التوصيـــة ITU-R SA.1154*، **

أحكام خاصة بحماية خدمات الأبحاث الفضائية (SRS) والعمليات الفضائية (SOS) واستكشاف الأرض الساتلية (EESS) وبتسهيل التقاسم مع الخدمة المتنقلة في النطاقين 2025-2110 MHz و2200-2290 MHz

(1995)

إن جمعية الاتصالات الراديوية التابعة للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن النطاقين 2025-2110 MHz و2200-2290 MHz موزعان على أساس أولي على ثلاث خدمات علمية فضائية (SRS وSOS وEESS) وعلى الخدمة الثابتة والخدمة المتنقلة علماً بأن هذه الأخيرة خاضعة لأحكام الرقمين 391.5 و392.5 من لوائح الراديو؛

ب) أن المؤتمر الإداري العالمي للراديو المكلف بدراسة توزيع الترددات في بعض أجزاء الطيف (مالقة – طورمولينوس، 1992) (WARC-92) يدعو في قراره رقم 211 اللجنة الاستشارية الدولية للراديو (CCIR) السابقة لمتابعة دراسة الأحكام الخاصة بحماية الخدمات العلمية الفضائية العاملة في النطاقين 2025-2110 MHz و2200-2290 MHz من التداخلات الضارة الصادرة عن إرسالات محطات الخدمة المتنقلة وتقديم نتائج أعمالها إلى المؤتمر المختص القادم؛

ج) أن الخدمات SRS وSOS وEESS تغدو أكثر فأكثر استعمالاً في نطاقات الترددات هذه عن طريق المحطات الفضائية الدائرة في مدار أرضي منخفض (LEO)؛

د) أن إدخال أنظمة متنقلة برية مستقبلية بكثافة عالية من المحطات المتنقلة أو إدخال أنظمة متنقلة برية تقليدية في النطاقين 2025-2110 MHz و2200-2290 MHz قد يسبب تداخلات غير مقبولة في الخدمات SRS وSOS وEESS؛ ولمزيد من المعلومات انظر الملحق 1؛

هـ) أن بعض الدراسات تفيد بأن الأنظمة المتنقلة الخاصة بكثافة ضعيفة من المحطات المتنقلة كتلك الواردة في الملحق 2، يمكنها استخدام النطاقين 2025-2110 MHz و2200-2290 MHz بالتقاسم مع الخدمات SRS وSOS وEESS؛

و) أن بعض البلدان يتم فيها تشغيل الخدمات العلمية الفضائية بنجاح منذ سنوات عديدة بالتقاسم مع الأنظمة المتنقلة لتجميع الأخبار إلكترونياً (ENG) بكثافة ضعيفة من المحطات المتنقلة (انظر الملحق 3) والأنظمة المتنقلة للقياس عن بعد للطيران (انظر الملحق 4) دون تقييد، وأن بعض التقييدات قد تفرض لاحقاً نظراً للسرعة المتوقعة التي ستتطور فيها هذه الأنظمة؛

ز) أن الخدمات العلمية الفضائية العاملة في النطاق 2200-2290 MHz أكثر حساسية للتداخلات من نفس الخدمات العلمية الفضائية العاملة في النطاق 2025-2110 MHz لأن هوائيات الكسب المرتفع للسواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض المرحلة للمعطيات، تكون موجهة باتجاه الأرض عند قيامها بتتبع مركبة فضائية في مدار منخفض؛

ح) أن معايير الحماية المفروضة على الخدمة SRS، من أصل مجمل المعايير المفروضة على الخدمات العلمية الفضائية الثلاث، تكون هي الأكثر صرامة وتقدم حماية كافية للخدمات SRS وSOS وEESS؛

---

* ينبغي أن ترفع هذه التوصية إلى علم لجان الدراسات 4 و8 و9 للاتصالات الراديوية.

** أدخلت لجنة الدراسات 7 للاتصالات الراديوية عام 2003 تعديلات صياغية في هذه التوصية طبقاً للقرار ITU-R 44.

ط) أن التوصية ITU-R SA.609 (الفقرات 1 و1.1 و2.1 و2) تحدد معايير الحماية المنطبقة على الخدمة SRS؛

ي) أن معايير الحماية الواردة في التوصية ITU-R SA.609 استخدمت مراراً في دراسات التقاسم وهي مقبولة على نطاق واسع؛

ك) أن الخدمات SRS وSOS وEESS تستخدم النطاقين 2025-2110 MHz و2200-2290 MHz للاتصالات الراديوية في الاتجاهات أرض–فضاء وفضاء–أرض وفضاء–فضاء. وتفترض الوصلات فضاء–فضاء عموماً استخدام ساتل مرحل للمعطيات من النمط الموصوف في النظام المرجعي الافتراضي في التوصيتين ITU-R SA.1020 وITU-R SA.1018. وينبغي أن تراعي معايير التقاسم متطلبات حماية الوصلات الراديوية المنشأة عن طريق الساتل المرحل للمعطيات في النطاقين 2025-2110 MHz و2200-2290 MHz.

ل) أن ما يخص حماية الخدمات SRS وSOS وEESS بشأن الوصلات أرض–فضاء وفضاء–أرض تعتبر فيه نسبة الضوضاء إلى التداخل البالغة 6 dB والتي تترجم بانحطاط قدره 1 dB، كافية في أغلب الأحيان؛

م) أن ما يخص الهوامش الضعيفة عموماً (2 dB، أو أقل) المفروضة على الوصلات فضاء–فضاء تعتبر فيه نسبة الضوضاء إلى التداخل البالغة 10 dB والتي تترجم بانحطاط قدره 0,4 dB، ضرورية بالنسبة إلى الوصلات فضاء–فضاء للسواتل المرحلة للمعطيات؛

ن) أن النطاقات المعتبرة هنا تستخدم بالتقاسم مع الخدمة الثابتة والخدمة المتنقلة. ويفترض في كل خدمة منهما أن تساهم بنصف التداخل الإجمالي الذي تسببه المركبة الفضائية. وبسبب التنسيق المتوقع يقبل افتراضاً بأن واحدة فقط من الخدمتين تسبب التداخلات للمحطة الأرضية؛

س) أن السواتل المرحلة للمعطيات توضع عادة في مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض (GSO)؛

ع) أن النطاق 2025-2110 MHz يستخدم للوصلات أرض–فضاء في الخدمة SRS والخدمة SOS والخدمة EESS القاصدة إلى المركبة الفضائية في مدار منخفض أو في المدار GSO. ويستخدم هذا النطاق أيضاً للوصلات فضاء–فضاء في الخدمات SRS وSOS وEESS، وعادة لوصلات الإرسالات الراديوية من مركبة فضائية في مدار منخفض إلى ساتل ترحيل للمعطيات.

ف) أن النطاق 2200-2290 MHz يستخدم للوصلات فضاء–أرض في الخدمات SRS وSOS وEESS، والمنطلقة من مركبات فضائية في مدار منخفض أو في المدار GSO. ويستخدم هذا النطاق كذلك للوصلات فضاء–فضاء في الخدمات SRS وSOS وEESS وعادة لوصلات الاتصالات الراديوية من مركبة فضائية في مدار LEO إلى ساتل مرحل للمعطيات.

ص) أن عبارات الكثافة المطبقة على الأنظمة المتنقلة تحيل إلى عدد الأنظمة وإلى توزيع مطاريف هذه الأنظمة،

وإذ تقر

1 بأن مواصفة أقصى عدد من المحطات المتنقلة في العالم أجمع والتي تعمل في النطاقين 2025-2110 MHz و2200-2290 MHz على نحو لا تتجاوز فيه سوية التداخل الإجمالي معايير التقاسم، قد تكوّن حلاً تقنياً صالحاً، ولو كان أحياناً صعب التنفيذ عملياً،

وإذ تقر كذلك

1 بأن تجميعة وحيدة من الخصائص التقنية والتشغيلية للأنظمة المتنقلة الخاصة تسهل التقاسم، وأن التقاسم بين هذه الأنظمة المتنقلة والخدمات SRS وSOS وEESS يمكن أن يوصف بعبارات نوعية وكمية،

توصـــي

1 بأن تطبق الأحكام التالية من أجل حماية الخدمات SRS وSOS وEESS من مجموعة التداخلات التي تسببها إرسالات الأنظمة المتنقلة في النطاق 2025-2110 MHz:

1.1 بألا يتجاوز التداخل التراكمي عند مدخل المستقبل في المركبة الفضائية باستثناء حالة الوصلة فضاء–فضاء، القيمة –180 dB(W/kHz) خلال أكثر من 0,1% من الزمن؛

2.1 بألا يتجاوز التداخل التراكمي عند مربطي مدخل مستقبل المركبة الفضائية القيمة –184 dB(W/kHz) خلال أكثر من 0,1% من الزمن، وذلك في حالة الوصلات فضاء–فضاء.

