التوصية ITU-R RA.611-4*، **

حماية خدمة الفلك الراديوي من البث الهامشي

(المسألة ITU-R/1457)

(2006-2003-1992-1990-1986)

مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية إرشادات للإدارات و/أو للمشغلين من أجل حماية خدمة الفلك الراديوي (RAS) من التداخل من البث الهامشي الذي يمكن أن تسببه خدمات فعالة ذات توزيعات في نطاقات متجاورة مع خدمة الفلك الراديوي أو مجاورة لهذه النطاقات.

إن جمعية الاتصالات الراديوية التابعة للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن الفلك الراديوي لا يزال يحتل الصدارة في تقدم المعارف العلمية؛

ب) أن خدمة الفلك الراديوي تحتاج إلى نطاقات تردد خالية من التداخل لإجراء الرصدات الفلكية؛

ج) أن زيادة استخدام الطيف الراديوي، خاصة في الفضاء، يزيد من احتمالات التداخل المضر بخدمة الفلك الراديوي من البث الهامشي (انظر الملحق 1 بهذه التوصية)؛

د) أن استعمال تقنيات تشكيل معينة بدون ترشيح كاف للنواتج الهامشية يمكن أن يؤثر على نطاقات الفلك الراديوي البعيدة عن نطاق البث المقصود؛

هـ) أن التذييل 3 للوائح الراديو يحدد الحد الأقصى المسموح به لمستويات البث الهامشي ويوفر دراسة لمستويات بث هامشي أكثر شدة من أجل توفير حماية ملائمة للمحطات في خدمة الفلك الراديوي؛

و) أنه في حالة الأنظمة الراديوية التي تستعمل تقنيات تشكيل رقمية، لا تُطبَّق مستويات البث الهامشي المحددة في التذييل 3 للوائح الراديو، وإنما يمكن استخدامها كمرشد. ويمكن الإشارة إلى أن حماية خدمة الفلك الراديوي من البث غير المرغوب فيه الناجم عن تطبيقات التشكيل الرقمي عريض النطاق تتناولها التوصية ITU-R-RA.1237؛

ز) أن رصدات الفلك الراديوي تجرى في نطاقات تردد تصل إلى 1 000 GHz؛

ح) أن مستويات عتبة التداخل المسيء بالنسبة لخدمة الفلك الراديوي، واردة في الملحق 1 بالتوصية ITU-R RA.769؛

ط) أن التوصية ITU-R RA.1413 تحدد المستويات المقبولة من فقدان معطيات رصدات الفلك الراديوي، والنسبة المئوية من معايير الوقت الناجمة عن الانحطاط بفعل التداخل بالنسبة لنطاقات التردد الموزعة على خدمة الفلك الراديوي على أساس أولي؛

---

* ملاحظة: مستويات التداخل السيئة فيما يتعلق بخدمة الفلك الراديوي المشار إليها في الملحق 1 بالتوصية ITU-R RA.769 غير مقبولة من الإدارات العربية نظراً لعدم واقعيتها، حسبما أكدت ذلك مؤتمرات سابقة للاتصالات الراديوية في أعوام 1995 و1997 و2000 تناولت التوصية 66 بلوائح الراديو.

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

ي) أن المعايير التقنية المتعلقة بالحالة الخاصة المتمثلة في التداخل الناتج عن البث الهامشي من مرسلات في المحطات الفضائية ذات المدار المستقر بالنسبة على الأرض ينبغي أن تكون فيما يتعلق بخدمة الفلك الراديوي، هي المعايير المنصوص عليها في الملحق 1 للتوصية 769 عملاً على التمكين من إجراء رصدات الفلك الراديوي على بُعد 5° أو أكثر من المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض؛

ل) أنه حدث تقدم بشأن تلبية متطلبات خدمة الفلك الراديوي بدون أن يُسفر ذلك عن آثار سيئة على الخدمات الأخرى؛

م) أنه تجري تحسينات مستمرة في تصميم الهوائيات وفي تقنيات ترشيح البث الهامشي.

