التوصيـــة ITU-R RS.1260-1 *

جدوى تقاسم الترددات بين المحاسيس النشيطة المحمولة في الفضاء والخدمات الأخرى العاملة في النطاق 420-470 MHz

(المسألة ITU-R 218/7)

(2003-1997)

إن جمعية الاتصالات الراديوية التابعة للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن بإمكان الرادارات المزودة بفتحة تركيبية (SAR) أن تقيس رطوبة التربة والكتلة الأحيائية الحرجية، وبإمكانها كشف التركيبات الجيولوجية المطمورة مثل التصدعات والشقوق والقعيرات والحنيرات، وبإمكانها رسم الخرائط وقياس عمق طبقة جليد القطب الجنوبي والخصائص الهيدروجيولوجية للمناطق القاحلة وشبه القاحلة؛

ب) أن الرادارات التجريبية المزودة بفتحة تركيبية المركبة على متن طائرة أثبتت إمكانية إجراء هذه القياسات؛

ج) أن هذه الرادارات المزودة بفتحة تركيبية المحمولة في الفضاء يجب تشغيلها على ترددات تقل عن 500 MHz لكي يتسنى لها اختراق مناطق النباتات الكثيفة وسطح الأرض على أساس متكرر على النطاق العالمي؛

د) أن مؤتمر الأمم المتحدة للبيئة والتنمية (UNCED) المعقود في ريو دي جانيرو عام 1992 شدد على ضرورة مراقبة الغابات؛

هـ) أن القرار (Rev.WRC-2000) 727 ينظر في توفير قدر من طيف الترددات يبلغ 6 MHz لخدمة استكشاف الأرض الساتلية (النشيطة) في نطاق الترددات 420-470 MHz وذلك لتلبية متطلبات خدمة استكشاف الأرض الساتلية (النشيطة)؛

و) أن نطاقات التردد بين 420 و470 MHz توزع حالياً على خدمات التحديد الراديوي للموقع والهواة والعمليات الفضائية وعلى الخدمتين الثابتة والمتنقلة؛

ز) أن الاتصالات في خدمة الهواة، التي تستعمل إشارات ضعيفة (بما فيها إشارات الأرض–القمر–الأرض) تتركز حول 432 MHz وأن الاتصالات في خدمة الهواة (الوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة على السواء) تتم في النطاق 435-438 MHz؛

* **ملاحظة –** عارضت إدارات المملكة العربية السعودية وجيبوتي ومصر والإمارات العربية المتحدة والأردن والكويت والمغرب وموريتانيا والجمهورية العربية السورية وتونس واليمن اعتماد هذه التوصية. وللحصول على مزيد من المعلومات، يرجى الرجوع إلى المحضر الموجز لجلسات جمعية الاتصالات لعام 2003 الخاص بذلك.

ح) أن أجزاء أخرى من هذه النطاقات تستعمل لأغراض أخرى بما فيها:

- رادارات ترصّد الرياح في النطاق 440-450 MHz، وعند عدم التلاؤم بين رادارات ترصّد الرياح والتطبيقات الأخرى، في النطاقين 420-435 MHz و438-440 MHz (القرار (WRC-97) 217)؛

- مستقبلات أوامر التدمير الذاتي في مركبة الإطلاق في النطاق 449,75-450,25 MHz (الرقم 286.5 من لوائح الراديو)، وكذلك بالقرب من 421,0 و425,0 و427,0 و440,0 و445,0 MHz في الولايات المتحدة الأمريكية وفي البرازيل، أما في المقاطعات الفرنسية فيما وراء البحار في الإقليم 2 وفي الهند ففي النطاق 433,75-434,25 MHz (الرقم 281.5 من لوائح الراديو)؛

ط) أن بعض الرادارات المزودة بفتحة تركيبية المحمولة في الفضاء يمكن أن تنتج كثافة تدفق قدرة على سطح الأرض أعلى من كثافة تدفق القدرة المطلوبة لحماية الخدمة الثابتة والخدمة المتنقلة البرية في نطاق التردد هذا؛

ي) أن تقاسم نفس الترددات مع رادارات ترصّد الرياح لا يرجح أن يكون ملائماً بسبب التداخلات في المحاسيس النشيطة المحمولة على متن مركبة فضائية؛

ك) أن الرادارات المزودة بفتحة تركيبية يمكن أن تتعايش مع خدمة الهواة (الأولية في الإقليم 1 والثانوية في الإقليمين 2 و3، باستثناء ما ورد في الرقم 278.5 من لوائح الراديو) في النطاق 430-440 MHz، وذلك بواسطة اتخاذ التدابير التقنية والتشغيلية الملائمة المحددة في الملحق 1 بهذه التوصية؛

ل) بالإضافة إلى ذلك، إن أحكام الأرقام 274.5 و275.5 و276.5 و277.5 و278.5 و281.5 و283.5 من لوائح الراديو تعدد البلدان التي حددت أجزاء من النطاقات الواقعة بين 430 و440 MHz باعتبارها وزعت على أساس أولي في الخدمات الثابتة والمتنقلة والعمليات الفضائية و/أو خدمة الهواة؛

م) أن بعض دراسات التقاسم أشارت إلى أن تقاسم نفس الترددات بين خدمات الهواة وبعض الرادارات المزودة بفتحة تركيبية في خدمة استكشاف الأرض الساتلية (EESS) ممكن بالنسبة لبعض أساليب إرسال الهواة مثل تشكيل التردد (FM) والنفاذ المتعدد بتقسيم زمني (TDMA)، ولكن قد يكون صعباً في حالة الموجة المستمرة وحالة النطاق الجانبي الوحيد؛

ن) أن التوصية ITU-R M.1462 تتضمن الخصائص التقنية والتشغيلية ومعايير حماية الرادارات (المحمولة جواً، والمحمولة على متن السفن تتبع الأجسام الموجودة في الفضاء) العاملة في خدمة التحديد الراديوي للموقع المشغلة في النطاق 420-450 MHz؛

س) أن ثمة احتمالاً في أن تتسبب بعض الرادارات المزودة بفتحة تركيبية المحمولة في الفضاء في تداخلات غير مقبولة للرادارات المقامة على سطح الأرض لتتبع الأجسام الموجودة في الفضاء المشغلة في النطاق 420-450 MHz إذا تواجدت الرادارات المزودة بفتحة تركيبية المحمولة في الفضاء في مجال رؤية الرادارات المقامة على سطح الأرض (أي فوق خط الأفق المرئي من الرادار)؛

