

النسبة المئوية لفقدان البيانات نسبة إلى القيمة pfd في الساتل الواحد في الخدمة RAS

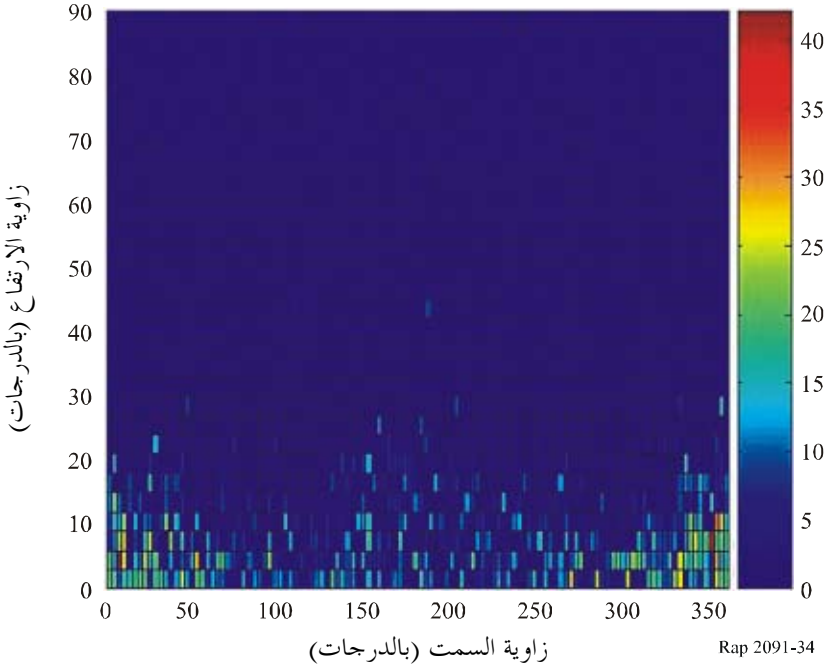


ومن أجل التقيد بسوية عتبة الكثافة خلال ما يزيد عن 98% من الوقت وسطياً في كامل الأيونوسفير، ينبغي أن تكون الكثافة pfd التي يولدها كل ساتل LEOSAR أقل من –179 dB(W/m^2) في نطاق خدمة الفلك الراديوي.

ويبين الشكل 34 في كل خلية من خلايا الأيونوسفير ولكل قيمة pfd (للساتل الواحد) قدرها –179 dB(W/m^2) النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز عتبة الكثافة epfd. وتقع زاوية السمت 0° في الشمال وتزداد كلما توجهت من الغرب إلى الشرق.

الشكل 34

النسبة المئوية لفقدان البيانات في كامل الأيونوسفير في حالة قيمة قدرها –179 dB(W/m^2) في موقع خدمة RAS



2.2.4.7 عمليات رصد الخطوط الطيفية في النطاق 400 1-427 1 MHz

يمكن استنتاج هذه القيمة pfd للساتل الواحد دون إجراء مزيد من عمليات المحاكاة وذلك استناداً إلى القيمة المطلوبة لعمليات رصد الطيف المتصل باستعمال المعادلة التالية:

$$pfd_{spectral} = pfd_{continuum} + epfd_{spectral} - epfd_{continuum} \quad (10)$$

ومن أجل التقيد بعتبة كثافة epfd قدرها –254 dB(W/m^2) في عرض نطاق قدره 20 kHz خلال ما يزيد عن 98% من الوقت وسطياً في كامل الأيونوسفير، ينبغي أن تكون القيمة pfd التي يولدها الساتل في النظام G للخدمة MSS أقل من –206 dB(W/m^2) في أي عرض نطاق قدره 20 kHz من نطاق خدمة الفلك الراديوي، وأن تكون القيمة pfd التي يولدها كل ساتل COSPAS-SARSAT أقل من –194 dB(W/m^2) في أي عرض نطاق قدره 20 kHz من نطاق خدمة الفلك الراديوي.

3.2.4.7 عمليات رصد الخطوط الطيفية في النطاق 610,6 1-613,8 1 MHz

القدرة التي يتلقاها مستقبل محطة علم الفلك الراديوي والتي يتعين مقارنتها مع العتبة الحرجة هي التالية:

$$P = average(pfd \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot \sum_{i=1}^{n} G_i) \quad (11)$$

حيث:

P: القدرة في عرض نطاق خدمة علم الفلك الراديوي (W)

pfd: قيمة كثافة تدفق قدرة يشعها ساتل واحد من محطة علم الفلك الراديوي في عرض نطاق خدمة الفلك الراديوي (يفترض أنها ثابتة) (W/m^2)

λ: طول الموجة (m)

n: عدد السواتل النشيطة الواقعة في مجال الرؤية

G_i: كسب هوائي خدمة الفلك الراديوي في اتجاه الساتل i.

ويحسب متوسط قيمة عملية رصد RAS خلال فترة مدتها 000 2 ثانية.

واستناداً إلى هذه المعادلة يمكن استنتاج أن الفرق بين تردد وآخر يتحدد بالمكونات التالية: قيمة طول الموجة وكسب هوائي التلسكوب الراديوي وسوية العتبة الضارة وظروف الانتشار. وقد أظهرت دراسة أجرتها فرقة العمل 7D التابعة لقطاع الاتصالات الراديوية أن كسب الهوائي ليس له أي تأثير على النتائج: ولهذا السبب اختير هوائي قطره 100 m لجميع الترددات في جميع الدراسات. كما لا تتغير ظروف الانتشار كثيراً عملياً للترددات الواردة في هذه الدراسة. لذا يمكن اعتبار أن تباين الكثافة pfd للساتل الواحد بين تردد وآخر يعود بصورة رئيسية إلى طول الموجة وسوية العتبة الضارة.

ويمكن بالتالي استنتاج:

$$pfd_2 \approx pfd_1 + P_2 - P_1 + 20 \log\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right) = pfd_1 + P_2 - P_1 + 20 \log\left(\frac{f_2}{f_1}\right) \quad (12)$$

pfd_1: الكثافة pfd للساتل التي ينبغي التقيد بها في التردد 1 ($dB(W/m^2)$)

pfd_2: الكثافة pfd للساتل التي ينبغي التقيد بها في التردد 2 ($dB(W/m^2)$)

P_1: سوية العتبة الضارة في التردد 1 (dBW)

P_2: سوية العتبة الضارة في التردد 2 (dBW)

f_1: التردد 1 (MHz)

f_2: التردد 2 (MHz).

ومن أجل التقيد بسوية العتبة epfd البالغة –258 $dB(W/m^2)$ في عرض نطاق قدرة 20 kHz خلال ما يزيد عن 98% من الوقت وسطياً في كامل الأيونوسفير، ينبغي أن تكون الكثافة pfd التي يولدها كل ساتل في النظام G لخدمة الفلك الراديوي أقل من –258 $dB(W/m^2)$ في أي عرض نطاق قدره 20 kHz من نطاق خدمة الفلك الراديوي، وأن تكون الكثافة pfd التي يولدها كل ساتل COSPAS-SARSAT أقل من –193 $dB(W/m^2)$ في أي عرض نطاق قدره 20 kHz من نطاق خدمة الفلك الراديوي.

3.4.7 القيم الناتجة

إن الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن السواتل غير المستقرة بالنسبة للأرض في الخدمة MSS التي تستعمل النطاق 400 1-427 1 MHz و610,6 1-613,8 1 MHz تقع في مجال البث الهامشي.

1.3.4.7 النظام G للخدمة المتنقلة الساتلية استناداً إلى التوصية ITU-R M.1184

يقدم الجدول 16 تقييماً للكثافة pfd التي يولدها نظام G للخدمة MSS في محطة علم فلك راديوي استناداً إلى قناع البث الهامشي الوارد في التذييل 3 للوائح الراديو.

الجدول 16

التوهين اللازم لشبكات سواتل غير مستقرة بالنسبة للأرض في الخدمة MSS في النطاق 525 1-559 1 MHz من أجل التقيد بسوية الكثافة epfd الضارة

النظام G	
القدرة e.i.r.p. للحزمة الواحدة والموجة الحاملة الواحدة في نطاق الخدمة MSS (dBW)	7,2–
الكثافة pfd في نطاق الخدمة MSS ($dB(W/m^2)$)	141,7–
كسب الهوائي (dBi)	13,0
قدرة الإرسال للحزمة الواحدة والقناة الواحدة في نطاق الخدمة MSS (dBW)	20,2–
$43 + 10 \log P$	22,8
توهين البث الهامشي استناداً إلى التذييل 3 للوائح الراديو (dBc في عرض 4 kHz)	22,8
سوية البث الهامشي استناداً إلى التذييل 3 ($dB(W \text{ in } 4 \text{ kHz})$)	43–
سوية البث في النطاق 400 1-427 1 MHz (dBW)	5–
الكثافة pfd للبث الهامشي في نطاق الخدمة RAS ($dB(W/m^2)$)	126–
الكثافة pfd المطلوبة في النطاق المنفعل ($dB(W/m^2)$)	206–

ويجدر بالذكر أن حساب إجمالي الإرسالات الهامشية في نطاق الخدمة RAS يفترض أن سوية هذه الإرسالات ثابتة في كامل نطاق الخدمة RAS. وهذه فرضية شديدة الصرامة ولا تعكس حقيقة الأمر، إذ إن الإرسالات الهامشية تظهر عموماً عند بعض الترددات المنفصلة. لذلك يتعين إجراء مزيد من الدراسة من أجل مراعاة هذه المكونات المنفصلة للإرسالات الهامشية كيما تكون سويات هذه الإرسالات الناجمة عن الخدمة MSS في نطاق الخدمة RAS أكثر قرباً من الواقع.

وتصلح هذه الملاحظة أيضاً بالنسبة للنطاق 610,6 1-613,8 1 MHz.

2.3.4.7 النظامان COSPAS-SARSAT

إن حساب الكثافة pfd التي يشعها على سطح الأرض كل من النظامين يرد في الجدولين 17 (حالة النظير) و18 (حالة الأفق).

ولا تقدم المواصفة أي عرض نطاق مرجعي لأي من النظامين SARSAT وCOSPAS فيما يخص البث الهامشي شبه المنفصل. لكن هنالك معلومات وردت من مصنّع الحمولات النافعة SARSAT. ويجري قياس الإرسال الهامشي داخل عرض نطاق مرجعي قدره 10 kHz. وقد استخدمت نفس الفرضية فيما يتعلق بالنظام COSPAS.

الجدول 17

أقصى كثافة pfd مشعة في النظير

النظام	سوية البث الهامشي (dBW)	عرض النطاق المرجعي (kHz)	الارتفاع (km)	كسب الهوائي (dBi)	أقصى قيمة pfd ($dB(W/m^2)$)
SARSAT	38–	27 000	825	4	164–
	47–	20	825	4	172–
COSPAS	7–5	20	1 000	2–	190–
	57–	20	690	2–	187–

الجدول 18

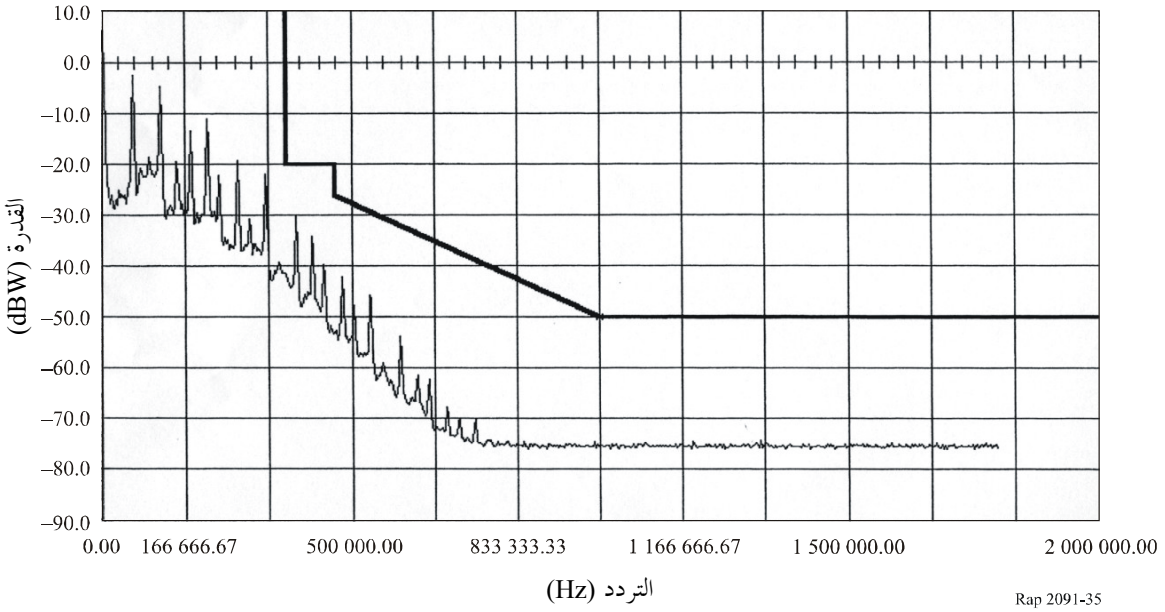
أقصى كثافة pfd في زاوية تخالف قدرها 60° (الأفق)

النظام	سوية البث الهامشي (dBW)	عرض النطاق المرجعي (kHz)	المسافة المائلة (km)	كسب الهوائي (dBi)	أقصى pfd ($dB(W/m^2)$)
SARSAT	38–	27 000	2 272	1–	177–
	47–	20	2 272	1–	186–
COSPAS	57–	20	2 973	0	197–
	57–	20	1 792	0	193–

أما الشكل 35، فقد قدمه مصنع الحمولات النافعة SARSAT. ويبين أن سوية البث الهامشي هي في الحقيقة أقل بمقدار 25 dB من سوية المواصفة. لذا، فإن الكثافة الفعلية المشعة على سطح الأرض في نطاقات خدمة الفلك الراديوي ستكون أقل بمقدار 25 من القيم الواردة في الجدولين 17 و18. ولذلك قد يكون بالإمكان الوفاء بسوية الكثافة pfd في الساتل المحددة في الفقرة 2.4.7 دون فرض تقييدات غير ضرورية على الحمولة النافعة. وبما أن الحمولات SARSAT تمثل الحالة الأسوأ، فإن نفس الاستنتاج يصلح للحمولات النافعة COSPAS.

الشكل 35

قياس الإشعاعات غير المطلوبة SARSAT



5.7 تقنيات تخفيف التداخل في الخدمة RAS

هنالك تقنيات مختلفة، بما فيها تلك الواردة أعلاه يمكن استخدامها من أجل خفض الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن مرسلات السواتل في التلسكوب الراديوي.

أداء الفصوص الجانبية للهوائي: تتمثل عادة إضاءة فتحة التلسكوبات الراديوية للحصول على أفضل نسبة *G/T*، أي نسبة قسمة كسب التلسكوب إلى درجة حرارة النظام. وذلك بهدف بلوغ أكبر نسبة إشارة إلى الضوضاء (*S/N*) في المصادر النقطية. والعنصر الرئيسي في هذه الطريقة هو خفض إشعاعات الأرض التي تصل الفصوص الجانبية البعيدة. مما يفضي حتماً إلى زيادة مقابلة لسويات الإشعاع في الفصوص الجانبية القريبة.

وقد دلّت التجربة على أن معظم التلسكوبات الراديوية تتقيد بقناع غلاف الفصوص الجانبية الوارد في التوصية ITU-R SA.509 وذلك في معظم الاتجاهات.

الانقطاع في الزمن و/أو التردد: تستخدم هذه التقنية في بعض الحالات التي يمكن فيها تحديد التداخل في نطاق ترددات خدمة الفلك الراديوي تحديداً كاملاً ودون لبس في الزمن و/أو التردد.

6.7 نتائج الدراسة

1.6.7 ملخص

يلخص الجدول 19 فيما بعد سويات عتبة الكثافة epfd والكثافة pfd المطلوبة لحماية محطات علم الفلك الراديوي من الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن الحمولتين النافعتين COSPAS وSARSAT في النطاق 544 1-545 1 MHz.

الجدول 19

سويات العتبة لحماية الخدمة RAS من الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن النظامين COSPAS-SARSAT

نطاق الخدمة RAS (MHz)	نمط عمليات الرصد	عرض النطاق المرجعي	عتبة الكثافة epfd ($dB(W/m^2)$)	العتبة pfd للساتل الواحد ($dB(W/m^2)$)
400 1-427 1	الطيف المتصل	27 MHz	243–	179–
400 1-427 1	الخطوط الطيفية	20 kHz	259–	194–
610,6-613,8 1	الخطوط الطيفية	20 kHz	258–	193–

وعند الأخذ بالحسبان لمواصفات الحمولتين النافعتين COSPAS وSARSAT، يظهر أن الكثافة pfd التي تولدها الإشعاعات غير المطلوبة على سطح الأرض في نطاقات الخدمة RAS تتجاوز سوية عتبة الكثافة pfd للساتل الواحد الواردة في الجدول 17 وذلك بمقدار يتراوح بين 2 و13 dB في عملية رصد الطيف المتصل و5 dB إلى 22 dB في عمليات رصد الخطوط الطيفية.

غير أن نطاقات الخدمة RAS موزعة على بعد 65 MHz و117 MHz من نطاق COSPAS-SARSAT، على التوالي. وعلاوة على ذلك، فإن سوية الإشعاعات غير المطلوبة المقيسة فعلياً للحمولة النافعة SARSAT أدنى بحوالي 25 dB من السوية المحددة في المواصفة. لذلك، فإن الحمولات النافعة SARSAT تتقيد بالحدود الواردة في الجدول 17. وبما أن الحمولة SARSAT تمثل الحالة الأسوأ، فإن نفس الاستنتاج يصلح للحمولة COSPAS.

2.6.7 الاستنتاجات

من الممكن التقيد بسوية الكثافة pfd في الساتل الواحد المحددة في الجدول 19 دون فرض أي تقييدات إضافية على النظام COSPAS-SARSAT.

8 دراسة المواءمة بين أنظمة خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) العاملة في النطاق 400 1-427 1 MHz وأنظمة الخدمة الإذاعية الساتلية (BSS) (فضاء–أرض) العاملة في النطاق 452 1-492 1 MHz

1.8 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

1.1.8 النطاق الموزع

النطاق 400 1-427 1 MHz موزع على أساس أولي للخدمات المنفعلة فقط، وهي: الخدمة RAS والخدمة الساتلية لاستكشاف الأرض (EESS) (المنفعلة) وخدمة الأبحاث الفضائية (SRS) (المنفعلة).

ويحظر الرقم 340.5 من لوائح الراديو جميع الإرسالات في هذا النطاق.

2.1.8 نمط عمليات الرصد

النطاق 400 1-427 1 MHz أكثر استعمالاً من أي نطاق آخر في جميع أقاليم القطاع ITU-R. والاستعمال الرئيسي لهذا النطاق في مجال الفلك الراديوي هو إجراء عمليات رصد في الكون للخطوط الطيفية لذرات الهيدروجين المحايد (المسمى أيضاً HI)، التي تمتلك تردد راحة هو 420,406 1 MHz. والعنصر HI هو العنصر الرئيسي الأول المكوِّن لمجرتنا وللمجرات الأخرى. وهو يتواجد في السحب الكبرى شديدة التعقيد. ويراقب خطه الطيفي أثناء عمليتي الإرسال والامتصاص ويجري توسيع تردده وزحزحته بآثار دوبلر الناجمة عن تحركات محلية كبرى في بنية السحب. وهكذا يمكن استعمال عمليات رصد الهيدروجين HI لرسم توزع المادة وتحركاتها في مجرتنا وفي المجرات الأخرى. وبهذه الطريقة، يمكن رسم بنية المجرة وكيفية حركة المادة فيها.

ويتسع النطاق 400 1-427 1 MHz ليشمل الإرسالات بزحزحة دوبلر التي تشعها السحب في مجرتنا وفي المجرات المجاورة. ويتيح قياس استقطاب إرسال وامتصاص الهيدروجين المحايد معلومات هامة عن المجالات المغنطيسية للكواكب، ويساهم بالتالي في معرفة بنيتها بصورة أفضل.

ويستعمل النطاق 400 1-427 1 MHz أيضاً لعمليات رصد الطيف المتصل للإرسالات عريضة النطاق الناجمة عن البلازما الحارة التي تتشكل عندما تسخن النجوم السحب المحيطة وعن تفاعل الإلكترونات عالية الطاقة في المجال المغنطيسي المجري (إرسال سينكروتروني).

3.1.8 معايير الحماية المطلوبة

تتحدد سويات عتبة التداخل الضار بعمليات الرصد الفلكي الراديوي في التوصية ITU-R RA.769، التي تضم قائمة بسويات الإشعاعات غير المطلوبة التي تسبب خطأ في القياسات بنسبة 10%. ويستعمل النطاق لإجراء عمليات رصد الخطوط الطيفية والطيف المتصل على حد سواء. ففي النطاق 400 1-427 1 MHz، ومن أجل إجراء عمليات رصد خطوط طيفية بهوائي مكافئي واحد وباستعمال عرض نطاق قناة (إحدى قنوات مقياس الطيف) قدره 20 kHz، تتحدد عتبة الكثافة pfd بالقيمة –196 dB(W/m^2). ومن أجل إجراء عمليات رصد طيف متصل بهوائي مكافئي واحد يستعمل كامل عرض النطاق، وهو 27 MHz، ويكون حد عتبة الكثافة pfd للتداخل الضار في هذه الحالة –180 dB(W/m^2).

أما عمليات الرصد VLBI، حيث تسجل الإشارات الواردة من هوائيات شديدة التباعد فيما بينها ويجري ترابطها بعد إنهاء عمليات الرصد، فهي أقل حساسية بكثير للتداخل. وينعكس ذلك في سوية عتبة الكثافة pfd لعمليات الرصد VLBI في هذا النطاق والبالغة –166 dB(W/m^2) في عرض نطاق قدرة 20 kHz.

وسويات عتبة التداخل الضار بالخدمة RAS وفق تعريفها وحسابها في التوصية ITU-R RA.769، هي معايير الحماية التي عندما يحدث تجاوزها تتراجع نوعية البيانات الفلكية الراديوية وقد تتلف تماماً. ومبدئياً وفي الظروف المثالية، عندما يكون تجاوز السويات طفيفاً، يمكن التعويض عنه في مرصد علم الفلك الراديوي من خلال إطالة وقت الرصد، مما يؤدي إلى نقص في قدرة قنوات التلسكوب يصاحبها نقص مقابل في معدل البيانات العلمية. وإذا زادت سوية التداخل عند استعمال فرضيات التوصية ITU-R RA.769 (مثل أداء الهوائي وغير ذلك) بمقدار 10 dB أو أكثر عن السوية المحددة في التوصية المذكورة، فإن إطالة مدة الرصد لن تكون كافية لضمان توفير بيانات علمية صالحة للعلماء. وستبقى محطة علم الفلك الراديوي بعدئذ غير قادرة على العمل في نطاق الترددات المتأثر، وستفقد قدرتها على تأمين الخدمة إن لم تلجأ إلى استعمال تقنيات تخفيف التداخل المناسبة.

4.1.8 الخصائص التشغيلية

النطاق 400 1-427 1 MHz هو أكثر نطاقات خدمة الفلك الراديوي استعمالاً. فهو يستعمل في العالم أجمع وفي جميع الأقاليم. وتقوم بعض التلسكوبات الراديوية مثل التلسكوب الراديوي ذي الفتحة التركيبية لمرصد الدومينون الراديوي لعلم الفيزياء الفلكية (DRAO) قرب مدينة بنتكتون (كندا) بإجراء عمليات رصد طوال الوقت في هذا النطاق. وتستعمل

التلسكوبات الراديوية أحادية الهوائي لقياس كثافة تدفق القدرة الطيفية (spfd) المجمعة للمصادر الراديوية ذات القطر الزاوي الصغير ولرسم مخططات البنى ذات الزوايا الكبيرة والتي لا يمكن رسمها بواسطة تلسكوبات الفتحة التركيبية.

وتتيح الاستبانة الزاوية العالية التي توفرها أجهزة التلسكوب ذات الفتحة التركيبية رسم خرائط للبنية الدقيقة لسحب الهيدروجين ومصادر إشعاعات الطيف المتصل مثل بقايا المستعر الأعظم. ثم تجمع هذه الخرائط مع الخرائط ذات الاستبانة الأضعف التي تنتجها أجهزة التلسكوب الراديوية أحادية الهوائي وذلك من أجل الحصول على صور عالية الجودة ثلاثية الأبعاد لمجرتنا وللمجرات الأخرى. ومن أجل تسهيل رسم خرائط بنى المصادر الكبيرة نسبياً، فإن بعض التلسكوبات الراديوية ذات الفتحة التركيبية، مثل تلسكوب المرصد DRAO، تستعمل شبكة هوائيات صغيرة نسبياً. وهذه التلسكوبات غير مزودة بوظيفة الإلغاء الأمثل للفصوص الجانبية وهي بالتالي أكثر حساسية للتداخل.

وتجري عمليات رصد الخطوط الطيفية باستعمال مقاييس طيف متعددة القنوات قادرة على التجميع الآني لقدرة قنوات التردد الكثيرة (تتراوح بين 256 و4 096) التي لها توزيعات في النطاق. ويتم اختيار عدد القنوات وعرض نطاقها من أجل تحقيق اعتيان طيف الإشعاعات الصافية الناجمة عن سحب الهيدروجين في حزمة الهوائي بصورة ملائمة.

وتجري عمليات الرصد عموماً بصورة تفاضلية. ويمكن في حالة إشعاعات الطيف المتصل رسم خريطة منطقة الأيونوسفير المحيطة بالمصدر وطرح إشعاعات الخلفية منها، أو قياس القدرة الواصلة باتجاه المصدر (في المصدر) وفي موقع واحد أو أكثر من المواقع القريبة منه في الأيونوسفير (خارج المصدر). وبطرح قيم خارج المصدر من القيم داخل المصدر، يمكن فصل الإشعاعات الناتجة في المصدر عن الإشعاعات الأخرى التي تدخل في القيمة الناتجة لخرج المستقبل.

وفي حالة عمليات رصد الخطوط الطيفية تُسجّل الأطياف في مدى الترددات حيث تنتج إشعاعات الخطوط موضوع القياس (أطياف الخطوط)، ثم في تردد مخالف لإشعاعات الخطوط تلك أو في نفس التردد لكن في موقع قريب مجاور في الأيونوسفير (أطياف التردد). وبطرح أطياف التردد المرجعية من أطياف الخطوط الناتجة تُطرح قيمة الضوضاء وغيرها من العناصر غير المطلوبة من المعطيات.

ونظراً لامتلاء المجرة بسحب الهيدروجين المحايد، فإن التلسكوبات الراديوية لا تكشف الإشعاع أو الامتصاص الناتج في السحب في الحزمة الرئيسية للهوائيات فحسب، بل تكشف أيضاً جزءاً كبيراً جداً من الإشعاع في الفصوص الجانبية للهوائيات. وينجم عن هذه "الإشعاعات المسيئة" تشوه في الطيف ويقلص من ظهور تفاصيل الخريطة. وتستدعي إزالة هذه الآثار من البيانات إجراء قياسات على النطاق الواسع لكامل حزمة الهوائي (إن أمكن)، وتقدير تصحيح الإشعاعات غير المطلوبة. وبالتالي، فإن التداخل والمساحات الواسعة "المحجوبة" من الأيونوسفير تؤثر على إمكانية رسم خرائط الزوايا الكبرى لأجزاء الأيونوسفير انطلاقاً من مصادر التداخل.

ويمكن رسم خريطة مناطق شاسعة للإشعاعات الراديوية من خلال تسجيل هذه الإشعاعات في شبكة تغطية تغطي المنطقة المعنية. كما يمكن إجراء عمليات رصد الخطوط الطيفية ورصد الطيف المتصل على حد سواء. وفي حالة التلسكوبات الراديوية أحادية الهوائي، تمثل كل عملية رصد تجري في نقطة من نقاط الشبكة دلالة لإجمالي القدرة (في حالة الطيف المتصل) أو لطيف الإرسال (في حالة الخطوط الطيفية) الآتي من ذلك الموقع من الأيونوسفير؛ وينبغي ألا تتجاوز المباعدة بين نقاط الشبكة نصف عرض حزمة الهوائي. وعند إجراء عمليات الرصد باستعمال تلسكوب راديوي بفتحة تركيبية حيث تتجاوز المنطقة التي يتوجب رسمها مجال الرسم المتاح، يتعين ألا تتجاوز المباعدة بين نقاط الشبكة نصف عرض حزمة أحد هوائيات التلسكوب الراديوي.

وتتم عمليات الرصد VLBI بتحويل الإشارات إلى إشارات نطاق أساسي ثم رقمنتها دون تصحيح وتسجيلها على شريط ممغنط أو في وسائط تسجيل أخرى وقرنها بإشارات توقيت دقيقة. وترسل البيانات بعد ذلك إلى مركز معالجة البيانات VLBI حيث يضبط تزامنها وترابطها. ونتيجة لذلك، فإن التأثير الكامل للتداخل قد لا يُعرف إلا بعد انتهاء فترة الرصد واستكمال معالجة البيانات.

2.8 الخدمة الإذاعية الساتلية (BSS)

1.2.8 النطاق الموزع للإرسال

النطاق 452 1-492 1 MHz موزع للخدمة الإذاعية الساتلية (BSS).

2.2.8 التطبيق

إذاعة الإرسالات الصوتية لا غير.

3.2.8 السويات استناداً إلى الأحكام التنظيمية

لم يجر وضع هذه القيم.

4.2.8 خصائص التشغيل

فيما يلي الخصائص التي تحددت بوصفها القيم القصوى والنموذجية المتوقعة لعرض النطاق اللازم استناداً إلى خصائص الأنظمة الصوتية للخدمة الإذاعية الساتلية المستخدمة حالياً أو التي يتوقع تنفيذها. كما تقترح هذه التوصية قيماً نمطية لكسب الهوائي.

الجدول 20

نطاق التردد (MHz)	النظام المبلغ عنه	عرض النطاق اللازم (MHz)	كسب هوائي الساتل (dBi)	القيمة القصوى المتوقعة للكثافة pfd في النطاق ($dB(W/(m^2 \cdot 4\ kHz))$)
452 1-492 1	نظام رقمي A	1,536	30	128–
	نظام رقمي DS	1,84	30	138–

الملاحظة 1 – تقتصر النتائج الواردة في هذا الملحق على الأنظمة الساتلية المستقرة بالنسبة للأرض.

3.8 عتبة المواءمة

انظر الفقرة 3.1.8.

4.8 تقدير التداخل

1.4.8 المنهجية المتبعة في تقدير سوية التداخل

فيما يتعلق بالأنظمة الساتلية غير المستقرة بالنسبة للأرض، ترد معايير حماية خدمة علم الفلك الراديوي والطرائق ذات الصلة في التوصيتين ITU-R RA.769 وITU-R RA.1513، أما معايير حماية أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية فترد في التوصية ITU-R S.1586.

ويرد شرح قناع الإرسال خارج النطاق المستخدم للحساب في الفقرة 1.3.4.8.

2.4.8 حساب سوية التداخل

انظر الفقرة 3.4.8.

3.4.8 القيم الناتجة

يجدر بالذكر أن الفقرات التالية لا تتناول سوى الأنظمة الساتلية المستقرة بالنسبة للأرض (GSO).

1.3.4.8 عمليات رصد الخطوط الطيفية

استناداً إلى عرض النطاق اللازم الوارد في الجدول 20 وإلى المباعدة بين النطاقات الموزعة للخدمة الإذاعية الساتلية والخدمة المنفعلة، يتبين أن سوية البث الهامشي فيما يتعلق بالتوزيع للخدمة BSS تتحدد بالقيمة $43 + 10 \log P$ أو القيمة 60 dBc، علماً بأن الاختيار يقع على القيمة الأقل صرامة، وحيث P هي متوسط القدرة (W) المتوفرة في خط هوائي الإرسال. وترد التفاصيل في الجدول 21.

الجدول 21

التوزيع للخدمة BSS (MHz)	التوزيع لأقرب خدمة منفعلة (MHz)	النظام المبلغ عنه	عرض النطاق اللازم (MHz)	بداية مجال البث خارج النطاق (MHz)	نهاية مجال البث خارج النطاق (MHz)	التوهين المطلوب في التوزيع للخدمة المنفعلة
1 492-1 452	1 427-1 400	نظام رقمي A	1,536	1 452	1 448,928	$43 + 10 \log P$ أو 60 dBc
		نظام رقمي DS	1,84	1 452	1 448,32	$43 + 10 \log P$ أو 60 dBc

أما السوية المتوقعة للإشعاعات غير المطلوبة فتستنتج من المعلمات الواردة في الجدول 22.

الجدول 22

التوزيع للخدمة BSS (MHz)	عرض النطاق اللازم (MHz)	القيمة القصوى المتوقعة للكثافة pfd في النطاق (dB(W/(m^2 · 4 kHz)))	كسب هوائي الساتل (dBi)	متوسط إجمالي قدرة خرج المرسل (dBW)	التوهين المطلوب في توزيع للخدمة المنفعلة (dBc)	السويات القصوى المتوقعة للإشعاعات غير المطلوبة (dB(W/(m^2 · 4 kHz)))
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1 492-1 452	1,536	128–	30	29,8	60	162,4–
	1,84	138–	30	20,6	60	171,4–

حيث العلاقات بين الأعمدة هي التالية:

$$(4) = (2) + 162 \text{ (الخسارة في الفضاء الحر)} - (3)_{in\text{-}band} - 36 + 10 \log ((1))$$

وتحدد السوية (4) التوهين المطلوب في حالة حد البث الهامشي:

$$(6) = (4) - (5) + (3)_{out\text{-}of\text{-}band} - 162$$

وقد افترض أن كسب هوائي الساتل في ترددات نطاق الخدمة المنفعلة هو نفسه في ترددات تشغيل التوزيع للخدمة الساتلية (أي (3) في النطاق = (3) خارج النطاق مع التعليمات الواردة أدناه). ويجدر بالذكر أن هذه الحالة هي الحالة الأسوأ.

ويستعمل النطاق المنفعل لعمليات رصد الخطوط الطيفية والطيف المتصل على حد سواء. وتجري عمليات رصد الخطوط الطيفية باستعمال عرض نطاق قناة (إحدى قنوات مقياس الطيف) قدره 20 kHz (العرض النمطي)، وتكون عتبة الكثافة pfd عندئذ –196 dB(W/m^2). ويتعين مقارنة معايير الحماية مع القيم التالية:

$$-162,4 + 10 \log((20/4)) = -155,4 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{20 kHz))}$$

ومع ما يلي:

$$-171,4 + 10 \log((20/4)) = -164,4 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{20 kHz))}$$

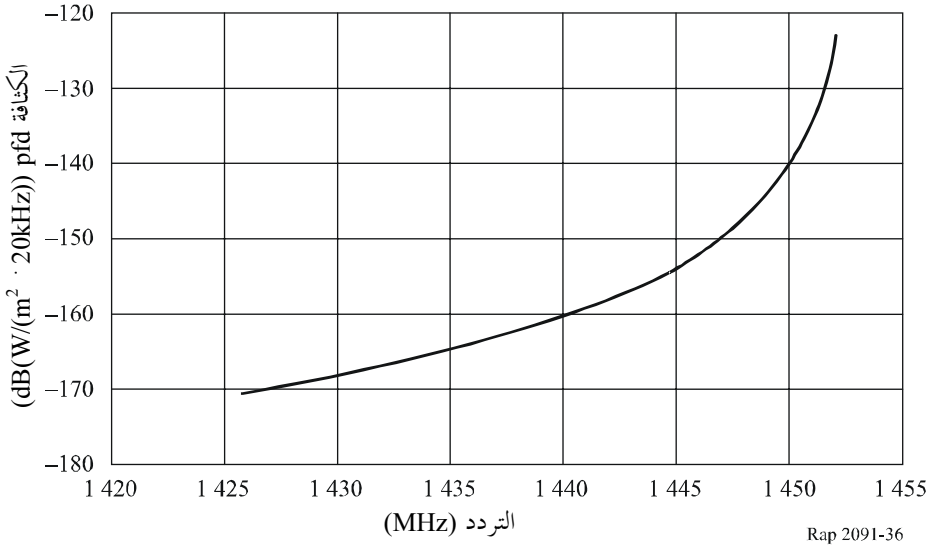
ويعني ذلك أن التباين بين معايير الحماية وحدود البث الهامشي عند نهاية مجال البث خارج النطاق يعادل 40 dB. وبما أن نهاية مجال البث خارج النطاق تقع عند التردد 1 427 MHz (أكثر من عشرة أضعاف عرض النطاق اللازم)، فمن المرجح أن يكون التباين بين سوية البث الهامشي ومعايير الحماية عند بداية نطاق الخدمة RAS أقل بكثير.

وتحديداً، إذا افترضنا أن تناقص الإشارة في مجال البث الهامشي يتبع القناع الجديد للبث خارج النطاق الذي وضع لنظام الخدمة BSS (التوصية ITU-R SM.1541)، يكون التوهين كالتالي:

$$32 \log\left(\frac{F}{50} + 1\right) \qquad \text{dBsd}$$

الشكل 36

سوية الكثافة pfd المجمعة في عرض 20 kHz تبعاً للتردد



وفي مثل هذه الحالة يعادل التباين عند حافة النطاق الموزع للخدمة RAS 25 dB تقريباً (وحوالي 20 dB في النظام الرقمي DS). وينبغي تجنب هذا التداخل المتبقي بإضافة تقنيات تخفيف (عزل جغرافي وترشيح).

2.3.4.8 عمليات الرصد VLBI

إن عمليات الرصد VLBI حيث تسجل وتجمع الإشارات الصادرة عن هوائيات شديدة التباعد بين بعضها البعض بعد استكمال عمليات الرصد، أقل حساسية للتداخل. وينعكس ذلك بوضوح في سوية عتبة الكثافة pfd المحددة للعمليات VLBI في هذا النطاق والبالغة –166 dB(W/m^2) وذلك لعرض نطاق قدره 20 kHz.

ووفقا للحساب الذي أجري في الفقرة 1.3.4.8، فإن معايير الحماية VLBI مستوفاة.

3.3.4.8 عمليات رصد الطيف المتصل

من أجل إجراء عمليات رصد الطيف المتصل بهوائي مكافئي واحد، يستعمل كامل عرض النطاق البالغ 27 MHz، وفي هذه الحالة، تعادل حدود عتبة الكثافة pfd للتداخل الضار –180 dB(W/m^2).

أما أقصى سوية كثافة pfd في النطاق، مع مراعاة النظامين المذكورين في الجدول 20، فهي:

$$-128 + 10 \log_{10} (1{,}536 \text{ MHz}/4 \text{ kHz}) = -102 \text{ dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot 1{,}536 \text{ MHz}/4 \text{ kHz}))$$

وإذا اتبع هذا النظام نفس تناقص الإشارة الذي ورد في الوثيقة 7/149-1 الصادرة عن فرقة العمل 4A التابعة لقطاع الاتصالات الراديوية، فإن نبذ الإشارات بين القدرة في النطاق والقدرة المجمعة في عرض MHz 27 سيتجاوز dB 80. ويعني ذلك استيفاء معايير حماية عمليات رصد الطيف المتصل. كما يؤكد على استيفاء معايير الحماية VLBI.

5.8 تقنيات تخفيف التداخل

1.5.8 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

هنالك تقنيات مختلفة، بما فيها تلك الواردة أعلاه يمكن استخدامها من أجل خفض الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن مرسلات السواتل في التلسكوب الراديوي.

أداء الفصوص الجانبية للهوائي: تتمثل عادة إضاءة فتحة التلسكوبات الراديوية للحصول على أفضل نسبة *G/T*، أي نسبة كسب التلسكوب إلى درجة حرارة النظام، وذلك بهدف بلوغ أكبر نسبة إشارة إلى الضوضاء (*S/N*) في المصادر النقطية. والعنصر الرئيسي في هذه الطريقة هو خفض إشعاعات الأرض التي تصل الفصوص الجانبية البعيدة والتي تفضي حتماً إلى زيادة مقابلة لسويات الإشعاع في الفصوص الجانبية القريبة. وقد دلّت التجربة على أن معظم التلسكوبات الراديوية تتقيد بقناع غلاف الفصوص الجانبية الوارد في التوصية ITU-R SA.509 وذلك في معظم الاتجاهات.

الانقطاع في الزمن و/أو التردد: تستخدم هذه التقنية في بعض الحالات التي يمكن فيها تحديد التداخل في نطاق ترددات خدمة علم الفلك الراديوي تحديداً كاملاً ودون لبس في الزمن و/أو التردد.

2.5.8 الخدمة الإذاعية الساتلية (BSS)

تنطوي هذه الخدمة على إرسال مستمر للإشارات بصورة متواصلة أو لفترات زمنية طويلة مع قدرة ثابتة وطيف ثابت. والغرض من إجراءات التخفيف هو تجنب إرسال الإشعاعات غير المطلوبة في اتجاه محطات خدمة الفلك الراديوي التي تستعمل هذا النطاق أو استعمال المراشيح للتخفيف من هذه الإشعاعات إلى حد يمنع حدوث تداخل ضار في عمليات الرصد الفلكي الراديوي في النطاق MHz 1 427-1 400.