2 بأن تطبق الأحكام التالية من أجل حماية الخدمات SRS وSOS وEESS من مجموعة التداخلات التي تسببها إرسالات الأنظمة المتنقلة في النطاق 2200-2290 MHz:

1.2 بألا يتجاوز التداخل التراكمي عند مدخل المستقبل في المحطة الأرضية القيمة –216 dB(W/Hz) خلال أكثر من 0,1% من الزمن؛

2.2 بألا يتجاوز التداخل التراكمي عند مدخل مستقبل الساتل المرحل للمعطيات القيمة –184 dB(W/kHz) خلال أكثر من 0,1% من الزمن؛

3 بأن يجتنب إدخال الأنظمة المتنقلة بكثافة عالية من المحطات المتنقلة أو الأنظمة المتنقلة التقليدية، في النطاقين 2025-2110 MHz و2200-2290 MHz بسبب التداخلات غير المقبولة التي قد تسببها هذه الأنظمة للخدمات SRS وSOS وEESS كما يؤكد ذلك الملحق 1؛

4 بأن تدخل الأنظمة المتنقلة الجديدة على نحو لا يسبب فيه وضعها على الأمد الطويل سويات تداخل تراكمي أعلى من القيم المشار إليها في الفقرتين 1 و2 أعلاه؛

5 بأن يفضل اختيار الخصائص التقنية والتشغيلية التالية لإدخال أنظمة متنقلة جديدة: كثافات طيفية منخفضة للقدرة وكثافات منخفضة للمطاريف على الصعيد العالمي وإرسالات متقطعة (انظر الملحق 2)؛

6 بأن تستعمل خصائص تقنية وتشغيلية مماثلة للخصائص الواردة في الملحق 3 للاسترشاد بها عند دراسة الأنظمة المتنقلة الجديدة بكثافة ضعيفة من المحطات المتنقلة التي يمكن تشغيلها في النطاق 2025-2110 MHz؛

7 بأن تستعمل خصائص تقنية وتشغيلية مماثلة للخصائص الواردة في الملحق 4 للاسترشاد بها عند دراسة الأنظمة الجديدة المتنقلة بكثافة ضعيفة من المحطات المتنقلة التي يمكن تشغيلها في النطاق 2200-2290 MHz.

الملحق 1

دراسة ملاءمة خدمتي الأبحاث الفضائية/العمليات الفضائية والأنظمة المتنقلة البرية بكثافة عالية من المحطات المتنقلة

1 مقدمة

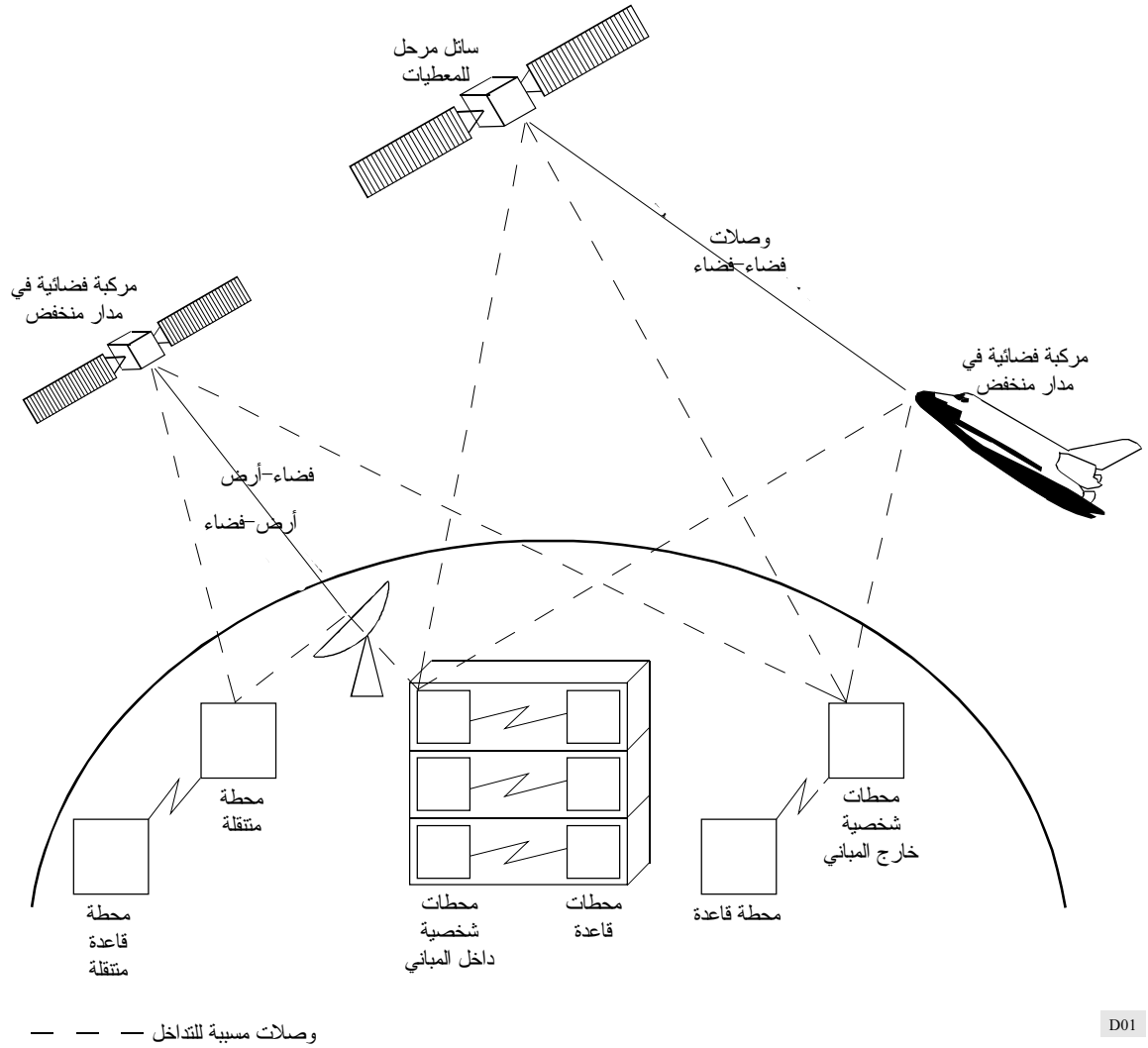
لا يمكن التقاسم بين الأنظمة المتنقلة البرية بكثافة عالية من المحطات المتنقلة والأنظمة المتنقلة البرية التقليدية من جهة، وبين الخدمات الفضائية من جهة أخرى. ومعظم المعلومات الواردة هنا مستمدة من المساهمات التي قدمت خلال المؤتمر وأدت إلى هذه النتيجة ووفرت هذه الدراسة. والنظام المتنقل المعني في هذه الدراسة هو نظام الاتصالات المتنقل البري العمومي المستقبلي (FPLMTS). كما أن النموذج المستعمل قابل للتطبيق على الأنظمة المتنقلة من النمط التقليدي.

وتَستخدم النطاقين 2025-2110 MHz و2200-2290 MHz استخداماً كثيفاً في العالم أجمع خدمات العمليات الفضائية واستكشاف الأرض الساتلية والأبحاث الفضائية وذلك بفضل عقد كثير من اتفاقات المساعدات الدولية المتبادلة بين الوكالات الفضائية. وبسبب المسافات الشاسعة الواقعة بين المرسلات والمستقبلات، تكون سويات الإشارات المستقبلة عن طريق المستقبلات ضعيفة جداً. وتكون بالتالي هذه الخدمات حساسة جداً للتداخلات لذلك فهي تتطلب سويات الحماية المرتفعة التي تحددها لوائح الراديو والتوصيات الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية.

يبين الشكل 1 الوصلات المختلفة المعتبرة وتشكيلات التداخل التي تنجم عنها. ولم تؤخذ في الاعتبار سوى الخدمات الصوتية بالنسبة إلى المحطات الشخصية والمتنقلة. ولم تعدّ بعد دراسات بصدد التداخلات الأخرى التي تسببها المحطات القاعدة.