ع) أن ثمة احتمالاً في أن تقوم رادارات مقامة على سطح الأرض لتتبع الأجسام الموجودة في الفضاء بتتبع بعض الرادارات المزودة بفتحة تركيبية والمحمولة في الفضاء، وأن تقترب السوية الناتجة عن قدرة التداخل المستقبلة في الرادارات المزودة بفتحة تركيبية والمحمولة في الفضاء من الحد الأقصى لمقدرتها على معالجة القدرة؛

ف) أن ثمة احتمالاً في أن تتسبب بعض الرادارات المزودة بفتحة تركيبية المحمولة في الفضاء في تداخلات غير مقبولة للرادارات المحمولة جواً أو على متن السفن وتعمل في النطاق 420-450 MHz. وتتوقف احتمالات وخطورة هذه التداخلات كثيراً على خصائص الرادارات المزودة بفتحة تركيبية؛

ص) أن أي تداخلات ضارة يمكن أن تسببها الرادارات المزودة بفتحة تركيبية لمستقبلات التدمير الذاتي في مركبات الإطلاق، حتى ولو لفترة وجيزة جداً، يمكن أن تلحق أضراراً بسلامة الأفراد وممتلكاتهم؛

ق) أنه نظراً للتعقيد الذي يتطلبه إحكام تنفيذ الأدوات في خدمات استكشاف الأرض الساتلية (النشيطة) في هذه الترددات المنخفضة، يتوقع ألا يتواجد سوى عدد قليل جداً من المنصات في المدار في ذات الوقت،

توصـــي

1 بأن تقوم المحاسيس النشيطة المحمولة في الفضاء العاملة في النطاقات التي تستعملها خدمة الهواة وخدمة الهواة الساتلية والخدمة الثابتة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة العمليات الفضائية والخدمة المتنقلة والخدمة المتنقلة الساتلية في النطاق 420-470 MHz، باحترام القيود التقنية والتشغيلية المبينة في الملحق 1 بهذه التوصية؛

2 بألا تشغل المحاسيس النشيطة المحمولة على متن مركبة فضائية في النطاق 420-450 MHz في خط بصر الرادارات المقامة على سطح الأرض لتتبع الأجسام الموجودة في الفضاء التي يعددها الجدول 2، ما لم يسبق ذلك تحليل تفصيلي، لكل حالة على حدة، من أجل مراعاة تأثير المعالجة على متن المستقبل الراداري في الإشارات غير المطلوبة للرادارات المزودة بفتحة تركيبية، وعند الاقتضاء إجراء اختبارات ميدانية لتأكيد الملاءمة باتفاق مشترك مع الإدارات المتأثرة؛

3 أن يصمم الرادار المزود بفتحة تركيبية المحمول في الفضاء للعمل في النطاق 420-450 MHz بحيث يجيز سويات قدرة الإشارات غير المطلوبة التي تنتج عن تتبع الرادارات الأرضية الأجسام الموجودة في الفضاء؛

4 بأنه قد يكون من الضروري توفير مباعدة كافية في الترددات وفي البعد الجغرافي بين الرادارات المزودة بفتحة تركيبية المحمولة في الفضاء ورادارات ترصّد الرياح العاملة في النطاقين 420-432 MHz و438-450 MHz؛

5 بأن يتم اختيار نطاقات تردد المحاسيس النشيطة المحمولة في الفضاء بحيث لا يحدث تراكب مع نطاقات تردد مستقبل التدمير الذاتي في مركبة الإطلاق الوارد ذكرها في الفقرة ح) من *إذ تضع في اعتبارها*؛

6 بأنه في الحالات التي يصعب فيها تنفيذ الرقم 5 من *"توصـــي"*، يجب عدم تشغيل المحاسيس النشيطة المحمولة في الفضاء والعاملة في نطاقات الترددات الموزعة على مستقبل أوامر التدمير الذاتي في مركبة الإطلاق، ما لم تستخدم مسافة معينة عن مواقع استعمال أجهزة التحكم في مركبة الإطلاق بحيث يمكن تفادي التداخلات بين المحاسيس النشيطة المحمولة في الفضاء ومستقبلات مركبة الإطلاق.

الملحق 1

القيود التقنية والتشغيلية المطبقة على خدمة استكشاف الأرض الساتلية (EESS) (النشيطة) العاملة في النطاق MHz 470-420

لأغراض حماية المحطات المشغلة في الخدمات القائمة يجب على الإرسال الصادر عن الرادارات المزودة بفتحة تركيبية في خدمة استكشاف الأرض الساتلية (النشيطة) المشغلة في نطاق الترددات MHz 470-420 أن يخضع للقيود التقنية والتشغيلية المحددة في هذا الملحق.

وتستند القيود التالية إلى دراسات قطاع الاتصالات الراديوية. يوفر الملحق 2 المعلومات بشأن إمكانية التقاسم بين المحاسيس النشيطة المحمولة في الفضاء والخدمات الأخرى في نطاق الترددات MHz 470-420.

1 القيود التقنية

الجـــدول 1

القيود التقنية المطبقة على أجهزة خدمة استكشاف الأرض الساتلية (النشيطة) المشغلة في النطاق MHz 470-420

المعلمة	القيمة
ذروة كثافة تدفق القدرة على سطح الأرض الناتجة عن الفص الرئيسي للهوائي	-140 dB($W/m^2 \cdot Hz$)
كثافة تدفق القدرة المتوسطة القصوى على سطح الأرض الناتجة عن الفص الرئيسي للهوائي	-150 dB($W/m^2 \cdot Hz$)
كثافة تدفق القدرة المتوسطة القصوى على سطح الأرض الناتجة عن الفص الجانبي الأول للهوائي	-170 dB($W/m^2 \cdot Hz$)

2 القيود التشغيلية

لا يجوز أن ترسل أجهزة خدمة استكشاف الأرض الساتلية (النشيطة) المشغلة في النطاق MHz 450-420 في مجال رؤية الرادارات المقامة على سطح الأرض لتتبع الأجسام الموجودة في الفضاء الواردة في الجدول 2، ما لم يجر تحليل تفصيلي، يشمل دراسة تأثير المعالجة على متن مستقبل الرادار في الإشارات غير المطلوبة التي يرسلها الرادار المزود بفتحة تركيبية، وعند الاقتضاء تجري اختبارات ميدانية لتأكيد الملاءمة.