3.5.8 التأثير المحتمل

1.3.5.8 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

أداء الفصوص الجانبية للهوائي: يبدو أن محاولات خفض حساسية هوائي خدمة الفلك الراديوي للإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن محطات فضائية تساهم في زيادة حساسية تلسكوب هذه الخدمة لإشعاعات الأرض، كما قد تخفض من كسب حزمته الرئيسية. وسيضعف هذان التأثيران قدرة قنوات التلسكوب، مما قد يؤدي إلى زيادة إجمالي الوقت المطلوب للتكامل.

الانقطاع في الزمن و/أو التردد: ينطوي الانقطاع على خطر يتهدد تكاملية البيانات وقد يفضي إلى وقوع أخطاء في التفسير العلمي لهذه البيانات. كما قد يسبب الانقطاع زيادة ملازمة لإجمالي وقت التكامل المطلوب لإجراء عملية الرصد، وذلك يعني خسارة في قدرة قنوات التلسكوب.

2.3.5.8 الخدمة الإذاعية الساتلية (BSS)

المراشيح هي الطريقة الأكيدة لمكافحة الإشعاعات غير المطلوبة، لكن إضافتها قد تؤثر إلى حد كبير على تصميم السواتل. وفي حال استعمال صفيف هوائي مطاور نشيط، قد يتعين استعمال مراشيح في كل عنصر هوائي منشط، مما سيزيد من وزن الساتل. كما يستدعي التعويض عن الخسارة الناجمة عن المراشيح مرسلات أكثر قدرة، الأمر الذي يتطلب بدوره مزيداً من الطاقة للتغذية وبالتالي أصفة هوائيات أكبر مع تغذية بالطاقة الشمسية. وقد تستدعي زيادة الوزن أجهزة إطلاق أكبر، التكاليف المترتبة باهظة. ونتيجة لذلك، لا يمكن التفكير بإضافة المراشيح إلاّ في مرحلة تصميم النظام. غير أن التقدم التقني المتواصل في تصميم المراشيح والهوائيات النشيطة قد يتيح مع الوقت الحد من مشكلة تنفيذ هذه الحلول على نحو قابل للتحكم.

6.8 نتائج الدراسات

1.6.8 ملخص

تتناول الحسابات الواردة في الفقرات السابقة موضوع المواءمة بين أنظمة الخدمة الإذاعية بالسواتل المستقرة بالنسبة للأرض التي تعمل في النطاق 400 1-427 1 MHz وبين خدمة علم الفلك الراديوي العاملة في نفس النطاق. ولا بد من إجراء مزيد من الدراسة لمعالجة حالة الأنظمة الساتلية غير المستقرة بالنسبة للأرض.

وتبين الحسابات الواردة في الفقرات المذكورة أعلاه أن أنظمة الخدمة الإذاعية الساتلية تفي بمعايير حماية عمليات الرصد VLBI ورصد الطيف المتصل حسبما يرد في الفقرة 3.1.8. لكن الوفاء بمعايير حماية رصد الخطوط الطيفية قد يتطلب على الأرجح اللجوء إلى تقنيات تخفيف التداخل من قبيل الترشيح. ومع أن نطاق الحراسة القائم بين النطاقين الموزعين للخدمة RAS والخدمة BSS عريض مقارنة بالنطاق اللازم المعتمد في أنظمة الخدمة BSS، يتوقع أن تكون معايير حماية الخدمة RAS قابلة تقنياً للتنفيذ باستعمال تقنيات تخفيف التداخل مثل الترشيح والعزل الجغرافي. ويجدر بالذكر أن استخدام تقنيات من هذا القبيل له آثار اقتصادية كبيرة.

2.6.8 استنتاجات

من الممكن الوفاء بمعايير حماية عمليات الرصد الفلكي الراديوي في هذا النطاق فيما يخص عمليات الرصد VLBI ورصد الطيف المتصل، وكذلك بمعايير عمليات رصد الخطوط الطيفية عند استعمال تقنيات ملائمة لتخفيف التداخل.

9 دراسة المواءمة بين أنظمة خدمة علم الفلك الراديوي (RAS) العاملة في النطاق 400 1-427 1 MHz وأنظمة الخدمة الإذاعية الساتلية (BSS) (فضاء–أرض) العاملة في النطاق 525 1-559 1 MHz

1.9 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

1.1.9 النطاق الموزع

النطاق 400 1-427 1 MHz موزع على أساس أولي للخدمات المنفعلة فقط وهي: الخدمة RAS والخدمة الساتلية لاستكشاف الأرض (EESS) (المنفعلة) وخدمة الأبحاث الفضائية (SRS) (المنفعلة). ولا تتناول هذه الفقرة إلا حالة خدمة علم الفلك الراديوي.

ويحظر الرقم 340.5 من لوائح الراديو جميع الإرسالات في هذا النطاق.

2.1.9 نمط عمليات الرصد

النطاق 400 1-427 1 MHz مستعمل بكثافة أشد من أي نطاق آخر في جميع أقاليم القطاع ITU-R. أما الاستعمال الرئيسي لهذا النطاق في مجال الفلك الراديوي فهو إجراء عمليات رصد في الكون للخطوط الطيفية لذرات الهيدروجين المحايد (المسمى أيضاً HI) التي تمتلك تردد راحة هو 420,406 1 MHz. والعنصر HI هو العنصر الرئيسي الأول المكوِّن لمجرتنا وللمجرات الأخرى. وهو يتواجد في السحب الكبرى شديدة التعقيد. ويراقب خطه الطيفي أثناء عمليتي الإرسال والامتصاص ويجري توسيع تردده وزحزحته بآثار دوبلر الناجمة عن تحركات محلية كبرى في بنية السحب. وهكذا يمكن استعمال عمليات رصد الهيدروجين HI لرسم توزع المادة وتحركاتها في مجرتنا وفي المجرات الأخرى. وبهذه الطريقة، يمكن رسم بنية المجرة وكيفية حركة المادة فيها.

ويتسع النطاق 400 1-427 1 MHz ليشمل الإرسالات بزحزحة دوبلر التي تشعها السحب في مجرتنا وفي المجرات المجاورة. ويتيح قياس استقطاب إرسال وامتصاص الهيدروجين المحايد معلومات هامة عن المجالات المغنطيسية للكواكب، ويساهم بالتالي في معرفة بنيتها بصورة أفضل.

ويستعمل النطاق 400 1-427 1 MHz أيضاً لعمليات رصد الطيف المتصل للإرسالات عريضة النطاق الناجمة عن البلازما الحارة التي تتشكل عندما تسخن النجوم السحب المحيطة وعن تفاعل الإلكترونات عالية الطاقة في المجال المغنطيسي المجري (إرسال سينكروتروني).

3.1.9 معايير الحماية المطلوبة

تتحدد سويات عتبة التداخل الضار بعمليات الرصد الفلكي الراديوي في التوصية ITU-R RA.769، التي تضم قائمة بسويات الإشعاعات غير المطلوبة تؤدي إلى أخطاء في القياسات بنسبة 10%. ويستعمل النطاق لإجراء عمليات رصد الخطوط الطيفية والطيف المتصل على حد سواء. ففي النطاق 400 1-427 1 MHz، ومن أجل إجراء عمليات رصد خطوط طيفية بهوائي مكافئي واحد وباستعمال عرض نطاق قناة (إحدى قنوات مقياس الطيف) قدره 20 kHz، تتحدد عتبة الكثافة pfd بالقيمة –196 ($dB(W/m^2)$). ومن أجل إجراء عمليات رصد طيف متصل بهوائي مكافئي واحد يستعمل كامل عرض النطاق، وهو 27 MHz، ويكون حد عتبة الكثافة pfd للتداخل الضار في هذه الحالة –180 ($dB(W/m^2)$).

أما عمليات الرصد VLBI، حيث تسجل الإشارات الواردة من هوائيات شديدة التباعد فيما بينها ويجري ترابطها بعد إنهاء عمليات الرصد، فهي أقل حساسية بكثير للتداخل. وينعكس ذلك في سوية عتبة الكثافة pfd لعمليات الرصد VLBI في هذا النطاق والبالغة –166 ($dB(W/m^2)$) في عرض نطاق قدره 20 kHz.

وسويات عتبة التداخل الضار بالخدمة RAS وفق تعريفها وحسابها الواردين في التوصية ITU-R RA.769 هي معايير الحماية التي يؤدي تجاوزها إلى تراجع نوعية البيانات الفلكية الراديوية وربما إلى تلفها تماماً. ومبدئياً وفي الظروف المثالية، عندما يكون تجاوز السويات طفيفاً يمكن التعويض عنه في مرصد علم الفلك الراديوي من خلال إطالة وقت الرصد، مما يؤدي إلى نقص في قدرة قنوات التلسكوب يصاحبها نقص مقابل في معدل البيانات العلمية. وإذا زادت سوية التداخل عند استعمال فرضيات التوصية ITU-R RA.769 (مثل أداء الهوائي وغير ذلك) بمقدار 10 dB أو أكثر عن السوية المحددة في التوصية المذكورة، فإن إطالة مدة الرصد لن تكون كافية لضمان توفير بيانات علمية صالحة للعلماء. وستبقى محطة علم الفلك الراديوي بعدئذ غير قادرة على العمل في نطاق الترددات المتأثر، وستفقد قدرتها على تأمين الخدمة إن لم تلجأ إلى استعمال تقنيات تخفيف التداخل المناسبة.

4.1.9 الخصائص التشغيلية

النطاق 400 1-427 1 MHz هو أكثر نطاقات خدمة الفلك الراديوي استعمالاً. فهو يستعمل في العالم أجمع وفي جميع الأقاليم. وتقوم بعض التلسكوبات الراديوية مثل التلسكوب الراديوي ذي الفتحة التركيبية لمرصد الدومينون الراديوي لعلم الفيزياء الفلكية (DRAO) قرب مدينة بنتكتون (كندا) بإجراء عمليات رصد طوال الوقت في هذا النطاق. وتستعمل التلسكوبات الراديوية أحادية الهوائي لقياس كثافة تدفق القدرة الطيفية (spfd) المجمعة للمصادر الراديوية ذات القطر الزاوي الصغير ولرسم مخططات البنى ذات الزوايا الكبيرة والتي لا يمكن رسمها بواسطة تلسكوبات الفتحة التركيبية.

وتتيح الاستبانة الزاوية العالية التي توفرها أجهزة التلسكوب ذات الفتحة التركيبية رسم خرائط للبنية الدقيقة لسحب الهيدروجين ومصادر إشعاعات الطيف المتصل مثل بقايا المستعر الأعظم. ثم تجمع هذه الخرائط مع الخرائط ذات الاستبانة الأضعف التي تنتجها أجهزة التلسكوب الراديوية أحادية الهوائي وذلك من أجل الحصول على صور عالية الجودة ثلاثية الأبعاد لمجرتنا وللمجرات الأخرى. وقد تتطلب التلسكوبات الراديوية ذات الفتحة التركيبية، التي تستعمل أصفة متعددة الهوائيات "فترات رصد" تتراوح مدتها بين ساعة واحدة و12 ساعة من أجل رسم خريطة كاملة لمنطقة واحدة من الأيونوسفير.

ومن أجل تسهيل رسم خرائط البنى الكبيرة نسبياً لمصادر الطيف تستعمل بعض التلسكوبات الراديوية ذات الفتحة التركيبية مثل تلسكوب المرصد DRAO أصفة هوائيات صغيرة نسبياً. لكن هذه الأجهزة غير مزودة بخيار الإلغاء الأمثل لآثار الفصوص الجانبية وبالتالي فهي أكثر عرضة للتداخل.

وتجري عمليات رصد الخطوط الطيفية باستعمال مقاييس طيف متعددة القنوات قادرة على التجميع الآني لقدرة قنوات التردد الكثيرة (بين 256 و4 096) التي لها توزيعات في النطاق. ويتم اختيار عدد القنوات وعرض نطاقها من أجل تحقيق اعتيان طيف الإشعاعات الصافية الناجمة عن سحب الهيدروجين في حزمة الهوائي بصورة ملائمة.

وتجري عمليات الرصد عموماً بصورة تفاضلية. ويمكن في حالة إشعاعات الطيف المتصل رسم خريطة منطقة الأيونوسفير المحيطة بالمصدر وطرح إشعاعات الخلفية منها، أو قياس القدرة الواصلة باتجاه المصدر (في المصدر) وفي موقع واحد أو أكثر من المواقع القريبة منه في الأيونوسفير (خارج المصدر). وبطرح قيم خارج المصدر من القيم في المصدر، يمكن فصل الإشعاعات الناتجة في المصدر عن الإشعاعات الأخرى التي تدخل في القيمة الناتجة لخرج المستقبل.

وفي حالة عمليات رصد الخطوط الطيفية، تُسجّل الأطياف في مدى الترددات حيث تنتج إشعاعات الخطوط موضوع القياس (أطياف الخطوط)، ثم في تردد مخالف لإشعاعات الخطوط تلك أو في نفس التردد لكن في موقع قريب مجاور في الأيونوسفير (أطياف التردد). وبطرح أطياف التردد المرجعية من أطياف الخطوط الناتجة تُطرح قيمة الضوضاء وغيرها من العناصر غير المطلوبة من المعطيات.

ونظراً لامتلاء المجرة بسحب الهيدروجين المحايد، فإن التلسكوبات الراديوية لا تكشف الإشعاع أو الامتصاص الناتج في السحب في الحزمة الرئيسية للهوائيات فحسب بل تكشف أيضاً جزءاً كبيراً جداً من الإشعاع في الفصوص الجانبية للهوائيات. وينجم عن هذه "الإشعاعات المسيئة" تشوه في الطيف يقلص من ظهور تفاصيل الخريطة. وتستدعي إزالة هذه الآثار من البيانات إجراء قياسات على النطاق الواسع لكامل حزمة الهوائي (إن أمكن) وتقدير تصحيح الإشعاعات غير المطلوبة. وبالتالي، فإن التداخل والمساحات الواسعة "المحجوبة" من الأيونوسفير تؤثر على إمكانية رسم خرائط الزوايا الكبرى لأجزاء الأيونوسفير انطلاقاً من مصادر التداخل.

ويمكن رسم خريطة مناطق شاسعة للإشعاعات الراديوية من خلال تسجيل هذه الإشعاعات في شبكة تغطية تغطي المنطقة المعنية. كما يمكن إجراء عمليات رصد الخطوط الطيفية ورصد الطيف المتصل على حد سواء. وفي حالة التلسكوبات الراديوية أحادية الهوائي، تمثل كل عملية رصد تجري في نقطة من نقاط الشبكة دلالة لإجمالي القدرة (في حالة الطيف المتصل) أو لطيف الإرسال (في حالة الخطوط الطيفية) الآتي من ذلك الموقع من الأيونوسفير؛ وينبغي ألا تتجاوز المباعدة بين نقاط الشبكة نصف عرض حزمة الهوائي. وعند إجراء عمليات الرصد باستعمال تلسكوب راديوي بفتحة تركيبية حيث تتجاوز المنطقة التي يتوجب رسمها مجال الرسم المتاح، يتعين ألا تتجاوز المباعدة بين نقاط الشبكة نصف عرض حزمة أحد هوائيات التلسكوب الراديوي.

وتتم عمليات الرصد VLBI بتحويل الإشارات إلى إشارات نطاق أساسي ثم رقمنتها دون تصحيح وتسجيلها على شريط ممغنط أو في وسائط تسجيل أخرى وقرنها بإشارات توقيت دقيقة. وترسل البيانات بعد ذلك إلى مركز معالجة البيانات VLBI حيث يضبط تزامنها وترابطها. ونتيجة لذلك، فإن التأثير الكامل للتداخل قد لا يُعرف إلا بعد انتهاء فترة الرصد واستكمال معالجة البيانات.

2.9 الخدمة المتنقلة الساتلية (MSS)

1.2.9 النطاق الموزع للإرسال

النطاق الموزع للإرسال (فضاء–أرض) هو 525 1-559 1 MHz.

2.2.9 التطبيق

الخدمة المتنقلة الساتلية (MSS).

3.2.9 السويات استناداً إلى الأحكام التنظيمية

قيمة التوهين المطلوب هي $43 + 10 \log P$ dBc أو 60 dBc علماً بأن الاختيار يقع على القيمة الأقل صرامة وحيث P هي ذروة القدرة عند مدخل الهوائي (مقدرة بالوحدات W) في أي عرض قدره 4 kHz.

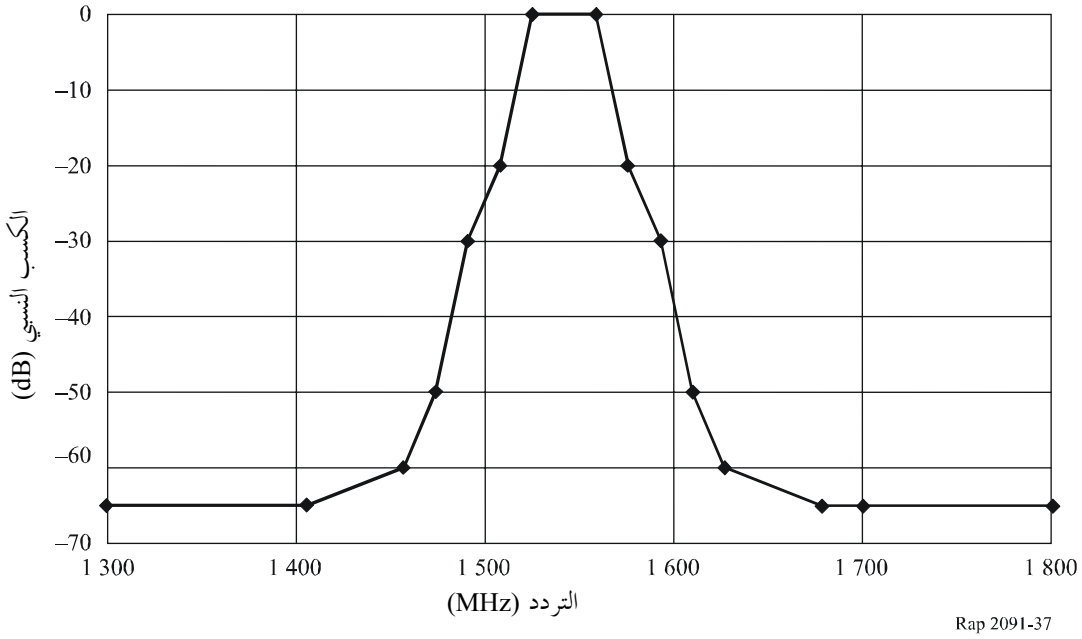
4.2.9 خصائص المرسل

يبلغ كسب هوائي المرسل 41 dBi.

وتظهر خصائص مرشاح خرج المرسل (Tx) في الشكل 37.

الشكل 37

خصائص مرشاح خرج المرسل



5.2.9 الخصائص التشغيلية

تبلغ الذروة النمطية المقدرة في حزمة نقطية ساتلية لخدمة GSO MSS عند مدخل الهوائي القيمة 16 dBW في نطاق قدره 5 MHz.

6.2.9 سوية الإرسال داخل النطاق

تبلغ سوية الإرسال داخل النطاق –15 dBW في كل عرض نطاق قدره 4 kHz.

3.9 عتبة المواءمة

انظر الفقرة 3.1.9.

4.9 تقدير قيمة التداخل

1.4.9 المنهجية المتبعة لتقدير سوية التداخل

تستعمل معلمات الكثافة الطيفية للقدرة الذروة في النطاق وذروة كسب الهوائي والتوهين المسجل لمرشاح خرج المرسل (Tx) عند ترددات مختلفة من أجل تحديد الكثافة pfd عند سطح الأرض.

2.4.9 حساب سوية التداخل

استناداً إلى الأداء المتوقع لمرشاح المرسل المستخدم في النطاق 525 1-559 1 MHz، يعرض الجدول 23 سويات القدرة النمطية عند خرج هذا المرشاح وسويات كثافة القدرة .e.i.r.p عند خرج الهوائي والكثافة pfd على سطح الأرض عند ترددات مختلفة.

الجدول 23

القيم المتوقعة للكثافة الطيفية للقدرة (PSD)، وكثافة القدرة .e.i.r.p والكثافة pfd على سطح أرض الساتل إنمارسات-4

التردد (MHz)	الكثافة PSD عند خرج المرشاح (dB(W/4 kHz))	كثافة القدرة .e.i.r.p عند خرج الهوائي(dB(W/4 kHz))	الكثافة pfd على سطح الأرض (dB(W/(m^2 · 4 kHz)))
1 300	80–	39–	202–
1 406	80–	39–	202–
1 457	75–	24–	197–
1 474	65–	14–	187–
1 491	45–	4–	167–
1 508	35–	6	157–
1 525	15–	26	137–
1 559	15–	26	137–
1 576	35–	6	157–
1 593	45–	4–	167–
1 610	65–	14–	187–
1 627	75–	24–	197–
1 678	80–	39–	202–
1 700	80–	39–	202–
1 800	80–	39–	202–

3.4.9 القيم الناتجة

القيمة هي −202 dB(W/m^2) في عرض نطاق قدره 4 kHz.

وعند نقل هذه القيم إلى عمليات رصد الطيف المتصل والخطوط الطيفية نحصل على القيم التالية:

– عمليات رصد الطيف المتصل بهوائي مكافئي واحد: −163 dB(W/m^2) في عرض نطاق قدره 27 MHz؛

– عمليات رصد الخطوط الطيفية بهوائي مكافئي واحد: −195 dB(W/m^2) في عرض نطاق قدره 20 kHz.

واستناداً إلى المعلمات المذكورة أعلاه لنظام واحد لخدمة متنقلة ساتلية GSO تابع لمشغل واحد يمكن استنتاج الهوامش/الفروق التالية:

– في عمليات رصد الخطوط بهوائي مكافئي واحد يبلغ النقص 1 dB لاستيفاء معايير الحماية المحددة في التوصية ITU-R RA.769؛

– في عمليات رصد الطيف المتصل بهوائي مكافئي واحد هناك نقص قدره 17 dB لاستيفاء معايير الحماية المحددة في التوصية ITU-R RA.769.

5.9 تقنيات تخفيف التداخل

1.5.9 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

هنالك تقنيات مختلفة منها تلك الواردة أدناه يمكن استخدامها لخفض الإشعاعات غير المطلوبة في التلسكوب الراديوي والناجمة عن المرسلات الساتلية.

أداء الفصوص الجانبية للهوائي: تستمثل عادة إضاءة فتحة تلسكوب راديوي من أجل الحصول على أفضل نسبة *G/T* أي نسبة كسب التلسكوب إلى درجة حرارة النظام. وذلك من أجل الحصول على أكبر نسبة للإشارة إلى الضوضاء (*S/N*) في المصادر النقطية. والعنصر الهام في هذه الطريقة هو خفض إشعاعات سطح الأرض الواصلة إلى الفصوص الجانبية البعيدة. وذلك يؤدي حتماً إلى زيادة مقابلة في سويات الفصوص الجانبية القريبة. وقد أظهرت التجربة أن غالبية التلسكوبات الراديوية تتقيد بقناع الفص الجانبي للغلاف الوارد في التوصية ITU-R SA.509 وذلك في معظم الاتجاهات.

الانقطاع في الزمن و/أو التردد: يمكن استخدام هذه التقنية في بعض الحالات حيث يتحدد التداخل في نطاق تردد خدمة علم الفلك الراديوي بصورة كاملة ودون لبس في الزمن و/أو التردد.

2.5.9 الخدمة المتنقلة الساتلية

من أجل تحسين السويات الواردة في الجدول 23، ينبغي مراعاة تقنيات تخفيف التداخل التالية لدى تصميم محطات فضاء جديدة:

- استجابة الهوائي بالتردد عريض النطاق؛
- خصائص التوهين للمراشيح المتوسطة؛
- استجابة بتردد الكسب لمكبرات قدرة أشباه الموصلات؛
- خصائص تشكيل مختلف الموجات الحاملة؛
- توهين نواتج التشكيل البيني فيما يتعلق بقدرة الموجات الحاملة.

3.5.9 التأثير المحتمل في الخدمة المتنقلة الساتلية

تعتبر تقنيات تخفيف التداخل الواردة في الفقرة 2.5.9 صالحة تقنياً للاستخدام في الأنظمة الساتلية المستقرة بالنسبة للأرض.

6.9 نتائج الدراسات

1.6.9 ملخص

استناداً إلى معلمات نظام ساتلي GSO واحد للخدمة المتنقلة الساتلية تابع لمشغل واحد ومع مراعاة عوامل التخفيف المذكورة في الفقرة 2.5.9، من المرجح أن تفي سويات الإشعاعات غير المطلوبة الصادرة عن هذا النظام بسويات عتبة التداخل الضار بعمليات الرصد الفلكي الراديوي بهوائي مكافئي واحد كما ورد في الفقرة 3.1.9.

2.6.9 الاستنتاجات

من المرجح أن معايير الحماية تستوفى في عمليات رصد الطيف المتصل والرصد VLBI ورصد الخطوط الطيفية باستعمال التدابير المناسبة لتخفيف التداخل.

10 تحليل المواءمة بين أنظمة الخدمة RAS العاملة في النطاق 610,6-613,8 MHz 1 وأنظمة خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) العاملة في النطاق 559-610 MHz 1

1.10 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

1.1.10 النطاق الموزع

النطاق 610,6-613,8 MHz 1 موزع للخدمة RAS على أساس أولي.

ويحث الرقم 149.5 من لوائح الراديو الإدارات على اتخاذ جميع الخطوات الممكنة عملياً لحماية الخدمة RAS.

2.1.10 نمط عمليات الرصد

يستعمل النطاق 610,6-613,8 MHz 1 لإجراء عمليات رصد الخطوط الطيفية للعنصر OH (مركب مجموعة الهيدروكسيل). وللخط OH تردد راحة هو 612 MHz 1، وهو أحد أهم الخطوط الطيفية لعلم الفلك الراديوي ويرد ذكره على هذا النحو في التوصية ITU-R RA.314. والمركب OH هو أول مركب كوني كشف في الترددات الراديوية (1963)، وما زال يمثل أداة بحث هامة. وهو ينتج أربعة خطوط طيفية قرب الترددات 612 1 و665 1 و667 1 و720 1 MHz التي رصدت جميعاً في مجرتنا وفي مجرات أخرى على حد سواء. وتقدم دراسة الخطوط OH معلومات عن عدد كبير من الظواهر الفلكية، مثل تشكل النجوم البدائية وتطور النجوم. ومن أجل تفسير معظم عمليات الرصد في الخطوط OH، لا بد من قياس الشدة النسبية لعدد من هذه الخطوط. وقد يحول فقدان القدرة على مراقبة أي من هذه الخطوط دون دراسة بعض أصناف الظواهر الفيزيائية.

وتنتج هذه الخطوط OH في عمليات متناسقة يُشع فيها تركيز الجذور OH "تدريجياً" وتنتج إرسالات ضيقة النطاق. وقد توسعت قليلاً بسبب الظروف الفيزيائية في هذا التركيز. وتفرض حركة هذه التركيزات فيما يتعلق بالأرض زحزحة دوبلر في إرسال الخط الطيفي. ويؤدي وجود عدة تركيزات في المنشأ تتحرك بسرعات متباينة إلى طيف أشد تعقيداً يتألف من عدد من خصائص الخطوط الغوسية المتراكمة ومختلفة العرض والاتساع وقليلة التباين في ترددها (بسبب زحزحة دوبلر المختلفة). وعرض توزيع النطاق ضروري من أجل إجراء تمديد الطيف وزحزحته من خلال تحركات تفاضلية وإجمالية في المنشأ.

ولا تشع بعض أصناف النجوم في بعض مراحل تطورها إلا في خط التردد 612 1 MHz. وتتيح دراسة هذا الخط لعلماء الفلك أن يخمنوا الخواص الفيزيائية لهذه النجوم مثل معدل إرسالها للغازات وإعادة استعمالها في الوسط ما بين النجوم، علماً بأن بعض هذه الخواص لا يمكن استنتاجها من أي عملية رصد فلكية أخرى. كما استعملت قياسات إرسالات النجوم لمركبات OH من أجل تقدير المسافة إلى مركز المجرة وقياس حجم الجسم المركزي للكوكبة الأرضية ودراسة التوزيع في الفضاء للمكونات الجزيئية في هذه المجرة والمجرات الخارجية. وأخيراً جرى كشف إرسالات ميزرية شديدة القوة قرب نَوَيات عدد من المجرات الخارجية. وتتيح هذه الإرسالات OH الميغاميزرية الناتجة عن النَوَيات المجرية لعلماء الفلك دراسة حرارة وكثافة الجزيئات الغازية في مركز المجرة.

ويرصد الخط الطيفي OH أيضاً في النجوم المذنبة؛ ومن الصعب جداً برمجة عمليات الرصد لهذه "الأهداف بالمصادفة".

وتجري عمليات رصد الخطوط الطيفية باستعمال مقاييس طيفية قادرة على تكامل القدرة في عدد كبير من قنوات التردد (عادة 256-4 096) التي لها توزيعات في نطاق التردد المستعمل. ويتعين أن تكون القنوات بعرضها وعددها كافية لإعادة إنتاج طيف الإرسال الذي يستقبله التلسكوب الراديوي بصورة دقيقة. وتستعمل عروض نطاق آنية تتراوح عادة بين ~0,2-20 kHz للقناة الواحدة، تبعاً للبرنامج العلمي المعني.

والمصادر الراديوية صغيرة، ويتطلب قياس حجمها وبنيتها عمليات رصد تستعمل التقنية VLBI.

3.1.10 معايير الحماية المطلوبة

تحدد التوصية ITU-R RA.769 معايير حماية عمليات الرصد الفلكي الراديوي وسويات العتبة للتداخل الضار بنطاقات خدمة الفلك الراديوي التي لها توزيعات على أساس أولي. ففي النطاق 610,6 1-613,8 1 MHz، وفيما يخص عمليات رصد الخطوط الطيفية بهوائي مكافئي واحد وباستعمال عرض نطاق قناة (إحدى قنوات مقياس الطيف) قدره 20 kHz، تتحدد قيمة عتبة الكثافة pfd بالقيمة –194 dB(W/m^2). ولا يستعمل هذا النطاق إلا لعمليات رصد الخطوط الراديوية وليس لعمليات رصد الطيف المتصل.

وفيما يخص التداخل الضار الناتج عن أنظمة ساتلية غير مستقرة بالنسبة للأرض ترد معايير الحماية والطرائق المتصلة بها في التوصيتين ITU-R RA.769 وITU-R RA.1513، وكذلك في التوصية ITU-R S.1586 بالنسبة لأنظمة الخدمة الثابتة الساتلية وفي التوصية ITU-R M.1583 بالنسبة لأنظمة الخدمة MSS والخدمة RNSS.

وتشكل سويات عتبة التداخل الضار بالخدمة RAS وفق تحديدها وحسابها الواردين في التوصية ITU-R RA.769 معايير الحماية التي يؤدي تجاوزها إلى تراجع نوعية البيانات الفلكية الراديوية وربما إلى تلفها. ومبدئياً في الظروف المثلى، عندما يكون تجاوز هذه السويات طفيفاً، يمكن التعويض عنه بإطالة زمن الرصد في المرصد الفلكي الراديوي. وفي هذه الحالة، تنقص قدرة قنوات التلسكوب ويقابلها نقصان في معدل إنتاج البيانات العلمية. وعندما تزيد سوية التداخل وفق فرضيات التوصية ITU-R RA.769 (مثل أداء الهوائي وغيره) عن القيمة المحددة في التوصية المذكورة بمقدار 10 dB أو أكثر، فإن إطالة زمن الرصد لا تعود كافية لضمان بيانات علمية صالحة يمكن تقديمها للعلماء. وستفقد محطة علم الفلك الراديوي عندئذ قدرتها على العمل في نطاق التردد المتأثر وعلى توفير الخدمة إذا لم تلجأ إلى تقنيات تخفيف التداخل الملائمة.

4.1.10 الخصائص التشغيلية

تُجرى عمليات الرصد في النطاق 612 1 MHz في عدد من مواقع علم الفلك الراديوي وذلك في العديد من البلدان في أنحاء العالم. والغرض من هذه العمليات أحياناً هو رصد أهداف مؤقتة مثل أجسام من قبيل مذنبات لوحظ أنها تُنتج إشعاعات مؤقتة في خط طيفي ما. كما تجري غالباً عمليات رصد VLBI في هذا النطاق، وأحياناً بين الشبكات VLBI الأمريكية الشمالية والأوروبية.

إن عمليات الرصد VLBI التي تسجل وتجمع فيها الإشارات الصادرة عن هوائيات شديدة التباعد بعد استكمال العمليات هي أقل حساسية بكثير للتداخل. وينعكس ذلك في سوية عتبة الكثافة pfd التي وضعت لهذه العمليات VLBI والبالغة –166 dB(W/m^2) لعرض نطاق قدره 20 kHz والتي لم تدرج في التوصية ITU-R RA.769.

وتجرى عمليات رصد الخطوط الطيفية باستعمال مقاييس الطيف متعددة القنوات القادرة على التجميع الآني للقدرة في العديد من قنوات التردد (بين 256 و4 096) التي لها توزيعات على النطاق. ويتم اختيار عدد القنوات وعروض نطاقها المختلفة من أجل إجراء اعتيان بصورة مناسبة لطيف الإشعاعات الصافية الصادرة عن المصدر (المصادر) في حزمة الهوائي.

وتُجرى عمليات الرصد عموماً بطريقة تفاضلية؛ وتسجل الأطياف بما فيها إشعاعات الخط الطيفي موضوع الدراسة في مدى الترددات، ثم في التردد المتخالف نسبةً لإشعاعات الخط أو في نفس التردد ولكن في مواقع قريبة في الأيونوسفير (الأطياف المرجعية). وبطرح الأطياف المرجعية من أطياف الخط، يمكن مساهمة الضوضاء والعناصر الأخرى غير المطلوبة عن البيانات.

وتُجرى عمليات الرصد VLBI من خلال تحويل الإشارات إلى نطاق أساسي ورقمنتها دون تصحيح وتسجيلها في شريط ممغنط أو في وسائط أخرى مع قرنها بإشارات توقيت دقيقة. ثم ترسل البيانات إلى مركز معالجة البيانات VLBI حيث يجري تزامن وترابط الإشارات. وبالتالي قد لا يعرف تأثير كامل للتداخل إلا بعد انتهاء فترة الرصد واستكمال معالجة البيانات.

2.10 خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)

1.2.10 النطاق الموزع للإرسال

النطاق 559 1-610 1 MHz موزع للخدمة RNSS لأغراض الإرسال من الفضاء إلى الأرض.

2.2.10 التطبيق

تستخدم الأنظمة الساتلية للملاحة الراديوية، وهي أنظمة ذات إشارات منخفضة القدرة مقارنةً بمعظم الأنظمة الأخرى، في تقدير المواقع والتوقيت من قبل المستعملين ومنهم علماء الفلك الراديوي والأنظمة المنفعلة في الفضاء. لذلك تتداخل الخدمتان، وهنالك نمطان رئيسيان من الأنظمة RNSS هما: النمط غير المستقر بالنسبة للأرض والنمط المستقر بالنسبة للأرض. وتستعمل الأنظمة المستقرة بالنسبة للأرض بصورة أساسية لملاحة الطيران، أما الأنظمة غير المستقرة فتستخدم في جميع أنحاء العالم ومن قبل إدارات متعددة لأغراض الطيران وتقدير المواقع وحسابات الوقت الدقيقة وعمليات البحث والإغاثة.

3.2.10 السويات استناداً إلى الأحكام التنظيمية

لا تتضمن لوائح الراديو حدوداً واضحة أو قيم عتبة تطبق على الخدمة RNSS في النطاق 559 1-610 1 MHz.

4.2.10 الخصائص التشغيلية

1.4.2.10 نظام غاليليو (GALILEO)

1.1.4.2.10 الخصائص المدارية

ترد الخصائص المدارية لنظام غاليليو التي استخدمت في عمليات المحاكاة في الجدول 24 المبين أدناه:

الجدول 24

معلمات كوكبة السواتل غاليليو

المعلمة	القيمة
عدد السواتل	27
عدد المستويات	3
زاوية الميل	56
الارتفاع (km)	23 616

وترد المعلمات المدارية لكل ساتل من سواتل الكوكبة في الجدول 25 أدناه

الجدول 25

معلمات كوكبة السواتل غاليليو

رقم الساتل	الطالع المستقيم للعقدة الصاعدة	الانحراف الفعلي
1	0	0
2	0	40
3	0	80
4	0	120
5	0	160
6	0	200

رقم الساتل	الطالع المستقيم للعقدة الصاعدة	الانحراف الفعلي
7	0	240
8	0	280
9	0	320
10	120	13,33
11	120	53,33
12	120	93,33
13	120	133,33
14	120	173,33
15	120	213,33
16	120	253,33
17	120	293,33
18	120	333,33
19	240	26,66
20	240	66,66
21	240	106,66
22	240	146,66
23	240	186,66
24	240	226,66
25	240	266,66
26	240	306,66
27	240	346,66

2.1.4.2.10 الإشعاعات غير المطلوبة الناتجة عن السواتل غاليليو

يقدم الجدول 26 قيم الإشعاعات غير المطلوبة الناتجة عن السواتل غاليليو في النطاق 610,6-613,8 MHz 1 الموزع لخدمة علم الفلك الراديوي.

الجدول 26

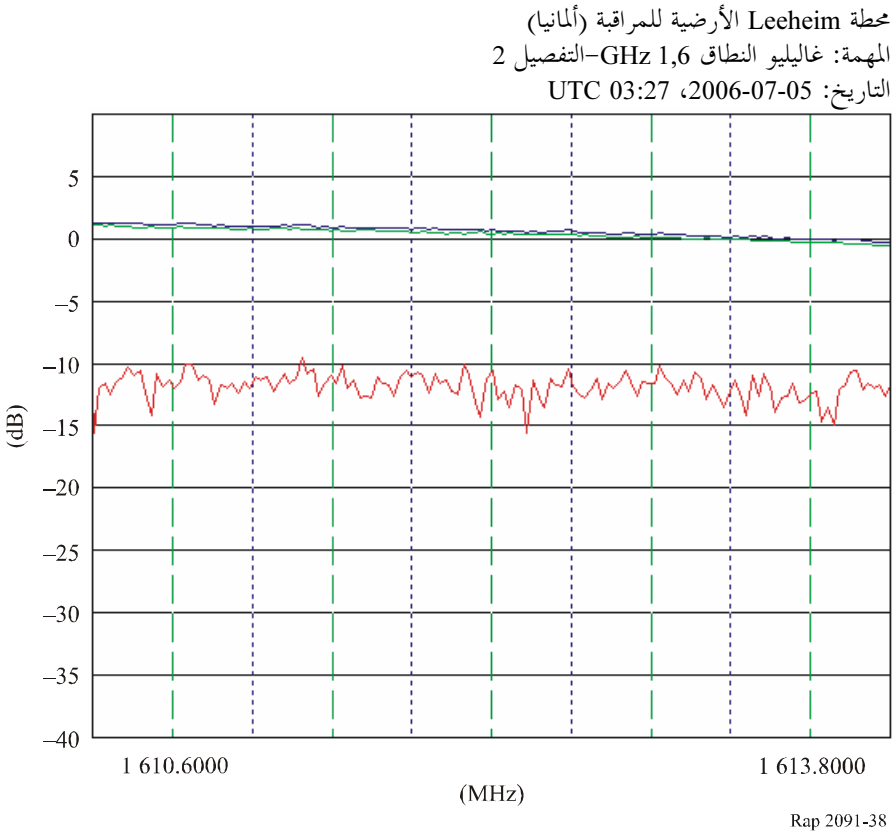
الإشعاعات غير المطلوبة الصادرة عن غاليليو

المعلمة	القيمة
الكثافة الطيفية للقدرة e.i.r.p. ($dB(W/m^2)$)	68,5−
الارتفاع (km)	23,616
الكثافة spfd ($dB(W/(m^2.kHz))$)	227−
الكثافة pfd ($dB(W/(m^2.20\ kHz))$)	214−

ويبين الشكل 38 نتائج قياسات أجرتها محطة Leeheim الأرضية للمراقبة للبث خارج النطاق الناتج عن سواتل غاليليو في نطاق الخدمة RAS. ولا تدل القياسات الحالية على سوية الإرسالات خارج النطاق بسبب ضعف حساسية محطة القياس. ويدل الخط الأحمر على حساسية للنظام قدرها 191− ($dB(W/m^2)$) تقريباً في عرض نطاق قدره 20 kHz.

الشكل 38

السويات المقيسة للبث خارج النطاق في النظام الساتلي التجريبي غاليليو في مدى الترددات 1 610,6-1 613,8 MHz



ويدل المنحني الأزرق (الأعلى) في الشكل 38 على الإرسالات المقيسة للسواتل التجريبية غاليليو+الضوضاء في السماء الصافية. ويدل المنحني الأخضر (الأوسط) على سوية الضوضاء في السماء الصافية، أما المنحني الأحمر (الأسفل) فيدل على الفرق بين المنحنيين الأزرق والأخضر.

2.4.2.10 النظام العالمي لتحديد الموقع (GPS)

1.2.4.2.10 الخصائص المدارية

ترد الخصائص المدارية المستخدمة في عمليات المحاكاة في الجدول 27 أدناه:

الجدول 27

كوكبة النظام GPS

المعلمة	القيمة
عدد السواتل	24
عدد المستويات	6
زاوية الميل	55
الارتفاع (km)	20 200

ترد المعلمات المدارية لكل ساتل من سواتل الكوكبة في الجدول 28.