توصي

1 بأن تواصل وضع مراصد الفلك الراديوي في مواقع تتمتع بحماية طبيعية جيدة من التداخل الذي قد يكون سيئاً بالنسبة لخدمة الفلك الراديوي؛

2 بأن تبذل خدمة الفلك الراديوي كل جهد ممكن من أجل التقليل إلى أدنى حد من كسب الفصوص الجانبية لهوائيات الفلك الراديوي؛

3 بأن تراعي الإدارات، لدى تشغيل المحطات أقصى مراعاة ممكنة، خطر التداخل الضار برصدات الفلك الراديوي الناتج عن البث الهامشي من محطات الأرض ذات القدرة العالية أو من المحطات الفضائية؛

4 بأن تُراعي الإدارات، بالنسبة للحالة الخاصة المتمثلة في المحطات الفضائية ذات المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض، أقصى مراعاة ممكنة، الهدف الذي يتمثل في إبقاء خدمة الفلك الراديوي بمعزل عن أي تداخلات سيئة (انظر التوصية ITU-R RA.769) من البث الهامشي حين يكون الرصد على مسافة 5° أو أكثر من المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض.

الملحق 1

التداخل في خدمة الفلك الراديوي من البث الهامشي

1 معايير الحماية لخدمة الفلك الراديوي

إن حد الحساسية في معظم رصدات الفلك الراديوي يقع عند مستوى كثافة تدفق أقل بكثير من المستوى المستعمل في استقبال إشارات الاتصالات الراديوية. ويناقش الملحق 1 بالتوصية ITU-R RA.769 مستويات عتبة التداخل ومعايير الحماية فيما يتعلق بتقاسم الترددات بين الفلك الراديوي والخدمات الأخرى؛ وتورد الجداول 1 و2 و3 في نفس الملحق حدود الحساسية لمختلف الترددات. إلا أن التداخل الضار بخدمة الفلك الراديوي يمكن أن يحدث أيضاً من مرسلات لا تشترك معها في نفس النطاق. ويمكن تصنيف هذا التداخل باعتباره تداخلاً عند حافة النطاق (انظر التوصية ITU-R RA.517) وتداخلاً من البث الهامشي لمرسلات في نطاقات أخرى. ومع تساوي جميع المعلمات الأخرى، سيكون أثر البث الهامشي الناجم عن التشكيل الرقمي العريض النطاق الذي يستعمل تقنيات تحديد الطيف في مرسل، أثراً أكثر شدة، كما يجري بحثه في التوصية ITU-R RA.1237.

2 التداخل التوافقي وتداخل التشكيل البيني

يمكن أن يحدث تداخل من إشعاع توافقي أو من تشكيل بيني لإشارتين أو أكثر صادر عن مرسلات منفصلة تماماً من حيث التردد عن نطاق الفلك الراديوي. ويمكن أيضاً أن يحدث تداخل من إشارات مشكَّلة رقمياً (مثلاً بتمديد الطيف) وغير مرشحة ترشيحاً كافياً يؤثر على نطاقات الفلك الراديوي البعيد عن التردد الذي يعمل عليه الناقل.

ويمكن أن يحدث التداخل التوافقي في أي نطاق، وينشأ عادة في مراحل خرج المرسلات. ويمكن أن تحدث التوافقيات الثانية والثالثة الصادرة عن ترددات الناقل عند سويات عالية، ولكن المرسلات تكون عادة مزودة بمرشحات (موالفة أو ذات تمرير منخفض) تعمل على توهين جميع التوافقيات عند خرج المرسل إلى ما دون القدرة القصوى بمقدار 60º dB على الأقل. ويحدث التشكيل البيني الصادر عن الناقل أيضاً حين يخترق جزء من الإشارة الصادرة عن أحد المرسلات مجموع مرشحات دارة الخرج لمرسل آخر يغذي هوائياً مشتركاً. ويمكن معالجة هذه التدخلات غير المرغوبة فيها بإضافة مرشحات بسيطة نسبياً بشرط ألا تكون تردداتها قريبة من المرسل.