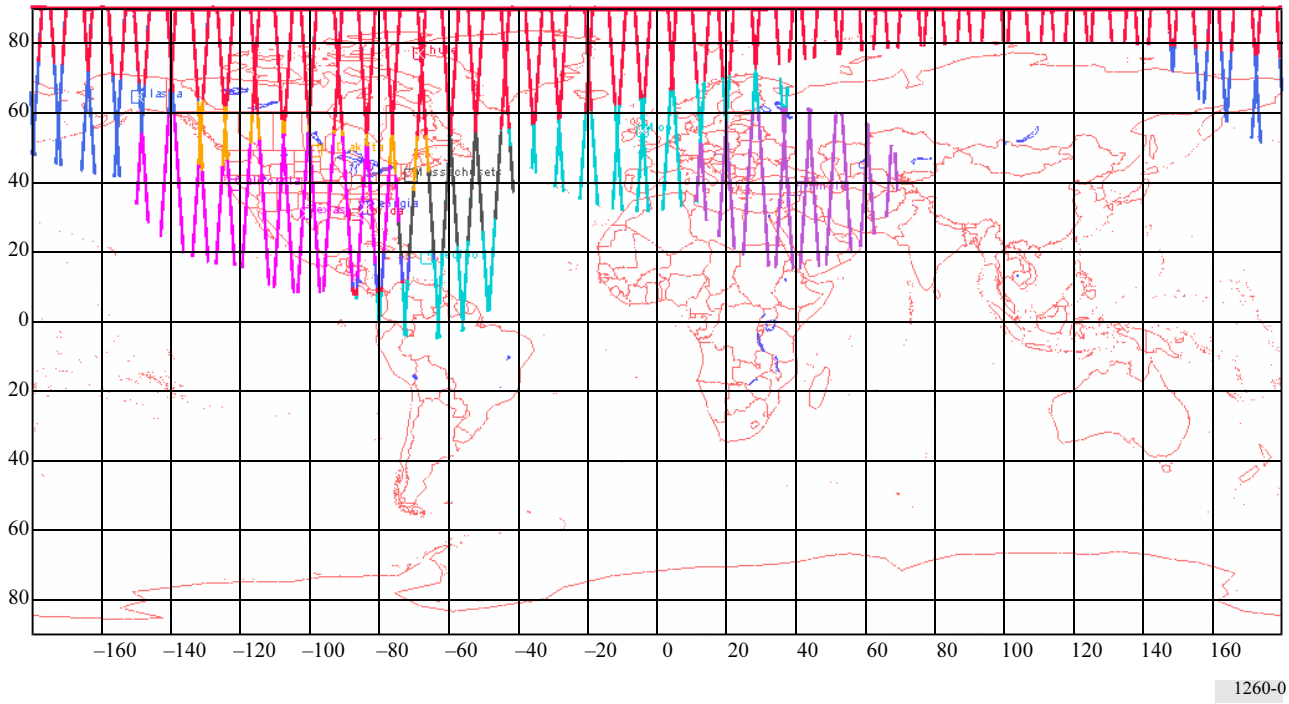
ونتيجة للقيود سالفة الذكر، تصمم أجهزة خدمة استكشاف الأرض الساتلية (النشيطة) بحيث يمكن برمجة وقف كل عمليات الإرسال الراديوي فوق مناطق جغرافية معينة أو في البلدان التي لا تسمح فيها لوائح الاتحاد الدولي للاتصالات أو اللوائح الوطنية بتشغيلها.

يكون نموذج تشغيل أجهزة خدمة استكشاف الأرض الساتلية (النشيطة) مركزاً على حملات الرصد، وموجهاً إلى مناطق جغرافية محددة وتكون فترة نشاط هذه الأجهزة محددة بأدنى حد مطلوب لتحقيق أهداف الحملة. بالتالي، وللقيام بهذه القياسات يجب ألا تشغل هذه الأجهزة بشكل متواصل ويمكن أن تنقضي عدة أشهر فيما بين حملات القياس المتعاقبة في المنطقة ذاتها.

تكون دورة تشغيل العمليات في حملات الرصد 15% كحد أقصى (10% بشكل عام). وعندما لا تكون الأجهزة في وضع حملات الرصد يقطع عنها التيار.

الشـــكل 1

مواقع الرادارات التتبعية للأجسام الموجودة في الفضاء المستعملة لأغراض الملاحة الساتلية في نطاق التردد MHz 440-430 في مدار يقع على ارتفاع يزيد عن 550 km



الجـــدول 2

رادارات تتبع الأجسام الموجودة في الفضاء المشغلة في نطاق الترددات MHz 440-430

موقع الرادار	خط العرض	خط الطول
ماساشوستس (الولايات المتحدة الأمريكية)	41,8° شمالاً	70,5° غرباً
تكساس (الولايات المتحدة الأمريكية)	31,0° شمالاً	100,6° غرباً
كاليفورنيا (الولايات المتحدة الأمريكية)	39,1° شمالاً	121,5° غرباً
جورجيا (الولايات المتحدة الأمريكية)	32,6° شمالاً	83,6° غرباً
فلوريدا (الولايات المتحدة الأمريكية)	30,6° شمالاً	86,2° غرباً
داكوتا الشمالية (الولايات المتحدة الأمريكية)	48,7° شمالاً	97,9° غرباً
ألاسكا (الولايات المتحدة الأمريكية)	64,3° شمالاً	149,2° غرباً
توليه (غرينلاند)	76,6° شمالاً	68,3° غرباً
فيلينجدال مور (المملكة المتحدة)	54,5° شمالاً	0,4° غرباً
بيرنجليك (تركيا)	37,9° شمالاً	40,0° شرقاً

3 معايير الحماية المطبقة على الخدمات المشغلة في نطاق الترددات 420-470 MHz

ليست جميع معايير الحماية المذكورة في هذه الفقرة واردة في توصيات قطاع الاتصالات الراديوية. لذلك استمدت بعض معايير الحماية من المعلومات المتوفرة في دراسات قطاع الاتصالات الراديوية. ويعكس الجدول 3 المعلومات المتاحة وقت صياغة هذه التوصية.