الجدول 28

معلمات الكوكبة GPS

رقم الساتل	الطالع المستقيم للعقدة الصاعدة	الانحراف الفعلي
1	272,847	11,676
2	272,847	41,806
3	272,847	161,786
4	272,847	268,126
5	332,847	80,956
6	332,847	173,336
7	332,847	204,376
8	332,847	309,976
9	32,847	11,876
10	32,847	241,556
11	32,847	339,666
12	32,847	11,796
13	92,847	135,226
14	92,847	167,356
15	92,847	265,446
16	92,847	35,156
17	92,847	197,046
18	152,847	302,596
19	152,847	333,686
20	152,847	66,066
21	212,847	238,886
22	212,847	345,226
23	212,847	105,206
24	212,847	135,346

2.2.4.2.10 الإشعاعات غير المطلوبة الناتجة عن سواتل النظام GPS

في مطلع العام 1989 صممت أول سواتل GPS تشغيلية بالحجم الكامل مزودة بالتقنيات التركيبية بالترددات المحسنة التي تسمح بترشيح إضافي بفضل استعمال المرشاح الثلاثي في النطاق L المستقبل. وقد أضيفت مقدرة الترشيح المستمثلة هذه إلى جميع سواتل المجموعة II/IIA وما يليها من سواتل، بما في ذلك سواتل المجموعتين IIR وIRR-M وذلك من أجل خفض الإشعاعات غير المطلوبة. والمرشاح الثلاثي الحالي هو مرشاح Chebychev له ستة أقطاب متلاصقة ويستخدم لإرسالات الترددين L1 وL2. أما سلسلات المجموعة IIF للمركبة الفضائية المحدثة بالسواتل GPS فتستعمل مرشاحاً رباعياً كيما تتمكن من إدراج الإشارات الجديدة L5 للطيران المدني، وستقدم أداءً مماثلاً.

وللإشعاعات غير المطلوبة الناتجة عن سواتل النظام GPS كثافة تدفق قدرة عند الخرج لا تتجاوز –258 dB(W/(m^2 · Hz)) في النطاق 1 610,6-1 613,8 MHz. ويرد تفسير هذه القيمة في الجدول 29 أدناه المخصص لموازنة الوصلات.

الجدول 29

خصائص الإشعاعات غير المطلوبة الناتجة عن النظام GPS

	المعلمات	القيمة
1	مواصفة أقصى بث خارج النطاق ((dB(W/Hz)	110−
2	سوية البث خارج النطاق في الحالة الأسوأ OoB (يقدمها المصنّع) ((dB(W/Hz)	113−
3	λΛ(*c*/1 612 MHz) (m)	0,19
4	الفتحة الفعالة لهوائي الاستقبال ($\lambda^2/4\pi$) (dBm^2)	25,4−
5	*D* = المسافة الفاصلة بين الساتل والهوائي Rz (m)	2,02E+7
6	خسارة المسير ((2)^2(*d**4π)/λ^2) (dB)	182,7−
7	كسب هوائي الإرسال (dB)	12
8	الكثافة pfd المستقبلة (Row 2 − Row 4 + Row 6 + Row 7) ($dB(W/(m^2 \cdot Hz))$)	258,3−
9	الكثافة pfd المستقبلة ($dB(W/(m^2 \cdot 20\ kHz))$)	215,3−

3.4.2.10 نظام السواتل شبه السمتية (QZSS)

1.3.4.2.10 الخصائص المدارية

يعرض الجدول 30 أدناه الخصائص المدارية المستخدمة في عملية محاكاة نظام السواتل QZSS:

الجدول 30

معلمات كوكبة السواتل QZSS

المعلمة	القيمة
عدد السواتل	3
عدد المستويات	3
زاوية الميل (بالدرجات)	45
ارتفاع الأوج (km)	39 970
ارتفاع الحضيض (km)	31 602
زاوية الحضيض (بالدرجات)	270

وترد المعلمات المدارية لكل ساتل من سواتل الكوكبة في الجدول 31.

الجدول 31

معلمات كوكبة السواتل QZSS (التاريخ: 1 يناير 2000، الساعة 0:00)

عدد السواتل	الطالع المستقيم للعقدة الصاعدة (بالدرجات)	الانحراف الفعلي (بالدرجات)
1	205	129,21
2	325	0
3	85	230,49

2.3.4.2.10 الإشعاعات غير المطلوبة الناتجة عن السواتل QZSS

يقدم الجدول 32 سوية الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن السواتل QZSS في نطاق خدمة الفلك الراديوي MHz 1 613,8-1 610,6.

الجدول 32

الإشعاعات غير المطلوبة الناتجة عن السواتل QZSS

المعلمة	القيمة
الكثافة الطيفية للقدرة e.i.r.p. (dB(W/Hz))	86,9–
أقصر مسافة بين الساتل وسطح الأرض (km)	31 602
الكثافة spfd (dB(W/(m^2 · kHz)))	218–
الكثافة pfd (dB(W/(m^2 · 20 kHz)))	205–

4.4.2.10 النظام الساتلي GLONASS

1.4.4.2.10 الخصائص المدارية

ترد الخصائص المدارية للنظام GLONASS المستخدمة في عمليات المحاكاة في الجدول 33.

الجدول 33

معلمات كوكبة السواتل GLONASS

المعلمة	القيمة
عدد السواتل	24
عدد المستويات	3
زاوية الميل (بالدرجات)	64,8
الارتفاع (km)	19 100

ترد المعلمات المدارية لكل ساتل من سواتل الكوكبة في الجدول 34.

الجدول 34

المعلمات المدارية للكوكبة الساتلية GLONASS

رقم الساتل	الطالع المستقيم للعقدة الصاعدة (درجة)	الانحراف الفعلي (درجة)
1	0	0
2	0	45
3	0	90
4	0	135
5	0	180

رقم الساتل	الطالع المستقيم للعقدة الصاعدة (درجة)	الانحراف الفعلي (درجة)
6	0	225
7	0	270
8	0	315
9	120	0
10	120	45
11	120	90
12	120	135
13	120	180
14	120	225
15	120	270
16	120	315
17	240	0
18	240	45
19	240	90
20	240	135
21	240	180
22	240	225
23	240	270
24	240	315

2.4.4.2.10 الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن السواتل GLONASS

إن سويات الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن النظام الساتلي GLONASS في نطاق خدمة الفلك الراديوي 1 613,8- MHz 1 610,6 انخفضت عبر السنين (الفقرة 2.5.10). وتشمل التدابير التي اتخذت من أجل خفض سويات الإشعاعات غير المطلوبة ما يلي:

أ) تغيير نطاق تردد النظام GLONASS:

- من العام 1998 إلى 2005: كانت السواتل GLONASS في الخدمة تستعمل أرقام التردد $k = 0$.....12 (انظر الجدول 35) دون أي حد. وكان رقم التردد $k = 13$ مستعملاً لأغراض الاختبار.
- بعد العام 2005: أصبحت جميع السواتل GLONASS في الخدمة تستعمل أرقام التردد (-7 ,.....,+6) (انظر الجدول 35).

وهكذا تغيرت خطة تردد النظام بحيث نتج نقل الإرسالات الأساسية للنظام GLONASS إلى نطاق التردد تحت النطاق 1 610,6-1 613,8 MHz.

الجدول 35

توزيع ترددات الموجات الحاملة في النظام GLONASS العاملة في مدى التردد GHz 1,6

رقم التردد *k*	ترددات الموجات الحاملة في النطاق الفرعي L1 (MHz)	رقم التردد *k*	ترددات الموجات الحاملة الاسمية في النطاق الفرعي L1 (MHz)
13	1 609,3125	02	1 603,125
12	1 608,75	01	1 602,5625
11	1 608,1875	00	1 602,0
10	1 607,625	01–	1 601,4375
09	1 607,0625	02–	1 600,8750
08	1 606,5	03–	1 600,3125
07	1 605,9375	04–	1 599,7500
06	1 605,375	05–	1 599,1875
05	1 604,8125	06–	1 598,6250
04	1 604,25	07–	1 598,0625
03	1 603,6875		

ب) الترشيح: جميع سواتل النظام GLONASS التي وضعت في الخدمة بعد نهاية العام 2005 مزودة بمراشيح تزيل إلى حد كبير البث خارج النطاق في نطاق الترددات 1 610,6-1 613,8 MHz وتخفف منه في النطاق 1 660,0–1 670,0 MHz إلى الحد المشار إليه في التوصية ITU-R RA.769 (للساتل الواحد).

وتظهر قيمة التوهين النسبي للإشعاعات غير المطلوبة الناتجة عن النظام GLONASS بفضل هذه المراشيح في الجدول 36.

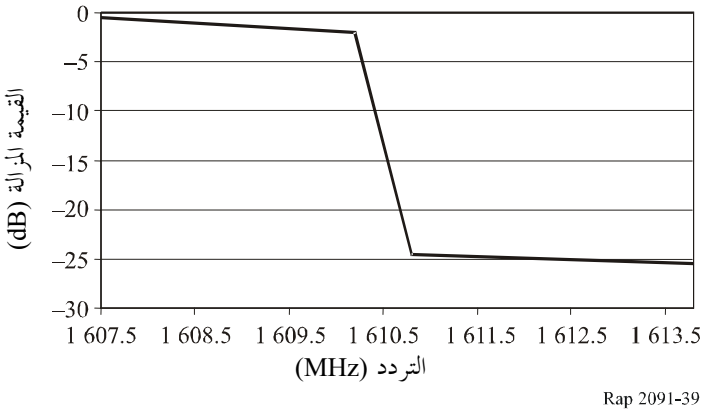
الجدول 36

قيم توهين المراشيح للإشعاعات غير المطلوبة الناتجة عن السواتل GLONASS

التردد (MHz)	القيمة المزالة (dB)
1 607,5	0,5–
1 610,2	2–
1 610,8	24,5–
1 613,8	25,5–

الشكل 39

خصائص توهين إشعاعات السواتل GLONASS باستعمال المراشيح في النطاق 610,6 1-613,8 1 MHz



Rap 2091-39

وهذه هي خصائص تصميم الجيل الجديد من السواتل GLONASS ومنها خصائص مرشاح استخدم في أحد السواتل التي أطلقت في أواخر 2003. وتظهر عمليات الرصد أن توهيناً قدره 19 dB قد تحقق. غير أن هذا التوهين غير كاف لبلوغ سوية العتبة الضارة المحددة في التوصية ITU-R RA.769 للنطاق 610,6 1-613,8 1 MHz.

وقد جرت محاكاة الإشارات التي يرسلها كل ساتل GLONASS في مدى التردد 1,6 GHz على الترددات الاسمية الواقعة بين $k = -5$ و $k = 6$ ومحاكاة خصائص المرشاح وفق الطريقة الواردة أدناه.

$$PFD(\beta_i) = L_F(f_c) + P_{si} + G_t(\theta_i) - L(\beta_i)$$

حيث:

$PFD(\beta_i)$: الكثافة pfd التي يرسلها الساتل GLONASS رقم i بدلالة زاوية الارتفاع β والمقدرة بالوحدات $dB(W/m^2)$ في نطاق التردد المرجعي Δf.

$L_F(f_c)$: التوهين الناتج عن مرشاح يركب في محطة فضائية GLONASS (انظر الشكل 39) (dB)

P_{si}: إجمالي القدرة الناتجة عن إشارة ملاحة يرسلها ساتل GLONASS رقم i في نطاق ترددات مرجعي Δf (dBW)

$G_t(\theta_i)$: كسب هوائي إرسال المحطة الفضائية GLONASS بدلالة الزاوية θ (dBi)

θ_i: الزاوية الواقعة بين المحور الرئيسي لهوائي إرسال محطة فضائية GLONASS واتجاه نقطة الاستقبال على سطح الأرض (بالدرجات)

$L(\beta_i)$: الخسارة الناتجة عن التمديد بدلالة زاوية الارتفاع β (dB/m^2)

β_i: زاوية ارتفاع محطة فضائية GLONASS عند نقطة الاستقبال على سطح الأرض (بالدرجات)

N: عدد السواتل GLONASS في الكوكبة

i: رقم الساتل GLONASS موضوع الدراسة (1,2.....N)

Δf: نطاق الترددات المرجعي للقياسات (Hz)

f_c: التردد المركزي لنطاق الترددات المرجعي للقياسات Δf (Hz).

وتتحدد القدرة الإجمالية P_{si} الناجمة عن إشارة ملاحة يرسلها ساتل GLONASS رقم i مقدرة بالوحدات dBW في نطاق التردد المرجعي Δf استناداً إلى المعادلة التالية:

$$P_{si} = 10 \log 10\left(PD \cdot \int_{-\frac{\Delta f}{2}}^{\frac{\Delta f}{2}} S_i(f)\mathrm{d}f \right)$$

$$S_i(f) = \frac{\sin\left[|f - (fx_i - fc)| \, \pi \cdot \frac{1}{fe} \right]^2}{\left[|f - (fx_i - fc)| \, \pi \cdot \frac{1}{fe} \right]^2}$$

حيث:

P_{si}: إجمالي القدرة الناتجة عن إشارة ملاحة يرسلها ساتل GLONASS رقم i في نطاق ترددات مرجعي Δf (dBW)

PD: أقصى سوية كثافة قدرة طيفية لإشارة الملاحة (W/Hz)

$S_i(f)$: خصائص طيفية لإشارة الملاحة التي تولدها محطة إرسال رقم i

f: التردد المحدد (Hz)

fx_i: تردد الموجة الحاملة لساتل GLONASS رقم i (Hz)

f_c: تردد مركزي لنطاق الترددات المرجعي للقياس Δf (Hz)

f_e: عرض نطاق عند القيمة 3 dB− من إشارة الملاحة (Hz)

Δf: نطاق ترددات مرجعي للقياس (Hz).

وتتحدد الخسارة الناجمة عن التمديد $L(\beta_i)$ بدورها استناداً إلى المعادلة التالية:

$$L(\beta_i) = 10 \log 10\left[4\pi (d(\beta_i))^2 \right]$$

$$d(\beta_i) = \sqrt{(H+R)^2 - \left(R\cos\left(\beta_i \cdot \frac{\pi}{180} \right) \right)^2} - R\sin\left(\beta_i \cdot \frac{\pi}{180} \right)$$

حيث:

$L(\beta_i)$: الخسارة الناجمة عن التمديد بدلالة زاوية الارتفاع β (dBm^2)

β_i: زاوية ارتفاع محطة فضائية GLONASS عند نقطة الاستقبال على سطح الأرض (بالدرجات)

$d(\beta_i)$: المسافة الفاصلة بين محطة إرسال فضائية ونقطة الاستقبال على سطح الأرض بدلالة زاوية الارتفاع β (m)

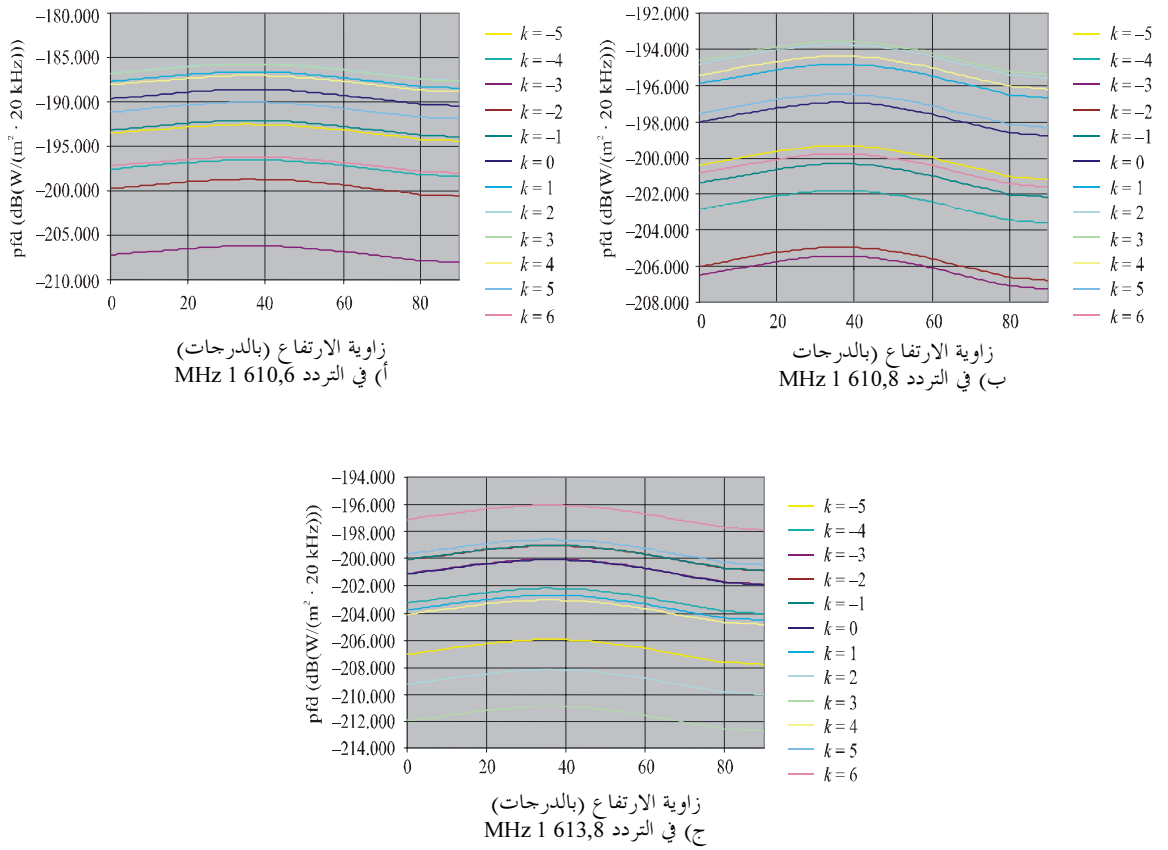
H: ارتفاع مدار محطة فضائية GLONASS فوق سطح الأرض (m)

R: نصف قطر الأرض (m).

أما سويات الكثافة pfd الناتجة عن كل ساتل GLONASS (لكل تردد موجة حاملة) مزود بالمرشاح المذكور أعلاه، فقد تحددت لجميع زوايا وصول الإشارة في الترددات الثلاثة المذكورة وهي 1 610,6 MHz و1 610,8 MHz و1 613,8 MHz، على التوالي (الشكل 40).

الشكل 40

سويات الكثافة pfd لكل ساتل GLONASS (ولكل تردد موجة حاملة)



Rap 2091-40

وفي محاكاة الكثافة epfd، اعتُمدت سويات الكثافة pfd الواردة في الجدول 37 لكل ساتل من سواتل الكوكبة وفي تردد الحالة الأسوأ (1 610,6 MHz). وهذا مثال لخطة تردد لا يعكس بالضرورة خطة التردد الفعلي التي قد تستعمل للنظام GLONASS مستقبلاً. ولأغراض التبسيط وبما أن التغيرات ضئيلة في زاوية الارتفاع اعتمد متوسط قيم جميع زوايا الارتفاع.

وقد جرى مؤخراً قياس خصائص البث خارج النطاق للجيل الجديد من السواتل GLONASS المزودة بالمراشيح في المحطة الأرضية للمراقبة Leeheim. ويبين الشكل 41 لاحقاً نتيجة هذه القياسات. ويدل المنحني الأزرق (المنحني الأعلى) على الإرسالات المقيسة للساتل GLONASS + الضوضاء في السماء الصافية، ويدل المنحني الأخضر (المنحني المتوسط) على سوية الضوضاء في السماء الصافية، أما المنحني الأحمر (الأسفل) فعلى الفرق بين المنحنيين الأزرق والأخضر.

وتظهر القياسات أن التشكيل عرف تحسّناً بين السواتل GLONASS القديمة والحديثة وأن المرشاح استخدم بهدف خفض سوية الإشعاعات غير المطلوبة بمقدار 19 dB في نطاق الخدمة RAS 1 610,6-1 613,8 MHz. ويبدو المرشاح المستخدم متخالفاً مع مركز النطاق 1 610,6-1 613,8 MHz.

ويساعد استخدام التشكيل المحسَّن على حل المشكلة التي تطرحها قيم الذروة المعدومة في نطاق الخدمة RAS 1 660-1 670 MHz. والتردد المركزي لإشارة GLONASS مقيسة هو 1 604,25 MHz، أي التردد الذي يعادل الرقم $k = 4$ في الجدول 35. وهذه الموجة الحاملة هي أقرب قناة تشغيل لنطاق الخدمة RAS. وتبلغ سوية الكثافة pfd المقيسة عند التردد 1 610,6 MHz حوالي –173,8 dB(W/(m^2.20 kHz)).

والقياسات الحالية غير قادرة على بيان السوية الفعلية للبث خارج النطاق لأن حساسية محطة المراقبة غير معروفة. ومن غير المؤكد أن أخفض قيمة pfd مقيسة عند التردد 1 613,8 MHz (–189 dB(W/(m^2 . 20 kHz)) تعادل إرسال الساتل GLONASS أو ضوضاء محطة المراقبة.

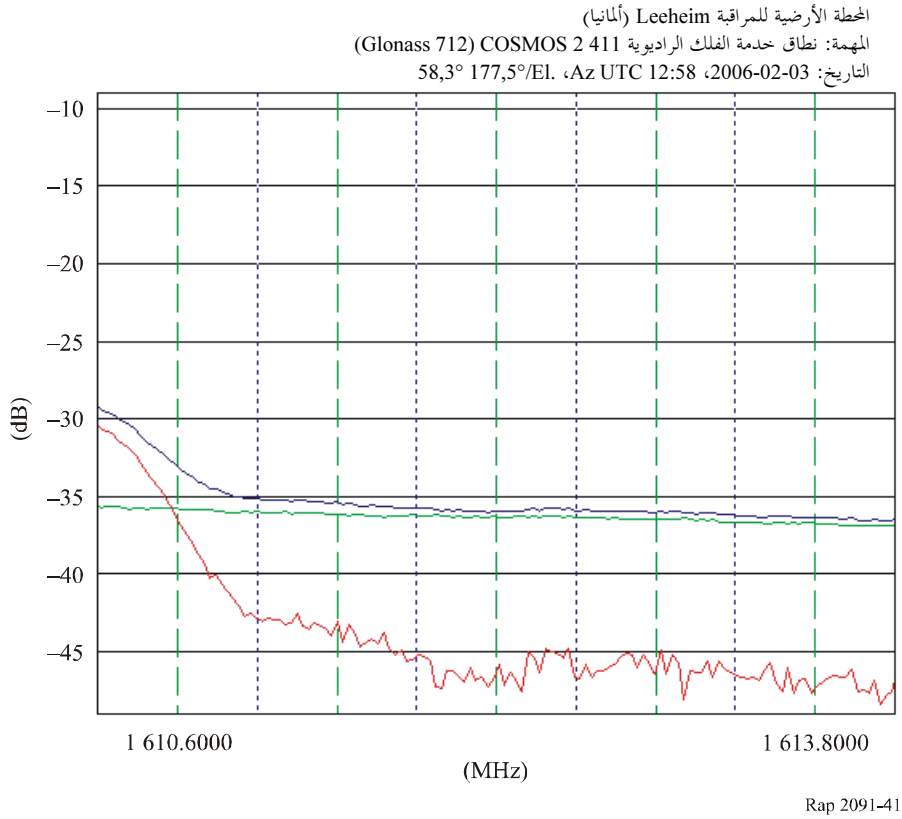
الجدول 37

سويات الكثافة pfd لكل ساتل GLONASS في الكوكبة

رقم الساتل	الموجة الحاملة k	الكثافة pfd (dB(W/(m^2 · 20 kHz)))		
		MHz 1 610,6	MHz 1 610,8	MHz 1 613,8
1	5–	193–	200–	207–
2	4–	197–	203–	203–
3	3–	206–	206–	201–
4	2–	198–	206–	201–
5	1–	192–	201–	200–
6	0	188–	198–	201–
7	1	187–	197–	203–
8	2	186–	194–	209–
9	3	186–	194–	212–
10	4	187–	195–	204–
11	5	190–	197–	199–
12	6	197–	201–	197–
13	5–	193–	200–	207–
14	4–	197–	203–	203–
15	3–	206–	206–	201–
16	2–	198–	206–	201–
17	1–	192–	201–	200–
18	0	188–	198–	201–
19	1	187–	197–	203–
20	2	186–	194–	209–
21	3	186–	194–	212–
22	4	187–	195–	204–
23	5	190–	197–	199–
24	6	197–	201–	197–

الشكل 41

سويات البث خارج النطاق لسواتل GLONASS من الجيل الجديد في مدى الترددات 610,6-1 613,8-1 MHz



3.10 عتبة المواءمة

فيما يتعلق بحالة الكوكبات الساتلية غير المستقرة بالنسبة للأرض، يمكن استنتاج سوية عتبة كثافة epfd قدرها –258 dB(W/(m^2)) للنطاق 610,6-1 613,8-1 MHz استناداً إلى سوية عتبة الكثافة pfd الضارة بعمليات الرصد الفلكي الراديوي التي تحددها التوصية ITU-R RA.769 وإلى أقصى كسب هوائي لعلم الفلك الراديوي تحدده التوصية ITU-R RA.1631 وهو 64 dBi لنطاق الترددات هذا.

4.10 تقدير التداخل

1.4.10 المنهجية المتبعة في تقدير سوية التداخل

تقدم التوصية ITU-R M.1583 طرائق لتقييم سوية الإشعاعات غير المطلوبة التي ينتجها نظام ساتلي غير مستقر بالنسبة للأرض في مواقع علم الفلك الراديوي. وتقوم هذه المنهجية على أساس تقسيم الأيونوسفير إلى خلايا بزوايا مجسمة متساوية تقريباً وعلى دراسات إحصائية يكون فيها اتجاه تسديد هوائي الخدمة RAS ولحظة بدء تشغيل الكوكبة الساتلية المتغيرين العشوائيين. وفي كل محاولة، تحسب سوية الإشعاعات غير المطلوبة (معبراً عنها بالكثافة epfd) وسطياً خلال فترة زمنية مدتها 000 2 ثانية.

وفيما يتعلق بمحاكاة الأنظمة GPS وGLONASS وGALILEO، تعادل الخصائص المختارة خصائص التلسكوب الراديوي ايفلسبرغ في ألمانيا الذي يرصد في عرض النطاق المعين مع هوائي قطره 100 m وكسبه الأقصى 64 dBi تقريباً. ويؤخذ مخطط الهوائي والكسب الأقصى للهوائي من التوصية ITU-R RA.1631.

أما الإحداثيات الجغرافية فهي:

خط العرض: 50,7° شمالاً خط الطول 7,0° شرقاً

وفيما يخص عمليات المحاكاة للنظام QZSS، فإن الخصائص المنتقاة تقابل خصائص التلسكوبين الراديويين كاشيما وأوسودا في اليابان. وقد استمد مخطط الهوائي والكسب الأقصى للهوائي البالغ 64 dBi من التوصية ITU-R RA.1631.

والإحداثيات الجغرافية للتلسكوب الراديوي كاشيما هي:

خط العرض: 35,95° شمالاً خط الطول: 140,67° شرقاً

أما الإحداثيات الجغرافية للتلسكوب الراديوي أوسودا فهي:

خط العرض: 36,12° شمالاً خط الطول: 138,35° شرقاً

وأجريت عمليات المحاكاة باعتبار أن زاوية الارتفاع الدنيا هي 0° للتلسكوب وذلك من أجل الحصول على نتائج عامة.

وفي حالة النظام GLONASS، قد تتغير الكثافة pfd المشعة في نطاق خدمة الفلك الراديوي من ساتل إلى ساتل نظراً لأن كل ساتل قد يستعمل موجة حاملة مختلفة.

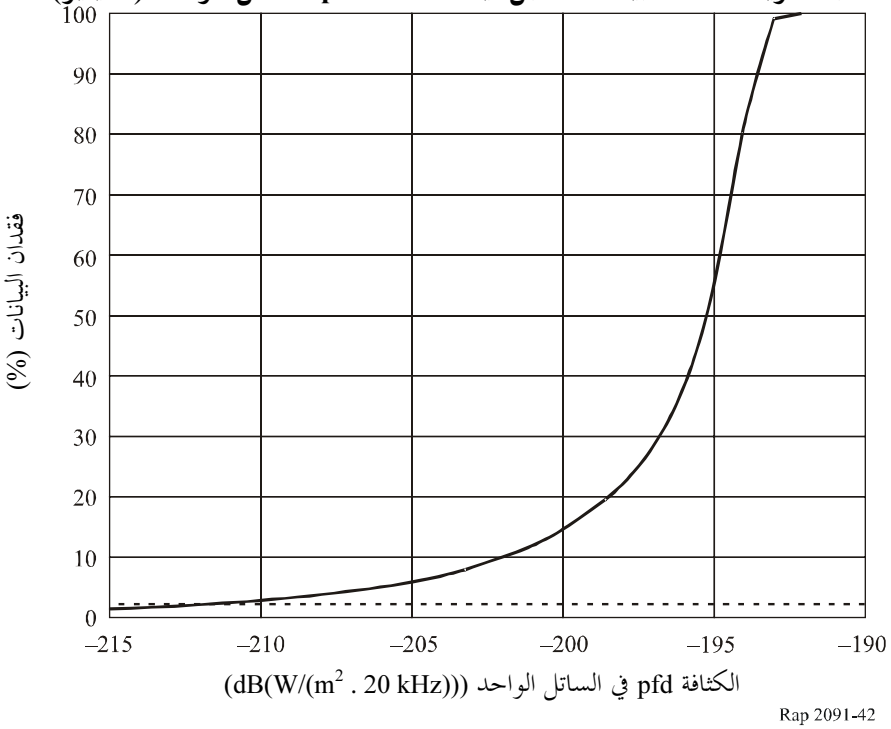
2.4.10 حساب سوية التداخل

1.2.4.10 نظام غاليليو (GALILEO)

يبين الشكل 42 النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز عتبة الكثافة epfd في موقع علم الفلك الراديوي وذلك بالنسبة لقيمة pfd معينة يولدها الساتل غاليليو (ويعني تجاوز هذه العتبة كما ورد شرحه في التوصية ITU-R RA.1513 فقدان البيانات).

الشكل 42

النسبة المئوية لفقدان البيانات مقابل قيمة الكثافة pfd للساتل الواحد (غاليليو)



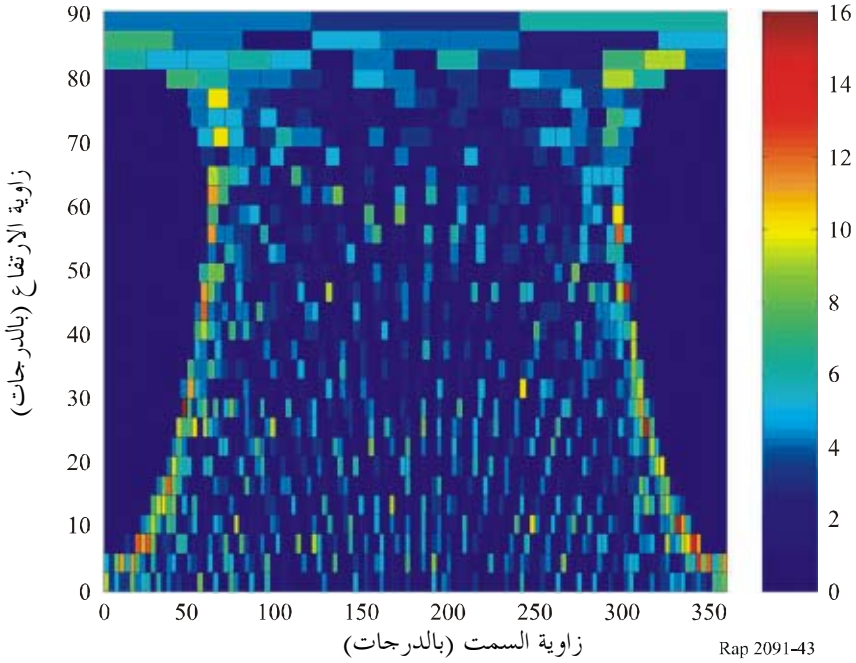
ومن أجل التقيد بسوية العتبة epfd خلال ما يزيد عن 98% من الوقت وسطياً في كامل الأيونوسفير ينبغي أن تكون الكثافة pfd التي يولدها كل ساتل غاليليو أقل من –212 dB(W/(m2.20 kHz)) في نطاق خدمة الفلك الراديوي.

ويبين الشكل 43 لكل خلية من خلايا الأيونوسفير ولكل قيمة pfd (للساتل الواحد) قدرها –212 dB(W/(m2 . 20 kHz)) النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز عتبة الكثافة epfd. ويلاحظ أن هذه النسبة لا تتجاوز أبداً 14% للخلية الواحدة، وبالتالي فإنها لا تسبب أبداً أي حجب للأيونوسفير في أي جزء منه.

وفي الأشكال 43 و45 و47 و49 و50، تتجه زاوية السمت 0° شمالاً وتزداد في الاتجاه من الغرب إلى الشرق.

الشكل 43

النسبة المئوية لفقدان البيانات في الأيونوسفير لكثافة قدرها −212 (dB(W/(m² . 20 kHz)) (غاليليو



2.2.4.10 النظام GPS

يبين الشكل 44 النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز عتبة الكثافة epfd في موقع علم الفلك الراديوي وذلك بالنسبة لقيمة pfd معينة يولدها كل ساتل GPS.

ومن أجل التقيد بسوية العتبة epfd خلال ما يزيد عن 98% من الوقت وسطياً في كامل الأيونوسفير ينبغي أن تقل قيمة الكثافة pfd التي يولدها كل ساتل GPS عن −212 (dB(W/(m² . 20 kHz)) في نطاق خدمة علم الفلك الراديوي. وهذه القيمة مماثلة لتلك التي نتجت للنظام غاليليو.

ويبين الشكل 45 بالنسبة لكل خلية من خلايا الأيونوسفير وكل قيمة pfd (للساتل الواحد) قدرها −212 (dB(W/(m² . 20 kHz)) النسبة المئوية من عمليات الرصد التي جرى فيها تجاوز العتبة epfd. ويلاحظ أنها لم تتجاوز أبداً 18% للخلية الواحدة، وبالتالي لم تسبب أي حجب للأيونوسفير في أي جزء منه.

3.2.4.10 النظام QZSS

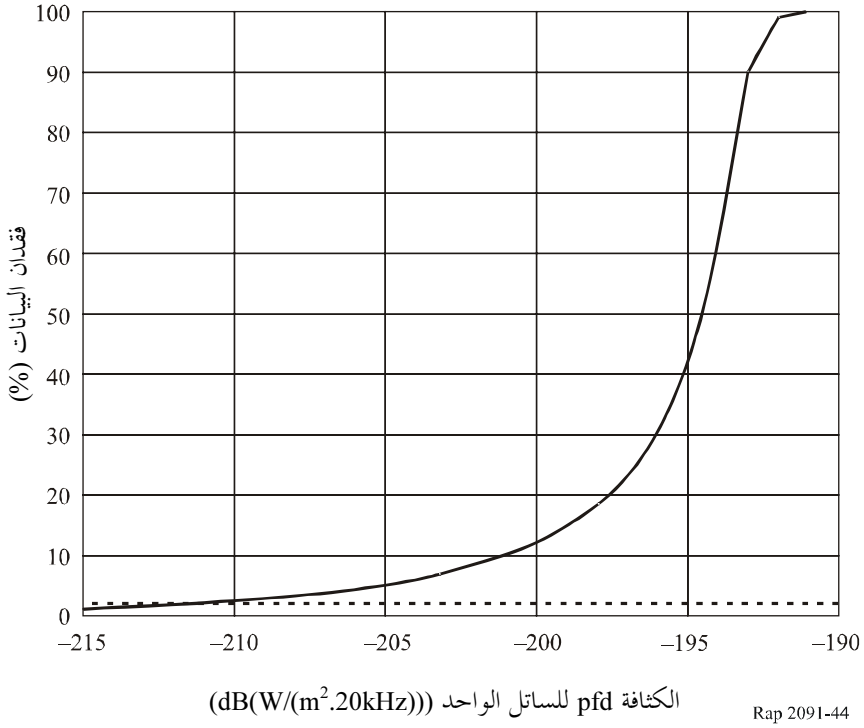
نظراً لأن محاكاة التلسكوب الراديوي كاشيما تسفر عن سويات الحالة الأسوأ للكثافة epfd، فإن نتائج حسابات هذه السويات تعرض هنا.

ويبين الشكل 46 النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز العتبة epfd في موقع علم الفلك الراديوي وذلك لقيمة معينة من الكثافة pfd يولدها الساتل QZSS (ويعني تجاوز هذه العتبة كما يرد في التوصية ITU-R RA.1513 فقدان البيانات).

ومن أجل التقيد بالعتبة epfd خلال ما يزيد عن 98% من الوقت وسطياً في كامل الأيونوسفير، ينبغي ألاّ تزيد الكثافة pfd التي يولدها كل ساتل QZSS عن −203 (dB(W/(m² . 20 kHz)) في نطاق خدمة الفلك الراديوي. وعلى سبيل التذكير تبلغ هذه القيمة pfd في حالة التلسكوب الراديوي أوسودا −202,5 (dB(W/(m² . 20 kHz)).

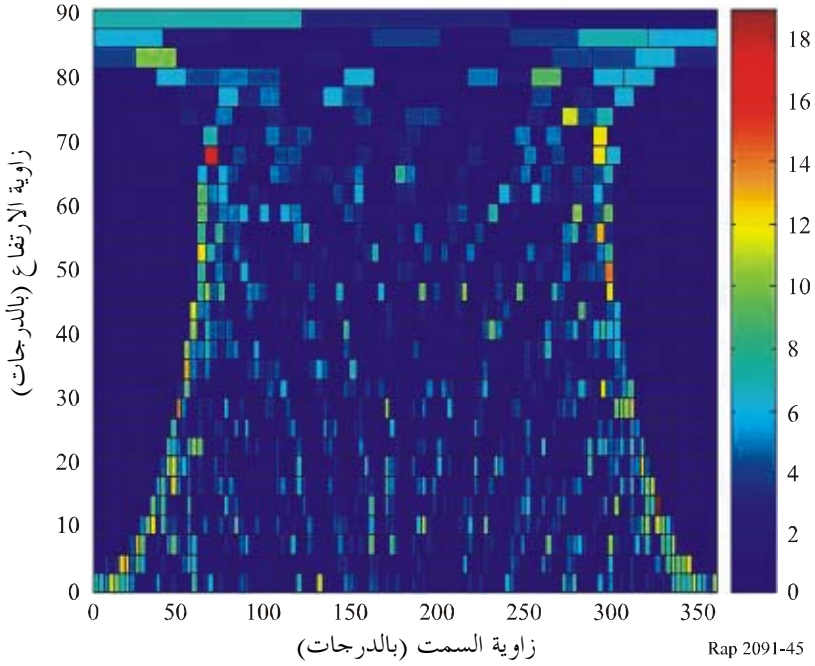
الشكل 44

النسبة المئوية لفقدان البيانات مقابل قيمة الكثافة pfd لكل ساتل (GPS)



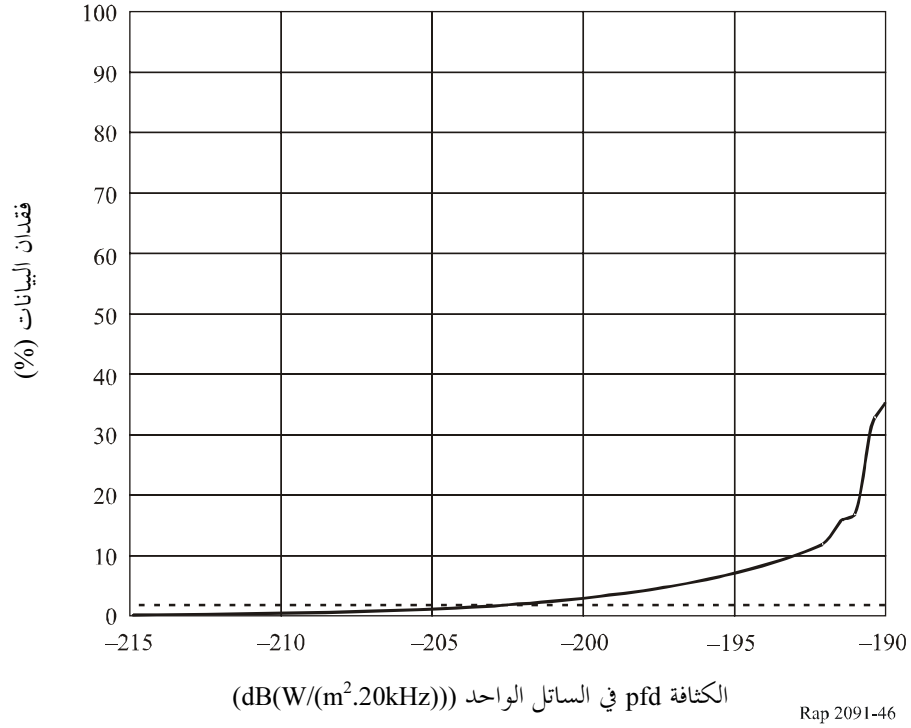
الشكل 45

النسبة المئوية لفقدان البيانات في الأيونوسفير لكل كثافة pfd قدرها –212 (GPS) dB(W/(m^2.20 kHz))



الشكل 46

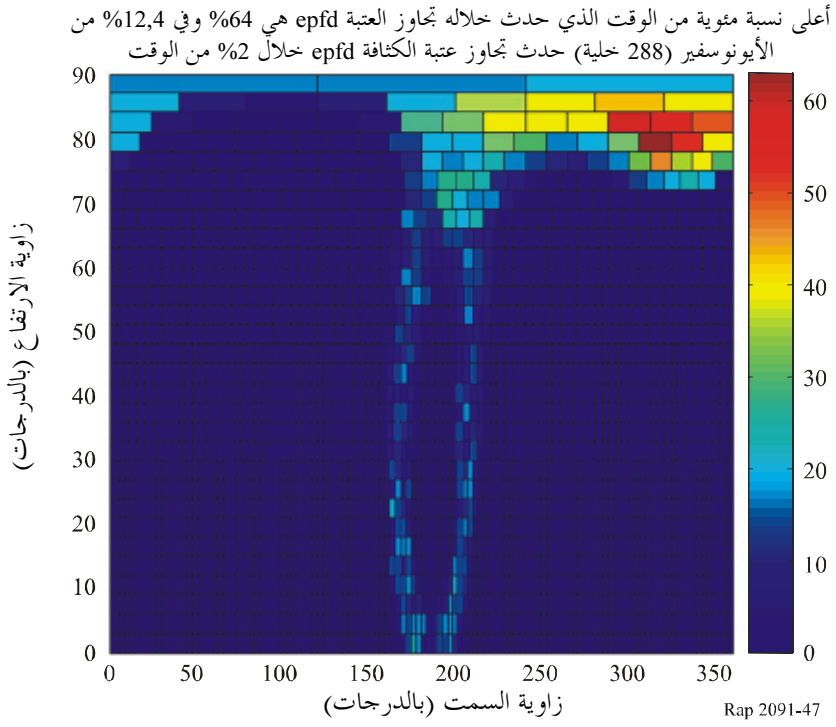
النسبة المئوية لفقدان البيانات مقابل الكثافة pfd في الساتل الواحد (من النظام QZSS إلى التلسكوب الراديوي كاشيما)



ويبين الشكل 47 النسبة المئوية من الوقت التي يجري خلالها تجاوز العتبة epfd في التلسكوب الراديوي كاشيما وذلك في كل خلية من خلايا الأيونوسفير وللقيمة pfd المذكورة سابقاً للساتل الواحد.