الشكل 1

تشكيلات التداخل بين المحطات FPLMTS والخدمات الفضائية



ويواجه المسؤولون عن إدارة الترددات مصاعب جمة حالياً في تلبية الطلبات الجديدة على تخصيصات الخدمات الفضائية التي لها توزيعات بالفعل، تلبية تتيح الحد من حدوث التداخلات إلى أقصى درجة على التخصيصات القائمة، وبالتالي يغدو توفير التقاسم داخل الخدمة الواحدة مع مستعملين جدد أمراً تزداد صعوبته.

وفي حالة الخدمات المتنقلة تصبح مخططات إشعاع الهوائيات شاملة الاتجاهات تقريباً ويصبح لعشرات الملايين من المستقبلات المتنقلة سوية تداخل تراكمي عالية جداً. وباعتبار أن المحطات FPLMTS "متنقلة" تحديداً فإن التنسيق غير ممكن بالطبع. ويمكن البرهان على أن التقاسم مع هذه الأنظمة المتنقلة غير قابل للتحقيق عملياً في كل تشكيلة معتبرة.

2 الجوانب المتعلقة بلوائح الراديو وشغل النطاق

تم توزيع النطاقين 2110-2025 MHz و2200-2290 MHz على أساس أولي مشترك على الخدمات SRS وSOS وEESS وكذلك على الخدمة المتنقلة في جميع أقاليم الاتحاد الدولي للاتصالات.

سويات التداخل القصوى المقبولة بالنسبة إلى كل من المحطات محددة في الجدول 8 ب الوارد في التذييل 7 للوائح الراديو وفي التوصيتين ITU-R SA.363 وITU-R SA.609. وتستند مخططات إشعاع الهوائيات في المحطات الأرضية على مخططات الإشعاع المحددة في الملحق III بالتذييل 8 للوائح الراديو، وتطابق زوايا الارتفاع الدنيا لهوائيات المحطات الأرضية الرقمين 15.21 و14.21 من لوائح الراديو. وسويات التداخل لمستقبلات المركبات الفضائية محددة في التوصيتين ITU-R SA.609 وITU-R SA.363.

ويضم النطاق 2110-2025 MHz حالياً أكثر من 300 تخصيص، والنطاق 2200-2290 MHz أكثر من 350 تخصيصاً. وفيما يتعلق بالوصلات فضاء–فضاء، هنالك ستة توزيعات بالنسبة إلى نظام ترحيل المعطيات وعدد من التوزيعات الجديدة الجارية حالياً وفق البرنامج الدولي للمحطات الفضائية وكذلك وفق البرامج الأوروبية واليابانية للسواتل مرحّلة المعطيات.

من الواضح أن الخدمات الفضائية تستخدم النطاقات المعنية كثيراً وأن عدداً كبيراً من السواتل والمحطات الأرضية سيتأثر من تشغيل الخدمات المتنقلة البرية في نطاقات الترددات هذه.

3 الفرضيات المتعلقة بأنظمة الخدمات المتنقلة البرية (FPLMTS)

هنالك عدد كبير من الخدمات المعدة لأنظمة الاتصالات المتنقلة المستقبلية. وإحدى هذه الخدمات المزمع تشغيلها في النطاقات المجاورة للنطاق 2 GHz هي نظام الاتصالات المتنقل البري العمومي المستقبلي (FPLMTS). ويبلغ عرض النطاق المعين لهذه الخدمات 230 MHz.

وبما أن نظام الاتصالات FPLMTS لا يزال في طور التخطيط، فإن الأرقام المتعلقة بمعدلات المشتركين وكثافة الحركة وسويات القدرة، ما تزال ذات صفة أولية. ولقد أعدت لجنة الدراسات 8 للاتصالات الراديوية فرضيات مفصلة نسبياً بخصوص سويات القدرة وعرض النطاق المطلوبة وكثافة الحركة وغيرها. وهنالك في الجدول 1 ملخص للفرضيات المعدة لهذه الأنظمة.

الجدول 1

ملخص للفرضيات المعدة للأنظمة

	محطة متنقلة خارج المباني	محطة شخصية خارج المباني	محطة شخصية داخل المباني
ارتفاع هوائي المحطة القاعدة (m)	50	10 >	3 >
كثافة الحركة في المدن (E/km^2)	500 (0,25)	1 500 (1,2)	20 000 (1,2)
مساحة الخلية (km^2)	0,94	0,016	0,0006
عرض النطاق المزدوج في كل قناة (kHz)	25	50	50
الحركة في الخلية الواحدة (E)	470	24	12
عدد القنوات في الخلية الواحدة	493	34	23
عرض نطاق الخدمات الصوتية (MHz)	111	27	24
مدى قدرة المحطة (W)	5-1	0,05-0,02	0,01-0,003
معدل تشفير الإشارات الصوتية (kbit/s)	8	(16)	(16)
نسبة قيمة الذروة/متوسط قيمة الحركة	(3)	3	(3)
كثافة حركة الذروة للمحطة الواحدة (E)	0,1 (0,04)	0,04 (0,1)	0,2 (0,1)
معدل المشتركين (التغلغل) (%)	50 (10)	80 (20)	(20)

لوحظ في بعض الحالات أن الفرضيات الموضوعة للنظام FPLMTS بخصوص تقييم متوسط التداخل كثيرة التفاؤل وخاصة فيما يتعلق بكثافة الحركة ومعدل المشتركين، وهما المعلمتان اللتان استبدلتا بالقيم الموجودة بين قوسين. وبالنسبة إلى معطيات النظام FPLMTS الأولية، قد تكون قيم زيادة التداخل أعلى. وفي غياب المعطيات، استعيض عنها بالقيم المشار إليها بين قوسين للحسابات.

ولم تؤخذ في الاعتبار إلا الخدمات الصوتية ولكن ينبغي توقع الحصول على قيم قريبة جداً بالنسبة إلى الخدمات غير الصوتية.

ولقد أعدت فرضيات كثافة الحركة في الدراسات استناداً إلى الأرقام المتيسرة لأوروبا. ويقارب عدد سكان بلدان السوق المشتركة حالياً 323 مليون نسمة لمساحة تعادل 2,3 مليون km^2. وهذا يمثل متوسط كثافة قدره 140 نسمة/km^2 وهو العدد الذي استندت إليه حسابات التداخلات المسببة للمحطات الأرضية.

ويمكن الحصول بطريقة مماثلة على الفرضيات المتعلقة بكثافة الحركة بالنسبة إلى سيناريو التداخل المطبق على مستقبلات المركبات الفضائية. و"ترى" المركبة الفضائية المستقرة بالنسبة إلى الأرض منطقة مشابهة للمنطقة المبينة في الشكل 3 والتي سيبلغ عدد سكانها حوالي 4 مليارات نسمة في عام 2000. ويبلغ أدنى ارتفاع لمدار مركبة فضائية 250 km. ويظهر الشكل 4 المناطق "المرئية" عن مركبتين فضائيتين تدوران على ارتفاعين مداريين قدرهما 250 km و750 km على التوالي. وتبلغ مساحة استقبال التداخلات من مدار واقع على ارتفاع 250 km القيمة 9,6 مليون km^2. ويقدر عدد السكان القاطنين في هذه المنطقة بأكثر من 600 مليون نسمة. ويظهر الشكل 5 مناطق استقبال التداخلات في حالة مدارات زاوية ميلها ضعيفة (29° تقريباً)، كما في المناطق التي تستخدم عادة المكوك الفضائي.

ولقد تمت مراعاة التوهين البيئي الناجم عن مرور مسيرات الإرسال عبر النوافذ والجدران والسقوف والمباني والأشجار بالنسبة إلى جميع الخدمات FPLMTS. واعتمدت قيم توهين نمطية قدرها 6,6 dB بالنسبة إلى النوافذ و27 dB بالنسبة إلى الجدران والسقوف باعتبار أن معظم المحطات الشخصية داخل المباني، وليس جميعها، تخضع لتوهين إشارتها. وتبقى نسبة ضئيلة بينها تبث عبر النوافذ المفتوحة على الشرفات الصغيرة أو الممتدة أو في أمكنة أخرى في الهواء الطلق. وافترض في هذه الدراسة أن

5% من المحطات لا تتعرض لأي توهين تقريباً ناتج من إشارتها، وأن 25% منها يتعرض للتوهين عن طريق الزجاج واعتبر التداخل المعزوّ إلى 70% من المحطات المتبقية مهملاً. وأخذ بالحسبان بالتالي توهين متوسط قدره 10 dB بالنسبة إلى المحطات الشخصية داخل المباني. ولا تخضع الإشارات التي ترسلها المحطات الشخصية خارج المباني والمحطات المتنقلة لتوهين إلا إذا مرت بين المباني أو الأشجار وذلك أمر كثير الحدوث في حالة زوايا الارتفاع الصغيرة ولكنه أقل حدوثاً في حالة الزوايا الأكبر. ونظراً إلى أن التداخل ينجم أساساً عن محطات واقعة قرب نقطة مسقط الساتل، الأمر الذي يفترض حصول زوايا ارتفاع كبيرة، فإن من المتوقع ألا يتجاوز التوهين الوسطي 3 dB.