وتجدر الملاحظة أن أي توصية مقبلة تصف معايير الحماية لأي خدمة معينة، سيكون لها الأفضلية على القيمة الواردة في الجدول، التي استخلصت من دراسات قطاع الاتصالات الراديوية.

الجـــدول 3

معايير الحماية المطبقة على الخدمات المشغلة
في نطاق الترددات 420-470 MHz

نطاق الترددات (MHz)	خدمات قطاع الاتصالات الراديوية	يتعين تطبيق النسب المئوية للوقت والمعايير الواردة في العمودين 4 و5 على المناطق الجغرافية التالية فقط	أقصى نسبة مئوية للوقت الذي يمكن خلاله تجاوز المعيار[1]	معيار التداخل عند محطات الاستقبال	المصادر
440-430	هواة	ضمن مجال رؤية محطات الهواة المقامة على سطح الأرض الواقعة في المناطق المحددة في أ) من *إذ تضع في اعتبارها*	%1	كثافة تدفق القدرة = -204 dB(W/(m^2 · Hz))[2]	دراسات قطاع الاتصالات الراديوية
438-435	هواة ساتلية	ضمن مجال رؤية المحطات المقامة على سطح الأرض لخدمة الهواة الساتلية الواقعة في المناطق المحددة في أ) من *إذ تضع في اعتبارها*	%1	كثافة تدفق القدرة = -197 dB(W/(m^2 · Hz))	دراسات قطاع الاتصالات الراديوية
438-435	هواة ساتلية	ضمن مجال رؤية مستقبلات محطات الهواة الفضائية	%1	كثافة تدفق القدرة = -187 dB(W/(m^2 · Hz))	دراسات قطاع الاتصالات الراديوية
470-420[3]	ثابتة	ضمن مجال رؤية محطات الخدمة الثابتة بما فيها المحطات الواقعة في المناطق المحددة في ل) من *إذ تضع في اعتبارها*	غير منطبقة	$(I/N)_{MEAN} = -20$ dB (تعادل انحطاطا نسبياً في الأداء قدره 1%)	التوصيتان ITU-R F.758 و ITU-R F.1108
432-420 و 450-438	التحديد الراديوي للموقع	ضمن مجال رؤية رادارات ترصّد الرياح	[4]	$(I/N)_{PEAK} = -6$ dB	التوصية ITU-R M.1462
450-420	عمليات فضائية	ضمن مجال رؤية مستقبلات التدمير الذاتي في مركبة الإطلاق الواقعة في المناطق المحددة في ل) من *إذ تضع في اعتبارها*	مباعدة في الترددات أو مباعدة جغرافية مطلوبة		دراسات قطاع الاتصالات الراديوية

الجـــدول 3 (*النهاية*)

نطاق الترددات (MHz)	خدمات قطاع الاتصالات الراديوية	يتعين تطبيق النسب المئوية للوقت والمعايير الواردة في العمودين 4 و5 على المناطق الجغرافية التالية فقط	أقصى نسبة مئوية للوقت الذي يمكن خلاله تجاوز المعيار[1]	معيار التداخل عند محطات الاستقبال	المصادر
450-420	التحديد الراديوي للموقع	ضمن مجال رؤية الرادارات المقامة على سطح الأرض لتتبع الأجسام الموجودة في الفضاء[5]	[4]	$(I/N)_{PEAK} = -6$ dB	التوصية ITU-R M.1462
450-420	التحديد الراديوي للموقع	ضمن مجال رؤية الرادارات المحمولة على متن سفن	[4]	$(I/N)_{PEAK} = -6$ dB	التوصية ITU-R M.1462
450-420	التحديد الراديوي للموقع	ضمن مجال رؤية الرادارات المحمولة جوا	[4]	$(I/N)_{PEAK} = -6$ dB	التوصية ITU-R M.1462
470-420[3]	متنقلة	ضمن مجال رؤية المحطات المتنقلة بما فيها المحطات الواقعة في المناطق المحددة في ل) من *إذ تضع في اعتبارها*	%1	كثافة تدفق القدرة = -204 dB(W/(m^2 · Hz))[2]	دراسات قطاع الاتصالات الراديوية

[1] مع مراعاة جميع الرادارات المزودة بفتحة تركيبية النشيطة المحمولة في الفضاء في نطاق الترددات هذا.

[2] تستند كثافة لتدفق القدرة الكلية القصوى المحددة في النطاق 430-440 MHz إلى أقصى سوية للتداخل المقبول المستقبلة من قبل الفص الجانبي المتوسط لهوائي استقبال خدمة الهواة.

[3] في نطاق الترددات 430-440 MHz، توزع الخدمتان الثابتة والمتنقلة في بعض البلدان فقط، في إطار حاشية سفلية.

[4] يستند المعيار المحدد في التوصية ITU-R M.1462 إلى حماية أنظمة التحديد الراديوي للموقع من التداخلات الشبيهة بالضوضاء. وقد يكون التقاسم ممكناً بين أنظمة التحديد الراديوي للموقع والمحاسيس النشيطة المحمولة في الفضاء، على سويات تداخل أعلى من تلك الواردة في التوصية ITU-R M.1462، عن طريق استعمال تقنيات معالجة الإشارات لترشيح إشعاعات البث النبضية غير المطلوبة. وتقدم التوصية ITU-R M.1372 وصفاً لبعض تقنيات كبت التداخل.

[5] يجب ألا تقوم خدمة استكشاف الأرض الساتلية (النشيطة) العاملة في النطاق 420-450 MHz بالإرسال في مجال رؤية الرادارات المقامة على سطح الأرض لتتبع الأجسام الموجودة في الفضاء الواردة في الجدول 2، ما لم يجر تحليل تفصيلي، على أساس كل حالة على حدة، لمراعاة تأثير المعالجة على متن مستقبل الرادار للإشارات غير المطلوبة التي ترسلها الرادارات المزودة بفتحة تركيبية وعند الاقتضاء إجراء اختبارات ميدانية لتأكيد الملاءمة باتفاق متبادل مع الإدارات المتأثرة.