الشكل 47

النسبة المئوية لفقدان البيانات في الأيونوسفير نسبة لكل قيمة –203 dB(W/(m^2.20 kHz))
من الكثافة pfd في التلسكوب الراديوي كاشيما (QZSS)



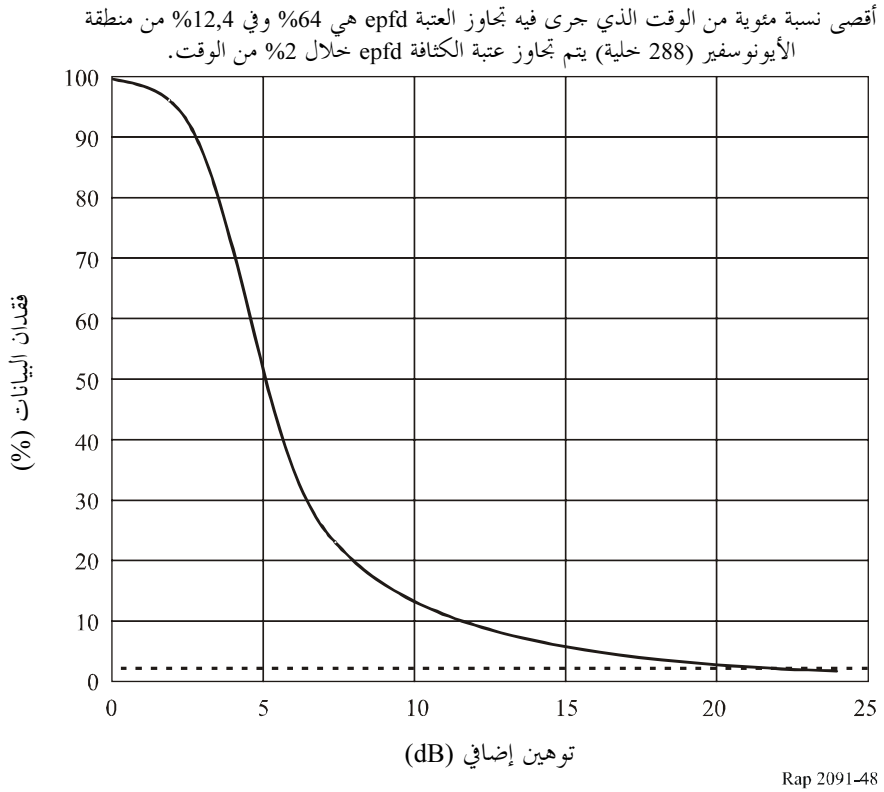
وتحسب سوية الإشعاعات غير المطلوبة الناتجة عن سواتل النظام QZSS في الفقرة 2.3.4.2.10 على أنها –205 (dB(W/(m^2 . 20 kHz))، لذا فإن هذه القيمة أقل بمقدار 2 dB من سوية الكثافة pfd المحددة أعلاه.

4.2.4.10 النظام GLONASS

يبين الشكل 48 النسبة المئوية من فقدان البيانات في عرض نطاق قدره 20 kHz يقع في مركز التردد 610,6 1 MHz كدلالة للتوهين إضافة إلى التوهين الذي قد ينجم عن تصميم المرشاح الحالي للسواتل GLONASS كما هو مبين في الشكل 39.

الشكل 48

النسبة المئوية من فقدان البيانات مقابل التوهين المضاف إلى الكثافة pfd الواردة في الجدول 34 للتردد 610,6 1 MHz



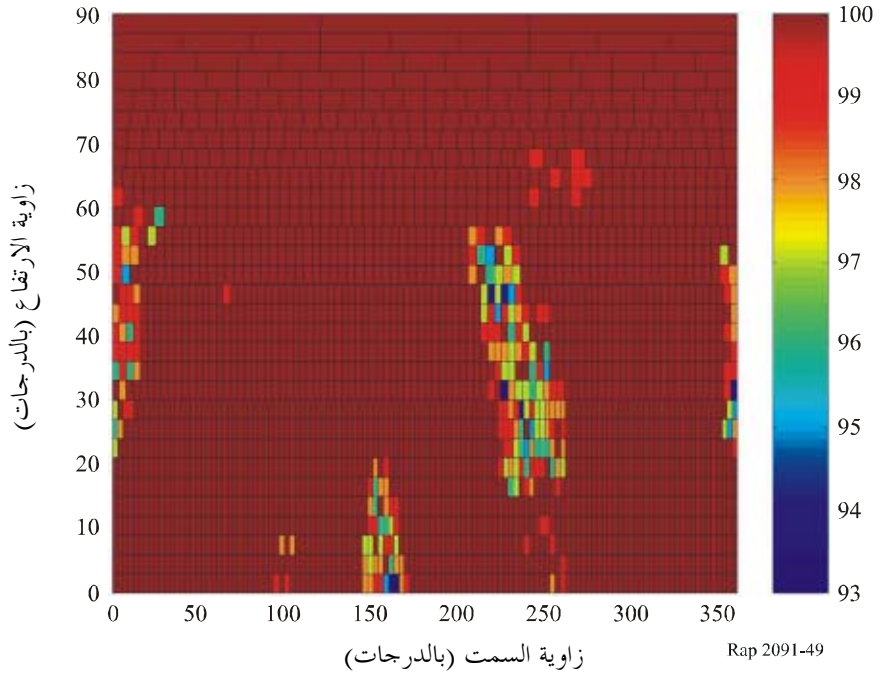
يُظهر هذا الشكل أن النسبة المئوية لفقدان البيانات تبلغ 99,8% تقريباً في الأيونوسفير إذا أشعت جميع سواتل GLONASS في المستقبل بنفس سويات الكثافة pfd التي تشعها السواتل GLONASS المزودة بالمراشيح الوارد وصفها في الشكل 39. ومن أجل التقيد بالنسبة المسموح بها من فقدان البيانات البالغة 2%، ينبغي اللجوء إلى توهين إضافي بمقدار 22 dB.

ويبين الشكلان 49 و50 النسبة المئوية لفقدان البيانات في الأيونوسفير في التردد 610,6 1 MHz بالنسبة إلى سويات الكثافة pfd الواردة في الجدول 37 والسويات pfd التي جرى خفضها بمقدار 22 dB، على التوالي.

ويجدر بالذكر أنه عند انحراف قدره 200 kHz فقط عن التردد 610,6 1 MHz (أي التردد 610,8 1 MHz) ومن أجل التقيد بالنسبة المسموح بها من فقدان البيانات والبالغة 2%، ينبغي إضافة توهين بمقدار 14,5 dB بدلاً من 22 dB تبعاً لخصائص المرشاح (انظر الشكل 39).

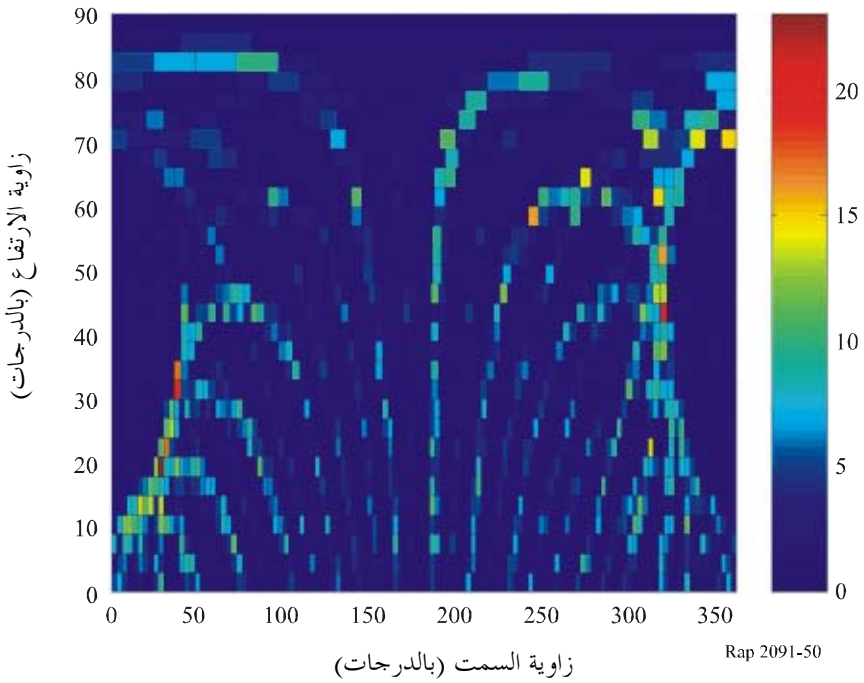
الشكل 49

النسبة المئوية لفقدان البيانات في الأيونوسفير في حالة سويات الكثافة pfd الواردة في الجدول 37 عند التردد 1 610,6 MHz



الشكل 50

النسبة المئوية لفقدان البيانات في الأيونوسفير في حالة توهين إضافي قدره 22 dB عند التردد 1 610,6 MHz



3.4.10 القيم الناتجة

إن سويات الكثافة pfd للإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن الأنظمة GALILEO وGPS وQZSS وGLONASS والواردة في الجداول 26 و29 و32 و37 تُظهر أن هذه الأنظمة ستفي بشرط سويات عتبة الكثافة epfd التي تنص عليها التوصية ITU-R RA.769 بفارق قدره 2 و3,3 و2 dB، على التوالي.

غير أن النظام GLONASS للخدمة RNSS لن يفي بشرط سوية العتبة epfd التي تنص عليها التوصية ITU-R RA.769 في النطاق 610,6-613,8 MHz 1 قدره 22 dB.

5.10 تقنيات تخفيف التداخل

1.5.10 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

هنالك تقنيات مختلفة منها تلك الواردة أدناه يمكن استخدامها لخفض الإشعاعات غير المطلوبة في التلسكوب الراديوي والناجمة عن المرسلات الساتلية.

أداء الفصوص الجانبية للهوائي: تستمثل عادة إضاءة فتحة تلسكوب راديوي من أجل الحصول على أفضل نسبة *G/T* أي نسبة كسب التلسكوب إلى درجة حرارة النظام. وذلك من أجل الحصول على أكبر نسبة للإشارة إلى الضوضاء (*S/N*) في المصادر النقطية. والعنصر الهام في هذه الطريقة هو خفض إشعاعات سطح الأرض الواصلة إلى الفصوص الجانبية البعيدة. وذلك يؤدي حتماً إلى زيادة مقابلة في سويات الفصوص الجانبية القريبة. وقد أظهرت التجربة أن غالبية التلسكوبات الراديوية تتقيد بقناع الفص الجانبي للغلاف الوارد في التوصية ITU-R SA.509 وذلك في معظم الاتجاهات.

الانقطاع في الزمن و/أو التردد: يمكن استخدام هذه التقنية في بعض الحالات حيث يتحدد التداخل في نطاق تردد خدمة علم الفلك الراديوي بصورة كاملة ودون لبس في الزمن و/أو التردد. غير أنه لا يمكن استخدام هذه التقنية إلا عندما تكون النسبة المئوية لفقدان البيانات منخفضة بقدر كافٍ.

2.5.10 الخدمة الساتلية للملاحة الراديوية (RNSS)

هنالك تقنيتان على الأقل لتخفيف التداخل يمكن استخدامهما من أجل خفض مقدار الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن سواتل الخدمة RNSS، وهما:

- الترشيح؛
- استعمال خطة تردد محسنة.

وتقدم الفقرات أدناه أمثلة لتطبيق هاتين التقنيتين في أنظمة الخدمة RNSS القائمة.

بدأ أولاً تشغيل نظامي خدمة RNSS في النطاق 559-610 MHz 1 باستعمال كل منهما للتشكيل بتمديد الطيف. وقد بدأ تشغيلهما دون ترشيح إرسالهما وجرى الإعلام عن تداخل ناجم عن كليهما في محطات علم الفلك الراديوي في النطاق 610,6-613,8 MHz 1.

وقد جرى خفض الإشعاعات غير المطلوبة في النطاق 610,6-613,8 MHz 1 والناجمة عن أحد النظامين الذي يعمل بترددات أدنى في نطاق الخدمة RNSS بما يرضي جماعة علم الفلك الراديوي، وذلك من خلال إدراج مراشيح في سواتل هذا النظام التي أطلقت بعد الإبلاغ عن التداخل (انظر الفقرة 2.2.4.2.10 أعلاه).

أما النظام الثاني، فقد بدأ العمل في النطاق 610,6-613,8 MHz 1 عندما كان توزيع هذا النطاق للخدمة RAS لم يزل على أساس ثانوي. ومن أجل تحسين وضع التداخل في هذا النطاق، أبرم اتفاق بين مشغلي الساتل واللجنة الداخلية للاتحاد المعنية بتوزيع الترددات لخدمة علم الفلك الراديوي وعلوم الفضاء (IUCAF) والتي تمثل جماعة علم الفلك الراديوي في جميع أنحاء العالم (الوثيقة WRC-93/43). ويتضمن هذا الاتفاق طريقة تدريجية لاستيفاء معايير حماية خدمة علم الفلك الراديوي تنفذ في

غضون بضع سنوات. وعملاً بالاتفاق المذكور، روجعت خطة القنوات ونقلت الإرسالات الساتلية إلى الترددات الأدنى من ترددات النطاق 610,6-613,8 MHz 1. كما زودت السواتل الجديدة للنظام بمراشيح إضافية (انظر الشكل 39) تتيح خفض البث خارج النطاق وسويات العتبة المحددة وفقاً للتوصية ITU-R RA.769.

وقد وضعت المراشيح المذكورة آنفاً بين هوائي الإرسال وكل مرسل يولد إشعاعات إشارات ملاحة في النطاق L من خلال تجميع القدرة في نفس الطور.

3.5.10 التأثير المحتمل

1.3.5.10 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

أداء الفصوص الجانبية للهوائي: يبدو أن محاولات خفض حساسية هوائي خدمة الفلك الراديوي للإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن محطات فضائية تساهم في زيادة حساسية تلسكوب هذه الخدمة لإشعاعات الأرض، كما قد تخفض من كسب حزمته الرئيسية. وسيضعف هذان التأثيران قدرة قنوات التلسكوب، مما قد يؤدي إلى زيادة إجمالي الوقت المطلوب للتكامل.

الانقطاع في الزمن و/أو التردد: ينطوي الانقطاع على خطر يتهدد تكاملية البيانات وقد يفضي إلى وقوع أخطاء في التفسير العلمي لهذه البيانات. كما قد يسبب الانقطاع زيادة ملازمة لإجمالي وقت التكامل المطلوب لإجراء عملية الرصد، وذلك يعني خسارة في قدرة قنوات التلسكوب.

وإذا تجاوز نظام RNSS سوية عتبة الكثافة epfd المستمدة من التوصية ITU-R RA.769 في النطاق 610,6-613,8 MHz 1 قد يتعذر على الخدمة RAS استعمال هذا النطاق لأغراض رصد جزيئات الهيدروكسيل.

2.3.5.10 الخدمة الساتلية للملاحة الراديوية

قد يكون من الصعب استخدام حلول مادية من قبيل المراشيح. وقد يحتاج كل عنصر من عناصر الهوائي في الهوائيات النشيطة متعددة العناصر إلى مرشاح، مما سيؤدي إلى زيادة وزن الساتل. وستستدعي الخسارة الناجمة عن المراشيح استعمال مرسلات أكثر قدرة، مما يتطلب بدوره مزيداً من القدرة للإرسال وبالتالي شبكات شمسية أكبر. وذلك سيزيد أيضاً من الوزن. كما أن ساتلاً كبيراً وثقيلاً يحتاج إلى جهاز إطلاق ضخم. والتكاليف المترتبة ستكون باهظة. أما إدخال تحسينات تقنية على تصميم المرشاح فيساهم في مواجهة هذه المشكلة. ويبقى استخدام مراشيح في النظام أمراً ممكناً خاصة إذا ما جرى في مرحلة تصميم النظام.

كما أن تركيب مراشيح في السواتل GLONASS أدى إلى ظهور المشاكل الهامة التالية:

- تصبح مطاورة البث المرسل الذي يشكل إشارة الملاحة على نفس التردد الوحيد أمراً شديد التعقيد. ويؤدي عدم المطاورة الملائمة إلى تشوه مخطط إشعاع الهوائي وخسارة في قدرة إرسال إشارات الملاحة.
- لوحظ مزيد من الخسارة في نطاق مرور المراشيح، مما أضعف سوية الإشارة المرسلة للملاحة.
- لوحظ مزيد من التأخير لإشارة التشكيل في النطاق L1 ونتج عن ذلك خطأ إضافي من أخطاء عدم الدقة الأيونوسفيرية التي يتعين على المستعمل تحملها.

ويعتبر الاتحاد الروسي أن الشروط التي اتفق عليها سابقاً بين اللجنة IUCAF وإدارة الساتل GLONASS قد استوفيت.

أما ضرورة مزيد من خفض الإشعاعات غير المطلوبة في نطاق علم الفلك الراديوي إلى جانب الخفض الذي تتيحه المراشيح والمبين في الشكل 39، فقد تؤدي إلى زيادة حدة المشاكل المذكورة آنفاً. وإذا لم تؤخذ إشارات الملاحة بعين الاعتبار في الحل المقدم للملاحة، فإن تطبيقات النظام GLONASS المتصلة بالسلامة البشرية سيتهددها الخطر.

ونظراً إلى أن إنتاج السواتل GLONASS المزودة بالمراشيح قد بدأ حديثاً، فإن خصائص هذه المراشيح لن تتغير في المستقبل القريب.

6.10 نتائج الدراسة

يمكن في هذا النطاق التقيد بسويات عتبة التداخل الضار بعمليات الرصد الفلكي الراديوي كما ورد في الفقرة 3.1.10 وذلك في الخدمة النشيطة وفي حالتي الرصد VLBI ورصد الخطوط الطيفية بهوائي مكافئي واحد وعند استعمال تقنيات تخفيف التداخل. ولا تجرى في هذا النطاق أي عمليات رصد طيف متصل بهوائي مكافئي واحد. وتظهر نتائج التحليلات الواردة في الفقرة 4.10 أنه فيما يخص نظام قائم ونظام قيد النشر وآخر للخدمة RNSS تعمل جميعها أو يتوقع أن تعمل في النطاق 1 559-1 610 MHz، فإن سويات الإشعاعات غير المطلوبة الواقعة في النطاق 1 610-1 613,8 MHz قد تفي بمعايير حماية خدمة علم الفلك الراديوي، إذا ما استخدمت تقنيات تخفيف التداخل. كما أظهرت أن ذلك لا ينطبق على أي نظام قائم آخر يعمل في نفس النطاق.

11 تحليل المواءمة بين أنظمة الخدمة RAS العاملة في النطاق 1 610,6-1 613,8 MHz وأنظمة الخدمة MSS (فضاء–أرض) العاملة في النطاق 1 613,8-1 626,5 MHz

1.11 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

1.1.11 النطاق الموزع

النطاق 1 610,6-1 613,8 MHz موزع لخدمة علم الفلك الراديوي على أساس أولي.

ويحث الرقم 149.5 من لوائح الراديو الإدارات على اتخاذ جميع الخطوات الممكنة عملياً من أجل حماية خدمة علم الفلك الراديوي في هذا النطاق.

2.1.11 نمط عمليات الرصد

يستعمل النطاق 1 610,6-1 613,8 MHz لإجراء عمليات رصد الخطوط الطيفية للعنصر OH (مركب مجموعة الهيدروكسيل). وللخط OH تردد راحة هو 1 612 MHz، وهو أحد أهم الخطوط الطيفية لعلم الفلك الراديوي ويرد ذكره على هذا النحو في التوصية ITU-R RA.314. والمركب OH هو أول مركب كوني كشف في الترددات الراديوية (1963)، وما زال يمثل أداة بحث هامة. وهو ينتج أربعة خطوط طيفية قرب الترددات 1 612 و1 665 و1 667 و1 720 MHz، التي رصدت جميعاً في مجرتنا وفي مجرات أخرى على حد سواء. وتقدم دراسة الخطوط OH معلومات عن عدد كبير من الظواهر الفلكية، مثل تشكل النجوم البدائية وتطور النجوم. ومن أجل تفسير معظم عمليات الرصد في الخطوط OH، لا بد من قياس الشدة النسبية لعدد من هذه الخطوط. وقد يحول فقدان القدرة على مراقبة أي من هذه الخطوط دون دراسة بعض أصناف الظواهر الفيزيائية.

وتنتج هذه الخطوط OH في عمليات متناسقة يُشع فيها تركيز الجذور OH "تدريجياً" وتنتج إرسالات ضيقة النطاق. وقد توسعت قليلاً بسبب الظروف الفيزيائية في هذا التركيز. وتفرض حركة هذه التركيزات فيما يتعلق بالأرض زحزحة دوبلر في إرسال الخط الطيفي. ويؤدي وجود عدة تركيزات في المنشأ تتحرك بسرعات متباينة إلى طيف أشد تعقيداً يتألف من عدد من خصائص الخطوط الغوسية المتراكمة ومختلفة العرض والاتساع وقليلة التباين في ترددها (بسبب زحزحة دوبلر المختلفة). وعرض توزيع النطاق ضروري من أجل إجراء تمديد الطيف وزحزحته من خلال تحركات تفاضلية وإجمالية في المنشأ.

ولا تشع بعض أصناف النجوم في بعض مراحل تطورها إلا في خط التردد 1 612 MHz. وتتيح دراسة هذا الخط لعلماء الفلك أن يخمنوا الخواص الفيزيائية لهذه النجوم مثل معدل إرسالها للغازات وإعادة استعمالها في الوسط ما بين النجوم، علماً بأن بعض هذه الخواص لا يمكن استنتاجها من أي عملية رصد فلكية أخرى. كما استعملت قياسات إرسالات النجوم لمركبات OH من أجل تقدير المسافة إلى مركز المجرة وقياس حجم الجسم المركزي للكوكبة الأرضية ودراسة التوزيع في الفضاء للمكونات الجزيئية في هذه المجرة والمجرات الخارجية. وأخيراً جرى كشف إرسالات ميزرية شديدة القوة قرب نَوَيات

عدد من المجرات الخارجية. وتتيح هذه الإرسالات OH الميغاميزرية الناتجة عن النَويَات المجرية لعلماء الفلك دراسة حرارة وكثافة الجزيئات الغازية في مركز المجرة.

ويرصد الخط الطيفي OH أيضاً في النجوم المذنبة؛ ومن الصعب جداً برمجة عمليات الرصد لهذه "الأهداف بالمصادفة".

وتجري عمليات رصد الخطوط الطيفية باستعمال مقاييس طيفية قادرة على تكامل القدرة في عدد كبير من قنوات التردد (عادة 256-096 4) التي لها توزيعات في نطاق التردد المستعمل. ويتعين أن تكون القنوات بعرضها وعددها كافية لإعادة إنتاج طيف الإرسال الذي يستقبله التلسكوب الراديوي بصورة دقيقة. وتستعمل عروض نطاق آنية تتراوح عادة بين -20 kHz ~0,2 للقناة الواحدة، تبعاً للبرنامج العلمي المعني.

والمصادر الراديوية صغيرة، ويتطلب قياس حجمها وبنيتها عمليات رصد تستعمل التقنية VLBI.

3.1.11 معايير الحماية المطلوبة

تحدد التوصية ITU-R RA.769 معايير حماية عمليات الرصد الفلكي الراديوي وسويات العتبة للتداخل الضار بنطاقات خدمة الفلك الراديوي التي لها توزيعات على أساس أولي. ففي النطاق 610,6 1-613,8 1 MHz، وفيما يخص عمليات رصد الخطوط الطيفية بهوائي مكافئي واحد وباستعمال عرض نطاق قناة (إحدى قنوات مقياس الطيف) قدره 20 kHz، تتحدد قيمة عتبة الكثافة pfd بالقيمة –194 dB(W/m^2). ولا يستعمل هذا النطاق إلا لعمليات رصد الخطوط الراديوية وليس لعمليات رصد الطيف المتصل.

وفيما يخص التداخل الضار الناتج عن أنظمة ساتلية غير مستقرة بالنسبة للأرض، ترد معايير الحماية والطرائق المتصلة بها في التوصيتين ITU-R RA.769 وITU-R RA.1513، وكذلك في التوصية ITU-R S.1586 بالنسبة لأنظمة الخدمة الثابتة الساتلية وفي التوصية ITU-R M.1583 بالنسبة لأنظمة الخدمة MSS والخدمة RNSS.

وتشكل سويات عتبة التداخل الضار بالخدمة RAS وفق تحديدها وحسابها الواردين في التوصية ITU-R RA.769 معايير الحماية التي يؤدي تجاوزها إلى تراجع نوعية البيانات الفلكية الراديوية وربما إلى تلفها. ومبدئياً في الظروف المثلى، عندما يكون تجاوز هذه السويات طفيفاً، يمكن التعويض عنه بإطالة زمن الرصد في المرصد الفلكي الراديوي. وفي هذه الحالة، تنقص قدرة قنوات التلسكوب ويقابلها نقصان في معدل إنتاج البيانات العلمية. وعندما تزيد سوية التداخل وفق فرضيات التوصية ITU-R RA.769 (مثل أداء الهوائي وغيره) عن القيمة المحددة في التوصية المذكورة بمقدار 10 dB أو أكثر، فإن إطالة زمن الرصد لا تعود كافية لضمان بيانات علمية صالحة يمكن تقديمها للعلماء. وستفقد محطة علم الفلك الراديوي عندئذ قدرتها على العمل في نطاق التردد المتأثر وعلى توفير الخدمة إذا لم تلجأ إلى تقنيات تخفيف التداخل الملائمة.

4.1.11 الخصائص التشغيلية

تُجرى عمليات الرصد في النطاق 612 1 MHz في عدد من مواقع علم الفلك الراديوي في العديد من البلدان في أنحاء العالم. والغرض من هذه العمليات أحياناً هو رصد أهداف مؤقتة، مثل أجسام من قبيل مذنبات لوحظ أنها تُنتج إشعاعات مؤقتة في خط طيفي ما. كما تجري غالباً عمليات رصد VLBI في هذا النطاق، وأحياناً بين الشبكات VLBI الأمريكية الشمالية والأوروبية.

إن عمليات الرصد VLBI التي تسجل وتجمع فيها الإشارات الصادرة عن هوائيات شديدة التباعد بعد استكمال العمليات هي أقل حساسية بكثير للتداخل. وينعكس ذلك في سوية عتبة الكثافة pfd التي وضعت لهذه العمليات VLBI والبالغة –166 dB(W/m^2) لعرض نطاق قدره 20 kHz والتي لم تدرج في التوصية ITU-R RA.769.

وتجرى عمليات رصد الخطوط الطيفية باستعمال مقاييس الطيف متعددة القنوات القادرة على التجميع الآني للقدرة في العديد من قنوات التردد (بين 256 و096 4) التي لها توزيعات على النطاق. ويتم اختيار عدد القنوات وعروض نطاقها المختلفة من أجل إجراء اعتيان بصورة مناسبة لطيف الإشعاعات الصافية الصادرة عن المصدر (المصادر) في حزمة الهوائي.

وتجري عمليات الرصد عموماً بطريقة تفاضلية؛ وتسجل الأطياف بما فيها إشعاعات الخط الطيفي موضوع الدراسة في مدى الترددات، ثم في التردد المتخالف نسبة لإشعاعات الخط أو في نفس التردد ولكن في مواقع قريبة في الأيونوسفير (الأطياف المرجعية). وبطرح الأطياف المرجعية من أطياف الخط يمكن مساهمة الضوضاء والعناصر الأخرى غير المطلوبة عن البيانات.

وتجري عمليات الرصد VLBI من خلال تحويل الإشارات إلى نطاق أساسي ورقمنتها دون تصحيح وتسجيلها في شريط ممغنط أو في وسائط أخرى مع قرنها بإشارات توقيت دقيقة. ثم ترسل البيانات إلى مركز معالجة البيانات VLBI حيث يجري تزامن وترابط الإشارات. وبالتالي قد لا يعرف تأثير كامل للتداخل إلا بعد انتهاء فترة الرصد واستكمال معالجة البيانات.

2.11 الخدمة المتنقلة الساتلية (MSS)

1.2.11 النطاق الموزع للإرسال

وزع المؤتمر الإداري العالمي للراديو لعام 1992 (WARC-92) النطاق 613,8 1-626,5 1 MHz للخدمة المتنقلة الساتلية (فضاء–أرض) على أساس ثانوي في العالم أجمع. كما اتخذ المؤتمر WARC-92 الإجراءات التالية فيما يتعلق بخدمة علم الفلك الراديوي في النطاق 610,6 1-613,8 1 MHz:

أ) رفع التوزيع القائم لخدمة الفلك الراديوي في النطاق 610,6 1-613,8 1 MHz من الوضع الثانوي إلى الوضع الأولي؛

ب) اعتماد الرقم 372.5 من لوائح الراديو الذي ينص على أنه "يجب على محطات خدمة الاستدلال الراديوي الساتلية والخدمة المتنقلة الساتلية ألاّ تتسبب في تداخل ضار لمحطات خدمة علم الفلك الراديوي التي تستخدم النطاق 610,6 1-613,8 1 MHz (وتنطبق أحكام الرقم **13.29**)". وتنطبق هذه الحاشية على النطاق 610 1-626,5 1 MHz.

2.2.11 التطبيقات

النطاق 610 1-626,5 1 MHz موزع للوصلات الصاعدة للخدمة المتنقلة الساتلية في جميع أنحاء العالم على أساس أولي وهو يخضع لبعض التقييدات.

والنطاق 613,8 1-626,5 1 MHz موزع للخدمة MSS (فضاء–أرض) على أساس ثانوي في جميع أنحاء العالم. والنظام HIBLEO-2 هو النظام الوحيد الذي يستعمل حالياً هذا التوزيع في كل من الاتجاهين أرض–فضاء وفضاء–أرض، بينما يستعمل النظام HIBLEO-4 النطاق في الاتجاه أرض–فضاء. والنظام HILBEO-2 نظام ساتلي قادر على العمل في النطاق 616 1-626,5 1 MHz. لكن لا يسمح له أن يعمل إلاّ في النطاق 621,35 1-626,5 1 MHz.

3.2.11 السويات استناداً إلى الأحكام التنظيمية

لا توجد قيم حدية تنظيمية للبث خارج النطاق في لوائح الراديو. غير أن الأرقام 28.5-31.5 من هذه اللوائح تنص، في جملة أمور، على أنه يجب على محطات الخدمة الثانوية تحديداً ألاّ تسبب تداخلاً ضاراً بالخدمات الأولية التي خصصت لها هذه الترددات أو التي ستخصص لها هذه الترددات لاحقاً، وألاّ تطالب بالحماية من تداخل ضار ناجم عن محطات الخدمة الأولية. وتطبق هذه الأحكام على الحماية من الإرسالات في النطاق وخارج النطاق على حد سواء، وقد تطبق على الوصلات الهابطة للخدمة MSS الثانوية بغض النظر عن سويات الكثافة pfd المحددة. ولذلك ليس هناك سبب وجيه لوضع حدود pfd خاصة.

وينص الرقم 13.29 من لوائح الراديو على أن "على الإدارات أن تأخذ علماً بالتوصيات ITU-R ذات الصلة، بغية الحد من التداخلات التي تسببها خدمات أخرى غير خدمة علم الفلك الراديوي".

3.11 عتبة المواءمة

انظر الفقرة 3.1.11.

4.11 تقدير التداخل

1.4.11 المنهجية المتبعة في تقدير سوية التداخل

انظر الفقرة 3.2.11 الإحالات إلى التوصيات ITU-R ذات الصلة التي تتناول الأنظمة الساتلية غير المستقرة بالنسبة للأرض.

2.4.11 حساب سوية التداخل

قدرت الإشعاعات غير المطلوبة والمتمثلة في الكثافة spfd المتراكمة لإرسالات الساتل HIBLEO-2 في النطاق 610,6-613,8 MHz 1 نظرياً بأنها تتراوح بين –214 (dB(W(m^2.Hz)) و–223 (dB(W(m^2.Hz)) في بعض مواقع علم الفلك الراديوي في ظروف الحمولة الكاملة.

3.4.11 القيم الناتجة

أتاح برنامج اختبار أُقيم بالتعاون بين النظام HIBLEO-2 والمرصد الوطني لعلم الفلك الراديوي في الولايات المتحدة (NRAO) عام 1998 قياس قيم كثافة spfd تتراوح بين –220 و–240 (dB(W(m^2.Hz)) في هذه المواقع. وتحيل هذه القيم إلى القنوات الصوتية التي تنشط عند حدوث اتصال. وإضافة إلى ذلك، لوحظ أن النظام HIBLEO-2 يبث إشارات راديوية طوال الوقت. وأظهرت أطياف القنوات الراديوية 9-10 قيم ذروة ضيقة (عرضها أقل من 40 kHz) في نطاق علم الفلك الراديوي. وظهرت قيم ذروة كثافة spfd بلغت –227 (dB(W(m^2.Hz)) وسطياً خلال 90 ms. وبسبب عدم التوافق بين مختلف معلمات الإرسال في الأنظمة الساتلية وخصائص مستقبلات وهوائيات خدمة الفلك الراديوي (مثال: عدم تكييف التلسكوبات الراديوية مع تتبع السواتل، عرض نطاق المستقبل المتوفر لا يساوي 20 kHz، وإلى غير ذلك)، كان من الصعوبة بمكان تقدير الكثافة spfd التي قد تنتج في إطار شروط التوصية ITU-R RA.769 التي تحدد سوية التداخل الضار بالمقدار –238 dB(W(m^2.Hz)).

5.11 تقنيات تخفيف التداخل

1.5.11 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

هنالك تقنيات مختلفة يمكن استعمالها للحد من الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن المرسلات الساتلية في تلسكوب راديوي. وعندما تكون هذه التقنيات غير كافية، يمكن اللجوء إلى حلول أخرى مثل إبرام اتفاق بين مشغل النظام الساتلي ومراصد الفلك الراديوي.

ولا تتضمن لوائح الراديو أحكاماً خاصة باتفاقات تنسيق من هذا القبيل بين الخدمة RAS والخدمات النشيطة. لكن المادة 9 من هذه اللوائح تضم أحكاماً عامة تتعلق بالتنسيق والتشاور.

ولا يمكن إبرام اتفاقات تنسيق إلاّ بموافقة معلنة من قبل الطرفين المعنيين أي مبدئياً المشغل الساتلي والمرصد الفلكي الراديوي المتضرر. أما فيما يتعلق بالوصلات الساتلية الهابطة، فلا يمكن عملياً إجراء تنسيق على الصعيد الوطني بين مشغل نظام ساتلي ومواقع فلكية راديوية إلاّ عندما يكون أثر الإرسال الساتلي أصغر من الحدود الجغرافية للبلد الذي يطلب فيه التنسيق وعندما لا تتجاوز إمكانية رؤية محطة الإرسال الفضائية من محطة علم الفلك الراديوي حدود ذلك البلد. ولا بد من اللجوء إلى حلول دولية عندما تصل كثافة محطات علم الفلك الراديوي العاملة في النطاق 1,6 GHz في منطقة جغرافية محددة إلى حد تقع فيه عدة محطات فلكية راديوية في أكثر من بلد وفي لحظة معينة في أثر نفس الساتل أو في مجال رؤية نفس الساتل.

وعموماً، فإن شروط ترتيبات من هذا القبيل ليست ثابتة على مر الزمن وتتطلب المراجعة حسب الاقتضاء. وذلك يستدعي تحديد مراحل. ويجب أن يحدد نص الاتفاق *مسبقاً* تحكيماً يوافق عليه الطرفان المعنيان للجوء إليه في حالة الخلاف.

وقد تم التوصل إلى اتفاقات عدة بين مشغلي النظام HIBLEO-2 وأطراف مختلفة من مجموعة علم الفلك الراديوي. والقاسم المشترك بين هذه الاتفاقات هو أن تفي الإرسالات المتراكمة للنظام HIBLEO-2 بسويات العتبة الواردة في التوصية ITU-R RA.769 والمتعلقة بعمليات الرصد بهوائي مكافئي وحيد في النطاق 610,6-613,8 MHz 1 في المراصد

المعنية وذلك لفترة زمنية محددة يومياً تتراوح مدتها بين 4 و8 ساعات. وقد وافقت بعض مواقع علم الفلك الراديوي على التبليغ مسبقاً عن خطط رصدها في هذا النطاق.

2.5.11 الخدمة المتنقلة الساتلية (MSS)

هنالك تقنيات مختلفة يمكن استخدامها في الحد من الإشعاعات غير المطلوبة كالترشيح مثلاً. وينبغي التفكير بهذه التقنيات عند تصميم محطات فضائية جديدة.

وعندما لا تكفي هذه التقنيات، يمكن اللجوء إلى حلول أخرى من قبيل ترتيبات تجرى بين مشغل النظام الساتلي ومراصد علم الفلك الراديوي (انظر الفقرة 1.5.11).

3.5.11 التأثير المحتمل

1.3.5.11 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

قد تؤثر اتفاقات التنسيق بين مشغل نظام ساتلي ومراصد علم الفلك الراديوي، إذا ما تحقق إبرامها، تأثيراً سلبياً على برنامج عمليات الرصد وعلى قدرة المرصد على تلبية احتياجات المستعملين وقد تزيد من الأعباء الإدارية. وينبغي ألاّ تؤثر ترتيبات التنسيق على تشغيل مرصد ما بحيث تجعله غير قادر على استيفاء شروط الإنتاجية المطلوبة.

2.3.5.11 الخدمة المتنقلة الساتلية (MSS)

قد يكون من الصعب استخدام حلول مادية مثل وضع المراشيح. وقد يحتاج كل عنصر من عناصر الهوائي في الهوائيات النشيطة متعددة العناصر إلى مرشاح، مما سيؤدي إلى زيادة وزن الساتل. وستستدعي الخسارة الناجمة عن المراشيح استعمال مرسلات أكثر قدرة، مما يتطلب بدوره مزيداً من القدرة للإرسال وبالتالي شبكات شمسية أكبر. وذلك سيزيد من الوزن أيضاً. وإضافة إلى ذلك، فإن ساتلاً كبيراً وثقيلاً يحتاج إلى جهاز إطلاق ضخم والتكاليف المترتبة على ذلك ستكون باهظة. أما إدخال تحسينات تقنية على تصميم المرشاح فيساهم في مواجهة هذه المشكلة ويبقي استخدام مراشيح في النظام أمراً ممكناً خاصة إذا ما جرى في مرحلة تصميم النظام.

غير أنه يجدر بالذكر أن سوية الكثافة pfd المجمعة للنظام HIBLEO-2 وفقاً لاتفاق التنسيق المبرم بين مشغل النظام الساتلي HIBLEO-2 وجماعة علماء الفلك الأوروبية لن تتجاوز السويات المحددة في التوصية ITU-R RA.769 والمتعلقة بمحطات علم الفلك الراديوي داخل أوروبا وذلك اعتباراً من 1 يناير 2006. ويعني ذلك أنه من المتوقع استخدام التقنيات المناسبة لتخفيف التداخل قبل ذلك التاريخ.