وتنطبق المستويات المذكورة في الفقرة السابقة على التداخل المولد في مراحل الخرج للمرسل. وعلاوة على ذلك، يمكن أن تتولد توافقيات ونواتج تشكيلية بينية نتيجة عدم الخطيّة في نظام المرسِل[1].

3 الإرسالات غير المطلوبة المنبعثة من التشكيل العريض النطاق

في بعض أنواع الإرسال المقصودة، خاصة ما يتصل منها بنقل البيانات في شكل رقمي تتولد نطاقات طيفية جانبية على نطاق تردد أعرض بكثير مما يستخدم في استقبال تلك الإشارات. فعلى سبيل المثال، ينتج عن تقنية تشكيل الإبراق الثنائي بزحزحة الطور (2-PSK) طيف قدرة في شكل $(\sin x/x)^2$ مع حد أقصى ثانوي متكرر خارج عرض النطاق المطلوب يتناقص ببطء فقط مع التردد. وإذا لم يتم ترشيح هذه النطاقات الجانبية التي تحدث على بعد نحو عشرة أضعاف عرض النطاق (3 dB) من تردد الموجة الحاملة، فإنها تكون ذات كثافة قدرة طيفية لا تقل عن سوية القدرة في مركز النطاق إلاّ بنحو 36 dB. وإذا افترضنا أن تردد الإبراق في هذا الإرسال 2-PSK هو 10-20 MHz فإن عرض النطاقات العشرة هذه سوف تغطي عدة مئات من الميغاهرتز من التردد الموزع. ولنأخذ مثلاً مرسلاً بسيطاً ثنائي الإبراق 2-PSK يعمل على تردد إبراق قدره 10 MHz يتمركز فوق 1 615 MHz بقدرة 40 واط وله هوائي إرسال متناح موضوع على طائرة على مسافة 400 كيلومتر على خط البصر، وهي مسافة الأفق من طائرة تطير على ارتفاع يبلغ نحو 10 000 متر. هذا المرسل تصدر عنه إرسالات غير مطلوبة ينتج عنها مستوى تدفق قدرة، حتى في النطاق 400 1-427 1 MHz عند موقع المستقبل، الذي يزيد عن عتبة مستويات التداخل الضار بخدمة الفلك الراديوي المنصوص عليها في الجدول 1 بالملحق 1 بالتوصية ITU-R RA.769 بمقدار 40 dB. أما البث في النطاق 660 1-670 1 MHz، وهو موزع أيضاً للفلك الراديوي، فسيكون في مستوى أعلى بكثير. والمرسلات التي من هذا النوع يمكن أن تكون مصدر إزعاج كبير للفلك الراديوي إذا كانت محمولة على متن مركبة فضائية. ومن المهم الاهتمام في تصميم هذه الأنواع من المرسلات بأن تكون مزودة بكوابح جيدة للبث غير المطلوب.

وتستخدم التقنية 2-PSK مع تردد إبراق يصل إلى عدة ميغاهرتزات في بعض أنواع تشكيلات الطيف الممتد. وتتسم تقنيات الطيف الممتد الشائعة بإشارات عريضة النطاق ذات كثافة قدرة منخفضة تشبه الضوضاء العشوائية، وهذه الخاصية تقلل من إمكانية أن تحدث هذه النظم ذات الطيف الممتد تداخلاً مع نظم الاتصالات التقليدية الضيقة النطاق، ولكن ليس لها هذا التأثير على خدمة الفلك الراديوي. ففي الفلك الراديوي تأخذ الإشارات الكونية شكل ضوضاء عشوائية وتستخدم ترددات النطاق العريض في الغالب. وفي سويات الإشارات المنخفضة التي تهم علماء الفلك الراديوي لا توجد في الواقع طريقة عملية للتمييز بين إشارات الطيف الممتد والإشارات الكونية. وتنطبق على البث غير المطلوب أو غير المقصود، وعلى جميع أنواع التشكيل بما فيها ما جرت مناقشته أعلاه، عتبات كثافة تدفق القدرة الضارة بالنسبة للإشارات التي من صنع البشر والتي تدخل في أحد نطاقات الفلك الراديوي الواردة في الملحق 1 بالتوصية ITU-R RA.769. ويمكن أن تتيح التكنولوجيا الحديثة تصميم

[1] يوجد المزيد من المواد التقنية ذات الصلة في موقع فرقة العمل 7D التابعة لقطاع الاتصالات الراديوية.