الملحق 2

منهجية تقييم وتخفيف التداخلات

1 مقدمة

تعرض هنا منهجية تسمح بإجراء تقدير لمعرفة ما إذا كانت الإشارات غير المطلوبة التي تستقبلها الخدمات الأخرى في النطاق 420-470 MHz من محساس نشيط محمول في الفضاء قد تتسبب في صعوبات إذا شغلت في نطاقات ترددات مشتركة. استمد جانب كبير من مضمون هذا الملحق من الملحق 1 بالتوصية ITU-R SA.1280 – اختيار خصائص إرسال المحساس النشيط المحمول في الفضاء بهدف تخفيف مخاطر التداخلات التي تسببها الرادارات المقامة على سطح الأرض العاملة في نطاقات الترددات من 1 إلى 10 GHz. وتبرز الحسابات عدداً من معلمات المحساس التي يمكن اختيارها بحيث تحسن حالة التقاسم.

2 حساب التداخلات المتسببة للخدمات الأخرى

يحسب متوسط كثافة تدفق قدرة الإشارة المسببة للتداخل، I_{pfd} (dB(W/(m^2 · Hz))) وسوية القدرة المتوسطة للإشارة المسببة للتداخل، I (dBW) المستقبلة في الخدمات الأخرى والآتية من محاسيس نشيطة محمولة في الفضاء بالمعادلتين:

$$I_{pfd} = 10 \log P_t + 10 \log (\tau\, PRF) + G_t - (130.99 + 20 \log R + 10 \log B) + OTR - PG \quad (1أ)$$

و

$$I = 10 \log P_t + 10 \log (\tau\, PRF) + G_t + G_r - (32.44 + 20 \log (f R)) + OTR - PG \quad (1ب)$$

حيث:

P_t: ذروة قدرة إرسال المحساس المحمول في الفضاء (W)

τ: عرض نبضات المحساس المحمول في الفضاء (s)

PRF: معدل تكرار نبضات المحساس المحمول في الفضاء (Hz)

G_t: كسب هوائي المحساس المحمول في الفضاء في اتجاه الخدمة الأخرى (dBi)

R: البعد المائل بين المحساس والرادار (km)

B: عرض نطاق المحساس (MHz)

OTR: نبذ عند تردد توليف المستقبِل (dB)

PG: كسب المعالجة (dB)، نبذ الإشارات غير المطلوبة الناجمة عن نظام معالجة الإشارات في المستقبِل (على افتراض أنه صفر إن لم يكن معروفاً)

f: التردد (MHz).

تعطي المعادلة (1أ) سوية متوسط كثافة تدفق قدرة الإشارة المسببة للتداخل وتعطي المعادلة (1ب) سوية القدرة المتوسطة للإشارة المسببة للتداخل. وتستخدم سوية القدرة المتوسطة للإشارة المسببة للتداخل حينما يمكن تحديد أن هذا الاستخدام ملائم. على سبيل المثال عندما يقوم رادار ما بتحويل فورييه السريع لإشارة مستقبلة فإنه "ينشر" إشارات النبضات المتغايرة عبر عدد من القطاعات، وبذلك يتم الحصول على متوسط سوية الإشارة المسببة للتداخل، ويعطى مصطلح نبذ عند تردد التوليف بالمعادلة التالية:

$$OTR = 10 \log (B_r / B_t) \quad \text{for} \quad B_r \le B_t \quad (2أ)$$

$$= 0 \quad \text{for} \quad B_r > B_t \quad (2ب)$$

حيث:

B_r: عرض نطاق المستقبل

B_t: عرض نطاق الإشارة المرسلة المسببة للتداخل.

إذا كانت ذروة الإشارة المسببة للتداخل هي الإشارة قيد البحث، يجب تجاهل المصطلح الثاني في المعادلة (1) ويحسب نبذ التوليف انطلاقاً من المعادلتين التاليتين:

نبضة الدخل دون تشكيل التردد:

$$OTR = 20 \log (B_r \tau) \quad \text{for} \quad B_r \tau < 1 \quad (3أ)$$

$$= 0 \quad \text{for} \quad B_r \tau > 1 \quad (3ب)$$

نبضة الدخل بتشكيل التردد:

$$OTR = 10 \log\left(\frac{B_r^2 \tau}{B_c}\right) \quad \text{for} \quad \frac{B_r^2 \tau}{B_c} < 1 \qquad (4أ)$$

$$= 0 \quad \text{for} \quad \frac{B_r^2 \tau}{B_c} > 1 \qquad (4ب)$$

حيث:

B_r: عرض نطاق التردد المتوسط لمستقبل الخدمة الأخرى

B_c: عرض نطاق تشكيل المحساس المحمول في الفضاء

τ: عرض نبضات المحساس.

3 معايير التداخل المطبقة على الخدمات الأخرى

ترد المعايير المطبقة على أنظمة محددة في الخدمات الأخرى في الجدول 1 من حيث الحدود القصوى لكثافة تدفق القدرة التراكمية المسجلة في المحطات المستقبلة (($dB(W/(m^2 \cdot Hz))$) وكذلك من حيث الحدود القصوى لكثافة تدفق القدرة التي يمكن تجاوزها في محطات الاستقبال. وثمة حالات عديدة يستعمل فيها معيار مختلف على النحو التالي.

1.3 رادارات المراقبة الموجودة في خدمة التحديد الراديوي للموقع

يفترض عدم انحطاط النسبة *S/N* لرادارات المراقبة بأكثر من dB 0,5 خلال وقت مساو لتفحص اعتباطي يبلغ s 10. وهذا يساوي معدل قدرة *I/N* يبلغ dB 9- في مرحلة التردد المتوسط للمستقبل. تعتبر السوية المتوسطة لقدرة الإشارة المسببة للتداخل معلمة هامة في حالة رادارات المراقبة.