بيد أنه في حال تمديد التزود بالسواتل إلى ما بعد 1 يناير 2006 سيكون من العسير استعمال المراشيح المحسنة في سواتل في المدار مزودة بمراشيح غير ملائمة، وقد يكون لاستخدام تقنيات تخفيف أخرى عواقب اقتصادية.

6.11 نتائج الدراسات

1.6.11 ملخص

عولجت قضايا تخفيف التداخل من خلال إبرام اتفاقات بين مشغلي النظام HIBLEO-2 وعدة مشغلي خدمات علم فلك راديوي. وينبغي لدى استعمال تقنيات تخفيف من هذا القبيل التمكن من الوفاء بمعايير الحماية في عمليات رصد الخطوط الطيفية وفق ما ورد في الفقرة 3.1.11، وفي عمليات الرصد VLBI. ولا تجري في هذا النطاق عمليات رصد الطيف المتصل بهوائي مكافئي وحيد.

2.6.11 استنتاجات

ينبغي أن تتيح تقنيات تخفيف التداخل الملائمة إجراء عمليات فعالة لرصد الخطوط الطيفية والرصد VLBI في هذا النطاق.

12 تحليل المواءمة بين أنظمة الخدمة RAS العاملة في النطاق 610,6-613,8 MHz 1 وأنظمة الخدمة MSS المستقرة بالنسبة للأرض (فضاء–أرض) العاملة في النطاق 525-559 MHz 1

1.12 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

1.1.12 النطاق الموزع

النطاق 610,6-613,8 MHz 1 موزع لخدمة علم الفلك الراديوي على أساس أولي.

ويحث الرقم 149.5 من لوائح الراديو الإدارات على اتخاذ جميع الخطوات الممكنة عملياً من أجل حماية خدمة علم الفلك الراديوي في هذا النطاق.

2.1.12 نمط عمليات الرصد

يستعمل النطاق 610,6-613,8 MHz 1 لإجراء عمليات رصد الخطوط الطيفية للعنصر OH (مركب مجموعة الهيدروكسيل). وللخط OH تردد الراحة هو 612 MHz 1، وهو أحد أهم الخطوط الطيفية لعلم الفلك الراديوي ويرد ذكره على هذا النحو في التوصية ITU-R RA.314. والمركب OH هو أول مركب كوني كشف في الترددات الراديوية (1963)، وما زال يمثل أداة بحث هامة. وهو ينتج أربعة خطوط طيفية قرب الترددات 612 1 و665 1 و667 1 و720 1 MHz التي رصدت جميعاً في مجرتنا وفي مجرات أخرى على حد سواء. وتقدم دراسة الخطوط OH معلومات عن عدد كبير من الظواهر الفلكية، مثل تشكل النجوم البدائية وتطور النجوم. ومن أجل تفسير معظم عمليات الرصد في الخطوط OH، لا بد من قياس الشدة النسبية لعدد من هذه الخطوط. وقد يحول فقدان القدرة على مراقبة أي من هذه الخطوط دون دراسة بعض أصناف الظواهر الفيزيائية.

وتنتج هذه الخطوط OH في عمليات متناسقة يُشع فيها تركيز الجذور OH "تدريجياً" وتنتج إرسالات ضيقة النطاق. وقد توسعت قليلاً بسبب الظروف الفيزيائية في هذا التركيز. وتفرض حركة هذه التركيزات فيما يتعلق بالأرض زحزحة دوبلر في إرسال الخط الطيفي. ويؤدي وجود عدة تركيزات في المنشأ تتحرك بسرعات متباينة إلى طيف أشد تعقيداً يتألف من عدد من خصائص الخطوط الغوسية المتراكمة ومختلفة العرض والاتساع وقليلة التباين في ترددها (بسبب زحزحة دوبلر المختلفة). وعرض توزيع النطاق ضروري من أجل إجراء تمديد الطيف وزحزحته من خلال تحركات تفاضلية وإجمالية في المنشأ.

ولا تشع بعض أصناف النجوم في بعض مراحل تطورها إلا في خط التردد 612 1 MHz. وتتيح دراسة هذا الخط لعلماء الفلك أن يخمنوا الخواص الفيزيائية لهذه النجوم مثل معدل إرسالها للغازات وإعادة استعمالها في الوسط ما بين النجوم، علماً بأن بعض هذه الخواص لا يمكن استنتاجها من أي عملية رصد فلكية أخرى. كما استعملت قياسات إرسالات النجوم لمركبات OH من أجل تقدير المسافة إلى مركز المجرة وقياس حجم الجسم المركزي للكوكبة الأرضية ودراسة التوزيع في الفضاء للمكونات الجزيئية في هذه المجرة والمجرات الخارجية. وأخيراً جرى كشف إرسالات ميزرية شديدة القوة قرب نَوَيات عدد من المجرات الخارجية. وتتيح هذه الإرسالات OH الميغاميزرية الناتجة عن النَوَيات المجرية لعلماء الفلك دراسة حرارة وكثافة الجزيئات الغازية في مركز المجرة.

ويرصد الخط الطيفي OH أيضاً في النجوم المذنبة؛ ومن الصعب جداً برمجة عمليات الرصد لهذه "الأهداف بالمصادفة".

وتجري عمليات رصد الخطوط الطيفية باستعمال مقاييس طيفية قادرة على تكامل القدرة في عدد كبير من قنوات التردد (عادة 256-4 096) التي لها توزيعات في نطاق التردد المستعمل. ويتعين أن تكون القنوات بعرضها وعددها كافية لإعادة إنتاج طيف الإرسال الذي يستقبله التلسكوب الراديوي بصورة دقيقة. وتستعمل عروض نطاق آنية تتراوح عادة بين 20- kHz ~0,2 للقناة الواحدة، تبعاً للبرنامج العلمي المعني.

والمصادر الراديوية صغيرة، ويتطلب قياس حجمها وبنيتها عمليات رصد تستعمل التقنية VLBI.

3.1.12 معايير الحماية المطلوبة

تحدد التوصية ITU-R RA.769 معايير حماية عمليات الرصد الفلكي الراديوي وسويات العتبة للتداخل الضار بنطاقات خدمة الفلك الراديوي التي لها توزيعات على أساس أولي. وفيما يخص عمليات رصد الخطوط الطيفية بهوائي مكافئي واحد وباستعمال عرض نطاق قناة (إحدى قنوات مقياس الطيف) قدره 20 kHz، تتحدد قيمة عتبة الكثافة pfd بالقيمة -194 ($dB(W/m^2)$).

لا يستعمل هذا النطاق إلا لعمليات رصد الخطوط الطيفية وليس لعمليات رصد الطيف المتصل.

وتشكل سويات عتبة التداخل الضار بالخدمة RAS وفق تحديدها وحسابها الواردين في التوصية ITU-R RA.769 معايير الحماية التي يؤدي تجاوزها إلى تراجع نوعية البيانات الفلكية الراديوية وربما إلى تلفها. ومبدئياً في الظروف المثلى، عندما يكون تجاوز هذه السويات طفيفاً، يمكن التعويض عنه بإطالة زمن الرصد في المرصد الفلكي الراديوي. وفي هذه الحالة، تنقص قدرة قنوات التلسكوب ويقابلها نقصان في معدل إنتاج البيانات العلمية. وعندما تزيد سوية التداخل وفق فرضيات التوصية ITU-R RA.769 (مثل أداء الهوائي وغيره) عن القيمة المحددة في التوصية المذكورة بمقدار 10 dB أو أكثر، فإن إطالة زمن الرصد لا تعود كافية لضمان بيانات علمية صالحة يمكن تقديمها للعلماء. وستفقد محطة علم الفلك الراديوي عندئذ قدرتها على العمل في نطاق التردد المتأثر وعلى توفير الخدمة إذا لم تلجأ إلى تقنيات تخفيف التداخل الملائمة.

4.1.12 الخصائص التشغيلية

تُجرى عمليات الرصد في النطاق 1 612 MHz في عدد من مواقع علم الفلك الراديوي في العديد من البلدان في أنحاء العالم. والغرض من هذه العمليات أحياناً هو رصد أهداف مؤقتة مثل أجسام من قبيل مذنبات لوحظ أنها تُنتج إشعاعات مؤقتة في خط طيفي ما. كما تجري غالباً عمليات رصد VLBI في هذا النطاق، وأحياناً بين الشبكات VLBI الأمريكية الشمالية والأوروبية.

إن عمليات الرصد VLBI التي تسجل وتجمع فيها الإشارات الصادرة عن هوائيات شديدة التباعد بعد استكمال العمليات هي أقل حساسية بكثير للتداخل. وينعكس ذلك في سوية عتبة الكثافة pfd التي وضعت لهذه العمليات VLBI والبالغة –166 ($dB(W/m^2)$) لعرض نطاق قدره 20 kHz والتي لم تدرج في التوصية ITU-R RA.769.

وتجرى عمليات رصد الخطوط الطيفية باستعمال مقاييس الطيف متعددة القنوات القادرة على التجميع الآني للقدرة في العديد من قنوات التردد (بين 256 و4 096) التي لها توزيعات على النطاق. ويتم اختيار عدد القنوات وعروض نطاقها المختلفة من أجل إجراء اعتيان بصورة مناسبة لطيف الإشعاعات الصافية الصادرة عن المصدر (المصادر) في حزمة الهوائي.

وتجري عمليات الرصد عموماً بطريقة تفاضلية؛ وتسجل الأطياف بما فيها إشعاعات الخط الطيفي موضوع الدراسة في مدى الترددات، ثم في التردد المتخالف نسبة لإشعاعات الخط أو في نفس التردد ولكن في مواقع قريبة في الأيونوسفير (الأطياف المرجعية). وبطرح الأطياف المرجعية من أطياف الخط، يمكن مساهمة الضوضاء والعناصر الأخرى غير المطلوبة عن البيانات.

وتجري عمليات الرصد VLBI من خلال تحويل الإشارات إلى نطاق أساسي ورقمنتها دون تصحيح وتسجيلها في شريط ممغنط أو في وسائط أخرى مع قرنها بإشارات توقيت دقيقة. ثم ترسل البيانات إلى مركز معالجة البيانات VLBI حيث يجري تزامن وترابط الإشارات. وبالتالي قد لا يعرف تأثير كامل للتداخل إلا بعد انتهاء فترة الرصد واستكمال معالجة البيانات.

2.12 الخدمة المتنقلة الساتلية

1.2.12 النطاق الموزع للإرسال

هو النطاق 1 525-1 559 MHz (فضاء–أرض).

2.2.12 التطبيق

الخدمة المتنقلة الساتلية.

3.2.12 السويات استناداً إلى الأحكام التنظيمية

التذييل 3 للوائح الراديو.

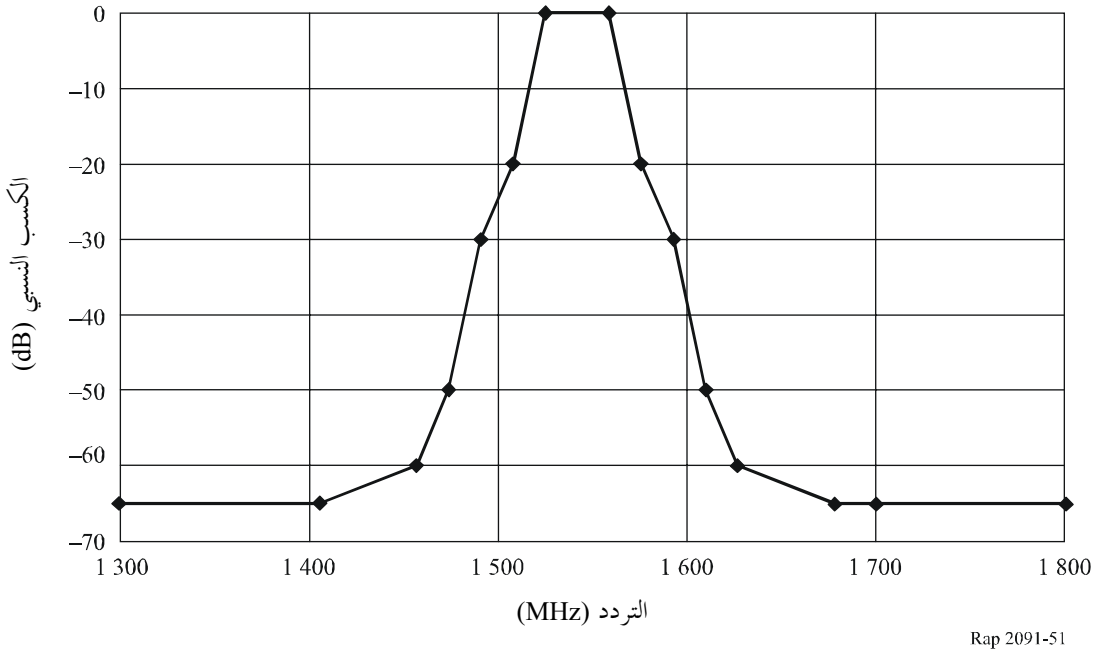
مقدار التوهين المطلوب هو $dBc\ 43 + 10 \log P$ أو dBc 60، مع اختيار القيمة الأقل صرامة، حيث P هي القيمة الذروة للقدرة في دخل الهوائي (مقدرة بالوحدات W) في أي عرض نطاق قدره kHz 4.

4.2.12 خصائص المرسل

يبلغ كسب الهوائي dBi 41. ويبين الشكل 51 خصائص مرشاح خرج المرسل.

الشكل 51

خصائص مرشاح خرج المرسل



Rap 2091-51

5.2.12 الخصائص التشغيلية

تبلغ عادة القيمة الذروة للقدرة في حزمة نقطية لساتل مستقر بالنسبة للأرض في الخدمة MSS وعند مدخل الهوائي dBW 16 في عرض نطاق قدره MHz 5.

6.2.12 سوية الإرسال داخل النطاق

تبلغ سوية الإرسال داخل النطاق –dBW 15 في عرض نطاق قدره kHz 4.

3.12 عتبة المواءمة

انظر الفقرة 3.1.12.

4.12 تقدير التداخل

1.4.12 المنهجية المتبعة في تقدير سوية التداخل

تستعمل المعلمات الكثافة PSD الذروة في النطاق وذروة كسب الهوائي والتوهين المقيس لمرشاح خرج النطاق MHz 1 559-1 525 عند ترددات مختلفة من أجل تحديد الكثافة pfd على سطح الأرض.

2.4.12 حساب سوية التداخل

استناداً إلى الأداء المتوقع للنطاق 525 1-559 1 MHz تتحدد سويات القدرة النمطية عند خرج مرشاح المرسل المستعمل للنطاق L وسويات القدرة .e.i.r.p عند خرج الهوائي والكثافة pfd على سطح الأرض في ترددات مختلفة وفقاً لما يرد في الجدول 38.

3.4.12 القيم الناتجة

القيمة الناتجة هي -192 ($dB(W/m^2)$) في عرض نطاق قدره 4 kHz.

وعند نقل هذه القيم إلى عمليات رصد الخطوط الطيفية بهوائي مكافئي وحيد، نحصل على قيمة كثافة pfd قدرها –185 ($dB(W/m^2)$) في عرض نطاق قدره 20 kHz لهذه العمليات: وذلك استناداً إلى المعلمات المذكورة أعلاه لنظام ساتل متنقل واحد مستقر بالنسبة للأرض وتابع لمشغل واحد، ينتج أن هناك نقصاً قدره 9 dB للوفاء بمعايير الحماية لعمليات رصد الخطوط الطيفية بهوائي مكافئي وحيد.

الجدول 38

القيم المتوقعة للكثافة PSD والقدرة .e.i.r.p والكثافة pfd على سطح الأرض الناجمة عن ساتل انمارسات 4 في نطاق الترددات 525 1-559 1 MHz

التردد (MHz)	الكثافة PSD عند خرج المرشاح (dB(W/4 kHz))	كثافة القدرة .e.i.r.p عند خرج الهوائي (dB(W/4 kHz))	الكثافة pfd على سطح الأرض (dB(W/(m2 · 4 kHz)))
1 300	80–	39–	202–
1 406	80–	39–	202–
1 457	75–	24–	197–
1 474	65–	14–	187–
1 491	45–	4–	167–
1 508	35–	6	157–
1 525	15–	26	137–
1 559	15–	26	137–
1 576	35–	6	157–
1 593	45–	4–	167–
1 610	65–	14–	187–
1 627	75–	24–	197–
1 678	80–	39–	202–
1 700	80–	39–	202–
1 800	80–	39–	202–

5.12 تقنيات تخفيف التداخل

1.5.12 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

هنالك تقنيات مختلفة، ومنها تلك الواردة أدناه يمكن استخدامها لخفض الإشعاعات غير المطلوبة في التلسكوب الراديوي والناجمة عن المرسلات الساتلية.

أداء الفصوص الجانبية للهوائي: تستمثل عادة إضاءة فتحة تلسكوب راديوي من أجل الحصول على أفضل نسبة *G/T* أي نسبة كسب التلسكوب إلى درجة حرارة النظام. وذلك من أجل الحصول على أكبر نسبة للإشارة إلى الضوضاء (*S/N*) في المصادر النقطية. والعنصر الهام في هذه الطريقة هو خفض إشعاعات سطح الأرض الواصلة إلى الفصوص الجانبية البعيدة. وذلك يؤدي حتماً إلى زيادة مقابلة في سويات الفصوص الجانبية القريبة. وقد أظهرت التجربة أن غالبية التلسكوبات الراديوية تتقيد بقناع الفص الجانبي للغلاف الوارد في التوصية ITU-R SA.509 وذلك في معظم الاتجاهات.

الانقطاع في الزمن و/أو التردد: يمكن استخدام هذه التقنية في بعض الحالات حيث يتحدد التداخل في نطاق تردد خدمة علم الفلك الراديوي بصورة كاملة ودون لبس في الزمن و/أو التردد.

2.5.12 الخدمة المتنقلة الساتلية

من أجل تحسين السويات الواردة في الجدول 37، ينبغي مراعاة تقنيات تخفيف التداخل التالية لدى تصميم محطات فضاء جديدة:

- استجابة الهوائي بالتردد عريض النطاق؛
- خصائص التوهين للمراشيح المتوسطة؛
- استجابة بتردد الكسب لمكبرات قدرة أشباه الموصلات؛
- خصائص تشكيل مختلف الموجات الحاملة؛
- توهين نواتج التشكيل البيني فيما يتعلق بقدرة الموجات الحاملة.

3.5.12 التأثير المحتمل

1.3.5.12 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

استناداً إلى التحليل الوارد في الفقرة 4.12 وإلى طبيعة تقنيات تخفيف التداخل المذكورة في الفقرة 1.5.12، قد تنتج بعض الخسارة في وقت الرصد عندما تعبر السواتل الفصوص الجانبية الرئيسية أو الداخلية للهوائي. ويتوقف اتساع هذه الخسارة على هوائي التلسكوب الراديوي وعدد السواتل. وتتناول التوصية ITU-R RA.1513 بالدراسة مسألة فقدان البيانات.

2.3.5.12 الخدمة المتنقلة الساتلية

تعتبر تقنيات تخفيف التداخل الواردة في الفقرة 2.5.12 صالحة تقنياً للاستخدام في الأنظمة الساتلية المستقرة بالنسبة للأرض.

6.12 نتائج الدراسات

1.6.12 ملخص

استناداً إلى معلمات نظام متنقل ساتلي واحد مستقر بالنسبة للأرض وتابع لمشغل واحد، ومع مراعاة عوامل تخفيف التداخل المذكورة في الفقرة 2.5.12، من المرجح أن تفي سويات الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن هذا النظام الساتلي معايير الحماية الواردة في الفقرة 3.1.12. ولا تجري أي عمليات رصد للطيف المتصل في هذا النطاق.

2.6.12 استنتاجات

معايير الحماية مستوفاة في حالة رصد الخطوط الطيفية بهوائي مكافئي وحيد وعمليات الرصد VLBI.

13 تحليل المواءمة بين أنظمة الخدمة RAS (فضاء–أرض) العاملة في النطاق 690 2-700 MHz 2 وأنظمة الخدمتين BSS وFSS (فضاء–أرض) العاملة في النطاق 655 2-690 MHz 2

1.13 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

1.1.13 النطاق الموزع

وزع النطاق 690 2-700 MHz 2 على أساس أولي للخدمات RAS وEESS (المنفعلة) وSRS (المنفعلة).

وينص الرقم 340.5 على "حظر جميع الإرسالات" في هذا النظام.

2.1.13 نمط عمليات الرصد

هذا النطاق هام بالدرجة الأولى لدراسة إرسالات الطيف المتصل للمصادر الراديوية.

والاعتبار العام لدراسة إرسالات الطيف المتصل للمصادر الراديوية هو ضرورة اعتيان رصد هذه المصادر في عدد كبير من أمدية الترددات. فعمليات الرصد في ترددات عديدة مختلفة يساعد على تحديد شكل أطياف الإرسال الناتج عن هذه المصادر. وهذه الأطياف كفيلة بدورها أن تقدم معلومات عن المعلمات المادية للمصادر المشعة مثل قيم الكثافة ودرجات الحرارة وشدة المجال المغنطيسي إلى جانب المعلومات عن مدد حياتها. ولا بد من معرفة هذه المعلمات المادية من أجل فهم العمليات المادية التي تنتج الإشعاع الراديوي. وهنالك مصادر راديوية كثيرة خارج المجرة تظهر "انقطاعاً" في طيفها اللاحراري في المنطقة الواقعة بين 1 و3 GHz وقياسات الطيف المتصل عند التردد ~2,7 GHz ضرورية لتحديد هذه الخصائص الطيفية بدقة.

وهذا نطاق تردد جيد لقياسات الطيف المتصل. ويرجع ذلك إلى حد ما إلى أن إشعاع خلفية المجرة منخفض، وإلى أن مستقبلات علم الفلك الراديوي أيضاً فائقة الجودة وضوضاؤها في هذه الترددات منخفضة جداً.

وهذا النطاق مفيد أيضاً في دراسات المجرة فيما يتعلق بسحب الهيدروجين المتأين والإشعاعات المنتشرة عموماً في المجرة. ونظراً لأن التلسكوبات الراديوية المتوافرة في هذه الترددات لها استبانة زاوّية دقيقة (حزم ضيقة بمقدار 10 أقواس/دقيقة للتلسكوبات الكبيرة)، فقد أجريت دراسات مفيدة كثيرة لمستوى المجرة بما في ذلك مناطق المركز المجري الذي لا يمكن رؤيته بطول موجات بصرية بسبب الامتصاص ما بين النجمي لجزيئات الغبار. ولربما كان مركز مجرتنا هو أهم منطقة فيها ولا يمكن مراقبته إلا بأطوال الموجات تحت الحمراء والموجات الراديوية طالما أن هذه الموجات لا تتأثر بجزيئات الغبار في الفضاء بين النجوم (تمتص جزيئات الغبار هذه أطوال الموجات البصرية وتنثرها). وتحتل دراسة نوى المجرات، ومنها نواة مجرتنا، موقعاً أساسياً وفائق الأهمية في علم الفلك.

وتشمل المواضيع الشائكة التي يمكن دراستها في هذه الأجسام حالة المادة واحتمالات وجود الثقوب السوداء في النوى المجرية، والنشاط التفجيري وإنتاج مصادر راديوية مضاعفة الكثافة من النوى المجرية، وتأثير النوى المجرية على التركيبة المورفولوجية للمجرات، وتشكّل المجرات والأجرام الخارجية (كويسار)، والكثير من المواضيع الأخرى الهامة في الفيزياء الفلكية.

وهنالك دراسة هامة في أطوال الموجات الراديوية هي استقطاب الإشعاعات المرصودة من المصادر الراديوية. وغالباً ما يلاحظ أن للمصادر الراديوية استقطاباً خطياً ضعيفاً، وزاوية موقع ترتبط بالتردد. ويعود ذلك إلى أن وسيط الانتشار الذي تنقل به الموجات الراديوية كي تصل إلينا مؤلف من جزيئات مشحونة وإلكترونات وبروتونات في المجالات المغنطيسية. ويعطينا تحديد درجة الاستقطاب وزاويته معلومات عن المجالات المغنطيسية وكثافة الإلكترونات والوسيط بين النجمي وأحياناً عن طبيعة المصادر المشعة ذاتها. وترتفع درجة استقطاب الموجات الراديوية بارتفاع الترددات. والنطاق 690 2-700 MHz 2، نطاق هام لإجراء قياسات الاستقطاب.

3.1.13 معايير الحماية المطلوبة للخدمة

تحدد التوصية ITU-R RA.769 معايير حماية عمليات الرصد الفلكي الراديوي وتقدم سويات عتبة التداخل الضار بنطاقات علم الفلك الراديوي التي لها توزيعات على أساس أولي. ففي النطاق 690 2-700 2 MHz، تتحدد عتبة الكثافة pfd لعمليات رصد الطيف المتصل التي تستعمل كامل عرض النطاق البالغ 10 MHz بالقيمة –177 ($dB(W/m^2)$).

ويستعمل هذا النطاق لعمليات رصد الطيف المتصل فقط، وليس لرصد الخطوط الطيفية.

وعمليات الرصد VLBI التي تسجل فيها الإشارات الصادرة عن هوائيات متباعدة جداً وتجمع بعد استكمال العمليات هي أقل حساسية بكثير للتداخل. وينعكس ذلك في سوية عتبة الكثافة pfd لعمليات الرصد VLBI في هذا النطاق والبالغة –161 ($dB(W/m^2)$) بالنسبة لعرض نطاق يساوي 20 kHz.

وفيما يتعلق بالتداخل الضار الناجم عن الأنظمة الساتلية غير المستقرة بالنسبة للأرض، ترد معايير الحماية والطرائق المتصلة بها في التوصيتين ITU-R RA.769 وITU-R RA.1513 وفي التوصية ITU-R S.1586 فيما يخص أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية.

وسويات عتبة التداخل الضار بالخدمة RAS وفق تحديدها وحسابها الواردين في التوصية ITU-R RA.769، هي معايير الحماية التي يؤدي تجاوزها إلى تراجع نوعية بيانات علم الفلك الراديوي وربما تلفها. ومبدئياً وفي ظروف مثلى، عندما يكون تجاوز هذه السويات طفيفاً، يمكن التعويض عنه بإطالة مدة الرصد في مرصد علم الفلك الراديوي. وفي هذه الحالة، تنقص قدرة قنوات التلسكوب ويقابلها نقصان في معدل إنتاج البيانات العلمية. وعندما تزيد سويات التداخل وفق فرضيات التوصية ITU-R RA.769 (مثل أداء الهوائي وغير ذلك) عن القيمة المحددة في التوصية المذكورة بمقدار 10 dB أو أكثر، فإن إطالة زمن الرصد لا تعود كافية لضمان بيانات علمية صالحة يمكن تقديمها للعلماء. وستفقد محطة علم الفلك الراديوي عندئذٍ قدرتها على العمل في نطاق التردد المتأثر وعلى توفير الخدمة إذا لم تلجأ إلى تقنيات تخفيف التداخل الملائمة.

4.1.13 الخصائص التشغيلية

تجري عمليات الرصد في النطاق 690 2-700 2 MHz في عدد من مواقع علم الفلك الراديوي في العديد من البلدان في أنحاء العالم. وتجري هذه العمليات أحياناً لرصد أهداف مؤقتة مثل أجسام من قبيل المذنبات. كما تجري غالباً عمليات VLBI في هذا النطاق وأحياناً الشبكات VLBI الأمريكية الشمالية والأوروبية.

وتجري قياسات علم الفلك الراديوي عموماً بطريقة تفاضلية إذ يمكن رسم خريطة منطقة الأيونوسفير التي تضم المصدر ولطرح إرسالات الخلفية منها، أو يمكن قياس القدرة الناجمة عن المصدر (في المصدر) وفي موقع مجاور واحد أو أكثر في الأيونوسفير (خارج المصدر). وبطرح القيم خارج المصدر من القيم في المصدر ينتج فصل إرسالات المصدر عن الإرسالات المساهمة الأخرى في خرج المستقبل.

ويمكن رسم خرائط مناطق إرسال واسعة من خلال تسجيل الإرسالات الصادرة عن شبكة نقطية تغطي المنطقة المطلوبة. وفي حالة التلسكوبات الراديوية ذات الهوائي الوحيد تدل كل عملية رصد لنقطة من نقاط الشبكة على القدرة الإجمالية الواردة من ذلك الموقع في الأيونوسفير، علماً بأن التباعد بين نقاط الشبكة ينبغي ألا يكون أكثر من نصف عرض حزمة الهوائي. وعند إجراء عمليات الرصد باستعمال تلسكوب راديوي بفتحة تركيبية وعندما تتجاوز المنطقة التي ينبغي رسمها مجال الرسم الآني، ينبغي ألاّ تتباعد نقاط الشبكة فيما بينها بأكثر من نصف عرض حزمة أحد هوائيات التلسكوب الراديوي.

وتجري عمليات الرصد VLBI من خلال تحويل الإشارات إلى إشارات نطاق أساسي ورقمنتها دون تصحيح وتسجيلها في شريط ممغنط أو في وسائط تخزين أخرى مع قرنها بإشارات توقيت دقيقة. ثم ترسل البيانات إلى مركز معالجة البيانات VLBI حيث يتم تزامن الإشارات وترابطها. وبالتالي قد لا يعرف التأثير الكامل للتداخل إلاّ بعد انتهاء فترة الرصد واستكمال معالجة البيانات.

2.13 النطاق النشيط

1.2.13 النطاق الموزع للإرسال

وزع النطاق الفرعي 655 2-670 2 MHz للخدمة الإذاعية الساتلية على أساس أولي.

ووزع النطاق الفرعي 670 2-690 2 MHz على أساس أولي للخدمة المتنقلة الساتلية (أرض–فضاء) والخدمة الثابتة الساتلية (أرض–فضاء) في الإقليمين 2 و3 وللخدمة الثابتة الساتلية (فضاء–أرض) في الإقليم 2.

وتنطبق على النطاق الفرعي 655 2-670 2 MHz الحواشي التالية ذات الصلة: الأرقام 149.5 و413.5 و415.5 و416.5 و420.5 من لوائح الراديو، وتنطبق على النطاق الفرعي 670 2-690 2 MHz الأرقام التالية من لوائح الراديو: 149.5 و419.5 و420.5. وأكثر الأحكام علاقة بالمسألة موضوع الدراسة هي الحواشي التالية:

الرقم 149.5 من لوائح الراديو الذي يحث الإدارات على اتخاذ جميع الخطوات الممكنة عملياً لحماية خدمة علم الفلك الراديوي من التداخل الضار.

الرقم 413.5 من لوائح الراديو، وينص على أن "تُحث الإدارات، فيما يتعلق بتصميم أنظمة الخدمة الإذاعية الساتلية في النطاقات الواقعة ما بين 500 2 و690 2 MHz على اتخاذ جميع التدابير اللازمة لحماية خدمة علم الفلك الراديوي في النطاق 690 2-700 2 MHz."

الرقم 415.5 من لوائح الراديو، وينص على أنه في هذا النطاق وفيما يتعلق بالخدمة الثابتة الساتلية العاملة في الإقليمين 2 و3: "... في الاتجاه فضاء–أرض يجب ألاّ تتجاوز كثافة تدفق القدرة عند سطح الأرض القيم المحددة في الجدول **21-4** من المادة **21**."

2.2.13 التطبيق

هنالك خدمات إذاعية ساتلية عاملة في هذا النطاق وخصوصاً لخدمة الهند. وتدخل هذه الخدمات في إطار تحديد التوزيع للخدمة BSS.

3.2.13 السويات المحددة استناداً إلى الأحكام التنظيمية

ثمة حدود لكثافة تدفق القدرة في الخدمة الإذاعية الساتلية للاستقبال الجماعي وكذلك في أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية، وفق ما يرد في الجدول 21-4 من لوائح الراديو.

4.2.13 خصائص المرسل

1.4.2.13 الأنظمة MSS/FSS

استناداً إلى الخصائص النمطية للأنظمة العاملة في هذا النطاق، يفترض أن تستعمل الأنظمة MSS/FSS عرض النطاق اللازم وقدره 20 MHz، وأن تعمل وفق القيمة الحدية لكثافة تدفق القدرة التي تنص عليها المادة 21 من لوائح الراديو وقدرها 137– dB(W/(m^2.4 kHz)) (أي 100– dB(W/(m^2.20 MHz)).

2.4.2.13 الأنظمة BSS

استناداً إلى الخصائص النمطية للأنظمة العاملة في هذا النطاق يفترض أن تستعمل الأنظمة BSS عرض النطاق اللازم وقدره 18 MHz وأن تعمل وفق قيمة الحد لكثافة تدفق القدرة تنص عليها المادة 21 من لوائح الراديو 137– dB(W/(m^2.4 kHz)) (أي 100,5– dB(W/(m^2.20 MHz)).

5.2.13 الخصائص التشغيلية

لا تشمل الحسابات التالية إلاّ الأنظمة الساتلية المستقرة بالنسبة للأرض.

6.2.13 سوية الإرسال داخل النطاق

تطابق سويات كثافة تدفق القدرة في الاستقبال الجماعي للخدمة BSS وفي الخدمة FSS السويات المحددة في الجدول 21-4 من لوائح الراديو.

3.13 عتبة المواءمة

انظر الفقرة 3.1.13.

4.13 تقدير التداخل

1.4.13 المنهجية المتبعة في تقدير سوية التداخل

1.1.4.13 الخدمتان المتنقلة الساتلية والثابتة الساتلية

تقدم التوصية ITU-R SM.1541 قناعاً للإشعاعات غير المطلوبة خارج النطاق الذي يغطي الأنظمة MSS/FSS.

2.1.4.13 الخدمة الإذاعية الساتلية BSS

الخدمة الإذاعية الساتلية خدمة دائمة تتوفر للمناطق التي تخدمها إشارات طوال الوقت في نفس الطيف وبنفس القدرة. ومن ناحية أخرى، لا توجد محطات علم فلك راديوي تستعمل النطاق المذكور طوال الوقت. وعند ظهور مشاكل تداخل تصبح الأنظمة الساتلية المستقرة بالنسبة للأرض مرسلات تبث بصورة دائمة في مواقع ثابتة في الأيونوسفير، بينما تمر أمامها الأجرام السماوية مع دوران الأرض، وذلك على نحو لا يعيق فيه التداخل مراقبة المصادر بصورة كاملة.

وسيؤثر التداخل في التلسكوبات الراديوية أحادية الهوائي سلباً على عمليات الرصد بقدر تحدده الزاوية الواقعة بين الساتل (السواتل) ونقطة تسديد الهوائي ويمكن حسابه باتباع طرائق من قبيل حساب كثافة تدفق القدرة المكافئة (انظر الفقرة 3.1.13).

وقد أظهرت حسابات سويات الإشعاعات غير المطلوبة باستعمال القناع خارج النطاق للأنظمة BSS والتي اعتمدت في التوصية ITU-R SM.1541 أن سوية البث خارج النطاق في بعض الحالات ووفق هذا القناع dBc قد تكون أكثر ارتفاعاً من سويات الإرسال داخل عرض النطاق اللازم. ولذلك وضع قناع جديد للبث خارج النطاق خاص بالأنظمة BSS.

وينبغي توهين البث خارج النطاق لمحطة عاملة في النطاقات التي لها توزيعات على الخدمة BSS إلى حد يقل عن الكثافة PSD القصوى في عرض نطاق مرجعي قدره 4 kHz (في الأنظمة التي تعمل بتردد أعلى من 15 GHz يمكن استعمال عرض نطاق مرجعي قدره 1 MHz بدلاً من 4 kHz) في عرض النطاق اللازم، وذلك على النحو التالي:

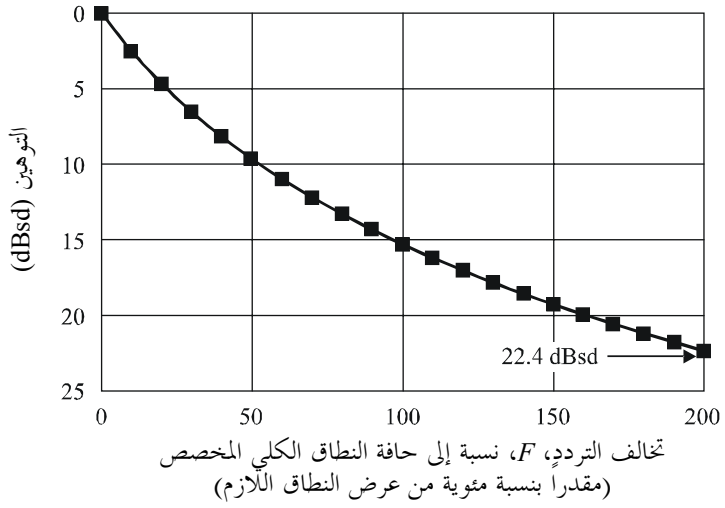
$$32 \log\left(\frac{F}{50} + 1\right) \quad \text{dBsd}$$

حيث F هو تخالف التردد نسبةً إلى حافة النطاق الكلي المخصص، مقدراً بنسبة مئوية من عرض النطاق اللازم. ويلاحظ أن مجال البث خارج النطاق يبدأ عند حواف النطاق الكلي المخصص.

ويمتد قناع البث خارج النطاق إلى حدود البث الهامشي أو إلى النقطة التي يساوي فيها حد البث الهامشي المحدد في التذييل 3 للوائح الراديو، علماً بأن قيمة التوهين هي القيمة الأكثر انخفاضاً. أما توهين البث الهامشي في خدمات الفضاء فهو $43 + 10 \log P$ أو 60 dBc في عرض نطاق مرجعي قدره 4 kHz، علماً باختيار القيمة الأقل توهيناً، أو ما يعادل $19 + 10 \log P$ أو 36 dBc في عرض نطاق مرجعي قدره 1 MHz، علماً بأن الاختيار يقع على القيمة الأقل توهيناً.

الشكل 52

قناع البث خارج النطاق في أنظمة الخدمة الإذاعية الساتلية



Rap 2091-52

2.4.13 حساب سوية التداخل

في الحالات التي يتيح فيها تطبيق الرقم 153.1 من لوائح الراديو تحسينات تتعلق بالمواءمة، ينبغي أخذ الحاشية التالية بالاعتبار:

"**153.1** *عرض النطاق المشغول*: هو عرض نطاق الترددات الذي تكون فيه القدرتان المتوسطتان المرسلتان تحت التردد الحدي السفلي وفوق التردد الحدي العلوي مساوية كل منهما لنسبة مئوية معطاة β/2 من القدرة المتوسطة الكلية لإرسال ما.

وفي غياب مواصفات محددة في توصية من التوصيات ITU-R بشأن *صنف الإرسال* المعني تؤخذ β/2 على أنها تساوي 0,5%."

وإذا وقعت الحافة الدنيا لعرض النطاق المشغول عند الحد الأدنى من التوزيع للخدمة الساتلية أو أعلى منه لن تكون القدرة الكلية للإشعاعات غير المطلوبة في الترددات الواقعة تحت عرض النطاق الموزع أعلى من 0,5% من *P*، علماً بأن *P* هي القدرة داخل النطاق. وبالتالي، فإن القدرة الكلية للإشعاعات غير المطلوبة عند ترددات النطاق 50,4-50,2 GHz الموزع للخدمة EESS لن تكون أعلى من *P*-23 dB.

3.4.13 القيم الناتجة

1.3.4.13 الخدمتان الثابتة الساتلية والمتنقلة الساتلية

عند تطبيق التوصية ITU-R SM.1541 على أنظمة الخدمتين FSS وMSS اللتين تستعملان عرض النطاق اللازم تنتج قيمة pfd متكاملة في كامل نطاق الخدمة RAS قدرها –108,5 (dB(W/(m^2 . 10 MHz)). وتنتج عن تطبيق الرقم 153.1 من لوائح الراديو قيمة كثافة pfd كلية قدرها –123 (dB(W/(m^2.20 MHz)). مما يعني أن معايير حماية عمليات رصد الطيف المتصل غير مستوفاة.

وتساوي الكثافة pfd المتكاملة في عرض نطاق قدره 20 kHz عند حافة نطاق الخدمة RAS، –130 (dB(W/(m^2.20 kHz))، أي ما يزيد بحوالي 30 dB عن معايير حماية العمليات VLBI.

2.3.4.13 الخدمة الإذاعية الساتلية

استناداً إلى حد الكثافة pfd الوارد في المادة 21 (–137 (dB(W/(m^2.4 kHz))، وبافتراض عرض نطاق لازم قدره 18 MHz وبتطبيق القناع الوارد وصفه في الفقرة 2.1.4.13 فيما يتعلق بأنظمة الخدمة BSS العاملة تحت التردد 2 670 MHz، تنتج الكثافة pfd القصوى الواقعة في عرض نطاق مرجعي قدره 10 MHz وقيمتها –121 (dB(W/(m^2.10 MHz)) أي أنها تزيد بمقدار 56 dB عن المعيار المحدد لعمليات رصد الطيف المتصل.

وينتج عن تطبيق الرقم 153.1 من لوائح الراديو قيمة pfd تساوي –123,5 (dB(W/(m^2.10 MHz)). مما يعني أن معايير حماية عمليات رصد الطيف المتصل غير مستوفاة.

وتساوي الكثافة pfd الناجمة عن الأنظمة BSS العاملة تحت التردد 2 670 MHz والمجمعة في 20 kHz عند حافة نطاق الخدمة –146 (dB(W/(m^2.20 kHz))، أي أنها تزيد عن معايير حماية العمليات VLBI بمقدار 15 dB تقريباً.