ولم تجر هنا دراسة التداخلات التي تسببها المحطات القاعدة نظراً لنقص المعلومات التقنية الضرورية. ولكن من الطبيعي توقع قيم مشابهة أيضاً.

4 معايير حماية الخدمات الفضائية

1.4 معايير حماية المحطات الأرضية

تتوقف سويات التداخل القصوى في مستقبلات المحطات الأرضية على الخدمة المشغلة وتأتي مطابقة لقيم الجدول 8 ب الوارد في التذييل 7 للوائح الراديو والتوصية ITU-R SA.363. وفيما يلي القيم وزوايا الارتفاع الدنيا المقابلة لها Θ_r:

1. العمليات الفضائية: $\Theta_r = 3°$ ، –184,0 dB(W/kHz)
2. الأبحاث الفضائية: $\Theta_r = 5°$ ، –216,0 dB(W/Hz)

وفيما يخص الدعم النمطي لمهمات الخدمتين SOS وSRS تستخدم هوائيات قطرها يتراوح بين 5,5 و15 m بشكل عام بالنسبة إلى مدارات ارتفاعاتها أصغر أو تساوي أو أكبر من ارتفاع المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض. ويبين الشكل 2 خصائص كسب هوائي المحطات المعنية. وتستند مخططات الإشعاع إلى القيم الواردة في الملحق III بالتذييل 8 للوائح الراديو.

2.4 معايير حماية مستقبلات المركبات الفضائية

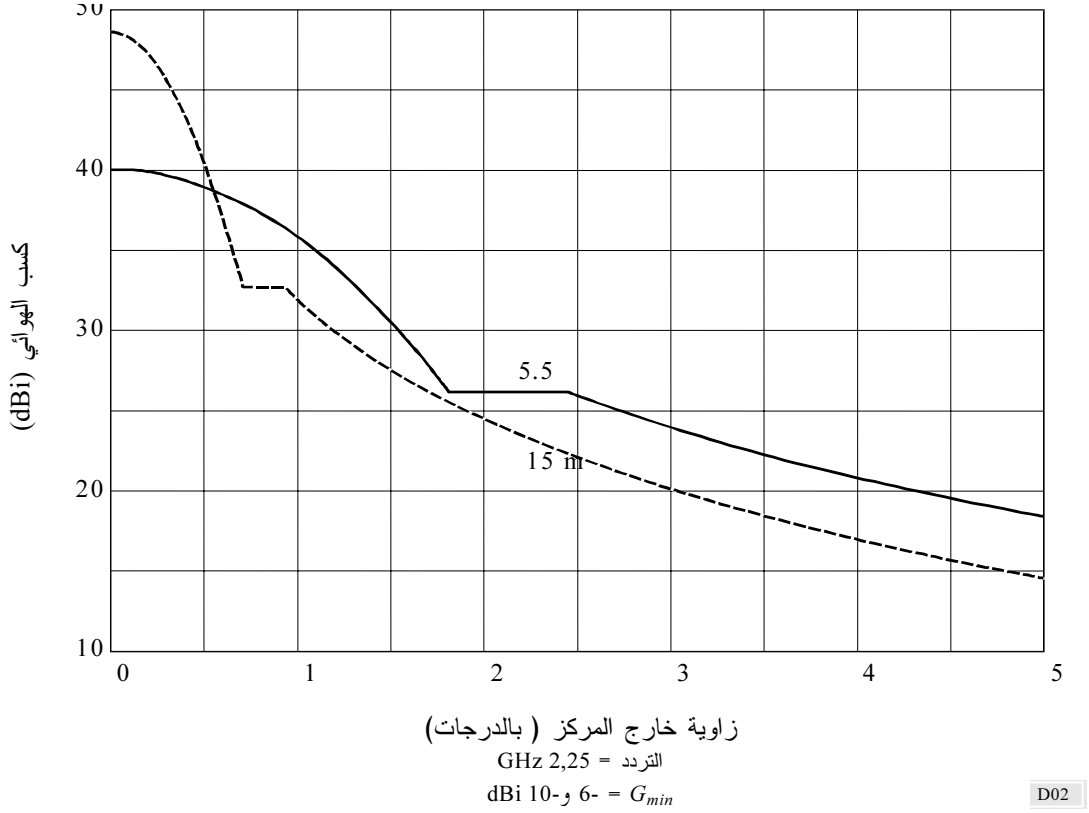
تقدر درجات حرارة الضوضاء النمطية في مستقبلات المركبات الفضائية بحوالي 800 K، تظهر على شكل كثافة طيفية للضوضاء من رتبة –200 dB (W/Hz). وتحتاج بعض مهمات الأبحاث الفضائية الحساسة إلى درجات حرارة ضوضاء أقل من 600 K.

وتحدد التوصية ITU-R SA.609 أن التداخل ينبغي ألا يتعدى القيمة –177 dB (W/kHz) عند حدود مدخل المستقبل خلال أكثر من 0,1% من الزمن. ويفترض أن تساهم كل من الخدمات الثابتة والمتنقلة والفضائية التي تستخدم هذا النطاق بثلث التداخل الإجمالي أي بقيمة –182 dB (W/kHz) وتعادل –212 dB (W/Hz) بالنسبة إلى جزء التداخل المسموح به والذي تساهم به الخدمات المتنقلة. وتقابل هذه القيم تماماً معايير الحماية الواردة في الفقرات 1.1 و2.1 و2.2 من "توصي".

ويبلغ متوسط قيمة كسب الهوائي شبه شامل الاتجاهات حوالي 0 dBi مع قيم دنيا تصل أحياناً إلى أقل من –6 dBi. ومثل هذا الهوائي ضروري لإقامة وصلة مع المركبة الفضائية في حالات الطوارئ أو عندما يتعذر استخدام هوائيات أخرى لأسباب تقنية أو تشغيلية، مثلاً خلال طور الإطلاق والمراحل الأولى من الوضع في المدار. وذلك صحيح أيضاً بالنسبة إلى سواتل الاتصالات. فإن قيمة كسب هوائي قدرها 0 dBi تقابل إذاً قيمة قدرها –212 dB (W/Hz) بالنسبة إلى التداخل المسموح به الذي تسببه المحطات المتنقلة عند مدخل الهوائي.

الشكل 2

خصائص الهوائي النموذجي للمحطات الأرضية الســـاتلية



وتغدو الحالة أكثر حرجاً عندما تكون الوصلة فضاء – فضاء التي تستخدم على سبيل المثال، ساتلاً لترحيل المعطيات بكسب مرتفع، موجهة باتجاه سائل في مدار منخفض. ومع نفس الفرضيات المعروفة سابقاً ولكن مع كسب هوائي نمطي قدره 35 dBi، يمكن الحصول على سوية تداخل مسموح بها قدرها –247 dB(W/Hz) عند مدخل الهوائي.

وتحدد التوصية ITU-R SA.363 نسبة الحماية: الموجة الحاملة/التداخل مساوية 20 dB بالنسبة إلى العمليات الفضائية. وفي السنوات الأخيرة، أدخلت وكالات فضائية عديدة تقنيات تشفير قنوات تهدف إلى إنقاص قدرة المرسلات وبالتالي إلى إنقاص التداخلات المسببة للأنظمة الأخرى أيضاً. وهنالك حالتان هما الإرسالات غير المشفرة والإرسالات المشفرة:

- تتطلب الإرسالات غير المشفرة نسبة Es/N_0 قدرها 9,6 dB من أجل معدل خطأ في البتات قدره 1×10^{-5}. وتتيح إضافة هامش نمطي قدره 3 dB الحصول على القيمة المطلوبة البالغة 12,6 dB من أجل نسبة الموجة الحاملة/الضوضاء (C/N). ونسبة التداخل إلى الضوضاء (I/N) الإجمالية هي إذاً –7,4 dB. ويعطي إسناد ثلث التداخل الإجمالي إلى الخدمات المتنقلة نسبة I_m/N قدرها –12,4 dB. وبالنسبة إلى كثافة قدرة الضوضاء النمطية البالغة –200 dB(W/Hz)، يكون التداخل المسموح به –212,4 dB(W/Hz).
- وتتطلب الإرسالات المشفرة نسبة Es/N_0 قدرها 1,5 dB من أجل معدل خطأ في البتات قدره 1×10^{-5} بالتشفير التلافيفي التقليدي للقنوات. وتتيح إضافة هامش نمطي قدره 3 dB الحصول على القيمة المطلوبة للنسبة C/N وهي 4,5 dB. وتكون النسبة I/N إذاً –15,5 dB. ويعطي إسناد ثلث التداخل الإجمالي إلى الخدمات المتنقلة نسبة I_m/N قدرها 20,5 dB. وفيما يتعلق بكثافة قدرة ضوضاء قدرها –200 dB(W/Hz)، يكون التداخل المسموح به –217,5 dB(W/Hz) أي أقل بـ 5 dB من قيمة الحماية المطلوبة في التوصية ITU-R SA.609.