2.3 رادارات التتبع الموجودة في خدمة التحديد الراديوي للموقع

كثيراً ما تستخدم رادارات التتبع "بوابات البعد" لاستبعاد جميع الأصداء التي لا تقابل مسافات محددة الأهمية. ومن الاعتبارات الهامة في تحديد حساسية أحد رادارات التتبع لقطار النبضات المسببة للتداخل، ذلك الجزء من النبضات المسببة للتداخل التي تتطابق مع "بوابة البعد". ويتوقف تطابق النبضات المسببة للتداخل مع بوابة البعد على ما إذا كان تردد تكرار النبضات المطلوبة وغير المطلوبة يرتبط بمضاعفات صحيحة (الحالة I) أم لا (الحالة II). ونحصل على جزء النبضات المطابقة f_c من المعادلتين:

من أجل الحالة I $$f_c = \frac{GCF(PRF_i, PRF_g)}{PRF_g} \qquad (5أ)$$

من أجل الحالة II $$f_c = PRF_i(\tau_g + \tau_i) \qquad (5ب)$$

حيث:

PRF_i: تردد تكرار النبضات المسببة للتداخل

PRF_g: بوابة تكرار النبضات المسببة للتداخل

$GCF\ (PRF_i, PRF_g)$: أكبر معامل مشترك لتردد تكرار النبضات المسببة للتداخل وبوابة تكرار النبضات المسببة للتداخل

τ_i: عرض النبضة المسببة للتداخل

τ_g: عرض البوّابة.

من الملاحظ أنه حينما يكون $\tau_i > \tau_g$ ولا ترتبط ترددات تكرار النبضات المرغوبة وغير المرغوبة بمضاعفات صحيحة (الحالة II)، يقابل f_c على وجه التقريب دورة تشغيل النبضات المسببة للتداخل. وتعتبر هذه الحالة حالة نموذجية، وتستخدم في التحديد التالي لعتبة انحطاط رادار التتبع.

للحصول على معطيات بالغة الدقة لوضع الأهداف الهامة، تستخدم رادارات التتبع هوائيات عالية الكسب مزودة بحزم رئيسية ضيقة ومحددة تحديداً جيداً. وهناك آلية مؤازرة تحاول الإبقاء على خط تسديد الحزمة الرئيسية للهوائي على الهدف؛ وتوجه آلية المؤازرة بواسطة إشارة خطأ يولدها الخطأ الزاوي الواقع بين الهدف وخط تسديد الهوائي. ويمكن للإشارات غير المرغوبة التي يلتقطها الرادار أن تزيد هذا الخطأ.

وعتبة الانحطاط لرادار تتبع، باعتبارها الكسر المسموح به من النبضات المسببة للتداخل المطابقة، f_c، على اعتبار أن f_c هي دالة النسبة S/I عند مخرج التردد المتوسط من المستقبل، تعطى بالمعادلتين التاليتين:

$$f_c = \frac{a^2 - 1}{\frac{90 B_r \tau}{(S/I - 1)} - 1} \qquad \text{حيث } S/I > 1 \qquad (6\text{أ})$$

$$f_c = \frac{a^2 - 1}{\frac{90 B_r \tau}{(S/I - 1)} - 1} \qquad \text{حيث } S/I < 1 \qquad (6\text{ب})$$

حيث:

a: العامل المرتبط بخطأ التتبع الكلي، مع مراعاة الانحطاط الناجم عن التداخل (أي إن القيمة $a = 1{,}1$ تولد زيادة تبلغ 0,1% أو 10% ناجمة عن التداخل)

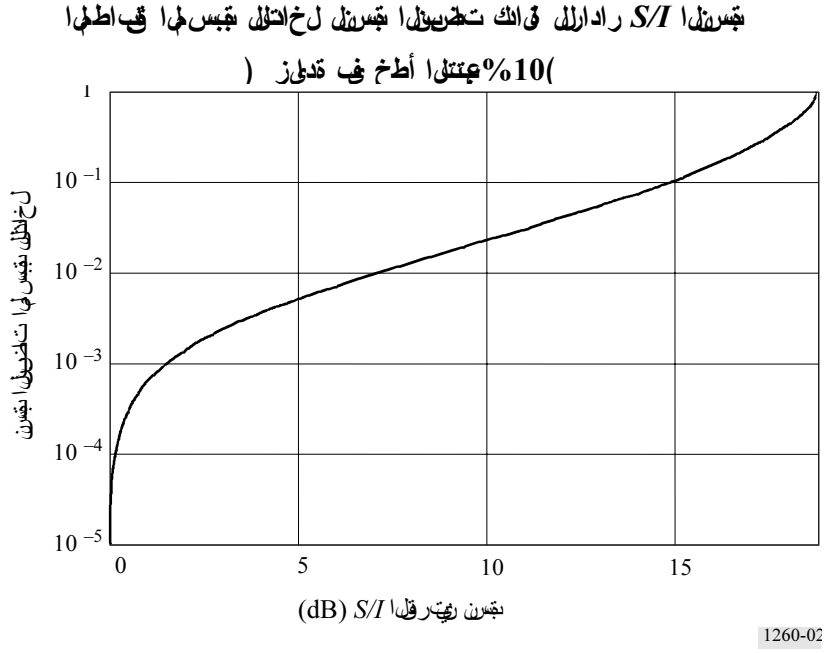
B_r: عرض النطاق عند 3 dB لمرشاح التردد المتوسط للرادار

τ: مدة النبضات المعاد إرسالها من الهدف (من الملاحظ أن $B_r \tau \cong 1$ بالنسبة إلى تردد التتبع)

S/I: نسبة قدرة الإشارة/التداخل عند مخرج التردد المتوسط للرادار (لا يعبر عنها بالوحدات dB).

يمثل المنحنى الوارد في الشكل 2 نسبة النبضات المطابقة بدلالة النسبة S/I عند مخرج التردد المتوسط للرادار، بما يسمح بزيادة قدرها 10% في خطأ رادار التتبع الناجم عن التداخل. وتساوي هذه النسبة على وجه التقريب دورة تشغيل استخدام المحساس (6%)، بحيث تقابل النسبة S/I البالغة 13 dB خطأ في التتبع قدره 10%. ويفترض أنه يجب أن تكون $S/I \geq 13$ dB لفترات زمنية أطول من 3 ثوان. (حيث إن معيار التداخل قد وضع على أساس نبضة مسببة للتداخل تطابق بوابة بعد الرادار، يجب استخدام قدرة الذروة للإشارة المسببة للتداخل.)

الشكل 2



4 مثال لتحليل إشارة غير مطلوبة من محساس محمول في الفضاء تسبب التداخل لخدمات أخرى

1.4 الخصائص التقنية

1.1.4 محساس محمول في الفضاء

يعطي الجدول 4 الخصائص التقنية لمحساس تمثيلي محمول في الفضاء يستعمل في التحليل التالي.