5.13 تقنيات تخفيف التداخل

1.5.13 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

هنالك تقنيات مختلفة، ومنها تلك الواردة أدناه يمكن استخدامها لخفض الإشعاعات غير المطلوبة في التلسكوب الراديوي والناجمة عن المرسلات الساتلية.

أداء الفصوص الجانبية للهوائي: تستمثل عادة إضاءة فتحة تلسكوب راديوي من أجل الحصول على أفضل نسبة *G/T* أي نسبة كسب التلسكوب إلى درجة حرارة النظام. وذلك من أجل الحصول على أكبر نسبة للإشارة إلى الضوضاء (*S/N*) في المصادر النقطية. والعنصر الهام في هذه الطريقة هو خفض إشعاعات سطح الأرض الواصلة إلى الفصوص الجانبية البعيدة. وذلك يؤدي حتماً إلى زيادة مقابلة في سويات الفصوص الجانبية القريبة. وقد أظهرت التجربة أن غالبية التلسكوبات الراديوية تتقيد بقناع الفص الجانبي للغلاف الوارد في التوصية ITU-R SA.509 وذلك في معظم الاتجاهات.

الانقطاع في الزمن و/أو التردد: يمكن استخدام هذه التقنية في بعض الحالات حيث يتحدد التداخل في نطاق تردد خدمة علم الفلك الراديوي بصورة كاملة ودون لبس في الزمن و/أو التردد. لكن لا يمكن استخدام هذه التقنية إلا عندما تكون النسبة المئوية لفقدان البيانات منخفضة بقدر كافٍ.

نطاق الحراسة: نطاق الحراسة تقنية تهدف إلى تأمين فصل ملائم في التردد بين الخدمات النشيطة والخدمات المنفعلة. وهو عموماً يتراكب بصورة متساوية مع حدود نطاقات تردد الخدمتين النشيطة والمنفعلة.

العزل الجغرافي: قد يكون العزل الجغرافي لمواقع علم فلك راديوي محددة عاملاً مفيداً لحماية عمليات الرصد في هذه المواقع تبعاً للموقع المداري لساتل BSS/FSS محدد ونظراً لوجود عدد ضئيل نسبياً من السواتل.

2.5.13 الخدمة الثابتة الساتلية/الخدمة الإذاعية الساتلية

تنطوي هذه الخدمة على الإرسال المستمر للإشارات بصورة دائمة أو لفترات زمنية طويلة بقدرة ثابتة وطيف ثابت. وتكمن إجراءات تخفيف التداخل الممكنة في تجنب بث إشعاعات غير مطلوبة في اتجاه محطات علم الفلك الراديوي التي تستخدم هذا النطاق أو في استعمال مراشيح تخفض الإشعاعات غير المطلوبة إلى سوية لا تسبب تداخلاً ضاراً بعمليات الرصد الفلكي الراديوي في النطاق 690 2-700 2 MHz.

3.5.13 التأثير المحتمل

1.3.5.13 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

أداء الفصوص الجانبية للهوائي: من المرجح أن محاولات خفض حساسية هوائي خدمة الفلك الراديوي للإشعاعات غير المطلوبة والناجمة عن محطات فضائية تزيد من حساسية تلسكوب هذه الخدمة لإشعاعات سطح الأرض، وقد يحد ذلك من كسب حزمته الرئيسية. وسيضعف هذان التأثيران قدرة قنوات التلسكوب مما يؤدي إلى زيادة الوقت الكلي المطلوب للتكامل.

الانقطاع في الزمن و/أو التردد: ينطوي الانقطاع على خطر قد يهدد تكاملية البيانات ويؤدي إلى أخطاء في تفسيرها العلمي. كما يسبب الانقطاع زيادة ملازمة للوقت الكلي المطلوب للتكامل من أجل إجراء عملية الرصد، ويقابل ذلك خسارة في قدرة قنوات التلسكوب.

نطاق الحراسة: في حالة عمليات قياس الطيف المتصل بالنطاق العريض، سيؤدي استعمال نطاق الحرارة فعلاً إلى خسارة في قدرة القنوات، إذ يتعين زيادة وقت التكامل للتعويض عن الخسارة الناتجة عن عرض النطاق.

العزل الجغرافي: عند دراسة كل حالة على حدة يبدو أن هنالك تأثيراً ضئيلاً على مواقع علم الفلك الراديوي المعنية. غير أن العزل الجغرافي يضمن بالتأكيد حماية علم الفلك الراديوي كخدمة.

2.3.5.13 الخدمة الثابتة الساتلية/الخدمة الإذاعية الساتلية

المراشيح هي الطريقة الأكيدة لخفض الإشعاعات غير المطلوبة، لكن إضافتها قد تؤثر على الساتل بصورة جوهرية. وعند استعمال صفيف هوائيات مطاورة وهوائيات نشيطة قد يتطلب كل هوائي منشط مرشاحاً. مما سيزيد من وزن الساتل. وسيستدعي التعويض عن الخسارة الناتجة عن المرشاح مرسلات أعلى قدرة مما يتطلب بدوره قدرة نقل أعلى وبالتالي شبكة هوائيات ذات قدرة شمسية أكبر. كما قد تتطلب الزيادة في الوزن أجهزة إطلاق أكبر، والتكاليف المترتبة على ذلك باهظة. وبناءً على ذلك، لا يجوز التفكير بإضافة المراشيح إلاّ في مرحلة التصميم. غير أن التقدم التقني المتواصل في تصميم المراشيح والهوائيات النشيطة قد يتيح مع الوقت الحد من مشكلة تنفيذ هذه الحلول على نحو قابل للتحكم.

وبما أنه يتوقع تشغيل بعض الأنظمة الساتلية متعددة الحزم في مدى الترددات موضوع الدراسة، فإن عدد الحزم وعدد الهوائيات في نظام متعدد الحزم سيضاعف من التكاليف والأوزان المرتبطة بإضافة مراشيح RF في نظام شبكة هوائيات مطاورة. ويعود ذلك إلى أن الحزم في النظام متعدد الحزم لا تشترك عادة في المكبرات، ولذا يتعين إضافة مرشاح لكل حزمة على حدة. وتجري مرحلة التكبير النهائية في نظام الهوائيات المطاورة في كل عنصر من شبكة الهوائيات التي ينبغي إضافة مرشاح لكل منها على حدة. وبذلك يتضاعف الوزن بما يساوي عدد الحزم في النظام أو عدد العناصر في شبكة الهوائيات المطاورة. وقد تؤثر الخسارة الناجمة عن إدراج المراشيح على قدرة النظام.

وقد يتطلب العزل الجغرافي تقليص مخطط هوائي الساتل من أجل تحقيق العزل المطلوب للوفاء بمعيار التقاسم المتفق عليه في موقع مستقبل معين لخدمة علم فلك راديوي. وتفترض هذه التقنية ضمناً أن نظاماً FSS ما لن تكون له منطقة تغطية عالمية وحتى إقليمية مما يشكل بحد ذاته فرض تقييدات. وكثيرة هي الأنظمة ذات الحزم الإقليمية ودون الإقليمية التي يتعذر تأمين العزل الجغرافي لها. وهناك أنظمة أخرى ذات حزم نقطية قادرة على استعمال العزل الجغرافي. غير أن ذلك ليس بالحل المثالي من وجهة نظر النظام الساتلي لأنه قد يفضي إلى حرمان بعض المناطق في الأرض من الخدمة الساتلية. وقد يترتب على هذا الانحسار في مناطق تغطية الخدمة FSS عواقب وخيمة من حيث الإيرادات. لكن فائدة هذا الحل هي مراعاة متطلبات الحماية الفعلية لمواقع محددة لعلم الفلك الراديوي دون الحاجة إلى تطبيق معايير الحالة الأسوأ في كل موقع من هذه المواقع.

6.13 نتائج الدراسة

1.6.13 ملخص

تظهر حسابات التداخل التي أجريت أنه استناداً إلى معايير الحماية الواردة في الفقرة 3.1.13. وفي حال عدم استخدام تقنيات تخفيف التداخل، هنالك احتمال حدوث تداخل ضار بعمليات الرصد الفلكي الراديوي في النطاق 690 2-700 2 MHz تسببه الخدمات العاملة في النطاق المجاور إلى حد يمنع فعلياً إجراء أي قياسات فلكية صالحة في ذلك النطاق.

وسيواصل مشغلو السواتل العمل جنباً إلى جنب مع جماعة علم الفلك الراديوي بهدف الحد إلى أبعد حد من تأثير البث الساتلي خارج النطاق. وفي الكثير من الحالات يكفي الترشيح العادي للمكرِّر الساتلي لضمان عدم حدوث تأثير ضار في نطاقات علم الفلك الراديوي. وإلاّ فإن تأثير الترشيح الساتلي الإضافي يدرس مع تقنيات تخفيف التداخل الأخرى مثل العزل الجغرافي وعزل محطة الفلك الراديوي على سطح الأرض. ويمكن تحقيق ذلك على أساس دراسة كل حالة على حدة تبعاً لمكان الموقع الفلكي الراديوي والموقع المداري.

2.6.13 استنتاجات

معايير حماية عمليات الرصد بهوائي مكافئي وحيد للطيف المتصل أو الخطوط الطيفية أو VLBI غير مستوفاة.

14 تحليل المواءمة بين أنظمة الخدمة RAS العاملة في النطاق GHz 10,7-10,6 وأنظمة الخدمة FSS (فضاء–أرض) العاملة في النطاق GHz 10,95-10,7

1.14 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

1.1.14 النطاق الموزع

النطاق GHz 10,7-10,6 موزع للخدمة RAS والخدمة EESS (المنفعلة) والخدمة SRS (المنفعلة) على أساس أولي؛ والنطاق الفرعي GHz 10,7-10,68 موزع حصرياً لهذه الخدمات على النطاق العالمي.

وفيما يلي الحواشي ذات الصلة بهذه النطاقات: الرقم 149.5 من لوائح الراديو فيما يخص النطاق GHz 10,68-10,6 والرقم 340.5 من لوائح الراديو فيما يخص النطاق GHz 10,7-10,68.

2.1.14 نمط عمليات الرصد

1.2.1.14 عمليات الرصد بهوائي مكافئي وحيد

تشمل الاستعمالات الفلكية للنطاق رصد مصادر سنكروترون لا حرارية لا يمكن كشفها إلا في مدى الترددات هذا. وتتيح عمليات الرصد هذه معلومات في أعلى الترددات حيث يمكن كشف هذه المصادر بسهولة، مما يساعد على تحديد بعض المعلمات الفيزيائية لهذه المصادر. والنطاق GHz 10,6 بالغ الأهمية أيضاً لأغراض مراقبة تغير كثافة المجرات الراديوية بما فيها الكويسار. وقد لوحظ أن هذه الأجسام، التي يعتقد أنها أبعد الأجرام التي يستطيع علماء الفلك كشفها، تتغير كثافتها في فترات زمنية تتراوح بين ساعات وسنين، وتنتج كميات كبيرة مدهشة من الطاقة. فالطاقة التي يشعها كويسار خلال رشقة منه كفيلة بأن تدمر مئات الملايين من النجوم بصورة كاملة في عدة أسابيع أو شهور. وما تزال القوانين الفيزيائية الأساسية التي تتحكم بهذه الظواهر غير معروفة بعد. وعمليات رصد حجم هذه المصادر وتغيرها أمر حاسم في حل هذه الألغاز. وأفضل مدى ترددات لإجراء هذه العمليات هو المدى GHz 15-10.

وتغير الكويسار كبير عند هذه الترددات. ورصد تغيره يساعد على اكتشاف ومراقبة هذه الظواهر التي لا يعرف علماء الفلك عن قوانينها الفيزيائية إلا القليل. وتتيح عمليات الرصد تقدير أحجام هذه المصادر التي تبدو بالغة الصغر نسبةً إلى كمية الطاقة التي تنتجها. ويوفر النطاق GHz 10,6 بعض أفضل الاستبانات الزاوية (~2 arc min) للعديد من التلسكوبات ذات الهوائي المكافئي الوحيد.

2.2.1.14 عمليات الرصد VLBI

تظهر عمليات الرصد VLBI الحجوم فائقة الصغر لكويسار (تعادل جزء من مليار من الثانية). وقد جرت هذه العمليات أيضاً في نطاق الترددات GHz 10,7-10,6، على الرغم من أن النطاق GHz 8,4 هو الأكثر استعمالاً حالياً لهذه العمليات. ويتيح مدى الترددات GHz 10-8 لعملية الرصد استبانةً زاوية أفضل من تلك التي توفرها الترددات الأدنى. كما أنها تتيح للعلماء تحديد أحجام المجرات الراديوية وتركيبتها الدقيقة بصورة أكثر دقة.

3.1.14 معايير الحماية المطلوبة

تحدد التوصية ITU-R RA.769 معايير حماية عمليات الرصد الفلكي الراديوي وسويات العتبة للتداخل الضار بنطاقات خدمة الفلك الراديوي التي لها توزيعات على أساس أولي. ففي النطاق GHz 10,7-10,6 وفيما يخص عمليات رصد الطيف المتصل بهوائي مكافئي وحيد وباستعمال كامل عرض النطاق البالغ MHz 100، يتحدد حد عتبة الكثافة بالقيمة –160 dB(W/m^2). ولا يستعمل هذا النطاق إلاّ لعمليات رصد الطيف المتصل وليس لرصد الخطوط الطيفية.

إن عمليات الرصد VLBI التي تسجل وتجمع فيها الإشارات الصادرة عن هوائيات شديدة التباعد بعد استكمال العمليات هي أقل حساسية بكثير للتداخل. ويظهر ذلك في سوية عتبة الكثافة pfd التي حددت لهذه العمليات VLBI والتي تبلغ –145 dB(W/m^2) لعرض نطاق قدره kHz 50.

وفيما يتعلق بالتداخل الضار الناجم عن أنظمة ساتلية غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض، ترد معايير الحماية والطرائق المتصلة بها في التوصيتين ITU-R RA.769 وITU-R RA.1513، وفي التوصية ITU-R S.1586 بالنسبة إلى أنظمة الخدمة FSS، وفي التوصية ITU-R M.1583 بالنسبة إلى أنظمة الخدمتين MSS وRNSS.

وتشكل سويات عتبة التداخل الضار في خدمة علم الفلك الراديوي وفق تحديدها وحسابها الواردين في التوصية ITU-R RA.769 معايير الحماية التي يؤدي تجاوزها إلى انحطاط نوعية البيانات الفلكية الراديوية وربما إلى تلفها. ومبدئياً في الظروف المثلى، عندما يكون تجاوز هذه السويات طفيفاً، يمكن التعويض عنه بإطالة زمن الرصد في المرصد الفلكي الراديوي. وفي هذه الحالة، تنقص قدرة قنوات التلسكوب ويقابلها نقصان في معدل إنتاج البيانات العلمية. وعندما تزيد سوية التداخل وفق فرضيات التوصية ITU-R RA.769 (مثل أداء الهوائي وغير ذلك) عن القيمة المحددة في التوصية ذاتها بمقدار 10 dB أو أكثر، فإن إطالة زمن الرصد لا تعود كافية لضمان بيانات علمية صالحة يمكن توفيرها للعلماء. وستفقد محطة علم الفلك الراديوي عندئذ قدرتها على العمل في نطاق التردد المتضرر بل وعلى توفير الخدمة إذا لم تلجأ إلى استعمال تقنيات تخفيف التداخل الملائمة.

4.1.14 الخصائص التشغيلية

تجري عمليات الرصد في النطاق GHz 10,7-10,6 في عدد من مواقع علم الفلك الراديوي في جميع أنحاء العالم، وذلك باستعمال تلسكوبات راديوية بهوائي وحيد وبصفيف هوائيات.

وتجري هذه العمليات عموماً بطريقة تفاضلية. ففي حالة إرسالات الطيف المتصل يمكن رسم خريطة لمنطقة الأيونوسفير التي تحتوي على المصدر وتطرح منها إرسالات الخلفية، أو يمكن قياس القدرة الآتية من اتجاه المصدر (في المصدر) وقياسها في موقع قريب واحد أو أكثر في الأيونوسفير (خارج المصدر). ومن خلال طرح قيم خارج المصدر من قيم داخل المصدر ينتج فصل الإرسالات الناشئة في المصدر عن المساهمات الأخرى التي تدخل في خرج المستقبل.

ويمكن رسم خرائط للمناطق المتسعة للإرسالات الراديوية بتسجيل الإرسالات في شبكة نقطية تغطي المنطقة موضوع الدراسة. وفي حالة التلسكوب الراديوي وحيد الهوائي، تدل كل عملية رصد لنقطة من نقاط الشبكة على القدرة الكلية الآتية من ذلك الموقع في الأيونوسفير، وينبغي ألا يتجاوز التباعد بين نقاط الشبكة نصف عرض حزمة الهوائي. وعند إجراء عمليات الرصد في تلسكوب راديوي بفتحة تركيبية حيث تكون المنطقة المطلوب رسمها أكبر من مجال رسم الخريطة المستخدم، ينبغي ألا يتجاوز تباعد نقاط الشبكة نصف عرض حزمة هوائي من هوائيات التلسكوب.

وتجري عمليات الرصد VLBI بتحويل الإشارات إلى إشارات نطاق أساسي ورقمنتها دون تصحيح وتسجيلها على شريط ممغنط أو في وسائط تخزين أخرى مع قرنها بإشارات توقيت دقيقة. ثم ترسل البيانات إلى مركز معالجة بيانات VLBI حيث يتم تزامنها وترابطها. وبناءً على ذلك، فإن كامل تأثير التداخل لا يعرف إلا بعد انتهاء فترة الرصد واستكمال معالجة البيانات.

2.14 الخدمة الثابتة الساتلية (FSS)

1.2.14 النطاق الموزع للإرسال

ينحصر نطاق الخدمة النشيطة المعني بين GHz 10,95-10,7.

2.2.14 التطبيق

النطاق GHz 10,95-10,7 موزع للخدمة الثابتة الساتلية على أساس أولي. وتطبق على هذا التوزيع أحكام التذييل 30B للوائح الراديو الذي يتبع خطة لتخصيص القدرات وضمانها لجميع الدول الأعضاء. ونظراً إلى أن المبدأ في تخصيص النطاقات غير المخطط لها يتبع ترتيب الوصول، فإن وضع خطة التذييل 30B للوائح الراديو أتاح للبلدان النامية أن تحافظ على حق النفاذ إلى قوس السواتل المستقرة بالنسبة للأرض لفترة قادمة. وسيؤثر فرض أي قيد من قبيل نطاقات الحراسة أو الترشيح في الخدمة FSS على تخصيصات خطة التذييل 30B للوائح الراديو.

3.2.14 السويات المحددة استناداً إلى الأحكام التنظيمية

تتحدد سويات الإشعاعات غير المطلوبة الناجم عن الخدمة FSS في النطاق GHz 10,7-10,6 استناداً إلى حدود الكثافة pfd في النطاق التي تنص عليها الأحكام التنظيمية. ويجري التحويل من قدرة في النطاق إلى قدرة خارج النطاق استناداً إلى سويات البث الهامشي الواردة في التذييل 3 للوائح الراديو وسويات البث خارج النطاق الواردة في التوصية ITU-R SM.1541. فالسوية –154 (dB(W/(m^2.4 kHz)) هي سوية الإشعاعات غير المطلوبة بالنسبة إلى النطاق GHz 10,7-10,6 استناداً إلى السويات التنظيمية. وقد وردت السوية –166 (dB(W/(m^2.4 kHz)) استناداً إلى التجربة العملية.

4.2.14 خصائص المرسل

تطبق على الأنظمة FSS GSO العاملة في النطاق أحكام التذييل 30B للوائح الراديو. وتطبق على الأنظمة FSS non-GSO العاملة في النطاق أحكام المادة 22 من لوائح الراديو.

5.2.14 الخصائص التشغيلية

ومن أجل التقاسم مع الخدمة الثابتة للأرض، ينحصر حد الكثافة pfd في النطاق، استناداً إلى الجدول 21-4 في لوائح الراديو فيما يتعلق بالخدمة FSS، بين –116 و–126 (dB(W/(m^2.MHz))، وذلك يمثل مدى يتراوح بين –176 و–186 (dB(W/(m^2. Hz)) بين 0° و90° درجة فوق المستوي الأفقي.

3.14 عتبة المواءمة

انظر الفقرة 3.1.14.

4.14 تقدير التداخل

1.4.14 المنهجية المتبعة في تقدير سوية التداخل

بناءً على خبرة اكتسبت من بعض مواقع علم الفلك الراديوي وبعض الأنظمة الساتلية في هذه النطاقات توفرت معلومات قدمها العاملون في الفلك الراديوي ومشغلو السواتل عن السويات غير المطلوبة المتوقعة في النطاق GHz 10,7-10,6.

2.4.14 حساب سوية التداخل

تستند حسابات التداخل إلى المعلومات الواردة في الفقرة 3.4.14 وفق ما تحدده الفقرة 1.4.14.

3.4.14 القيم الناتجة

1.3.4.14 النموذج الأوروبي للأنظمة الساتلية المستقرة بالنسبة للأرض

تتعرض خدمة علم الفلك الراديوي في النطاق GHz 10,7-10,6 في أوروبا إلى تداخلات ضارة شديدة يسببها البث خارج النطاق الناجم عن نظام خدمة ثابتة ساتلية واحد. خصوصاً أن هذه التداخلات الضارة جعلت عمليات الرصد في هذا النطاق متعذرة تماماً في المرصد الراديوي ايفلسبرغ في ألمانيا. وقد رفعت القضية إلى الإدارة الألمانية التي أكدت وجود هذه التداخلات من خلال عمليات رصد أجرتها محطة المراقبة الساتلية "ليهيم" التابعة للإدارة الألمانية ودعمت بهذا التأكيد.

وترد لاحقاً، على سبيل المثال، حالة واقعية لتداخلات حدثت في عمليات خدمة علم الفلك الراديوي سببها نظام ساتلي GEO FSS يعمل في تردد مركزي اسمي أدنى من التردد MHz 10,714 وعرض نطاق مكرر قدره MHz 26.

ويبين الشكل 53 نتائج قياس الخدمة RAS عند التردد GHz 10,6 أجري في تلسكوب راديوي قطره m 100 في محطة ايفلسبرغ ومسدد باتجاه النقطة 3C84 وهي إحدى أقوى المصادر الراديوية الكونية. وجرى هذا القياس قبل العام 1995، علماً بأن مساحة المجال هي '30 × '12 والتدفق القادم من المصدر قدره Jy 20,5 (dB(W/(m^{-2} · Hz^{-1})) ~ -247).

الشكل 53

خريطة الجرم السماوي "3C84" في النطاق GHz 10,7-10,6 رسمها تلسكوب راديوي قطره m 100 في محطة ايفلسبرغ*

* للمصدر 3C84 نصف قطر زاوي أصغر بكثير من عرض حزمة الهوائي، وبالتالي يظهر في الصورة أعلاه المنظر الجانبي لحزمة الهوائي بما فيها الفصوص الجانبية. لكن ذلك لا يشكل مشكلة لأن الخريطة أجريت بهدف قياس لمعان المصدر وليس هيكله.

Rap 2091-53

تم وضع ساتل خدمة GSO FSS عام 1995 في الخدمة في موقع ما من المدار حيث كانت تعمل سواتل أخرى منذ بعض الوقت، وكان للساتل تردد مركزي للإرسال أدنى من GHz 10,714 وعرض نطاق مكرر قدره MHz 26. وكانت تراوحات الضوضاء التي ولدتها الإشعاعات غير المطلوبة والناجمة عن الخدمة FSS من ذلك الموقع المداري في النطاق المجاور GHz 10,7-10,6 للخدمة RAS قوية إلى درجة حجبت معها كلياً كل إشارات فلكية.

ويبين الشكل 54 خريطة لاحقة في نفس المجال '30 × '12 من الأيونوسفير المبين في الشكل 53، لكن بعد وضع الساتل في الخدمة عام 1995، علماً بأن موقعه المداري متباعد بمقدار 10° من المجال المرسوم في الأيونوسفير. ولأغراض المقارنة أضيفت صورة النقطة 3C84 من الشكل 53 إلى خريطة الشكل 54. إلا أن المصدر النقطي شديد الوضوح لم يعد مرئياً بسبب تدفقات إشعاعات الساتل.

الشكل 54

خريطة مجال الأيونوسفير المبين في الشكل 53 لكن بعد التداخلات التي تعرض لها تلسكوب المحطة ايفلسبرغ

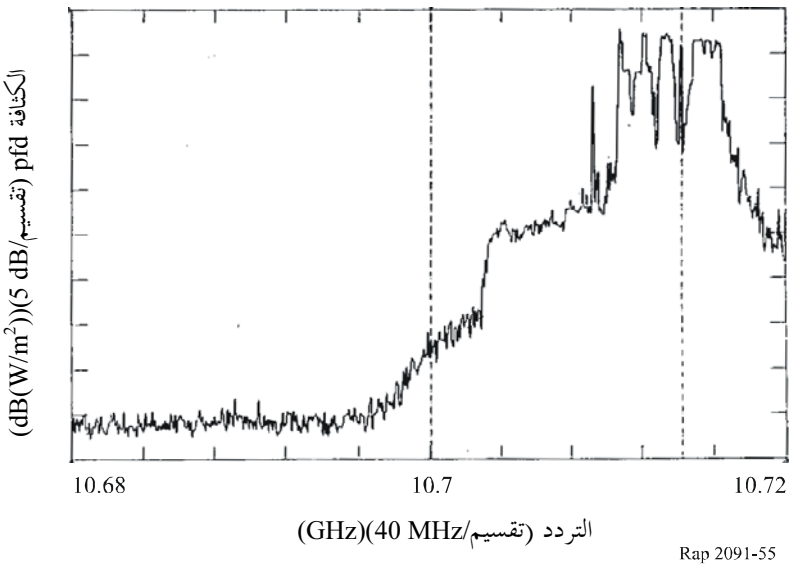
Rap 2091-54

ولدراسة حالة التداخل هذه أجرت محطة المراقبة الساتلية في ليهيم التابعة للسلطة التنظيمية الألمانية قياسات لطيف إرسالات الخدمة الثابتة الساتلية اعتباراً من الموقع المداري الساتلي المعين (انظر الشكل 55) من أجل تحديد سوية الإشعاعات غير المطلوبة في نطاق الخدمة RAS. لكن يجدر بالذكر أن حساسية محطة المراقبة ومداها الدينامي ليسا كافيين للتحقق من التداخل في السويات المحددة لمعايير حماية الخدمة RAS وفقاً للتوصية ITU-R RA.769.

الملاحظة 1 – في الشكل 54 لم يعد الجرم السماوي مرئياً بسبب التداخل.

الشكل 55

قياسات مصدر التداخل التي أجريت في محطة المراقبة في ليهيم (1995)



ويتضح من الشكل 55 أن سوية الإشعاعات غير المطلوبة المقيسة عند الحافة 10,7 GHz من النطاق الموزع للخدمة RAS في النطاق الحصري المنفعل تبلغ –151 (dB(W/m²) في عرض نطاق مرجعي قدره 100 kHz. وذلك يعادل –201 (dB(W/(m². Hz)، بينما تحدد التوصية ITU-R RA.769 قيمة أدنى بمقدار 39 dB، أي -240 (dB(W/(m². Hz))، كعتبة تداخل. ونرى أنه من الأفضل إضافة حدود أشد صرامة بمقدار 15 dB في حالة السواتل GSO. ويظهر هذا التباين الشاسع عند الحافة العلوية من النطاق 10,7-10,6 GHz ويتدنى في الجزء المتبقي من النطاق.

وتحت الحافة 10,7 GHz وصولاً إلى حوالي 10,69 GHz تصل إشارة التداخل إلى أدنى ضوضاء لمحطة المراقبة Leeheim (dB(W/m²)) 160– ~ pfd) ويبلغ تناقصها 10 dB كل 4 MHz. وبافتراض أن معدل التناقص يستمر ليصل إلى 10,6 GHz، يكون إجمالي القدرة التي يشعها ذلك الموقع المداري في النطاق 10,7-10,6 GHz –145,6 (dB(W/m²))، أي أعلى بمقدار 14,4 dB من العتبة –160 (dB(W/m²)) المحددة في التوصية ITU-R RA.769 للنطاق 10,7-10,6 GHz، مما يجعل كامل النطاق 10,7-10,6 GHz غير قابل للاستعمال بتاتاً لعمليات الرصد الفلكي الراديوي، كما هو مبين في الشكل 54.

وعلى الرغم من أن مشغل النظام الساتلي أدخل تحسينات على النظام إلى حد ما، وعلى الرغم من تركيب مراشيح في تلسكوب محطة ايفلسبرغ، فإنه يتعذر التوصل حتى الآن إلى حل جذري لهذه المشكلة.

وفيما يلي قيم سويات الإشعاعات غير المطلوبة الصادرة عن أنظمة خدمة FSS نمطية في نطاق الخدمة RAS. وقد حدد مشغلان أن أي حدّ أدنى من الحدود الواردة في الجدول 39 سيفرض تقييدات غير مناسبة على أنظمة الخدمة FSS التي تعمل حالياً في نطاق الترددات 10,7-10,95 GHz.

الجدول 39

سويات الإشعاعات غير المطلوبة الواقعة في نقاط محددة من نطاق الترددات GHz 10,7-10,57

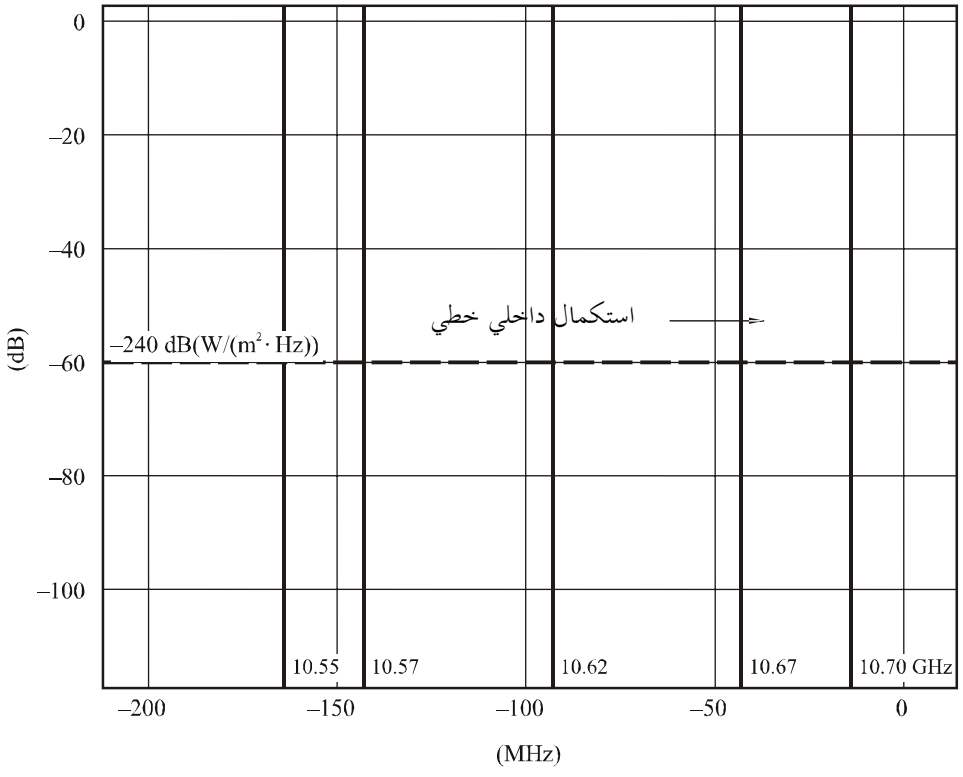
الحد (GHz)	سوية الكثافة spfd للإشعاعات غير المطلوبة (dB(W/(m^2 · Hz)))
10,570	285–
10,656	256–
10,662	237–
10,680	237–
10,700	195–

يبين الشكل 56 سويات الكثافة spfd لتشكيل رقمي بمعدل رموز قدره 22 Msymbol/s وتناقص بنسبة 35% وعرض نطاق مكرر قدره 26 MHz يعمل في التردد 714 10 MHz. ولأسباب عملية استكمل تناقص القدرة الفعلية بواسطة تناقص خطي للقدرة من أجل تقدير القدرة الناتجة في كامل عرض نطاق قدره 100 MHz تبعاً لتخالف التردد.

وبسبب طبيعة التشكيل الرقمي تحديداً، فإن عرض النطاق اللازم للتشكيل الرقمي قريب جداً من عرض نطاق المكرر. لذا، فإن سويات الكثافة spfd الواقعة في الجزء العلوي من تردد الخدمة RAS أعلى بكثير من سويات هذه الكثافة في التشكيل الرقمي (انظر الشكل 57).

الشكل 56

قناع رقمي للبث خارج النطاق

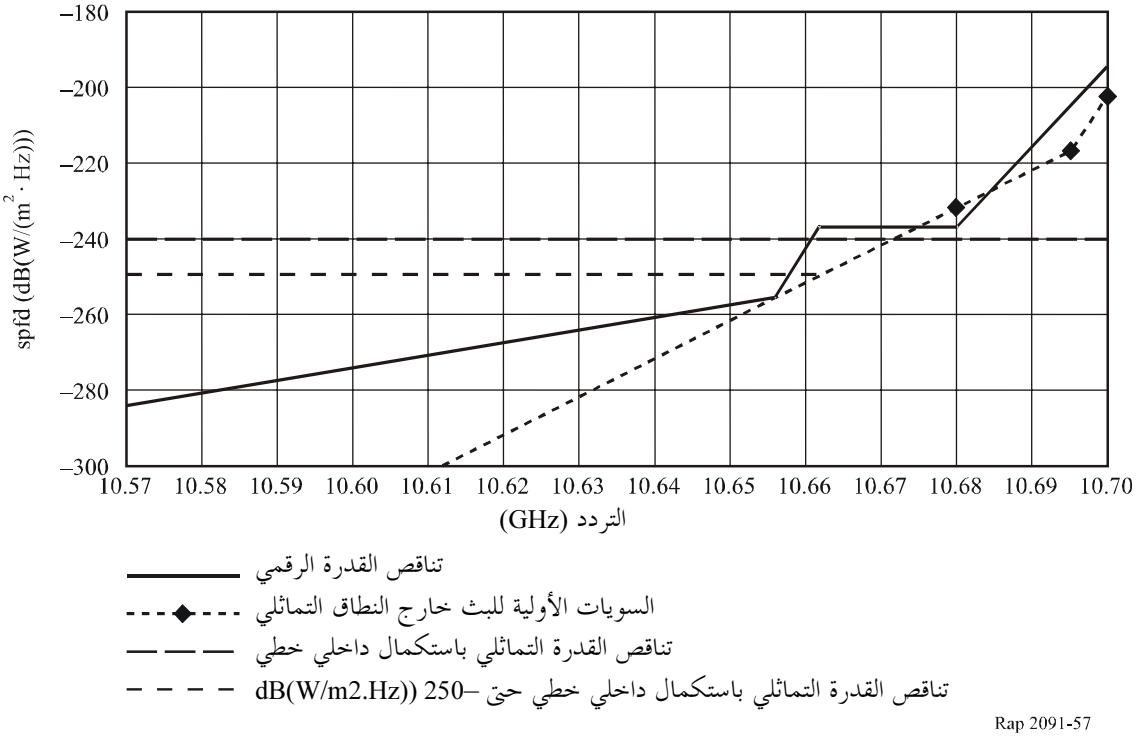


معدل الرموز: 22 Msymbol/s، تناقص بنسبة 35%

Rap 2091-56

الشكل 57

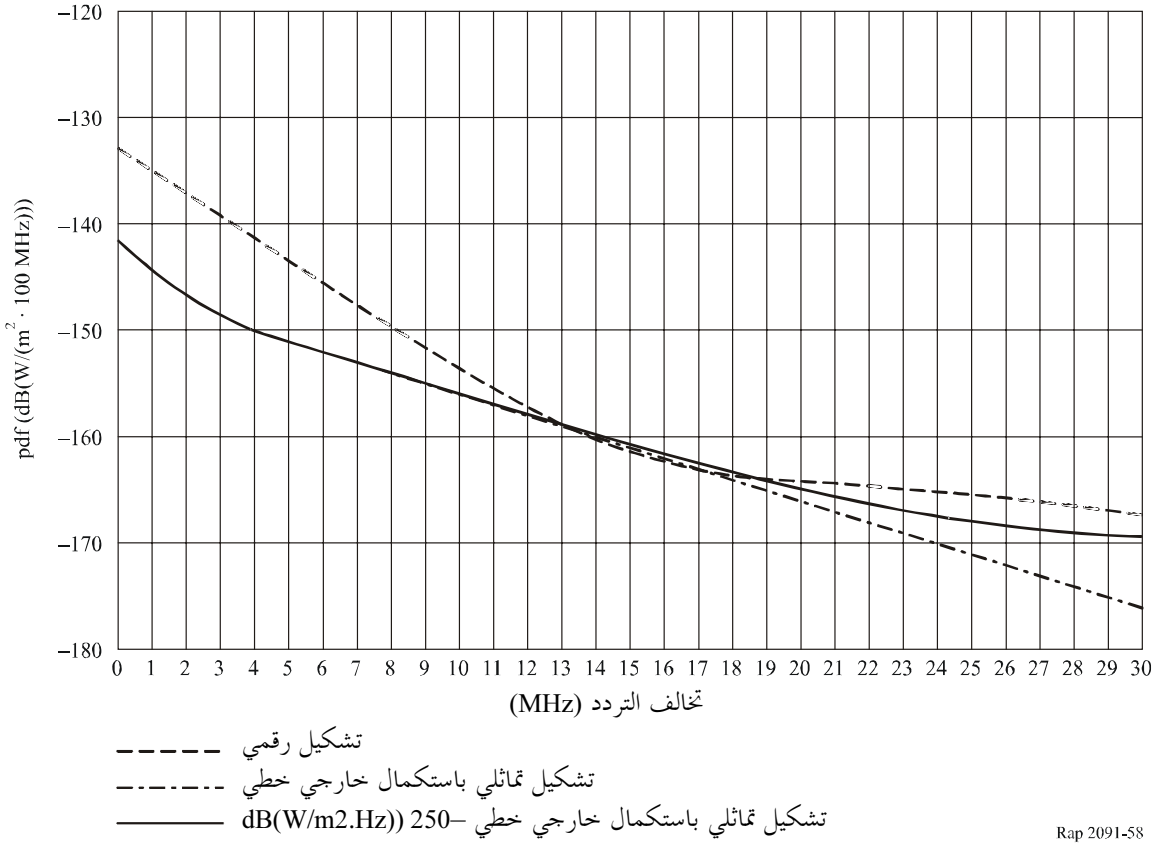
مقارنة سويات الكثافة spfd تبعاً لنمط التشكيل



وبالإمكان استناداً إلى الشكل 57 حساب القدرة الواقعة في عرض النطاق المرجعي البالغ 100 MHz تبعاً للتردد الذي يبدأ فيه التكامل (انظر الشكل 58).

الشكل 58

الكثافة pfd المتكاملة في عرض نطاق قدره 100 MHz تبعاً لنوع التشكيل



وفي الشكل 58، يعني تخالف تردد قدره 0 MHz أن التكامل في 100 MHz يبدأ عند التردد 10,7 GHz (وينتهي بالتالي عند التردد 10,6 GHz) وبطريقة مماثلة يعني تخالف تردد قدره 30 MHz أن التكامل في 100 MHz يبدأ عند التردد 10,67 GHz (وينتهي بالتالي عند التردد 10,57 GHz).

واستناداً إلى الشكل 58، ووفق الفرضيات التي وضعت فيما يتعلق بتناقص الإشارة، يمكن الوفاء بشرط سوية العتبة الخاصة بعمليات رصد الطيف المتصل، أي القيمة –160 (dB(W/m^2.100 MHz)) إذا ما استخدم نطاق حراسة عرضه 15 MHz على الأقل بين الخدمتين. وتؤدي فرضية مختلفة لتناقص الإشارة إلى الحاجة إلى نطاق حراسة أكبر.

وبناءً على ذلك، ومن أجل التوصل إلى نتيجة بشأن تباعد الترددات الذي من شأنه أن يضمن مواءمة مع كل من هاتين الخدمتين في هذا المثال، ينبغي التأكيد على الفرضيات المتعلقة بتناقص الإشارة.

2.3.4.14 مثال من الإقليم 2 يتعلق بالأنظمة الساتلية المستقرة بالنسبة للأرض (GSO)

في نوفمبر 1993 أجرى المرصد الوطني لعلم الفلك الراديوي للولايات المتحدة (NRAO) دراسة عن الحزام الساتلي المستقر بالنسبة للأرض بدءاً من 152° إلى 7° غرباً في النطاق 10,7-10,68 GHz باستعمال تلسكوب قطره 43 m في غرين بانك في ويست فرجينيا (لم يعد صالحاً) من أجل تحديد سويات الإرسالات المحتملة. وقد تحدد أن هذه البقعة من الأيونوسفير كانت خالية من الإرسالات التي تصل إلى السوية –250 (dB(W/m^2. Hz)) على الأقل.