أجيال جديدة من هذه المرسلات من أجل كبت البث غير المطلوب الصادر عن مصدر من خارج النطاق. ويمكن أن تؤدي هذه المرسلات وظائفها بدون أن تشع نطاقات جانبية إذا لم يتم تحويل طور الموجة الحاملة بشكل مفاجئ بنسبة 180° في خطة التشكيل 2-PSK، وإنما بشكل تدريجي سلس لكي ينتج عنه طيف قدرة في شكل $(\sin x/x)^n$، حيث $n > 2$.

4 التداخل من الإرسال الساتلي

يمكن للإرسال الساتلي أن يتسبب في تداخل قوي ضار بالخدمة الفلكية الراديوية. وتقع مصادر التداخل الأرضي عادة في منطقة الفص الجانبي البعيد عن الأرض في هوائي التلسكوب الراديوي ويزداد توهينها بفعل طبوغرافيا البيئة المحيطة بالمرصد الراديوي، ويُرجح أن يستقبل التداخل من الإرسال الساتلي في الحزمة الرئيسية والفصوص الجانبية ذات الكسب العالي. وتتوقف طبيعة التداخل على نمط المرسل والخدمة التي يقدمها النظام، سواء كانت السواتل في مدارات مستقرة بالنسبة إلى الأرض أو في مدارات غير مستقرة بالنسبة لها، وعلى عدد السواتل في النظام قيد البحث التي فوق خط الأفق في المرصد الراديوي.