وعلى الرغم من أن الإرسالات المشفرة تتطلب سويات حماية أعلى اعتمد، لاحتياجات هذه الدراسة، معيار حماية قدره –212 dB(W/Hz)، مطابق للقيم المحددة في التوصيتين ITU-R SA.609 و ITU-R SA.363.

5 دراسة التداخلات

1.5 الوصلة أرض–فضاء (2025-2110 MHz)

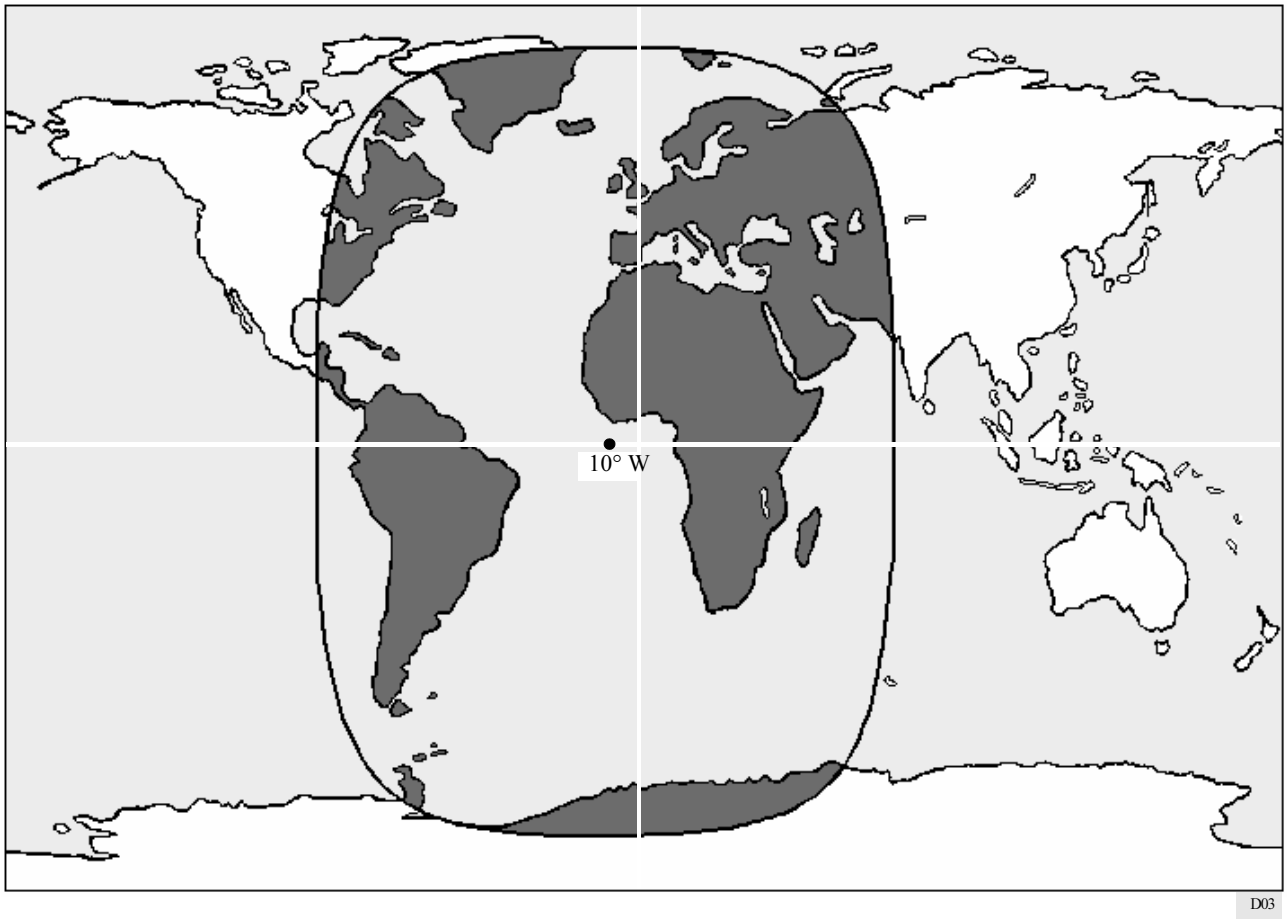
1.1.5 التداخلات التي تعانيها المركبة الفضائية

تخص الوصلات أرض–فضاء المعنية في هذه الدراسة بشكل خاص ارتفاعات مدارية تقع بين 250 و000 36 km، باعتبار أن أكثر من 90% من المركبات الفضائية الموجودة في الخدمة تدور على ارتفاع المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض أو على ارتفاعات أقل.

ويبين الشكل 3 المنطقة التي تصدر عنها إشارات تستقبلها المركبة الفضائية المستقرة بالنسبة إلى الأرض عن طريق هوائي شبه شامل الاتجاهات. وموقع المركبة الفضائية المختار اعتباطاً هو 10° غرباً. ويقدر أن المركبة الفضائية "ترى" في أسوأ الحالات منطقة تحوي أكثر من 70% من المطاريف المتنقلة على سطح الأرض.

الشكل 3

منطقة استقبال التداخلات بالنسبة إلى السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض

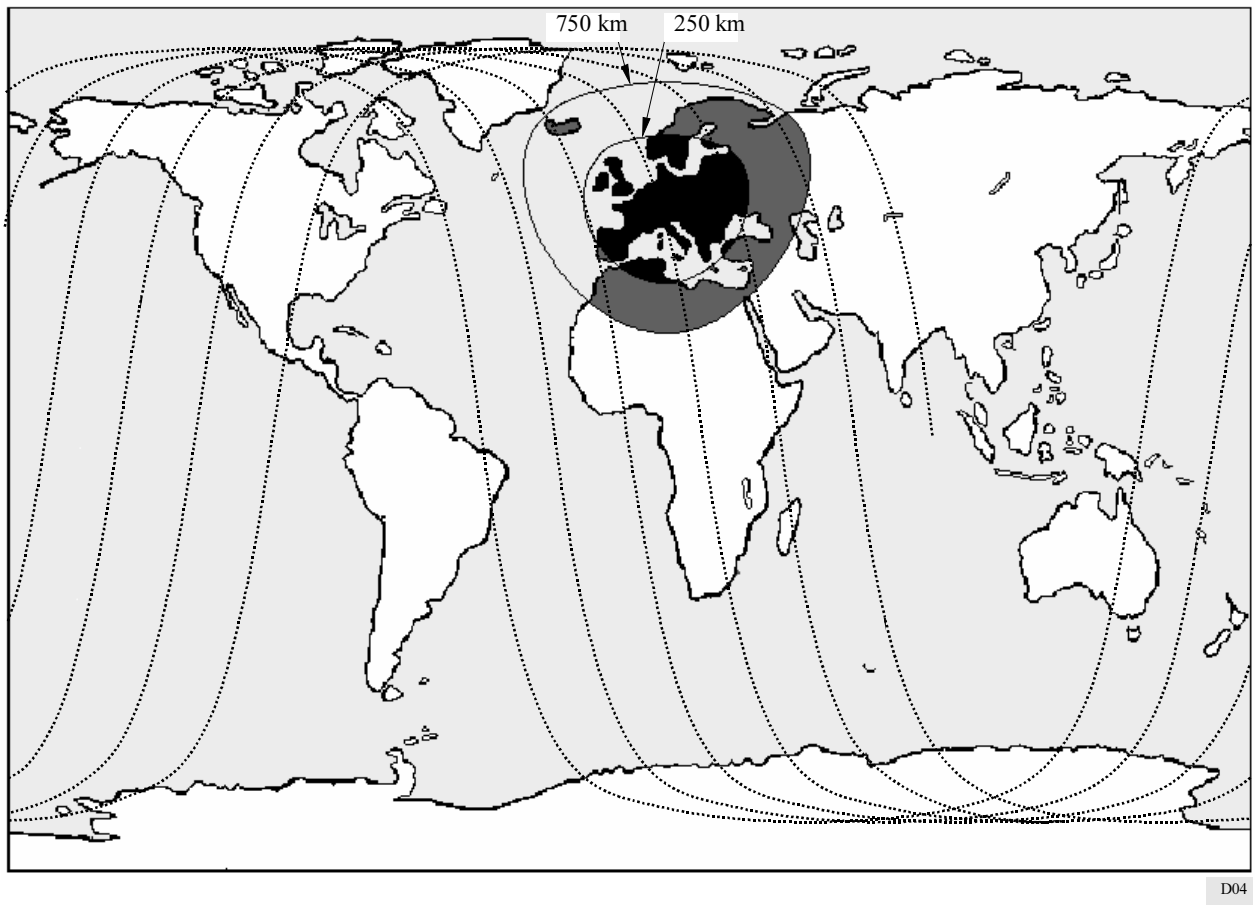


ويبين الشكل 4 المنطقة التي صدر عنها إشارات يستقبلها ساتل في مدار منخفض على ارتفاع يتراوح بين 250 و750 km. ولقد سمح في هذه الحالة بأن توضع المركبة الفضائية فوق مركز أوروبا. وستتحرك "النافذة" الناتجة عن ذلك على سطح الأرض وفقاً للخطوط المنقطة. ويلاحظ أن المركبة الفضائية "ترى" منطقة ممتدة جداً تقدم إمكانية عدة ملايين من محطات الإرسال المتنقلة.

ويبين الشكل 5 منطقة استقبال التداخلات في المركبة الفضائية من النمط المكوكي بزاوية ميل نمطية قدرها 29°.

الشكل 4

منطقة استقبال التداخلات بالنسبة إلى المركبات الفضائية الموجودة في مدار منخفض (i = 98°)



تتحدد منطقة التداخل A_i عن طريق العلاقة التالية:

$$A_i = \frac{2\pi R^2 h}{R + h}$$

حيث:

R: نصف قطر الأرض (6 378 km)

h: ارتفاع المدار (من 250 إلى 36 000 km).

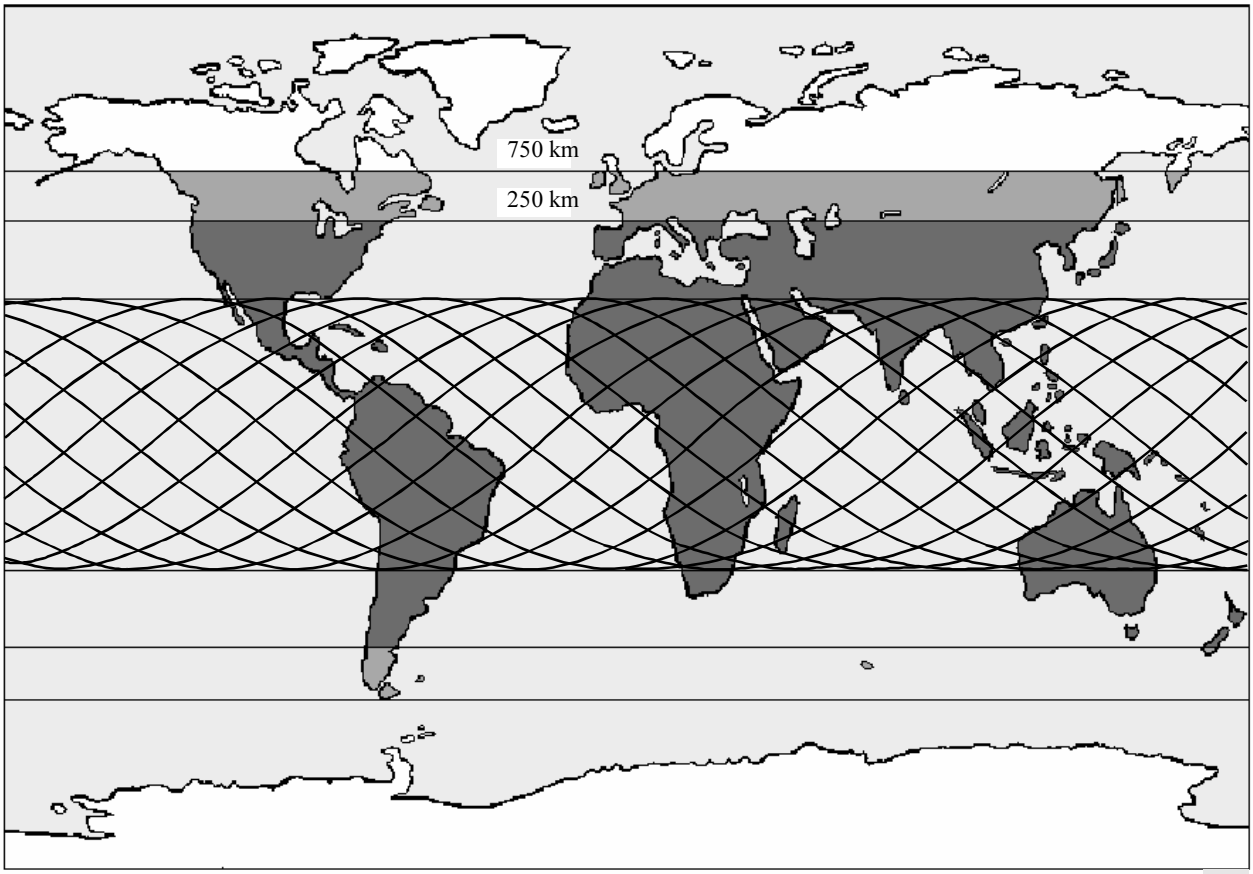
وتستقبل المركبة الفضائية على ارتفاع 250 km تداخلات صادرة عن منطقة مساحتها 9,6 مليون km^2. ويصبح هذا الرقم 27 مليون km^2 بالنسبة إلى ارتفاع مداري قدره 750 km. وأقصى مساحة "مرئية" عن طريق سائل مستقر بالنسبة إلى الأرض هي 217 مليون km^2.

وتحسب سوية الكثافة الطيفية للتداخل P_i التي يستقبلها هوائي المركبة الفضائية والصادرة عن مرسل واحد متنقل كالتالي:

$$P_i = \frac{E_i c^2}{B_i (4\pi x f)^2}$$

الشكل 5

منطقة استقبال التداخلات بالنسبة إلى المركبات الفضائية الموجودة في مدار منخفض (i = 29°)



يمكن الحصول على التداخل التراكمي $P_{\Sigma i}$ الصادر عن جميع المحطات المتنقلة في منطقة التداخل عن طريق العلاقة التالية:

$$P_{\Sigma i} = \int_{x=h}^{d_m} \frac{n_a P_i B_i h^2 \, dA_{(x)}}{B_m A_i x^2} dx = \frac{n_a E_i c^2}{(4\pi f)^2 B_m A_i} \int_{x=h}^{d_m} \frac{dA_{(x)}}{x^2} dx$$

$$A_{(x)} = \frac{\pi R (x^2 - h^2)}{R + h}$$

$$\frac{dA_{(x)}}{dx} = \frac{2\pi R}{R + h} x$$

$$d_m = \sqrt{(R + h)^2 - R^2}$$

$$P_{\Sigma i} = \frac{n_a E_i c^2}{(4\pi f)^2 B_m R h} [\ln(d_m) - \ln(h)]$$

حيث:

P_i: كثافة قدرة العنصر المسبب للتداخل

E_i: القدرة e.i.r.p. للعنصر المسبب للتداخل

x: المسافة نسبة إلى العنصر المسبب للتداخل

f: تردد الإرسال

n_a: عدد المحطات المتنقلة النشيطة

c: سرعة الضوء

B_i: عرض نطاق المحطة المتنقلة

B_m: عرض نطاق الخدمة المتنقلة

d_m: أقصى مسافة بالنسبة إلى العنصر المسبب للتداخل.

وبهدف التسهيل، افترض التوزيع المتساوي للمطاريف النشيطة على عرض النطاق المتيسر وفي منطقة التداخل. ويعرض الجدول 2 قائمة مفصلة بالفرضيات الموضوعة وبسويات التداخل الناتجة عنها. وينبغي الاستنتاج باستحالة استعمال هذه الوصلات بالتقاسم نظراً لسويات تداخلها المرتفعة أكثر بكثير من السويات المسموح بها.