وهنالك حالة في الإقليم 2 تتعلق بساتلين GSO متماثلين يعملان في النطاق 10,95-10,75 GHz ويستعملان النطاق 10,95-10,75 GHz بموجب أحكام التذييل 30B للوائح الراديو من أجل توفير وصلات تغذية لتطبيقات MSS. وفي حالة أخرى قدم مشغل بيانات عن الأداء المتوقع للمحطة الفضائية العاملة في النطاق 10,7-10,6 GHz.

وفي الحالة المذكورة أعلاه لساتلين GSO المتماثلين، وضعت مراشيح خاصة باهظة التكاليف بالنسبة للمشغلين تتيح توهيناً يفوق بالكاد 40 dB في النطاق 10,7-10,6 GHz، وذلك من أجل إزالة قلق بعض البلدان إزاء حماية الخدمات المنفعلة. ويولد الساتلان تداخلاً في النطاق 10,7-10,68 GHz يصدر عن مصدرين منفصلين هما:

- الضوضاء الحرارية المشعة في مكبر ذي أنبوبة بموجات متنقلة (TWTA). وقد سجلت القدرة e.i.r.p. للضوضاء الحرارية في الأنبوبة في الحالة الأسوأ القيمة –27 (dB(W/4 kHz)) في ذروة مخطط الهوائي في النطاق 10,7–10,68 GHz مما يعطي كثافة spfd قدرها –226,2 (dB(W/(m^2. Hz)) بعد طرح الخسارة الناجمة عن التمديد والبالغة –163,2 (dB(W/m^2)).
- نواتج التشكيل البيني في الموجات الحاملة والناجمة عن عدم الخطية في المكبر TWTA. ويقسم نطاق الوصلات الهابطة المنحصر بين 10,95-10,75 GHz إلى 27 نطاقاً فرعياً يضم كل منها عدداً مختلفاً من الموجات الحاملة الراديوية. وفي حالة ذروة التحميل، سيعمل ما يقارب من 600 موجة حاملة في نفس الوقت وستتوزع هذه الموجات عبر النطاقات الفرعية. ومن أجل تقدير سوية نواتج التشكيل البيني في نطاق علم الفلك الراديوي، أجريت محاكاة الحالة الأسوأ حيث ملئت النطاقات الفرعية بضوضاء غوسية لمحاكاة وجود موجات حاملة عديدة وشُغل المكبر TWTA بأقصى مستوى له، وقد أتاحت هذه المحاكاة قياس خصائص نقل الدخل والخرج للمكبر TWTA. ونتج عن ذلك سوية الذروة للكثافة spfd لنواتج التشكيل البيني (ومنها جميع أوامر النواتج IM) في النطاق 10,70-10,69 GHz وهي –223,0 (dB(W/(m^2. Hz)). ويبلغ متوسط الكثافة IM spfd للحالة الأسوأ –231 (dB(W/(m^2. Hz)). أما القيم المتعلقة بالجزء المتبقي من نطاق علم الفلك الراديوي فهي أقل من المتوسط بما يقارب 5 dB (أي قيمة ذروة قدرها 228,0 ومتوسط قدره –236,0 (dB(W/(m^2. Hz)).

وتتولد نواتج التشكيل البيني من مئات الموجات الراديوية المنفصلة المتشكلة في تدفقات اثنينية عشوائية منفصلة. فكل مشكِّل يستخدم تتابعاً أقصى من 24 بتة ضوضاء شبه عشوائية فوق تدفق المعلومات ليضمن الترابط الأدنى ما بين الموجات الحاملة. وهنالك آلاف النواتج المتفرقة المنفصلة التي لها توزيعات في نطاق علم الفلك الراديوي. ولا تشغَّل الموجات الراديوية ذاتها إلا عند وجود إشارات صوتية، مما يزيد من عشوائية الإشارة IM المركبة. ولذا يبدو أن النواتج IM تعمل وكأنها ضوضاء غوسية عريضة النطاق.

وتُخصص الموجات الحاملة الراديوية بناءً على الطلب وعند الحاجة، وإلاّ فيوقف تشغيلها. ويفضي ذلك إلى أن ظروف الحالة الأسوأ تظهر في ساعات العمل في أيام العمل العادية أي عموماً خلال اثنتي عشرة ساعة في اليوم. أما أثناء الليل وخلال عطلة نهاية الأسبوع أو العطل السنوية، فإن حمولة الذروة تكون أقل بكثير. وبسبب نقص الحمولة هذا، يعمل المكبر TWTA في منطقة أكثر خطية مما ينتج انخفاضاً في سوية النواتج IM. كما يؤدي خفض عدد الموجات الحاملة الراديوية إلى الحد من النواتج IM. وخلال هذه الفترات الهادئة تنخفض الكثافة spfd للنواتج IM بمقدار 40 dB كحد أدنى، أي أنها تقارب القيمة dB(W/(m^2. Hz) 260–.

تقدير إجمالي التداخل: ضوضاء الأنبوبة وضوضاء التشكيل البيني مجتمعتين تتبعان توزيعاً غوسياً عريض النطاق. ويقدر متوسط الكثافة spfd للحالة الأسوأ في النطاق GHz 10,69-10,6 بالقيمة dB(W/(m^2. Hz) 225,6– وترتفع هذه القيمة لتصل إلى dB(W/(m^2. Hz) 221,3– في التردد GHz 10,7. ويقدر متوسط الكثافة spfd خلال الفترات الهادئة في كامل النطاق بالقيمة dB(W/(m^2. Hz) 226,2–.

1.2.3.4.14 المحاكاة الحاسوبية

أظهرت دراسة أجريت استناداً إلى محاكاة حاسوبية أن تشغيل أي تخصيص بموجب التذييل 30B للوائح الراديو يسبب تداخلاً أعلى من سوية العتبة للكثافة spfd للطيف المتصل (الواردة في الفقرة 3.1.14) في جميع التلسكوبات الراديوية الواقعة في خط الرؤية المباشرة للمحطة الفضائية. وشددت الدراسة على أن الجزء الأعظم من قدرة الإشعاعات غير المطلوبة الواقعة في النطاق GHz 10,7-10,6 يحدث في حافة النطاق. وينبغي التذكير بأن استعمال التوصية ITU-R SM.1541 لتحديد سوية البث خارج النطاق يؤدي إلى تقدير مبالغ فيه لسوية الإشعاعات غير المطلوبة لأنها تمثل تجميع قيم قناع الحالة الأسوأ. ولا بد من إجراء مزيد من الدراسات استناداً إلى قناع يمثل الخصائص النمطية للإشعاعات غير المطلوبة.

3.3.4.14 الأنظمة الساتلية غير المستقرة بالنسبة للأرض

ليس هنالك حتى الآن أي نظام ساتلي غير مستقر بالنسبة للأرض يعمل في النطاق GHz 10,95-10,7. لكن يتوقع تشغيل عدة أنظمة من هذا النوع في المستقبل القريب. وقد أجريت حسابات أولية لأحد هذه الأنظمة (F-SATMULTI1 B) يستعمل طريقة الكثافة epfd (انظر التوصيتين ITU-R RA.1513 وITU-R S.1586). وتدل هذه الحسابات على أن استعمال الفرضيات الواردة في التوصية ITU-R RA.769 يقتضي قيم ترشيح تتراوح بين 30 و40 dB من أجل حماية الخدمة RAS في النطاق GHz 10,7 من البث الهامشي لهذا النظام لتصل إلى السوية dB(W/(m^2. Hz) 240,3– في عرض نطاق قدره MHz 100. وتتسق هذه النتيجة مع نتائج النموذج الأول للنظام GSO المذكور أعلاه.

5.14 تقنيات تخفيف التداخل

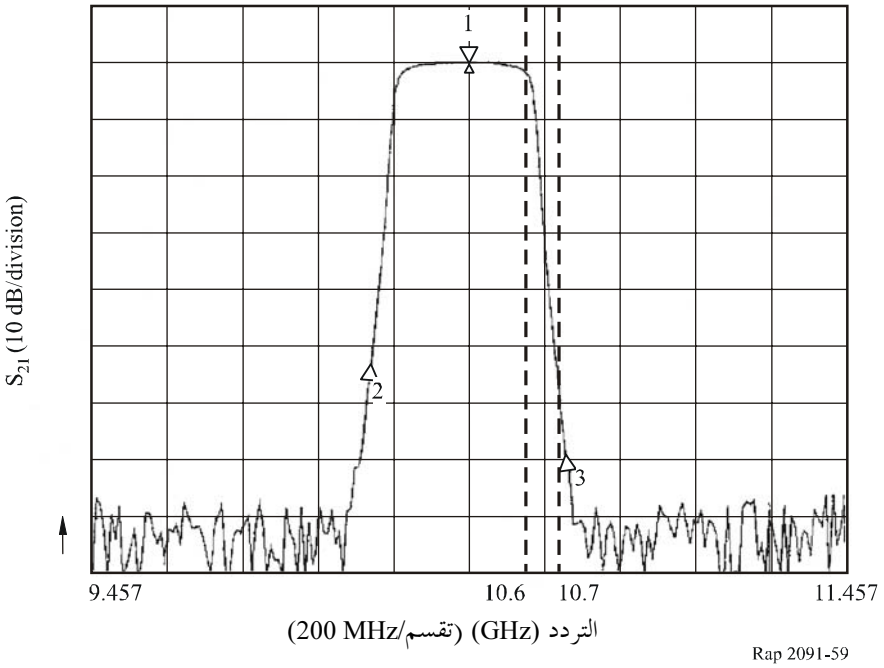
1.5.14 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

من أجل مواصلة عمليات الرصد الفلكي الراديوي في حالة التداخل الوارد وصفها في الفقرة 1.3.4.14، أدرج مرشاح في مدخل المستقبِل في التلسكوب الراديوي. وصممت مواصفات المرشاح ليحد من الإرسال الرئيسي لمصدر التداخل بمقدار 70 dB ويترك نطاق مرور كافٍ مع خسارة إدراج ضئيلة.

ويمكن إعادة المكبرات ذات الترانزستورات بتأثير المجال إلى تردد أدنى دون خسارة في الكسب أو زيادة عامل الضوضاء، ويمكن الحصول على تصميم مرشاح جيد مطروح في الأسواق. ويبين الشكل 59 وظيفة النقل في هذا المرشاح كما يصفها المصنع.

الشكل 59

منحني توهين مرشاح نبذ النطاق المستخدم في التلسكوب الراديوي المذكور في الفقرة 1.3.4



المؤشر 3 في الشكل 59 موضوع على التردد المركزي الاسمي لإرسال الساتل غير المطلوبة في النطاق GHz 10,714. ويجدر بالذكر أن النطاق الموزع للخدمة RAS، GHz 10,7-10,6، مشار إليه بالخطوط المتقطعة.

ويجدر بالذكر أن المرشاح المذكور أعلاه والمصمم لحماية مستقبل الخدمة RAS يتيح خسارة إدراج دنيا على بعد تردد فصل قدره MHz 200 من التردد المركزي للإشارة المنبوذة. وبالإمكان تخفيف تقدم في تقنيات المراشيح وفي القيم، لكن الأدوات المتوافرة حالياً تتطلب تخالف تردد قدره MHz 100 كحد أدنى.

كما يجدر بالذكر أيضاً أن عمليات رصد الخدمة RAS المتداولة يمكن إجراؤها في محطة ايفلسبرغ في نطاق تردد يبلغ حوالي GHz 10,5، وهو نطاق موزع للخدمة الثابتة للأرض ونادراً ما يعلم عن حدوث تداخل فيه، وقد لا يحدث ذلك في بلدان أخرى بسبب الاستعمال الخاص للخدمة الثابتة في هذا النطاق.

2.5.14 الخدمة النشيطة

هنالك عدد من تقنيات تخفيف التداخل التي يمكن استعمالها للحد قدر الإمكان من تأثير التداخل على الخدمة المنفعلة. وترد هذه التقنيات في التوصية ITU-R SM.1542. وفيما يلي بعض الحالات المحددة المستعملة لحماية الخدمات المنفعلة العاملة في النطاق GHz 10,7-10,6.

- لاحظت إحدى الإدارات أنه على الرغم من أن حدود التداخل التي تنص عليها التوصية ITU-R RA.769 تؤمن حماية عمليات الخدمة RAS من التداخل، يمكن استخدام مزيد من المرونة من خلال إلزام مشغلي الخدمة FSS غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض على التنسيق والتوصل إلى اتفاق مع مرافق الخدمة RAS التي تستعمل النطاق GHz 10,7-10,6 يكون مقبولاً من الطرفين من أجل ضمان حماية هذه المرافق من التداخل بصورة ملائمة. ولهذا الغرض، أضيفت حاشية إلى الجدول الوطني لتوزيع الترددات ذي الصلة. وفيما يلي نص هذه الحاشية:

"يجب على حاملي تراخيص تشغيل أنظمة ساتلية غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض تابعة للخدمة الثابتة الساتلية (فضاء–أرض) في النطاق GHz 11,7-10,7 أن ينسقوا قبل البدء بالتشغيل مع مراصد علم الفلك الراديوي من أجل التوصل إلى اتفاق مقبول من الطرفين بشأن حماية مرافق التلسكوب الراديوي العاملة في النطاق GHz 10,7-10,6."

الملاحظة 1 – ويرد في هذا الموضع من الحاشية جدول يضم مواقع علم الفلك الراديوي.

– وتقترح إحدى المساهمات التفكير في إمكانية وضع نطاق حراسة بين نطاق الخدمة FSS ونطاق الخدمة RAS (انظر المعلومات بشأن هذه المسألة في الفقرة 1.3.4.14). وتظهر نتائج الدراسات التي تجرى نطاقاً نطاقاً أن الخيار الوحيد هو السعي إلى وضع نطاق حراسة بين الخدمتين FSS وRAS. لكن توزع نطاق الحراسة بين الخدمات يتطلب بعض الدراسة.

وينبغي التذكير بأن أي نطاق حراسة يفرض على الخدمة FSS سيؤثر على خطة التذييل 30B للوائح الراديو. كما أن أي نطاق حراسة يفرض على الخدمة RAS سيؤدي إلى إطالة زمن القياس وبالتالي الحد من استعمال محطات هذه الخدمة.

وبصورة مماثلة، قد تتضرر الخدمات العاملة تحت التردد 10,6 GHz عندما يتم توسيع التوزيع للخدمة RAS إلى ما فوق 10,6 GHz للاتاحة للخدمة RAS أن تعمل بصورة جيدة في عرض نطاق قدره 100 MHz.

3.5.14 التأثير المحتمل

1.3.5.14 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

من غير الممكن تقنياً، من وجهة نظر علم الفلك الراديوي ترشيح التداخل المذكور في الفقرة 1.3.4.14. وحتى في حال توافر نظام خدمة BSS/FSS جيد التصميم، فإن مراصد علم الفلك الراديوي ملزمة بإدراج مراشيح في مداخل المستقبلات. وتضم عادة مداخل المستقبلات في المراصد الراديوية اليوم مكبرات بترانزستورات تنقلية إلكترونية عالية (HEMT) ذات طبيعة عريضة النطاق. ويتجاوز نطاق مرور مكبر المرحلة الأولى قليلاً حافة عرض النطاق المصمم. وقد تسبب المرسلات الساتلية وبخاصة تلك القريبة من اتجاه الرصد عدم خطية في نظام الاستقبال، ولذلك قد يتعين إجراء الترشيح قبل المرحلة الأولى لمكبر مدخل المستقبل. لكن لدى تصميم مستقبلات الرصد الفلكي الراديوي، يستحسن تجنب الخسارة الناتجة عن الإرسال التي تساهم في زيادة درجة حرارة ضوضاء المستقبل. وقد تحدث هذه الخسارة عند استعمال نطاق حراسة غير كاف لحماية عمليات الرصد الفلكي الراديوي، أو لأن قضية المرشاح في الترددات المعنية غير متطورة بقدر كافي.

2.3.5.14 الخدمة الثابتة الساتلية

تستخدم المراشيح لإزالة الإشعاعات غير المطلوبة، لكن إضافة المراشيح قد تؤثر على تصميم الساتل بطريقة جوهرية كأن:

– تؤدي الخسارة الناجمة عن إدراج المرشاح إلى خسارة في القدرة. وللتعويض عن هذه الخسارة يتوجب زيادة حجم المكبر عالي القدرة وسيؤثر ذلك بدوره على تصميم المحطة الفضائية (التكاليف، الوزن، القدرة الاعتمادية).

– يؤثر إدراج المرشاح على استجابة طور الإشارة في النطاق. وإذا تم تجاوز سويات التفاوت المسموح به للطور في المستقبل سيتأثر أداء الوصلة حتى ولو كانت القدرة كافية في المستقبل.

– تزيد إضافة المراشيح من تعقيد تصميم المحطة الفضائية وبرنامج الاختبار.

وعلاوة على ذلك، في حال استعمال هوائي نشيط بصفيف هوائيات مطاورة قد يتعين وضع مرشاح لكل هوائي.

وفيما يخص أنظمة السواتل متعددة الحزم التي يتوقع استعمالها للتشغيل في مدى الترددات المعني، فإن عدد الحزم وعدد عناصر نظام الهوائيات المطاورة يضاعف من التكاليف والأوزان الناتجة عن الترشيح RF الإضافي في النظام متعدد الحزم. ويعود ذلك إلى أن مكبرات الخرج في نظام متعدد الحزم لا تتقاسم عادة الحزم مما يستدعي ترشيح كل منها على حدة. وتحدث المرحلة النهائية للتكبير في نظام بشبكة هوائيات مطاورة في عناصر مختلفة من الشبكة يجب ترشيح كل منها على حدة. وبهذه الطريقة، يضاعف عدد الحزم من تأثير وزن كل مرشاح في النظام أو عدد العناصر في الشبكة المطاورة. أما الخسارة الناجمة عن إدراج المرشاح فتؤثر على قدرة النظام.

وتنطوي تقنية العزل الجغرافي على تناقص مخطط الهوائي الساتلي لتحقيق العزل الجغرافي بهدف التقيد بمعايير التقاسم المتفق عليها في موقع استقبال معين لخدمة علم الفلك الراديوي. وتفترض هذه التقنية ضمناً أن نظام الخدمة FSS لن يكون له تغطية عالمية ولا حتى إقليمية، وهو افتراض محدود في حد ذاته. فهنالك العديد من الأنظمة العاملة في نطاق 10-14 GHz ذات حزم إقليمية أو

دون إقليمية ولا يمكن فيها إجراء عزل جغرافي. ويمكن لأنظمة حزم نقطية أخرى استعمال تقنية العزل الجغرافي، لكن ذلك ليس هو الحل الأمثل من منظور النظام الساتلي إذ إنه قد يفضي إلى عدم توفر الخدمة الساتلية في بعض المناطق من الأرض. كما قد ينتج عن هذه التقييدات لمناطق الخدمة FSS عواقب خطيرة على الإيرادات. غير أن هذا الحل يتمتع بمراعاة متطلبات الحماية الفعلية لمواقع علم الفلك الراديوي المحددة دون الحاجة إلى وضع معايير الحالة الأسوأ في كل موقع من هذه المواقع.

6.14 نتائج الدراسة

1.6.14 ملخص

في الإقليم 2، وفرت أنماط التصميم وتقنيات تخفيف التداخل المتاحة حالياً حماية خدمة علم الفلك الراديوي في النطاق GHz 10,7-10,6 من العدد المحدود للمحطات الفضائية للخدمة FSS المنتشرة فيه الآن. وفي الحالات التي سبب فيها استعمال خطة التذييل 30B للوائح الراديو تداخلات في عمليات الرصد الفلكي الراديوي، أدى الضغط الذي مارسته البلدان المجاورة إلى تصحيح الوضع. إلاّ أن نشر محطات فضائية قادمة لا تطالب بحماية التلسكوبات الراديوية قد تؤثر سلباً على سير عملياتها.

أما في الإقليم 1، فقد أفضى تجاور النطاقات الموزعة للخدمة RAS والخدمة FSS أو BSS والمستعملة لإرسال الإشارات في الاتجاه فضاء–أرض إلى تفاقم في وضع التداخل في بعض البلدان لا يمكن تصحيحه إلاّ بوضع نطاق حراسة بين الخدمتين. ويتم في هذا النطاق الوفاء بمعايير الحماية الواردة في الفقرة 3.1.14 من قبل الخدمة النشيطة في حالة عمليات الرصد VLBI وليس في حالة رصد الطيف المتصل بهوائي مكافئي وحيد. وقد استخدمت تقنيات تخفيف التداخل في الإقليم 2 من أجل استيفاء شروط سوية التداخل في رصد الطيف المتصل بهوائي مكافئي وحيد. ومع ذلك، لا تزال بعض حالات التداخل الضار قائمة حتى الآن.

وفيما يتعلق بالإقليم 3، لا تتوافر أي بيانات ولم تجر أي دراسات.

2.6.14 الاستنتاجات

شروط الحماية في الإقليم 1 مستوفاة فيما يتعلق بعمليات الرصد VLBI وليس رصد الطيف المتصل بهوائي مكافئي وحيد أو رصد الخطوط الطيفية. كما أن شروط الحماية في الإقليم 2 مستوفاة فيما يتعلق بالحالة VLBI.

15 تحليل المواءمة بين أنظمة الخدمة RAS العاملة في النطاق GHz 22,5-22,21 وأنظمة الخدمة BSS (فضاء–أرض) العاملة في النطاق GHz 22-21,4

1.15 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

1.1.15 النطاق الموزع

النطاق GHz 22,5-22,21 موزع للخدمة RAS على أساس أولي.

وينص الرقم 149.5 من لوائح الراديو على حث الإدارات على اتخاذ جميع الخطوات العملية الممكنة لحماية خدمة علم الفلك الراديوي من التداخلات الضارة.

2.1.15 نمط عمليات الرصد

تستعمل الخدمة RAS نطاق الترددات لكل من عمليات رصد الطيف المتصل وعمليات الخطوط المطيافية لجزيئات الماء ذات أهم نطاق مطيافي في مدى الترددات هذا بالنسبة لعلم الفلك الراديوي (انظر التوصية ITU-R RA.314، الجدول 40 وقائمة الخطوط الطيفية الهامة للاتحاد الدولي لعلم الفلك الراديوي).

وترصد تنقلات جزيئات الماء في هذا النطاق باستعمال تقنيتي الهوائي المكافئي الوحيد والأسلوب VLBI.

3.1.15 معايير الحماية المطلوبة

تحدد التوصية ITU-R RA.769، معايير حماية عمليات الرصد الفلكي الراديوي وتقديم سويات عتبة التداخل الضار بنطاقات علم الفلك الراديوي التي لها توزيعات على أساس أولي.

وفيما يخص النطاق GHz 22,5-22,21 تحددت عتبة كثافة تدفق القدرة التي تحددها التوصية ITU-R RA.769 لعمليات رصد الخطوط الطيفية بالهوائي المكافئي الوحيد التي أجريت باستعمال عرض نطاق قناة (إحدى قنوات مقياس الطيف) قدره kHz 250 بالقيمة –162 ($dB(W/m^2)$). وتتحدد عتبة كثافة تدفق القدرة بالقيمة –146 ($dB(W/m^2)$) لعمليات رصد الطيف المتصل بهوائي مكافئي وحيد في هذا النطاق التي تجري باستعمال كامل عرض النطاق البالغ MHz 290.

أما عمليات الرصد VLBI، حيث تسجل وتجمع الإشارات الواردة من هوائيات شديدة التباعد بعد استكمال العمليات، فهي أقل حساسية بكثير للتداخلات. وينعكس ذلك في سوية عتبة كثافة تدفق القدرة المحددة لعمليات الرصد VLBI في هذا النطاق والبالغة –128 ($dB(W/m^2)$) بالنسبة لعرض نطاق قدره kHz 250.

وفيما يتعلق بالتداخل الضار الناجم عن أنظمة ساتلية غير مستقرة بالنسبة للأرض، فإن معايير الحماية والطرائق المتصلة بها ترد في التوصيتين ITU-R RA.769 وITU-R RA.1513، وفي التوصية ITU-R S.1586 فيما يتعلق بأنظمة الخدمة الثابتة الساتلية، وفي التوصية ITU-R M.1583 فيما يتعلق بأنظمة الخدمتين MSS وRNSS.

وسويات عتبة التداخل الضار بالخدمة RAS وفق تحديدها وحسابها الواردين في التوصية ITU-R RA.769 هي معايير الحماية التي ينتج عن تجاوزها تراجع في نوعية بيانات علم الفلك الراديوي وربما تلفها تماماً. ومبدئياً وفي ظروف مثالية، عندما يتم تجاوز هذه السويات تجاوزاً طفيفاً، يمكن التعويض عن ذلك في مرصد علم الفلك الراديوي من خلال إطالة زمن الرصد؛ مما يخفض قدرة قنوات التلسكوب، ويقابل ذلك انخفاض في معدل إنتاج البيانات العلمية. وعندما تصبح سوية التداخل وفق فرضيات التوصية ITU-R RA.769 (مثل أداء الهوائي وغيره) أعلى بمقدار 10 dB أو أكثر من القيمة المحددة في التوصية المذكورة، فإن زيادة زمن الرصد لن يكون كافياً لضمان توفير بيانات علمية صالحة للعلماء. وستكون محطة علم الفلك الراديوي غير قادرة على العمل في نطاق التردد المتأثر وستفقد قدرتها على توفير الخدمة إذا لم تلجأ إلى استعمال التقنيات الملائمة لتخفيف التداخل.

4.1.15 الخصائص التشغيلية

تجري عمليات الرصد في النطاق GHz 22,5-22,21 في عدد من مواقع علم الفلك الراديوي في العديد من البلدان في العالم أجمع. وقد تكون عمليات رصد إرسالات الطيف المتصل أو الخطوط الطيفية أو عمليات VLBI. وترصد هذه العمليات في هذا النطاق أحياناً أهدافاً "مؤقتة" كأجسام من قبيل المذنبات مثلاً. وغالباً ما تجري عمليات رصد الخطوط الطيفية بالأسلوب VLBI في هذا النطاق أيضاً.

وتجري عمليات رصد الخطوط الطيفية باستعمال مقاييس الطيف متعددة القنوات القادرة على تجميع القدرة في العديد من قنوات التردد (من 256 إلى 096 4 قناة) التي لها توزيعات في النطاق في نفس الوقت. ويتم اختيار عدد القنوات وعرض نطاق كل منها من أجل اعتيان طيف الإرسال الصافي الذي تنتجه المصادر في حزمة الهوائي اعتياناً ملائماً.

وتجري عمليات الرصد عموماً بصورة تفاضلية. ويمكن في حالة إرسالات الطيف المتصل رسم خريطة منطقة الأيونوسفير المحيطة بالمصدر وطرح الإرسالات الخلفية منها أو قياس القدرة الواردة إلى المصدر (في المصدر) وفي موقع واحد أو أكثر من المواقع القريبة في الأيونوسفير (خارج المصدر). ومن خلال طرح القيم خارج المصدر من القيم في المصدر، يمكن فصل الإرسالات الناتجة في المصدر عن الإرسالات الأخرى المساهمة في ناتج المستقبل.

وفي عمليات رصد الخطوط الطيفية، تسجل الأطياف في مدى ترددات يضم تردد إرسالات الخطوط موضوع القياس (أطياف الخطوط)، ثم في تردد مخالف لتردد إرسالات الخط أو في نفس التردد لكن في موقع مجاور في الأيونوسفير (الأطياف المرجعية). وبطرح الأطياف المرجعية من أطياف الخطوط الناتجة تطرح قيمة الضوضاء والقيم الأخرى غير المطلوبة من البيانات.

وترسم خريطة مناطق متسعة للإرسال الراديوي من خلال تسجيل إشعاعاتها في شبكة نقطية تغطي المنطقة المعنية. وتجرى عمليات رصد الطيف المتصل والخطوط الطيفية. وفي حالة أجهزة الرصد الراديوية أحادية الهوائي، تمثل كل عملية رصد في نقطة شبكية دلالة لإجمالي القدرة (في حالة الطيف المتصل) أو لطيف الإرسالات (في حالة الخطوط الطيفية) الصادرة عن ذلك الموقع في الأيونوسفير؛ وينبغي ألا يتجاوز التباعد بين نقاط الشبكة نصف عرض حزمة الهوائي. وعند إجراء العمليات باستعمال تلسكوب راديوي بفتحة تركيبية، وعندما تتجاوز المنطقة الواجب رسمها مجال الرسم المتاح، ينبغي عدم مباعدة نقاط الشبكة بمقدار يزيد عن نصف فتحة حزمة أحد هوائيات التلسكوب الراديوي.

وتتم عمليات الرصد VLBI بتحويل الإشارات إلى إشارات نطاق أساسي ثم رقمنتها دون تصحيح وتسجيلها على شريط ممغنط أو في وسائط تخزين أخرى مع قرنها بإشارات توقيت دقيقة. وترسل البيانات بعد ذلك إلى مركز معالجة بيانات VLBI حيث يضبط تزامنها وترابطها. ولذا، فإن التأثير الكامل للتداخلات لا يعرف إلا بعد انتهاء فترة الرصد واستكمال معالجة البيانات.

2.15 الخدمة الإذاعية الساتلية (BSS)

1.2.15 النطاق الموزع للإرسال

ينحصر مدى ترددات التوزيع للخدمة النشيطة بين 21,4 و22 GHz.

2.2.15 الخدمة

أعاد المؤتمر WARC-92 توزيع النطاق 22,0-21,4 GHz في الإقليمين 1 و3 لخدمة التلفزيون الرقمي عالي الوضوح (HDTV) في الخدمة BSS، على أن يدخل حيز التنفيذ اعتباراً من 1 أبريل 2007. وقد تحدد هذا النطاق لوضع خطة توزيع قادمة.

3.2.15 السويات المحددة استناداً إلى الأحكام التنظيمية

القسم III من الملحق بالقرار (Rev.WRC-03) 525، الإجراء المؤقت الخاص بأنظمة التلفزيون عالي الوضوح المشغلة في الخدمة الإذاعية الساتلية ((BSS (HDTV) العاملة قبل 1 أبريل 2007.

ومن أجل إدخال أنظمة تشغيلية في الخدمة BSS (HDTV) في النطاق 22,0-21,4 GHz في الإقليمين 1 و3 قبل 1 أبريل 2007، تطبق إجراءات القرار (Rev.WRC-03) 33 إذا كانت كثافة تدفق القدرة على سطح الأرض الناتجة من إرسالات محطة فضائية على أراضي بلد آخر تتجاوز القيم التالية:

- –115 dB(W/m^2) في أي نطاق عرضه 1 MHz لزوايا الوصول المحصورة بين 0° و5° فوق المستوي الأفقي؛ أو
- –105 dB(W/m^2) في أي نطاق عرضه 1 MHz لزوايا الوصول المحصورة بين 25° و90° فوق المستوي الأفقي؛ أو
- القيم التي تحسب بالاستكمال الداخلي الخطي بين هذه الحدود لزوايا الوصول الواقعة بين 5° و25° فوق المستوي الأفقي.

القسم IV من الملحق بالقرار (Rev.WRC-03) 525 – الإجراء المؤقت الخاص بأنظمة التلفزيون عالي الوضوح للخدمة الإذاعية الساتلية BSS (HDTV) العاملة بعد 1 أبريل 2007.

تطبق الأحكام ذات الصلة في المواد من 9 إلى 14 باستثناء الرقم 11.9، لأغراض إدخال أنظمة التلفزيون عالي الوضوح للخدمة الإذاعية الساتلية وتشغيلها في النطاق 22,0-21,4 GHz في الإقليمين 1 و3 بعد 1 أبريل 2007 وقبل أن يتخذ مؤتمر قادم القرارات المتعلقة بالإجراءات النهائية.

4.2.15 خصائص المرسل

فيما يلي الخصائص المستخدمة:

- كسب هوائي نظام الخدمة BSS هو نسفه في نطاق الخدمة BSS ونطاق الخدمة RAS؛

- أقصى سويات كثافة spfd/pfd مستخدمة للإشعاعات غير المطلوبة والناتجة عن الأنظمة BSS الواقعة في نطاق الخدمة RAS؛
- زيادة جديدة لطيف الإشارة المشكلة رقمياً بسبب لا خطية المكرر؛
- ضوضاء الأنبوبة TWT الواقعة في نطاق الخدمة RAS،؛
- الخصائص المحسنة للمراشيح OMUX.

5.2.15 الخصائص التشغيلية

لا تتناول الفقرة 15 هذه إلا حالة الأنظمة المستقرة بالنسبة إلى الأرض. أما حالة الأنظمة غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض فتتطلب مزيداً من الدراسة.

6.2.15 سوية الإرسال داخل النطاق

انظر الفقرة 3.2.15.

3.15 عتبة المواءمة

انظر الفقرة 3.1.15.

4.15 تقدير التداخل

1.4.15 المنهجية المتبعة في تقدير سوية التداخل

انظر الفقرة 4.2.15.

2.4.15 حساب سوية التداخل

يقدم الجدول 40 السويات القصوى للإشعاعات غير المطلوبة الناتجة عن أنظمة الخدمة BSS العاملة في النطاق 22-21,4 GHz والواقعة في نطاق خدمة علم الفلك الراديوي 22,5-22,21 GHz.

الجدول 40

السويات القصوى للإشعاعات غير المطلوبة الناتجة عن الأنظمة BSS

النطاق (GHz)	أقصى سوية لكثافة spfd للإشعاعات ضيقة النطاق غير المطلوبة (dB(W/(m2 · Hz)))	أقصى سوية كثافة pfd للإشعاعات عريضة النطاق غير المطلوبة (dB(W/(m2 · 290 MHz)))
22,5-22,21	221–	146–

3.4.15 القيم الناتجة

يقدم الجدول 41 النتائج التي تفضي إليها المقارنة بين سويات عتبة الكثافة pfd لحماية الخدمة RAS في النطاق 22,5-22,21 GHz وفقاً للتوصية ITU-R RA.769 (الفقرة 3.1.15) وسويات الإشعاعات غير المطلوبة الناتجة عن أنظمة الخدمة الإذاعية الساتلية.

الجدول 41

الفرق بين سويات عتبة الكثافة pfd وفق التوصية ITU-R RA.769 وسويات الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن الخدمة BSS

نمط عملية الرصد	رصد الطيف المتصل	رصد الخط الطيفي	رصد بالأسلوب VLBI
الفرق بين سويات عتبة الكثافة pfd وفق التوصية ITU-R RA.769 وسويات الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن الخدمة BSS	0	5+	37+

تبين هذه الحسابات أن عمليات رصد الطيف المتصل بهوائي مكافئي وحيد ورصد الخطوط الطيفية بهوائي مكافئي وحيد والرصد VLBI تفي بسويات العتبة التي تنص عليها التوصية ITU-R RA.769.

5.15 تقنيات تخفيف التداخل

1.5.15 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

هنالك تقنيات مختلفة، ومنها تلك المذكورة آنفاً، يمكن استعمالها لخفض الإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن المرسلات الساتلية في تلسكوب راديوي.

أداء الفصوص الجانبية للهوائي: تستمثل عادة إضافة فتحة التلسكوب الراديوي للحصول على أفضل نسبة *G/T*، أي نسبة كسب تلسكوب إلى درجة حرارة النظام. وذلك من أجل زيادة نسبة الإشارة إلى الضوضاء (*S/N*) إلى أبعد حد في مصادر التغطية. وأحد العناصر الرئيسية في هذا النهج هو خفض إشعاعات سطح الأرض التي تصل إلى الفصوص الجانبية البعيدة. الأمر الذي يؤدي حتماً إلى زيادة مقابلة للسويات في الفصوص الجانبية القريبة. وقد أثبتت التجارب أن معظم التلسكوبات الراديوية يفي بقيمة القناع الغلافي المحدد في التوصية ITU-R SA.509 للفصوص الجانبية في معظم الاتجاهات.

الانقطاع في الزمن و/أو التردد: تستخدم هذه التقنية في بعض الحالات التي يمكن فيها تحديد نطاق ترددات خدمة الفلك الراديوي تماماً ودون لبس الزمن و/أو في التردد.

2.5.15 الخدمة الإذاعية الساتلية (BSS)

المراشيح: ويتطلب ذلك من النظام النشيط إدراج ترشيح RF إضافي.

3.5.15 التأثير المحتمل

1.3.5.15 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

أداء الفصوص الجانبية للهوائي: يبدو أن محاولات خفض حساسية هوائي خدمة الفلك الراديوي للإشعاعات غير المطلوبة الناجمة عن محطات فضائية تساهم في زيادة حساسية تلسكوب هذه الخدمة لإشعاعات الأرض، كما قد تخفض من كسب حزمته الرئيسية. وسيضعف هذان التأثيران قدرة قنوات التلسكوب، مما قد يؤدي إلى زيادة إجمالي الوقت المطلوب للتكامل.

الانقطاع في الزمن و/أو التردد: ينطوي الانقطاع على خطر يتهدد تكاملية البيانات وقد يفضي إلى وقوع أخطاء في التفسير العلمي لهذه البيانات. كما قد يسبب الانقطاع زيادة ملازمة لإجمالي وقت التكامل المطلوب لإجراء عملية الرصد، وذلك يعني خسارة في قدرة قنوات التلسكوب.

2.3.5.15 الخدمة الإذاعية الساتلية

فيما يتعلق بالأنظمة الساتلية متعددة الحزم التي يفترض تشغيلها في مدى الترددات موضوع الدراسة، فإن عدد الحزم في نظام متعدد الحزم أو عدد العناصر المكونة يضاعف من تكاليف وأوزان الترشيح RF الإضافي في نظام الهوائيات المطاورة. ويعود ذلك إلى أن مكبرات الخرج في نظام متعدد الحزم غير مشتركة عادة بين الحزم، مما يستدعي ترشيح كل منها على حدة.

وفي نظام من نوع صفيف الهوائيات المطاورة، تجري المرحلة النهائية للتكبير في مختلف عناصر الصفيف التي يتوجب ترشيح كل منها على حدة. وبهذه الطريقة، يتضاعف عدد الحزم أو عدد عناصر صفيف الهوائيات المطاورة تأثير الوزن لمرات تساوي عدد المراشيح في النظام. وقد تؤثر الخسارة الناجمة عن إدراج المراشيح على قدرة النظام.

6.15 نتائج الدراسة

تبين الحسابات أن معايير الحماية الواردة في الفقرة 3.1.15 مستوفاة في جميع أساليب الرصد (VLBI والطيف المتصل بهوائي مكافئي وحيد، والخطوط الطيفية).

16 تحليل المواءمة بين أنظمة الخدمة RAS العاملة في النطاق GHz 43,5-42,5 وأنظمة الخدمة FSS والخدمة BSS (فضاء–أرض) العاملة في النطاق GHz 42,5-41,5

1.16 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

1.1.16 النطاق الموزع

تتقاسم خدمة علم الفلك الراديوي النطاق GHz 43,5-42,5 مع الخدمة الثابتة والخدمة الثابتة الساتلية (أرض–فضاء) والخدمة المتنقلة (باستثناء المتنقلة للطيران) على أساس أولي.

2.1.16 نمط عمليات الرصد

تستعمل خدمة علم الفلك الراديوي النطاق GHz 43,5-42,5 لعمليات رصد الطيف المتصل ورصد الخطوط الطيفية. وهذا النطاق بالغ الأهمية بالنسبة لخدمة علم الفلك الراديوي لأنه يتيح عند تردد يساوي تقريباً ضعف تردد النطاق GHz 24-23,6 للطيف المتصل نقطة جيدة لاعتيان إرسالات الطيف المتصل مع فواصل ثُمانية، وذلك عنصر هام في تحديد الدليل الطيفي للمصادر الراديوية. وتتيح عمليات رصد إرسالات الطيف المتصل معلومات أساسية عن الحالة المادية لمحيط ما بين النجوم المرتبط بمناطق تشكل النجوم. كما يستعمل النطاق GHz 43 كثيراً لدراسات الخلفية الكونية بالموجات الصغرية (CMB). ويشمل هذا النطاق أيضاً الخطوط الطيفية المصاحبة لجزئيات أول أكسيد السليكون (SiO) في ترددات الراحة 42,519 و42,821 و43,122 و43,424 GHz، وهي من أهم الخطوط في علم الفلك الفيزيائي لكنها غير مذكورة في التوصية ITU-R RA.314.

وهنالك خطوط أساسية لدراسات الظواهر الكونية مثل ولادة النجوم وأفولها.

3.1.16 معايير الحماية المطلوبة

تحدد التوصية ITU-R RA.769 معايير حماية عمليات الرصد الفلكي الراديوي وتقدم سويات عتبة التداخل الضار بالنطاقات التي لها توزيعات على أساس أولي لخدمة علم الفلك الراديوي. ففي النطاق GHz 43,5-42,5 تتحدد عتبة الكثافة pfd للتداخل الضار عند إجراء عمليات رصد الخطوط الطيفية بهوائي مكافئي وحيد باستعمال عرض نطاق قناة (إحدى قنوات مقياس الطيف) قدره kHz 500، بالقيمة –153 $Db(W/m^2)$. ولإجراء عمليات رصد الطيف المتصل بهوائي مكافئي وحيد باستعمال كامل عرض النطاق البالغ GHz 1، فإن عتبة الكثافة pfd الحد هي –137 $Db(W/m^2)$.

أما عمليات الرصد VLBI حيث تسجل وتجمع الإشارات الواردة من هوائيات شديدة التباعد فيما بينها بعد انتهاء العمليات فهي أقل حساسية بكثير للتداخل. وينعكس ذلك بوضوح في سوية عتبة الكثافة pfd المحددة للعمليات VLBI في هذا النطاق وهي –116 $Db(W/m^2)$ بالنسبة لعرض نطاق قدره kHz 500.