1.4 السواتل ذات المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض

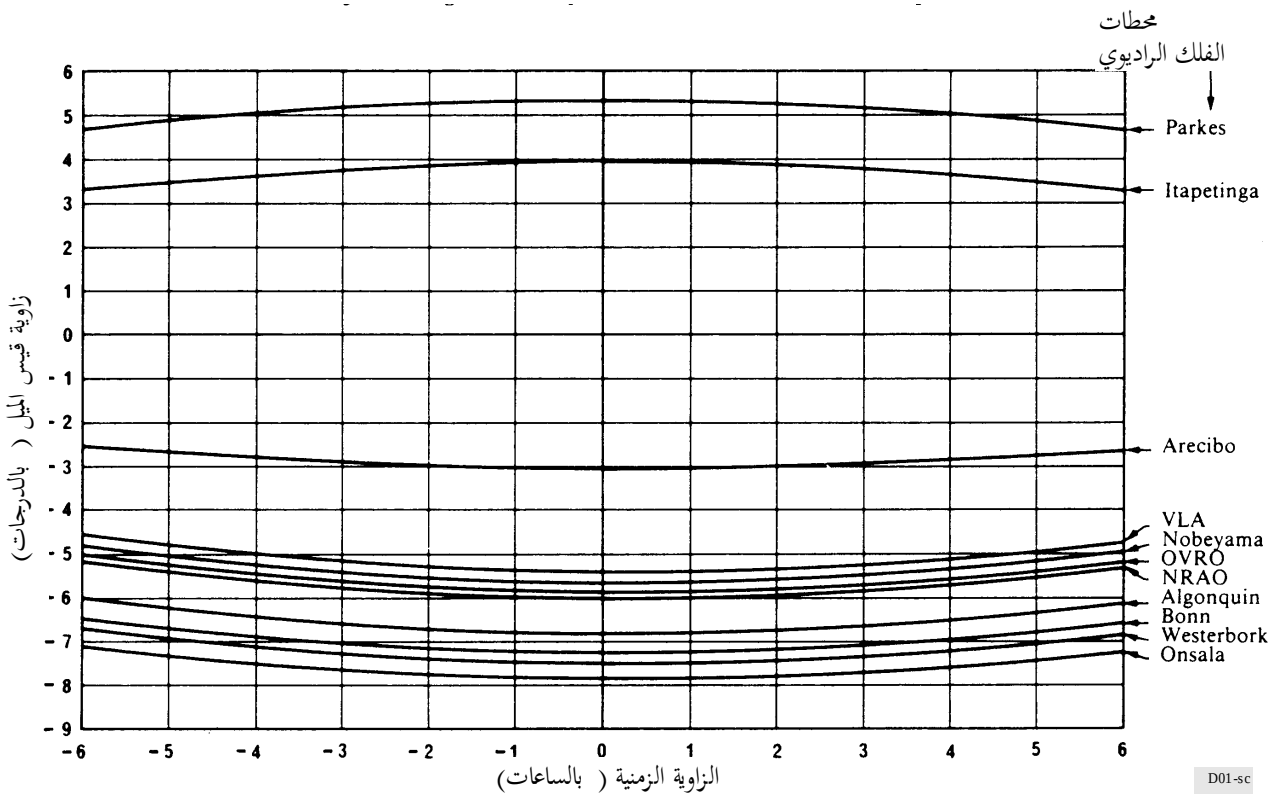
تكون سواتل متعددة مستقرة بالنسبة إلى الأرض مرئية من جميع التلسكوبات الراديوية تقريباً العاملة في الوقت الحالي، وتشغل مديات سموت وارتفاعات مستمرة بدرجة تزيد أو تقل. ومن ثم، فلديها إمكانية أن تكون مصادر مرهقة مسببة للتداخل بالنسبة لرصدات الفلك الراديوي. فنصف قطر مدار الساتل الثابت بالنسبة إلى الأرض يبلغ 6,6 أضعاف نصف قطر الأرض تقريباً. وفي تلك المسافة الشعاعية يمكن لساتل منفرد أن يُضيء ثلث سطح الأرض — ومن ثم تلسكوبات راديوية كثيرة — مع إشارات خط البصر. ويبين الشكل 1 موقع حزام الساتل ذي المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض في الإحداثيات السماوية كما يشاهَد عند خطوط العرض لعدد من المراصد الكبرى للفلك الراديوي. وهناك خطط لإطلاق عدد كبير من السواتل من أجل تطوير بعض الخدمات الفعالة. وهذا النوع من سلسلة المصادر المحتملة للتداخل التي يمكن استقبالها عن طريق الفصوص الجانبية القريبة لنمط هوائي التلسكوب الراديوي يمكن أن تمثل مشكلة تداخل خطيرة لراصدي الفلك الراديوي.

وترد في الملحق 1 بالتوصية ITU-R RA.769 مستويات عتبة التداخل التي يمكن أن تُضرّ بالفلك الراديوي. ويُعدَّد هناك، في كل نطاق فلك راديوي، مستوى القدرات في المستقبل التي تكفي للتسبب في تداخل ضار بالخدمة وتعدد أيضاً كثافة تدفق القدرة pfd ($dB(W/m^2)$) المناظرة المصاحبة لهذا التداخل، والتي تُحسب مع افتراض أن كسب التلسكوب الراديوي هو 0 dBi في اتجاه مصدر التداخل. وهذا الكسب ملائم لدراسة المصادر الأرضية للتداخل التي تحصر في المنطقة المجاورة للأفق. أما بالنسبة للسواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض، فإن الوضع مختلف.