2.1.5 التداخلات التي تعانيها المحطات المتنقلة

تتعرض المحطات المتنقلة التي تدور في محيط معين من محطة إرسال أرضية إلى تداخل ضار تسببه هذه المحطة. وتتراوح السويات القصوى للقدرة e.i.r.p. بالنسبة إلى الوصلات مع السواتل القريبة من الأرض عموماً بين 66 و78 dBW.

ومع مراعاة قيم كسب الهوائي في الاتجاه الأفقي (انظر الشكل 2) ونظراً إلى أن الهوائي يبث مبدئياً في جميع الاتجاهات، وأن قيمة الكسب الدنيا المحددة للجزء الخلفي من الهوائي تبلغ –10 dBi (–6 dBi لهوائي قطره 5,5 m) فإنه ينبغي توقع سويات القدرة e.i.r.p. الواردة أدناه حول الهوائي في الاتجاه الأفقي. وتعتمد سويات كثافة القدرة e.i.r.p. كثيراً على معدل المعطيات عند الإرسال. وفي خدمة العمليات الفضائية لا يتعدى معدل المعطيات الأقصى عادة بضع وحدات kbit/s بينما تتراوح القيمة المقابلة بالنسبة لخدمة الأبحاث الفضائية على الأقل بين 1 و100 kbit/s.

قطر الهوائي (m)	مدى سويات القدرة e.i.r.p. (dBW)	مدى سويات كثافة القدرة e.i.r.p. (dB(W/4 kHz))
5,5 (°3)	50-20	47-14
15 (°3)	50-19	47-13

وبما أن سويات الحماية لمحطات النظام FPLMTS غير معروفة، يجب أن يزوّد النظام بمحدد للتداخل الذاتي ولكن دون محدد للضوضاء. وفي الفرضية المزدوجة لسوية التداخل المقبولة البالغة حوالي –150 dB (W/4 kHz) والتوهين الإضافي الناجم عن انعراج الإشارات، يلزم توفير منطقة حماية طولها 100 km كحد أقصى لضمان الأداء المرضي للمحطات المتنقلة.

2.5 الوصلة فضاء–أرض (200 2-290 2 MHz)

ينبغي التمييز بين مختلف الخدمات الفضائية لأغراض هذه الوصلات. وأصعب خدمة بينها هي خدمة الأبحاث الفضائية وتبقى النتائج التي حصل عليها بشأن العمليات الفضائية واستكشاف الأرض متقاربة جداً.

ومن الصعب وضع فرضيات بشأن توزيع المرسلات المتنقلة حول المحطة الأرضية لأن توزيع هذه المرسلات يتوقف بشكل أساسي على موقع المحطة. ولقد سمح بمتوسط توزيع محسوب استناداً إلى عدد السكان في بلدان السوق الأوروبية المشتركة. ويبلغ متوسط الكثافة السكانية المحسوبة بالنسبة إلى 323 مليون نسمة على مساحة قدرها 2,3 مليون km^2 القيمة 140 نسمة/km^2. ويبلغ متوسط كثافة الحركة المقابل 2,8 E/km^2 بالنسبة إلى المحطات الشخصية و0,56 E/km^2 بالنسبة إلى المحطات المتنقلة.

الجدول 2

الوصلات أرض–فضاء (MHz 2110-2025)

	محطة شخصية داخل المباني		محطة شخصية خارج المباني		محطة متنقلة	
ارتفاع مدار المركبة الفضائية (km)	250	36 000	250	36 000	250	36 000
القدرة e.i.r.p. لمحطة FPLMTS (W)	0,003	0,003	0,020	0,020	1,00	1,00
عرض نطاق قناة الاتصالات الصوتية (kHz)	50,0	50,0	50,0	50,0	25,0	25,0
كثافة القدرة e.i.r.p. لمحطة FPLMTS ((dB(W/Hz))	72,2–	72,2–	64,0–	64,0–	44,0–	44,0–
الخسارة (التشتت) في الفضاء (dB)	146,7	189,8	146,7	189,8	146,7	189,8
التداخل في محطة ((dB(W/Hz)	218,9–	262,1–	210,7–	253.8–	190,7–	233,8–
كثافة التداخل المقبول ((dB(W/Hz)	212,0–	212,0–	212,0–	212,0–	212,0–	212,0–
زيادة التداخل في المحطة (dB)	6,9–	50,1–	1,3	41,8–	21,3	21,8–
منطقة التداخل "مرئية" من المركبة الفضائية (مليون/km^2)	9,64	217,13	9,64	217,13	9,64	217,13
مجموع عدد السكان في المنطقة (مليون)	600	4 000	600	4 000	600	4 000
النسبة المئوية للمشتركين في المحطة (%)	20,0	20,0	20,0	20,0	10,0	10,0
متوسط عدد المحطات في كل km^2	12,4	3,7	12,4	3,7	6,2	1,8
النسبة المئوية للمحطات النشيطة في المنطقة (%)	10,0	10,0	10,0	10,0	4,0	4,0
عدد المحطات النشيطة في نفس الوقت في المنطقة (مليون)	12,0	80,0	12,0	80,0	2,4	16,0
متوسط عدد المحطات النشيطة في كل km^2 (E/km^2)	1,24	0,37	1,24	0,37	0,25	0,07
عرض نطاق الخدمة المتوقع (قنوات صوتية) (MHz)	24	24	27	27	111	111
عدد المحطات النشيطة في القناة الواحدة	25 000	166 667	22 222	148 148	541	3 604
توهين البيئة (المباني، الأشجار) (dB)	10,0	10,0	3,0	3,0	3,0	3,0
التداخل التراكمي الذي تسببه جميع المحطات النشيطة ((dB(W/Hz)	196–	221–	181–	206–	177–	202–
متوسط قيمة زيادة التداخل (dB)	16,0	8,5–	30,7	6,2	34,6	10,1
قيمة زيادة التداخل خلال فترات النشاط الأقصى (dB)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
قيمة زيادة التداخل بالنسبة إلى سويات قدرة أعلى (dB)	5,2	5,2	4,0	4,0	7,0	7,0
قيمة زيادة التداخل فوق مناطق الكثافة السكانية العالية (dB)	5,3	0,0	5,3	0,0	5,3	0,0
قيمة الزيادة عن التداخل المقبول في أسوأ حالة (dB)	31,5	1,7	45,0	15,2	51,8	22,1

ويجري تكامل التداخل في منطقة يتراوح نصف قطرها بين 1 و10 km حول المحطة، يمكن فيها قبول توصيل على خط البصر. وفيما يخص معظم المواقع التي تنشأ عليها المحطات، لا يمكن استبعاد مرور المحطات المتنقلة في منطقة نصف قطرها 1 km على الأقل من هذه المحطات. وتسبب المطاريف المتنقلة الأكثر بعداً بالطبع تداخلات جديدة لم يحسب حسابها هنا للتبسيط. ولقد أجري تكامل قيمة كسب الهوائي التي تتغير تبعاً لزاوية السمت، على 360° بغية الحصول على متوسط القيمة.

ويتحدد التداخل التراكمي باستخدام العلاقة التالية:

$$P_{\Sigma i} = \int_{x=d_1}^{d_2} \frac{md_a P_i B_i \, \mathrm{d}A_{(x)}}{B_m} \, \mathrm{d}x = \frac{md_a E_i c^2}{(4\pi f)^2 B_m} \int_{x=d_1}^{d_2} \frac{\mathrm{d}A_{(x)}}{x^2} \, \mathrm{d}x$$

$$A_{(x)} = \pi x^2$$

$$\frac{\mathrm{d}A_{(x)}}{\mathrm{d}x} = 2\pi x$$

$$P_{\Sigma i} = \frac{md_a E_i c^2}{8\pi f^2 B_m} [\ln(d_2) - \ln(d_1)]$$

حيث:

md_a: متوسط كثافة المحطات المتنقلة

d_1: أصغر نصف قطر حول المحطة

d_2: أكبر نصف قطر حول المحطة

ويقدم الجدولان 3أ و3ب تفصيلاً للنتائج بالنسبة إلى الخدمات الفضائية المعنية. وتنتج الحالة الأكثر سوءاً عن محطة متنقلة ترسل في اتجاه الحزمة الرئيسية. ويقبل فرضاً أن محطة واحدة مرسلة على مسافة 10 km هي نموذجية، على الرغم من إمكانية وجود مسافة أصغر بكثير. والاستنتاج الرئيسي الذي يخلص إليه هو أنه حتى بالنسبة إلى قيمة متوسطة لكسب هوائي تبلغ عدة وحدات dBi حول الهوائي وإلى الطريقة المبسطة (أسوأ حالة في حالة الخدمات الفضائية) لحساب التداخل، فإن سويات التداخل الناتجة تتجاوز السويات المقبولة بعدة درجات؛ ولذلك يستحيل التقاسم.