الجـــدول 4

خصائص الرادارات المزودة بفتحة تركيبية 1 المحمولة في الفضاء

المعلمة	القيمة
ارتفاع المدار (km)	750
ميل المدار (بالدرجات)	98,4
قدرة الذروة المشعة في التردد الراديوي (W)	400
متوسط القدرة المشعة في التردد الراديوي (W)	4,4
عرض النبضات (μs)	50
تردد تكرار النبضات (Hz)	2 200
تشكيل النبضات	FM خطي
عرض نطاق النبضات (MHz)	4,8
كسب الذروة للهوائي (dB)	27,9
توجيه الهوائي (بالدرجات)	37 بالنسبة للنظير
الفص الجانبي الأول للهوائي (dB)	–17,6 بالنسبة للذروة
الفص الجانبي الخامس للهوائي (dB)	–34 بالنسبة للذروة

2.1.4 الرادارات المحمولة جواً

توفر التوصية ITU-R M.1462 الخصائص ومعايير الحماية للرادارات العاملة في نطاق الترددات 420-450 MHz. وخلصت التحليلات السابقة إلى أن المحاسيس النشيطة المحمولة في الفضاء لا تتلاءم تقنياً مع الرادارات المقامة على البر عالية الحساسية لتتبع الأجسام الموجودة في الفضاء.

في تحليل لمحاكيات حاسوبية تمت دراسة الملاءمة بين الرادارات المزودة بفتحة تركيبية المحمولة في الفضاء والرادارات المحمولة جواً العاملة في نطاق التردد هذا. وكانت النتائج التي حُصل عليها من الرادارات المحمولة على متن السفن مماثلة لنتائج الرادارات المحمولة جواً. ويشير مشروع التوصية الجديدة إلى أن عرض نطاق المستقبل المحمول جواً هو 1 MHz، وأن هوائي الرادار هو صفيف مستوٍ كسبه 22 dBi. ولأغراض التحليل، افترض أن الهوائي يقوم بمسح سمتي عند زاوية ارتفاع قدرها 0°. ويتمثل معيار الحماية للرادارات في نسبة التداخل إلى الضوضاء قدرها –6 dB.

2.4 نهج التحليل ونتائجه

1.2.4 المحاكيات الحاسوبية

1.1.2.4 كسب المعالجة

عند تحليل التداخلات التي يمكن أن تسببها الرادارات المزودة بفتحة تركيبية والمحمولة في الفضاء في مستقبلات خدمة التحديد الراديوي للموقع، يفترض عدم وجود أي كسب في المعالجة (أو بعبارة أخرى إمكانية نبذ التداخلات الناجمة عن معالجة الإشارات في المستقبل). وبالنسبة لأنظمة التحديد الراديوي للموقع، قد يكون من المناسب أن تدرس استجابة المستقبل المحتملة للإشارات النبضية المسببة للتداخل على غرار تلك التي تصدرها الرادارات المزودة بفتحة تركيبية.

وعادة لا تنشر تفاصيل مقاومة أحد الرادارات للإشارات النبضية المسببة للتداخل. غير أن العديد من مستقبلات الرادارات الحديثة، خاصة الرادارات التي تؤدي وظيفة مراقبة في وجود جلبة قوية، تقوم بمعالجة دوبلرية رقمية لتحديد موقع الأهداف داخل خلفية الجلبة. وسيكون أثر تحويل فورييه السريع على التداخل النبضي الوارد هو "نشر" ذروة القدرة النبضية على المسافات الفاصلة/الدوبلرية المجاورة، والناتج هو متوسط القدرة المسببة للتداخل.

2.1.2.4 معيار التداخل في الرادارات

تعتبر قيمة النسبة *I/N* المساوية –6 dB معيار الحماية للرادارات المحمولة جواً في التوصية ITU-R M.1462. ولم تعط أي نسبة مئوية من الوقت أو مدة من الزمن مقبولة يمكن خلالها أن يتجاوز التداخل هذه القيمة. وليس من المناسب أن يطبق مفهوم النسبة المئوية من الوقت التي تسمح خلالها أن يتجاوز التداخل هذه القيمة على الرادارات، وخاصة رادارات المراقبة مثل الرادارات المحمولة جواً التي تدرس في هذا التحليل. ويمكن تطبيق مفهوم خسارة المعطيات أو "الانقطاع" المسموح به على وصلة للاتصالات أو على محساس، لكن كشف الهدف – وهي وظيفة أساسية وحرجة لأنظمة الرادار – يحدث في لحظة معينة من الزمن، وبالتالي تكون الانقطاعات الطويلة غير ملائمة.

ومن النهج المستخدمة في عدد من التحليلات المماثلة في قطاع الاتصالات الراديوية، دراسة نتائج المحاكاة انطلاقاً من افتراض أن أي عطل في تشغيل رادار مراقبة لا يمكنه أن يستغرق فترة من الوقت تزيد عما يستغرقه مسح وحيد من الهوائي. وهذا يعني أن الهدف قد يبقى دون اكتشاف خلال فترة المسح الأولى التي قد يكون الرادار قد أكملها بنجاح. وفترة دوران هوائيات الرادارات المحمولة جواً والمدروسة في هذا التحليل هي 10 ثوان. ولذلك ينبغي للتداخل ألا يتجاوز النسبة *I/N* = –6 dB فترة أطول من 10 ثوان. (وبموجب هذا الافتراض، فالهدف الذي يتحرك بسرعة 800 km/h يقترب من هدف آخر بنحو 2 km بعد

الاكتشاف، في غياب التداخل، وهو ما قد يكون مقبولاً أو غير مقبول حسب الحالة). وبعد فحص نتائج المحاكاة (باستخدام ذروة قدرة التداخل وكذلك متوسط قدرة التداخل في الرادارات)، من الواضح أن تقاسم الترددات قد يكون صعباً بين الرادارات المزودة بفتحة تركيبية والمحمولة في الفضاء والرادارات.