وفيما يتعلق بالتداخل الضار الناجم عن أنظمة ساتلية غير مستقرة بالنسبة للأرض، فإن معايير الحماية والطرائق المتصلة بها ترد في التوصيتين ITU-R RA.769 وitu-R RA.1513، وفي التوصية ITU-R S.1586 فيما يتعلق بأنظمة الخدمة الثابتة الساتلية. وسويات عتبة التداخل الضار بالخدمة RAS وفق تحديدها وحسابها في التوصية ITU-R RA.769 هي معايير الحماية التي ينتج عن تجاوزها تراجع في نوعية بيانات علم الفلك الراديوي وربما تلفها تماماً. ومبدئياً وفي ظروف مثالية، عندما يتم تجاوز هذه السويات تجاوزاً طفيفاً، يمكن التعويض عن ذلك في مرصد علم الفلك الراديوي من خلال إطالة زمن الرصد؛ مما يخفض قدرة

قنوات التلسكوب، ويقابل ذلك انخفاض في معدل إنتاج البيانات العلمية. وعندما تصبح سوية التداخل وفق فرضيات التوصية ITU-R RA.769 (مثل أداء الهوائي وغيره) أعلى بمقدار 10 Db أو أكثر من القيمة المحددة في التوصية المذكورة، فإن زيادة زمن الرصد لن تكون كافية لضمان توفير بيانات علمية صالحة للعلماء. وستكون محطة علم الفلك الراديوي غير قادرة على العمل في نطاق التردد المتأثر وستفقد قدرتها على توفير الخدمة إذا لم تلجأ إلى استعمال التقنيات الملائمة لتخفيف التداخل.

وفيما يلي توصيات ITU-R تتناول مباشرة أو بصورة غير مباشرة حماية محطات علم الفلك الراديوي التي تجري عمليات رصد في النطاق GHz 43,5-42,5:

التوصية ITU-R RA.314: نطاقات الترددات المفضلة لإجراء القياسات في علم الفلك الراديوي.

التوصية ITU-R RA.517: حماية خدمات علم الفلك الراديوي من المرسلات العاملة في النطاقات المجاورة.

التوصية ITU-R RA.611: حماية خدمة علم الفلك الراديوي من البث الهامشي.

التوصية ITU-R RA.769: معايير الحماية المتبعة في قياسات علم الفلك الراديوي.

التوصية ITU-R RA.1237: حماية خدمة علم الفلك الراديوي من الإشعاعات غير المطلوبة الناتجة عن تطبيقات التشكيل الرقمي بالنطاق العريض.

التوصية ITU-R RA.1513: سويات خسارة البيانات في عمليات الرصد الفلكي الراديوي ومعيار النسبة المئوية من الوقت الناتجة عن الانحطاط بسبب التداخل في نطاقات التردد التي لها توزيعات لخدمة علم الفلك الراديوي على أساس أولي.

التوصية ITU-R RA.1586: حساب سويات الإشعاعات غير المطلوبة التي ينتجها نظام ساتلي غير مستقر بالنسبة إلى الأرض للخدمة الثابتة الساتلية في مواقع علم الفلك الراديوي.

كما تنطبق الأرقام 149.5 و547.5 و551AA.5 و551G.5 من لوائح الراديو على هذا النطاق.

4.1.16 الخصائص التشغيلية

تجرى عمليات الرصد الفلكي الراديوي في النطاق GHz 43,5-42,5 في جميع أقاليم الاتحاد. ويعرض الجدول 42 قائمة بمراصد علم الفلك الراديوي التي تعمل أو يتوقع أن تعمل في النطاق GHz 43,5-42,5. والمرافق المتوقعة هي تلك الموجودة قيد البناء في المكسيك (The Large Millimeter Telescope, a joint U.S.-Mexico project) وهو 0مشروع أمريكي–مكسيكي مشترك، أو في تشيلي (The Atacama Large Millimeter Array) أو في إيطاليا (Sardinia Telescope) أو استخدام نطاق الترددات هذا في شبكة قياس التداخل MERLIN في المملكة المتحدة.

الجدول 42

محطات علم الفلك الراديوي العاملة في النطاق GHz 43,5-42,5

الإقليم 1						
البلد	الموقع	خط الطول	خط العرض	الارتفاع (m)	القطر (m)	تعليقات
فنلندا	Metsähovi	24° 23’ 17 »	60° 13’ 04 »	61	13,7	S
فرنسا	Bordeaux Plateau de Bure	00° 31’ 37 »– 5° 54’ 26 »	44° 50’ 10 » 44° 38’ 01 »	73 2 552	2,5 6 × 15	S S
ألمانيا	Effelsberg	06° 53’ 00 »	50° 31’ 32 »	369	100	S
الإقليم 1						

البلد	الموقع	خط الطول	خط العرض	الارتفاع (m)	القطر (m)	تعليقات
إيطاليا	Medicina	11° 38’ 43 »	44° 31’ 14 »	44	32	S
	Noto	15° 03’ 00 »	36° 31’ 48 »	85 570	32	S
	Cagliari	09° 14’ 40 »	39° 29’ 50 »		64	S
الاتحاد الروسي	Dmitrov	37° 27’ 00 »	56° 26’ 00 »	200	32	S
إسبانيا	Pico Veleta	03° 23’ 34 »–	37° 03’ 58 »	2 870	30	S
	Yebes	03° 06’ 00 »–	40° 31’ 30 »	931	40	S
السويد	Onsala	11° 55’ 35 »	57° 23’ 45 »	10	20	S
المملكة المتحدة (قيد البناء)	Cambridge	00° 02’ 20 »	52° 09’ 59 »	24	32	S
	Darnhall	02° 32’ 03 »–	53° 09’ 21 »	47	47	S
	Jodrell Bank	02° 18’ 26 »–	53° 14’ 10 »	78	76	S
	Knockin	02° 59’ 45 »–	52° 47’ 24 »	66	25	S
	Pickmere	02° 26’ 38 »–	53° 17’ 18 »	35	25	S

الإقليم 2

البلد	الموقع	خط الطول	خط العرض	الارتفاع (m)	القطر (m)	تعليقات
البرازيل	Atibaia, SP	46° 33’ 28 »–	23° 11’ 05 »–	805	13,7	S
شيلي	San Pedro de Atacama	67° 44’ 00 »–	23° 02’ 00 »–	5 000	64 × 12	S
المكسيك	Sierra Negra	97° 18’ 00 »–	18° 59’ 00 »	4 500	50	S

الجدول 42 (*تتمة*)

البلد	الموقع	خط الطول	خط العرض	الارتفاع (m)	القطر (m)	تعليقات
الولايات المتحدة الأمريكية	Goldstone, CA	116° 47’ 40”–	35° 14’ 50”	[]	34	S
	Green Bank, WV	79° 50’ 24”–	38° 25’ 59”	1 071	100	S
	Socorro, NM	107° 37’ 06”–	34° 04’ 44”	946	27 × 25	S
	St. Croix, VI	64° 35’ 01”–	17° 45’ 24”	16	25	VLBI
	Hancock, NH	71° 59’ 12”–	42° 56’ 01”	309	25	VLBI
	North Liberty, IA	91° 34’ 27”–	41° 46’ 17”	241	25	VLBI
	Ft. Davis, TX	103° 56’ 41”–	30° 38’ 06”	1 615	25	VLBI
	Los Alamos, NM	106° 14’ 44”–	35° 46’ 31”	1 967	25	VLBI
	Pie Town, NM	108° 07’ 09”–	34° 18’ 04”	2 371	25	VLBI
	Kitt Peak, AZ	111° 36’ 45”–	31° 57’ 23”	1 916	25	VLBI
	Owens Valley, CA	118° 16’ 37”–	37° 13’ 54”	1 207	25	VLBI
	Brewster, WA	119° 41’ 00”–	48° 07’ 52”	255	25	VLBI
	Mauna Kea, HI	155° 27’ 19”–	19° 48’ 05”	3 720	25	VLBI
	Kitt Peak, AZ	111° 36’ 50”–	31° 57’ 10”	1 916	12	S
	Mauna Kea, HI	155° 28’ 20”–	19° 49’ 33”	3 720	10,4	S
	Westford, MA	71° 29’ 19”–	42° 37’ 23”	[122]	36	S

الإقليم 3

البلد	الموقع	خط الطول	خط العرض	الارتفاع (m)	القطر (m)	تعليقات
أستراليا	Parkes	148° 15’ 44 »	33° 00’ 00 »–	415	64	S
	Mopra	149° 05’ 58 »	31° 16’ 04 »–	866	22	S
	Narrabri, NSW	149° 32’ 56 »	30° 59’ 52 »–	237	6 × 22	S
	Tidbinbilla	148° 58’ 59 »	35° 24’ 18 »–	677	34	S
اليابان	Nobeyama	138° 28’ 32 »	35° 56’ 29 »	1 350	45	S
	Kashima	140° 39’ 46 »	35° 57’ 15 »	50	34	S
	Mizusa	141° 07’ 57 »	39° 08’ 01 »	117	20	S
	Ogasawara	130° 26’ 25 »	31° 44’ 53 »	569	20	S
	Ishigakijima	142° 13’ 00 »	27° 05’ 30 »	273	20	S
		124° 10’ 06 »	24° 24’ 38 »	60	20	S

الإقليم 3						
البلد	الموقع	خط الطول	خط العرض	الارتفاع (m)	القطر (m)	تعليقات
جمهورية كوريا الشعبية الديمقراطية	Taejon Yonsei U. Ulsan U. Tamna U.	127° 22' 18" 126° 56' 35" 129° 15' 04" 126° 27' 43"	36° 23' 54" 37° 33' 44" 35° 32' 33" 33° 17' 18"	120 260 120 100	13,7 20 20 20	S S S S
مناطق أخرى						
بتمويل من الولايات المتحدة الأمريكية	Antarctica	غير متاح	–90° 00' 00"	3 000	متعدد	S

الملاحظة 1 – تحيل S إلى المحطات التي تعمل بأسلوب الهوائي المكافئي الوحيد، وتحيل VLBI إلى المحطات المستخدمة لعمليات الأسلوب VLBI حصراً.

واهتمام العلماء بالنطاق 43 GHz فائق. ومرد معظم هذا الاهتمام هو رصد مصادر راديوية ضعيفة جداً توسع من حدود التكنولوجيا مثل درجات حرارة ضوضاء هوائي بمقدار 2-20 μK تنطوي على تكامل يتراوح بين 000 2 و000 4 ثانية. والأوقات الطويلة للتكامل أمر أساسي في رصد المصادر الضعيفة التي يهتم بها العلماء. وقد طورت أساليب رصد ترابطية وتفاضلية واستعملت بنجاح لمواجهة التقلبات الجوية من أجل توفير أوقات تكامل طويلة.

وصفيف الهوائيات الكبير جداً (VLA) للمرصد الوطني الأمريكي لعلم الفلك الراديوي (NRAO)، والذي قد يكون أثقل تلسكوب راديوي وزناً في العالم، أمضى ما يقارب 20% من إجمالي وقت رصده للأعوام القليلة الماضية في هذا النطاق. وتسجل نفس النسب في صفيف الهوائيات الطويل جداً للخط الأساسي (VLBA). ويتلقى كل من VLA وVLBA ضعفي أو ثلاثة أضعاف الطلبات التي يستطيعان تقديمها في وقت الرصد المتاح.

وتتغير النسبة المئوية من الوقت التي تمضيها كل محطة في النطاق 42 GHz من محطة إلى أخرى ومن سنة إلى أخرى. ويتمتع العديد من التلسكوبات الراديوية الآن بمرونة تمكنها من التبديل من نطاق تردد إلى آخر لإجراء عملياتها في فترة دقيقة واحدة أو أقل. وذلك يتيح وضع برامج مرنة للاستفادة من ظروف الرصد (الطقس وغير ذلك). ولذلك ومن وجهة نظر دراسات المواءمة بين الخدمات يستحسن افتراض أن أي محطة علم فلك راديوي ترد في الجدول 42 قادرة على إجراء عمليات رصد في أي وقت في النطاق 42 GHz.

2.16 الخدمتان FSS وBSS

1.2.16 النطاق الموزع للإرسال

نطاق الخدمة النشيطة المحدد هو النطاق 42,5-41,5 GHz.

2.2.16 التطبيق

استناداً إلى بطاقات التبليغ عن الشبكات المقدمة إلى الاتحاد يتوقع أن تعمل أكثر من 250 شبكة خدمة FSS وBSS في النطاق 40 GHz والنطاق 47 GHz المقابل للوصلات الصاعدة. ويعرض الجدول 43 المعلمات النمطية لأنظمة الخدمة FSS التي يتوقع أن تعمل في النطاقات 40/50 GHz.

الجدول 43

الخصائص النمطية لنظام الوصلات الهابطة للأنظمة الساتلية المستقرة وغير المستقرة بالنسبة إلى الأرض للخدمة FSS التي يتوقع أن تعمل في النطاق 42,5-37,5 GHz (التوصية ITU-R S.1557)

المعلمة	الخدمة GSO FSS	الخدمة Non-GSO FSS (MEO)
حجم حزمة هوائي الساتل (بالدرجات)	من 0,6 إلى 0,3	من 0,6 إلى 1,8 تبعاً لارتفاع الساتل

قدرة نمطية بالتيار المستمر لمحطة فضائية (kW)	من 10 إلى 15	من 3 إلى 5
قدرة RF نمطية لإرسال الساتل في الهوائي	من 2,5 kW إلى 3,5 kW	من 700 W إلى 1,1 kW
عدد الحزم	من 30 إلى 60	من 10 إلى 20
عرض النطاق	من 2,0 إلى 5,0، بما في ذلك الساتل HDFSS والبوابة/المحور	
خطة إعادة استعمال التردد	4 أو 7 مرات (معظم الأنظمة تستعمل خطة الترددات 4 مرات)	
تيسر الوصلة: – بوابة/محور (%) – HDFSS (VSAT) (%)	 – > 99,9 – 99,5 to 99,7	
حمولة نافعة	مكرر شفاف أو حمولة نافعة للمعالجة	
أصغر زاوية ارتفاع تشغل (بالدرجات)	> 15	> 20
تشكيل	QPSK/8-PSK/16-QAM	
معدل الخطأ في البتات	1×10^{-8} to 1×10^{-10}	
التشفير	شفرة متسلسلة	
القيمة E_b/N_0 (dB) المطلوبة	12,5-6 تبعاً للتشكيل والتشفير	
الانحطاط الناجم عن التداخل (dB)	– من 2 إلى 4	
هامش النظام (dB)	– من 1 إلى 3	
حجم هوائي المطراف الأرضي: – البوابة/المحور (m) – HDFSS (VSAT) (m)	 – من 1,8 إلى 2,7 – من 0,3 إلى 0,6	 – من 1,5 إلى 2,7 – من 0,3 إلى 0,6
درجة حرارة ضوضاء نظام المطراف الأرضي (K)	– من 600 إلى 800	

HDFSS: خدمة ثابتة ساتلية عالية الكثافة.
VSAT: مطراف بفتحة صغيرة جداً.

3.2.16 السويات استناداً إلى وثائق الاتحاد القائمة

فيما يلي التوصيات ITU-R ذات الصلة:

التوصية ITU-R S.1557: متطلبات وخصائص تشغيلية لأنظمة الخدمة الثابتة الساتلية العاملة في النطاقات GHz 40/50 للاستخدام في دراسات التقاسم بين الخدمتين الثابتة الساتلية والثابتة.

التوصية ITU-R SF.1484: أقصى قيم مسموح بها لكثافة تدفق القدرة عند سطح الأرض تنتجها سواتل غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض في الخدمة الثابتة الساتلية العاملة في النطاق GHz 42,5-37,5 بغية حماية الخدمة الثابتة.

التوصية ITU-R SF.1573: أقصى قيم مسموح بها لكثافة تدفق القدرة عند سطح الأرض تنتجها سواتل مستقرة بالنسبة إلى الأرض في الخدمة الثابتة الساتلية العاملة في النطاق GHz 42,5-37,5 بغية حماية الخدمة الثابتة.

التوصية ITU-R SM.1540: الإشعاعات غير المطلوبة في مجال البث خارج النطاق الواقع داخل النطاقات المجاورة الموزعة.

التوصية ITU-R SM.1541: الإشعاعات غير المطلوبة في مجال البث خارج النطاق.

4.2.16 خصائص المرسل

معظم أنظمة الخدمة FSS المقترحة للعمل في النطاقات GHz 40/50 من أجل توفير معدلات بيانات عالية تتراوح بين نوعية المؤتمرات الفيديوية بمعدلات عالية جداً للإرسال STM-1 (Mbit/s 155) وبين 10 × STM-4 (Gbit/s 6,22). ونظراً إلى أن الانحطاط الناجم عن الانتشار شديد في مدى الترددات هذا، ينبغي إيلاء اهتمام خاص بالتصميم في هذا النطاق؛ الأمر الذي قد لا ينطبق على الترددات الأدنى. ومن أجل تحقيق تيسر الوصلات والمعدل العالي للبيانات في النطاق GHz 40، يجب تشغيل

معظم أنظمة الخدمة FSS المقترحة مع هوائيات ساتلية مرتفعة الكسب. وتتراوح فتحة الحزمة عند 3 dB لهوائي الإرسال والاستقبال بين 0,3° و0,65°. وبسبب التقييدات التي يفرضها وزن الساتل وقدرته، يكون عدد الحزم النشيطة الواقعة في أي وقت من الأوقات في مجال رؤية الساتل لجميع أنظمة الخدمة FSS المقترحة للعمل في هذه النطاقات ضئيلاً جداً لا يتجاوز عادة 5%. وفي إحدى الدراسات ذات الصلة (التوصية ITU-R S.1557)، يفترض أن تكون لأنظمة الخدمتين FSS وBSS المتوقع عملهما في النطاق 40 GHz معلمات متماثلة.

ويدل الجدول 43 على أن معظم الأنظمة FSS المقترحة تخطط لاستعمال 2 GHz من الطيف على الأقل في الاتجاه فضاء–أرض، ومعظم الأنظمة تستخدم خطة إعادة استعمال الترددات أربع مرات. وذلك يعني ضرورة توزيع 500 MHz لكل حزمة. لكن بعض الأنظمة المقترحة تخطط لاستعمال 2 GHz من الطيف لكل حزمة. ويتوقف عرض النطاق الفعلي لكل حزمة على التطبيقات وعلى التباعد بين الحزم.

5.2.16 الخصائص التشغيلية

انظر التوصية ITU-R S.1557 والفقرة 4.2.16.

6.2.16 سوية الإرسال داخل النطاق

لا تستطيع أنظمة الخدمتين FSS وBSS المتوقع عملها في النطاق 40 GHz الإرسال وفق حدود كثافة القدرة المحددة في الجدول 21-4 من لوائح الراديو إلا أثناء نسبة مئوية ضئيلة جداً من الوقت. وتتوقف سويات كثافة القدرة الفعلية في الوصلات الهابطة في ظروف الجو الصافي على تصميم كل نظام ساتلي من قبيل المكرر الشفاف ومعالجة الحمولة النافعة المحمولة والتشكيل والتشفير إلى ما غير ذلك. وقد افترضت الدراسة أن أنظمة الخدمة FSS تعمل عادة مع سوية كثافة pfd قدرها –117 dB(W/m^2) في زوايا ارتفاع تتراوح بين 25° و90° في ظروف الجو الصافي.

وتمثل القيمة –117 dB(W/m^2) السوية الأدنى بمقدار 12 dB من سوية الذروة للكثافة pfd في الجو الصافي الواردة في الجدول 21-4 من لوائح الراديو. وبسبب تقييدات قدرة المحطة الفضائية، لا يمكن بلوغ القدرة الكاملة إلا لفترات قصيرة جداً من الوقت في الحزم التي يجب التغلب فيها على آثار الانتشار. كما أن سوية الجو الصافي توفر حماية لبعض أنظمة حساسة للخدمة الثابتة المنتشرة في النطاق. وهنالك المزيد من التفاصيل في التوصيتين ITU-R S.1557 وITU-R SF.1572.

3.16 عتبة المواءمة

انظر الفقرة 3.1.16.

4.16 تقدير التداخل

1.4.16 المنهجية المتبعة في تقدير سوية التداخل

يعرض المثال المقدم في الشكل 60 الحالة الأسوأ استناداً إلى عرض نطاق لازم قدره 500 MHz وتناقص طيفي عند السوية العليا المحددة في التوصية ITU-R SM.1541. كما أن هذا المثال يفترض أن عرض النطاق اللازم يمتد حتى حافة النطاق الموزع للخدمة FSS.

2.4.16 حساب سوية التداخل

أُدرج منحني الأداء الطيفي في الشكل 60 رقمياً من أجل حساب قدرة الإشعاعات غير المطلوبة المجمعة بغية تقدير التأثير على نطاق الطيف المتصل البالغ 1 GHz.

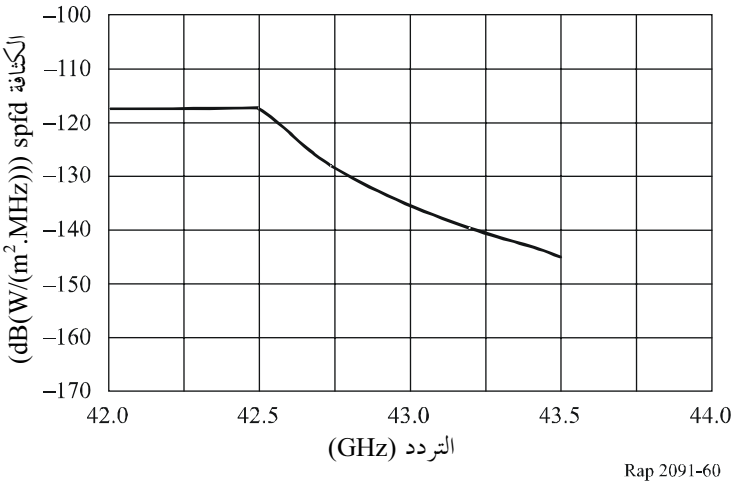
وقد أخذت القيم مباشرة من المنحني (بعد طرح 3 dB مقابل التغيير في عرض النطاق من 1 MHz إلى 500 kHz) بحيث يمكن التحقق من امتثالها لعتبة الخطوط الطيفية بهوائي مكافئي وحيد وعتبة الأسلوب VLBI.

وتفترض الحسابات حزمة في نقطة في المستوي الرأسي للساتل. وينتج عن ذلك أن قيم الكثافة pfd الفعلية ستكون أدنى في التلسكوبات الراديوية حيث تكون زاوية الارتفاع باتجاه الساتل أقل من 90°.

ولا تراعي هذه الحسابات تأثير التوهين الجوي[1].

الشكل 60

الأداء الطيفي



3.4.16 القيم الناتجة

فيما يلي سويات الحالة الأسوأ الناتجة في النطاق GHz 43,5-42,5 استناداً إلى المنحني المذكور:

- dB(W/(m^2 . GHz)) 97–، أي أعلى من عتبة الطيف المتصل بمقدار dB 37 في النطاق GHz 43,5-42,5.
- dB(W/(m^2 . 500 kHz)) 120–، عند التردد GHz 42,5، أي أعلى من عتبة الخطوط الطيفية بمقدار dB 36.

وينتج عن ذلك أن الامتثال لمعايير خدمة علم الفلك الراديوي تتطلب استخدام طريقة أو أكثر من تقنيات تخفيف التداخل.

5.16 تقنيات تخفيف التداخل

1.5.16 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

ثمة طريقتان ممكنتان لتخفيف التداخل في الخدمة RAS وهما:

- نطاق حراسة؛ أو
- إحدى تقنيات تخفيف التداخل المذكورة في التوصية ITU-R SM.1542.

2.5.16 الخدمتان FSS وBSS

1.2.5.16 ترشيح السواتل

الحالة 1: محطة فضائية متعددة الحزم

فيما يتعلق بالموجات الحاملة عريضة النطاق، يعرض الشكل 61 مثالاً لأداء نموذج مرشاح نمطي بسبعة أقطاب في هذا النطاق.

الحالة 2: محطة فضائية بصفيف هوائيات مطاورة

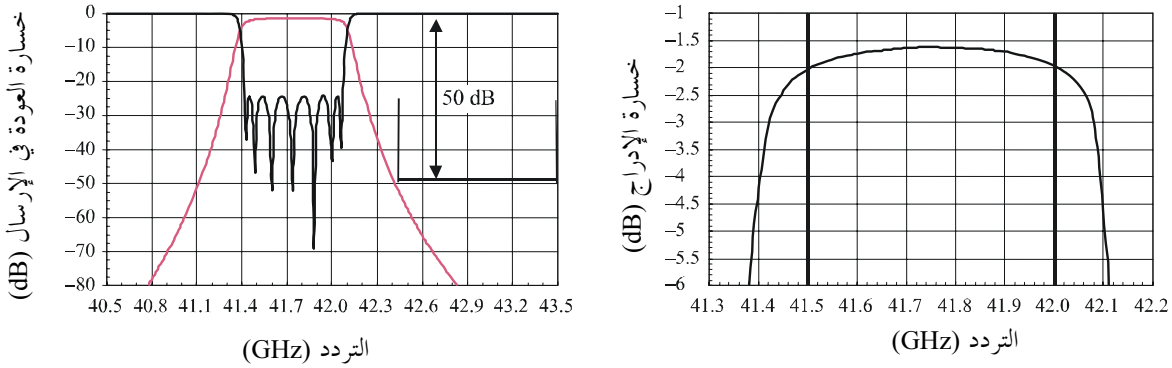
فيما يتعلق بالموجات الحاملة عريضة النطاق، يعرض الشكل 62 أداء نموذج مرشاح نمطي بخمسة عشر قطباً في هذا النطاق.

---

[1] انظر التوصية ITU-R P.676، تتراوح القيمة بين 1 و2 dB عند مستوى سطح البحر.

الشكل 61

خسارة الإدراج/خسارة العودة في الإرسال



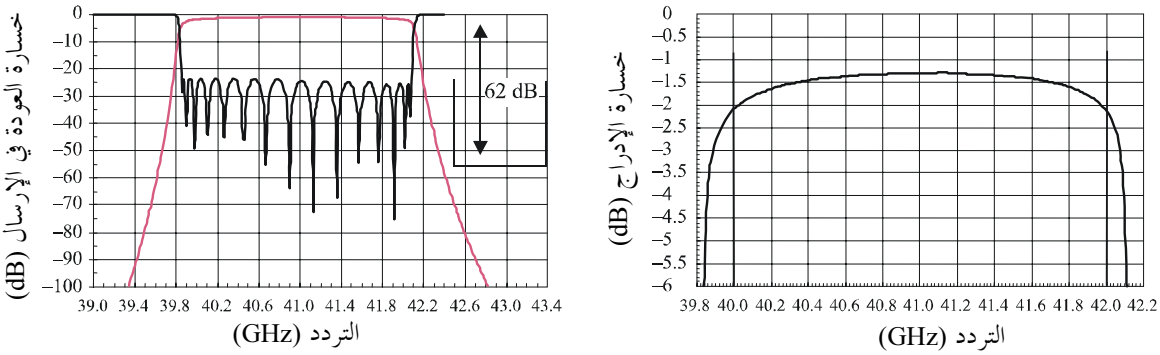
المرشاح TE101 7 = *N*

الحجم (W×H×L): "1,125×1,125×3,80"/الوزن: 0,24 Ib (السلك النحاسي)

Rap 2091-61

الشكل 62

خسارة الإدراج/خسارة العودة في الإرسال



مرشاح نطاق مرور (BPF) بالتسلسل مع مرشاح مرور منخفض WR22/مراشيح WR22 بدليل الموجة TE101، *N*=15

الحجم (W×H×L): "1,125×1,125×5,50"/الوزن: 0,33 Ib (السلك النحاسي)

Rap 2091-62

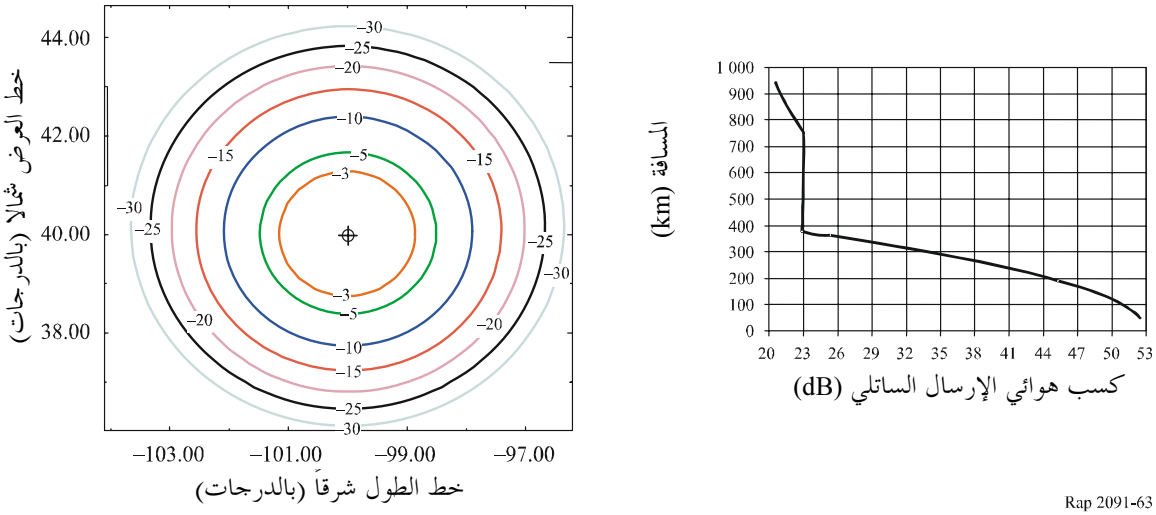
2.2.5.16 العزل الجغرافي

إذا لم تكن أنظمة الخدمتين FSS وBSS العاملتين في النطاق GHz 42,5-40,5 قادرة على إدراج مراشيح إرسال إضافية ضرورية للوفاء بمعايير التداخل الضار بالمحطات RAS العاملة في النطاق GHz 43,5-42,5، ينبغي دراسة العزل الجغرافي بوصفه تقنية تخفيف التداخل.

واستناداً إلى الجدول 43، يتراوح حجم حزمة هوائي الإرسال الساتلي بين 0,3° و0,6°. ويبين الشكل 63 إلى اليسار كفاف كسب هوائي محطة فضائية GSO ذات كسب ذروة قدره dBi 53 وفتحة حزمة عند 3 dB قدرها 0,4°. ويبين المنحني في الشكل 63 إلى اليمين فائدة العزل الجغرافي فيما يتعلق بالكسب الذروة وذلك لأي مسافة كانت.

الشكل 63

كفاف كسب الهوائي الساتلي والمسافة بين مركز الحزمة وحافة التغطية مقابل كسب هوائي الإرسال الساتلي



Rap 2091-63

3.2.5.16 الشكل الطيفي لإشارة الخدمة BSS/FSS

يمكن انتقاء شكل الموجة التي تستعملها الخدمة BSS/FSS لإرسال المعلومات بحيث يخفف إلى أقصى حد من تناقص الطيف ويحد بالتالي من كمية الإشعاعات غير المطلوبة. وكذلك يكون من الممكن تصميم أو تشغيل مكبر عالي القدرة على نحو يخفف أيضاً من سوية الإشعاعات غير المطلوبة الصادرة عن الإشارة FSS/BSS.

4.2.5.16 نطاق الحراسة

ويتيح إدراج نطاق حراسة بين الخدمتين تناقصاً للإشارة والمرشاح.

5.2.5.16 تقنيات إضافية لتخفيف التداخل

تضم التوصية ITU-R SM.1542 قائمة بتقنيات إضافية لتخفيف التداخل.

3.5.16 التأثير المحتمل

1.3.5.16 خدمة علم الفلك الراديوي (RAS)

نطاق حراسة عند حافة نطاق الخدمة RAS – في حالة قياسات الطيف المتصل بالنطاق العريض، يؤدي عملياً استعمال نطاق حراسة في خدمة علم الفلك الراديوي إلى فقدان بيانات نظراً لأن وقت التكامل يحتاج إلى زيادة للتعويض عن الخسارة في عرض النطاق. ولذا، فإن هذه الطريقة محدودة عملياً حسبما يرد في الفقرة 3.1.16.

كما أن النطاق يشمل الخطوط الطيفية المصاحبة لجزيئات أول أكسيد السليكون (SiO) في ترددات الراحة 42,519 و42,821 و43,122 و43,424 GHz التي تعتبر من أهم الخطوط في الفيزياء الفلكية لكنها لا ترد في التوصية ITU-R RA.314. ولذا، فإن مدى استعمال نطاق الحراسة في نطاق خدمة علم الفلك الراديوي محدود وقد يؤثر على القدرة على رصد خط أو أكثر من الخطوط الطيفية SiO.

2.3.5.16 الخدمتان FSS وBSS

1.2.3.5.16 الترشيح الساتلي

في مثال الترشيح متعدد الحزم الوارد أعلاه، وباستعمال مرشاح إرسال بسبعة أقطاب، تبلغ الخسارة الناجمة عن الإدراج 2,0 dB، أي ما يعادل انحطاطاً نسبته 37% من قدرة النظام. وسيزيد مثل هذا الترشيح من وزن المحطة الفضائية بمقدار 120 g أو أكثر لكل حزمة تبعاً لقدرة المرسل.

وفي مثال صفيف الهوائيات المطاورة المذكور سالفاً وباستعمال مرشاح إرسال بخمسة عشر قطباً، تبلغ الخسارة الناجمة عن الإدراج 2,0 dB، أي ما يعادل انحطاطاً نسبته 37% من قدرة النظام. وسيزيد مثل هذا الترشيح من كتلة المحطة الفضائية بمقدار 160 g أو أكثر لكل عنصر تبعاً لقدرة المرسل. ففي محطة فضائية مزودة بصفيف هوائيات مطاورة مؤلف من 818 2 عنصراً سيضاف ما يعادل 450 kg على وزن الحمولة النافعة إلى جانب العواقب المترتبة على التكاليف وعلى الأداء.

وإضافة إلى ذلك، تفضل معظم الأنظمة التي تعمل بهوائيات شبكية مطاورة استعمال مكبرات قدرة بأشبه الموصلات (SSPA). وعند الاضطرار إلى إضافة مراشيح إرسال وتبعاً لقدرة الإرسال الفعلية وبسبب إحداث خسارات إضافية قد يكون استعمال المكبرات TWTA ضرورياً. ويصعب استخدام الهوائيات الشبكية المطاورة مع المكبرات TWTA.

2.2.3.5.16 العزل الجغرافي

لا تستعمل طريقة التخفيف هذه إلاّ إذا كان عدد التلسكوبات الراديوية في منطقة خدمة الساتل ضئيلاً وكانت مواقعها محسوبة لدى تصميم الأنظمة الفرعية لهوائيات المحطة الفضائية. كما أن طريقة التخفيف هذه تحد من القدرة على تغيير مواقع المحطات الفضائية أو على تغيير توجيه الحزم إلى أماكن أخرى من مجال رؤية الساتل.

3.2.3.5.16 شكل طيف الإشارة FSS/BSS

تحدد خطية المكبر عالي القدرة (HPA) ونقطة المدى الدينامي التي يعمل عندها المكبر HPA الشكل الطيفي لإرسال المحطة الفضائية. ويمكن تحقيق الحد من الإشعاعات غير المطلوبة الصادرة عن المكبر HPA من خلال التشغيل بقدرة دخل أدنى أو تحسين خطية المكبر. غير أن إبقاء تشغيل المكبر في المدى الخطي يخفف من الإشعاعات غير المطلوبة لقاء خفض فعالية المكبر HPA. ولكلتا الطريقتين تأثير على معدل إنتاج المحطة الفضائية وعلى تكاليفها ووزنها.

4.2.3.5.16 نطاق الحراسة

يفرض استعمال نطاق الحراسة على الخدمة FSS/BSS نقصاً في القدرة إذا ما وضع هذا نطاق الحراسة هذا داخل النطاق الموزع للخدمتين.

6.16 نتائج الدراسة

1.6.16 ملخص

تستعمل معظم مواقع خدمة علم الفلك الراديوي في مختلف أنحاء العالم هذا النطاق لأغراض القياس بهوائي مكافئي وحيد. وقد يكون من الضروري استعمال عدة تقنيات تخفيف مناسبة مجتمعة من أجل الوفاء بشروط حماية عمليات القياس بهوائي مكافئي وحيد.

وتناولت إحدى الدراسات تقنية فصل الترددات دون استعمال أي تقنية أخرى لتخفيف التداخل. واستندت هذه الدراسة إلى أنظمة الخدمتين FSS وBSS العاملتين في نطاقات تصل إلى 42 GHz وإلى سويات الإشعاعات غير المطلوبة حسب فرضيات التوصية ITU-R SM.1541. وتبين الدراسة أن سوية التداخل الضار بعمليات الرصد VLBI الواردة في التوصية ITU-R RA.769 مستوفاة. لكن حدود عتبة الكثافة pfd في عمليات رصد الخطوط الطيفية أو الطيف المتصل بهوائي مكافئي وحيد غير مستوفاة. كما أن التداخل سيكون شديداً لدرجة تمنع فعلياً إجراء أي قياس فلكي مفيد إلا إذا استعملت تقنيات إضافية لتخفيف التداخل.

وسيناريو الحالة الأسوأ الوارد في الفقرة 1.4.16، والذي لا يلجأ إلى استعمال أي تقنية من تقنيات تخفيف التداخل، يستند إلى عرض نطاق لازم قدره 500 MHz وتناقص طيفي بالمعدل الذي تحدده التوصية ITU-R SM.1541. وإضافة إلى ذلك، يفترض هذا المثال أن عرض النطاق اللازم يمتد إلى حافة التوزيع للخدمة FSS عند التردد 42,5 GHz.

وتتجاوز الإشعاعات غير المطلوبة الناتجة في مثال الحالة الأسوأ المذكور الحدود التي ينص عليها الرقم 551G.5 من لوائح الراديو والمعايير التي تنص عليها التوصية ITU-R RA.769 فيما يخص رصد الخطوط الطيفية والطيف المتصل بهوائي مكافئي وحيد. بيد أن معايير الرصد بالأسلوب VLBI مستوفاة في كامل النطاق 42,5-43,5 GHz. ويمكن معالجة هذه المشكلة من خلال استعمال تقنيات تخفيف التداخل. وهنالك الكثير من تقنيات تخفيف التداخل يمكن استخدامها في الأنظمة القائمة، وقد يتعين استخدام مجموعة من هذه التقنيات.

وفي حال استعمال التمثيل الطيفي المؤقت للخدمة FSS الموصوف في التذييل التقني للملحق 1 بالتوصية ITU-R SM.1633، بدلاً من التوصية ITU-R SM.1541 في بعض الأنظمة، فإن التباين مع معايير رصد الطيف المتصل يتضاءل. وقد لا يتضاءل التباين بالضرورة عند حواف النطاق إن لم تستخدم تقنيات إضافية لتخفيف التداخل. غير أنه ذكر أن هذا التمثيل الطيفي استند إلى تجارب في نطاقات ترددات أدنى.

ومن المتوقع أنه باستعمال طريقة واحدة أو أكثر من تقنيات تخفيف التداخل المذكورة في الفقرة 5.16 تصبح أنظمة الخدمة FSS/BSS قادرة على الوفاء بمعايير الحماية التي تحددها التوصية ITU-R RA.769، فيما يتعلق بقياس الطيف المتصل. كما أنه يصعب على أنظمة الخدمة FSS الوفاء بالمعايير المطلوبة للخطوط الطيفية في بعض أجزاء النطاق 42,5-43,5 GHz. وقد لا يكون فرض شرط الوفاء بالمعايير التي ينص عليها الرقم 551G.5 من لوائح الراديو عملياً نظراً لأن هذه الشروط قد تفرض تقييدات تشغيلية قاسية وتزيد تكاليف النظام الساتلي زيادة كبيرة.

وبالتالي، فإنه من غير المرجح التمكن من تلبية احتياجات كلتا الخدمتين. ويتطلب ذلك مزيداً من الدراسة.

2.6.16 الاستنتاجات

تستطيع الخدمتان FSS وBSS في هذا النطاق الوفاء بسوية عتبة التداخل الضار بعمليات الرصد الفلكي الراديوي وفق تحديدها في التوصية ITU-R RA.769 وذلك فيما يتعلق بالرصد VLBI. أما في حالة رصد الطيف المتصل، فقد تتمكن أنظمة الخدمتين المذكورتين من الوفاء بهذه العتبة مع اللجوء إلى تقنيات تخفيف التداخل. ويمكن التقيد بهذه العتبة في حالة رصد الخطوط الطيفية في جزء من النطاق. ومن غير المؤكد أن تكون تقنيات تخفيف التداخل كافية للوفاء بالمعايير المحددة للخطوط الطيفية في الحواف الدنيا من النطاق الموزع للخدمة RAS.

ويستعمل ما يقارب ثلثي مواقع خدمة علم الفلك الراديوي في العالم (انظر الجدول 42) هذا النطاق لأغراض القياسات بهوائي مكافئي وحيد. ولذا فمن الأهمية بمكان استخدام مجموعات من تقنيات تخفيف التداخل المناسبة لاستيفاء سويات الحماية الخاصة بهذه القياسات.

_____