وإذا افترضنا أن هوائي الفلك الراديوي له ذات سمات الفص الجانبي المفروضة في التوصية ITU-R SA.509، فإن كسب الفص الجانبي سيهبط إلى 0 dBi عند درجة 19º من محور الحزمة الرئيسية. وبالنسبة لهذا الهوائي فإن مستوى التداخل الضار بخدمة الفلك الراديوي سيتم تجاوزه إذا سُدِّدت الحزمة الرئيسية ضمن 19º لساتل ينتج في عرض نطاق فلك راديوي كثافة تدفق قدرة في المرصد الراديوي مساوية للعتبة الضارة الواردة في الملحق 1 بالتوصية ITU-R RA.769. وفيما يتعلق بسلسلة من السواتل ذات المدارات التي تفصل بينها 30º على طول التداخل الشعاعي للمدار المستقر بالنسبة إلى الأرض في هذا المستوى ستنتج عنه منطقة يبلغ عرضها 38º تقريباً مركز على المدار سيعاق فيها رصد الفلك الراديوي الخالي من التداخل الضار. وسيزداد عرض المنطقة المعوّقة مع زيادة عدد السواتل المسببة للتداخل في المدار، كما يمكن من حيث المبدأ أن تُغطى السماء بأكملها وسيتوقف العدد الفعلي للسواتل المسببة للتداخل على ما إذا كانت الإشارات المسببة للتداخل هي حزم نقطية من هوائيات إرسال السواتل أو أنها أكثر اتساعاً في إشعاعها. والأرجح أن يوجَّه البث الهامشي غير المنفصل بدرجة كبيرة عن تردد المرسل الساتلي من الهوائيات بطريقة مماثلة للطريقة الخاصة بالإشارات المقصودة.

الشكل 1

إسقاط المدار الساتلي المستقر بالنسبة إلى الأرض على الكرة السماوية



2.4 السواتل ذات المدار غير المستقر بالنسبة للأرض

يعود احتمال التداخل الضار بخدمة الفلك الراديوي من السواتل ذات المدارات المنخفضة، وغير المستقرة بالنسبة إلى الأرض إلى عملها بأعداد كبيرة مما يجعل في الإمكان لكثير منها أن يكون في آن معاً فوق الأُفق في مرصد راديوي، وعلى خط البصر مع هوائي التلسكوب الراديوي. ويؤدي هذا العامل إلى حالة يمكن فيها لهوائي التلسكوب الراديوي أن يستقبل بثاً غير مطلوب من السواتل المرئية المنخفضة المدار غير المستقر بالنسبة إلى الأرض عن طريق كثير من الفصوص الجانبية القريبة والبعيدة عن حزمة الهوائي، وكذلك من خلال الحزمة الرئيسية. وتتفاقم مشكلة التداخل بفعل الاتجاهات المتغيرة باستمرار لوصول الإشارات المسببة للتداخل، وحاجة هوائي التلسكوب الراديوي، وحاجة هوائي التسلكوب الراديوي إلى تتبع المصدر السماوي قيد الرصد. ويمكن لمدخلات متعددة ذات إشارات قوية أن تدفع نقطة تشغيل المستقبل إلى منطقة غير خطية، مما يؤدي إلى توليد نواتج تشكيل بيني.

ويمكن أن يحدَّد أثر البث غير المطلوب الذي تُنتجه في مواقع الفلك الراديوي مجموعة من السواتل المنخفضة المدار غير المستقر بالنسبة إلى الأرض، باستخدام منهجية كثافة تدفق القدرة المكافئة الموصوفة في التوصية ITU-R S.1586 – حساب سويات البث غير المطلوب الذي ينتجه نظام خدمة ساتل غير مستقر بالنسبة إلى الأرض في مواقع فلك راديوي. أو التوصية ITU-R M.1583 – حسابات التداخل بين خدمة السواتل المتنقلة غير مستقرة المدار بالنسبة إلى الأرض أو أنظمة خدمة سواتل الملاحة الراديوية ومواقع تلسكوبات الفلك الراديوي، وكسب الهوائي المبين في التوصية ITU-R RA.1631.

ويمكن استخدام هذه التوصيات لتحديد النسبة المئوية من المعطيات المفقودة خلال عمليات الرصد التي تؤدَّى في موقع معين للفلك الراديوي بسبب التداخل من نظام ساتلي معين. والنسبة المئوية المقبولة لفقدان المعطيات محددة في التوصية ITU-R RA.1513.