3.1.2.4 نتائج المحاكيات الحاسوبية

تم إجراء عمليات محاكاة باستخدام رادار من الطراز SAR1 (انظر الجدول 5). يقدم الجدول 6 نتائج المحاكيات الحاسوبية للتداخلات التي يمكن أن يسببها رادار من الطراز SAR1 محمول في الفضاء لأنظمة خدمة التحديد الراديوي للموقع. وأجريت جميع المحاكيات بفواصل زمنية قيمة كل منها 2 ثانية على مدى 60 يوماً. ومن الملاحظ في الجدول 6 وجود نتيجتين اثنتين فيما يتعلق بالنسبة المئوية من الوقت الذي يحدث فيه التداخل.

والنتيجة الأولى هي النسبة المئوية من الوقت التي يتم خلالها تجاوز معيار التداخل حين يكون رادار واحد مزود بفتحة تركيبية (أو أكثر) مرئياً (أي فوق الأفق) من محطة أو محطات أرضية، والنتيجة الثانية هي النسبة المئوية من الوقت التي يتم فيها تجاوز معيار التداخل طوال فترة المحاكاة (بما في ذلك الفترات الزمنية التي لا يكون خلالها أي رادار مزود بفتحة تركيبية مرئياً من بعض أجزاء الأرض).

الجـــدول 5

ذروة/متوسط كثافة تدفق القدرة المسببة للتداخل الصادرة من الفصوص الرئيسية والفصوص الجانبية لرادار SAR1 يعمل في النطاق P على سطح الأرض

المعلمة	القيمة	dB
قدرة الإرسال (W)	400,00	26,02
ذروة كسب الهوائي في الفص الرئيسي (dBi)	27,90	27,90
سوية الفصوص الجانبية للهوائي (dBi)	6,10–	6,10–
$1/(4\pi)$	$7,96 \times 10^{-2}$	10,99–
(المسافة)^2/1 (km)	972,80	119,76–
عرض النطاق/1 (MHz)	1/4,80	66,81–
عرض النبضات (µs)	50	
تردد تكرار النبضات (Hz)	2,200	
ذروة كثافة القدرة في الفص الرئيسي (dBW)		75,86–
ذروة كثافة القدرة في الفص الجانبي (dBW)		109,86–
ذروة كثافة تدفق القدرة في الفص الرئيسي (($dB(W/(m^2 \cdot Hz))$		143,6–
متوسط كثافة تدفق القدرة في الفص الرئيسي (($dB(W/(m^2 \cdot Hz))$		153,2–
ذروة كثافة تدفق القدرة في الفصوص الجانبية (($dB(W/(m^2 \cdot Hz))$		177,6–
متوسط كثافة تدفق القدرة في الفصوص الجانبية (($dB(W/(m^2 \cdot Hz))$		187,2–

الجـــدول 6

نتائج المحاكيات الحاسوبية

المستقبل	المعيار	SAR1
رادار محمول جواً	I/N، أسوأ حالة (dB)	36,2
	I/N، المتوسطة (dB)	4,4–
	النسبة المئوية من الوقت التي يكون فيها $I/N > -6$ dB (رادار مزود بفتحة تركيبية مرئي) (%)	12,0
	النسبة المئوية من الوقت التي يكون فيها $I/N > -6$ dB (كل الوقت) (%)	0,6
	أقصى وقت يكون فيه $I/N > -6$ dB (دقائق)	4,8
	متوسط الوقت الذي يكون فيه $I/N > -6$ dB (ثوان)	7,3
	عدد المرات التي يكون فيها $I/N > -6$ dB (أحداث)	3 823

5 الإجراء الواجب اتباعه في استعمال المنهجية

ينبغي دراسة متوسط كثافة تدفق قدرة المحساس النشيط المحمول في الفضاء أثناء مراحل التصميم. ويمكن دراسة المعادلات من (1) إلى (4) لتحديد المعلمات التي يحتمل إمكان ضبطها أثناء تصميم المحاسيس المحمولة في الفضاء لكي يتسنى تحسين التقاسم مع الخدمات الأخرى. وقدرة المرسل وكسب الهوائي (وبوجه خاص سويات الفص الجانبي) وعرض النبضات ومعدل التكرار وعرض نطاق التشكيل هي كلها على الأرجح مرشحة للضبط.

وحينما يجري تحليل الملاءمة بين المحساس المحمول في الفضاء ونظام خدمة معينة، ينبغي النظر في كسب المعالجة، إن وجد، لنظام الاستقبال نظراً لأن التحليل افترض عدم وجوده. وهذا الافتراض صحيح في الحالة العامة لأنه ليس لكل محطات الاستقبال كسب للمعالجة.

وعلى سبيل المثال، لننظر في رادارين يعملان في نطاق التردد 420-450 MHz:

- رادار تتبع عرض نطاقه للترددات المتوسطة يبلغ 0,1 MHz (الرادار 1)
- رادار اعتراضي محمول جواً عرض نطاقه للترددات المتوسطة يبلغ 1 MHz (الرادار 2).

إذا أمكن تشغيل المحساس المحمول في الفضاء الوارد في الجدول 4 بعرض نبضات مختلف وبعرض نطاق تشكيل مماثل لذلك المشار إليه في الجدول 7، يمكن تحقيق تخفيض محسوس في سوية قدرة الإشارة غير المطلوبة.

الجـــدول 7

مثال لتخفيض القدرة المسببة للتداخل المستقبلة في المحساس عن طريق تغيير عرض نبضات المحساس وعرض نطاق التشكيل

ΔI (dB)	ΔP_{avg} (dB)	Δ OTR (dB)	قيم جديدة لمعلمات الرادار SAR1		
			B_c (MHz)	τ (µs)	
4,0–	غير متاحة[1]	4,0–	6	25	الرادار 1
3,0–	3,0–	0,0–	6	25	الرادار 2

[1] اعتبر من المناسب استعمال متوسط قدرة الإشارة المسببة للتداخل في الرادارات المحمولة جواً، وذروة قدرة الإشارة المسببة للتداخل في رادارات التتبع.

6 الخلاصة

ثبت أن من الممكن تخفيض كثافة تدفق القدرة لتحسين خصائص إرسال المحاسيس النشيطة المحمولة في الفضاء وذلك لتحسين الملاءمة مع الخدمات الأخرى. إن قدرة مرسل المحساس، ونمط كسب الهوائي، وعرض النبضات، وتردد تكرار النبضات وعرض نطاق التشكيل (إذا استعمل تشكيل التردد)، هي كلها خصائص يحتمل إمكان ضبطها لتحسين الملاءمة.

_____