3.5 الوصلة فضاء–فضاء (2110-2025 MHz)

إن الحالة الأكثر حرجاً في هذه الفئة هي الوصلة بين الساتل المستقر بالنسبة إلى الأرض – كساتل مرحل للمعطيات مثلاً – وساتل في مدار منخفض يدور عادة على ارتفاع يتراوح بين 250 و1 000 km.

وهذه هي الوصلة النمطية لمكوك فضائي مأهول مثلاً يدور في مدار على ارتفاع يقارب 400 km. ويتحتم تزويد هذه المركبة الفضائية بهوائي شامل الاتجاهات يتيح تأمين تنفيذ أوامر التحكم بأمان تام وإقامة الاتصالات خلال كل طور من أطوار الطيران وخاصة في حالات الطوارئ.

ونظراً إلى تحديد كثافة تدفق القدرة على الأرض، يفرض أيضاً حد معين بالنسبة إلى القدرة e.i.r.p. التي يمكن للساتل المرحل للمعطيات بثها في اتجاه الأرض أي في اتجاه الساتل الذي يدور في مدار منخفض، الأمر الذي يؤدي إلى هوامش ضيقة للغاية في الوصلات. وتكون التداخلات، حتى بالنسبة إلى سويات ضعيفة الشدة، حرجة جداً.

وسويات التداخل المحسوبة هي مرتفعة إلى درجة تحجب فيها وصلات المعطيات أو الاتصالات القاصدة إلى مركبة فضائية في مدار منخفض. وتمنع التقييدات الموضوعة بخصوص كثافة تدفق القدرة أيَّ زيادة في القدرة e.i.r.p. لساتل الإرسال المستقر بالنسبة إلى الأرض. وبالتالي يستحيل التقاسم مع محطات متنقلة برية.

ويقدم الجدول 4 تفاصيل النتائج.

الجدول 3

الوصلات فضاء-أرض (MHz 2290-2200)

الجدول 3أ :خدمة العمليات الفضائية	محطة شخصية داخل المباني		محطة شخصية خارج المباني		محطة متنقلة	
متوسط قيمة الكسب الأقصى للمحطة الأرضية (5,5 m) (dBi)	7,5		7,5		7,5	
قيمة الكسب الأقصى الأفقي للمحطة الأرضية (3°) (dBi)	24,0		24,0		24,0	
عدد المحطات النشيطة في كل km^2 (E/km^2)	2,800		2,800		0,560	
كثافة المحطات النشيطة في القناة الواحدة في كل km^2	0,0058		0,0052		0,0001	
القدرة e.i.r.p. لمحطة FPLMTS (W)	0,003	0,003	0,020	0,020	1,000	1,000
كثافة القدرة e.i.r.p. لمحطة FPLMTS (dB(W/Hz))	72,2–	72,2–	64,0–	64,0–	44,0–	44,0–
كثافة التداخل المقبول عند مدخل المستقبل (dB(W/kHz))	184,0–	184,0–	184,0–	184,0–	184,0–	184,0–
كثافة التداخل المقبول عند مدخل الهوائي (dB(W/kHz))	191,5–	208,0–	191,5–	208,0–	191,5–	208,0–
قيمة التداخل في المحطات الواقعة على مسافة تتراوح بين 1 و10 km (dB(W/kHz))	152,4–		144,7–		140,9–	
قيمة التداخل في محطة تبعد 10 km (ساتل في مدار منخفض) (dB(W/kHz))	161,5–		153,3–		133,3–	
القيمة الزائدة عن التداخل المقبول (dB)	39,1	46,5	54,7	46,8	74,7	50,6

الجدول 3ب :الأبحاث الفضائية	محطة شخصية داخل المباني		محطة شخصية خارج المباني		محطة متنقلة	
متوسط قيمة الكسب الأقصى في المحطة الأرضية (15 m) (dBi)	2,4		2,4		2,4	
قيمة الكسب الأقصى الأفقي للمحطة الأرضية (5°) (dBi)	14,5		14,5		14,5	
عدد المحطات النشيطة في كل km^2 (E/km^2)	2,800		2,800		0,560	
كثافة المحطات النشيطة في القناة الواحدة في كل km^2	0,0058		0,0052		0,0001	
القدرة e.i.r.p. لمحطة FPLMTS (W)	0,003	0,003	0,020	0,020	1,000	1,000
كثافة القدرة e.i.r.p. لمحطة FPLMTS (dB(W/Hz))	72,2–	72,2–	64,0–	64,0–	44,0–	44,0–
كثافة التداخل المقبول عند مدخل المستقبل (dB(W/Hz))	220,0–	220,0–	220,0–	220,0–	220,0–	220,0–
كثافة التداخل المقبول عند مدخل الهوائي (dB(W/Hz))	222,4–	234,5–	222,4–	234,5–	222,4–	234,5–
قيمة التداخل للمحطات الواقعة على مسافة تتراوح بين 1 و10 km (dB(W/Hz))	182,4–		174,7–		170,9–	
القيمة القصوى للتداخل في محطة تبعد 10 km (dB(W/Hz))	191,5–		183,3–		163,3–	
القيمة الزائدة عن التداخل المقبول (dB)	40,0	43,0	51,2	47,7	71,2	51,5

الجدول 4

الوصلات فضاء – فضاء (MHz 2110-2025)

	محطة شخصية داخل المباني		محطة شخصية خارج المباني		محطة متنقلة	
ارتفاع مدار المركبة الفضائية (km)	250	750	250	750	250	750
القدرة e.i.r.p. لمحطة FPLMTS (W)	0,003	0,003	0,020	0,020	1,00	1,00
عرض نطاق قناة الاتصالات الصوتية (kHz)	50,0	50,0	50,0	50,0	25,0	25,0
كثافة القدرة e.i.r.p. لمحطة FPLMTS (dB(W/Hz))	72,2–	72,2–	64,0–	64,0–	44,0–	44,0–
الخسارة (التشتت) في الفضاء (dB)	146,7	156,2	146,7	156,2	146,7	156,2
التداخل في محطة (dB(W/Hz))	218,9–	228,4–	210,7–	220,2–	190,7–	200,2–
كثافة التداخل المقبول (dB(W/Hz))	212,0–	212,0–	212,0–	212,0–	212,0–	212,0–
الزيادة عن التداخل المقبول في المحطة (dB)	6,9–	16,4–	1,3	8,2–	21,3	11,8
منطقة تداخل "مرئية" من المركبة الفضائية (مليون/km^2)	9,64	26,89	9,64	26,89	9,64	26,89
مجموع عدد السكان في المنطقة (مليون)	600	800	600	800	600	800
النسبة المئوية للمشتركين في الخدمة (%)	20,0	20,0	20,0	20,0	10,0	10,0
متوسط عدد المحطات الإجمالي في كل km^2	12,4	5,9	12,4	5,9	6,2	3,0
النسبة المئوية للمحطات النشيطة في المنطقة (%)	10,0	10,0	10,0	10,0	4,0	4,0
عدد المحطات النشيطة في نفس الوقت في المنطقة (مليون)	12,0	16,0	12,0	16,0	2,4	3,2
متوسط عدد المحطات النشيطة في كل km^2 (E/km^2)	1,24	0,59	1,24	0,59	0,25	0,12
عرض نطاق الخدمة المتوقع (قنوات صوتية) (MHz)	24	24	27	27	111	111
عدد المحطات النشيطة في القناة الواحدة	25 000	33 333	22 222	29 630	541	721
توهين البيئة (المباني، الأشجار) (dB)	10,0	10,0	3,0	3,0	3,0	3,0
تداخل تراكمي تسببه جميع المحطات النشيطة (dB(W/Hz))	196,0–	200,9–	181,3–	186,2–	177,4–	182,3–
متوسط قيمة زيادة التداخل (dB)	16,0	11,1	30,7	25,8	34,6	29,7
قيمة زيادة التداخل خلال فترات النشاط الأقصى (dB)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
قيمة زيادة التداخل بالنسبة إلى سويات قدرة أعلى (dB)	5,2	5,2	4,0	4,0	7,0	7,0
قيمة زيادة التداخل فوق مناطق الكثافة السكانية العالية (dB)	5,3	3,0	5,3	3,0	5,3	3,0
قيمة الزيادة عن التداخل المقبول في أسوأ حالة (dB)	31,5	24,3	45,0	37,8	51,8	44,6

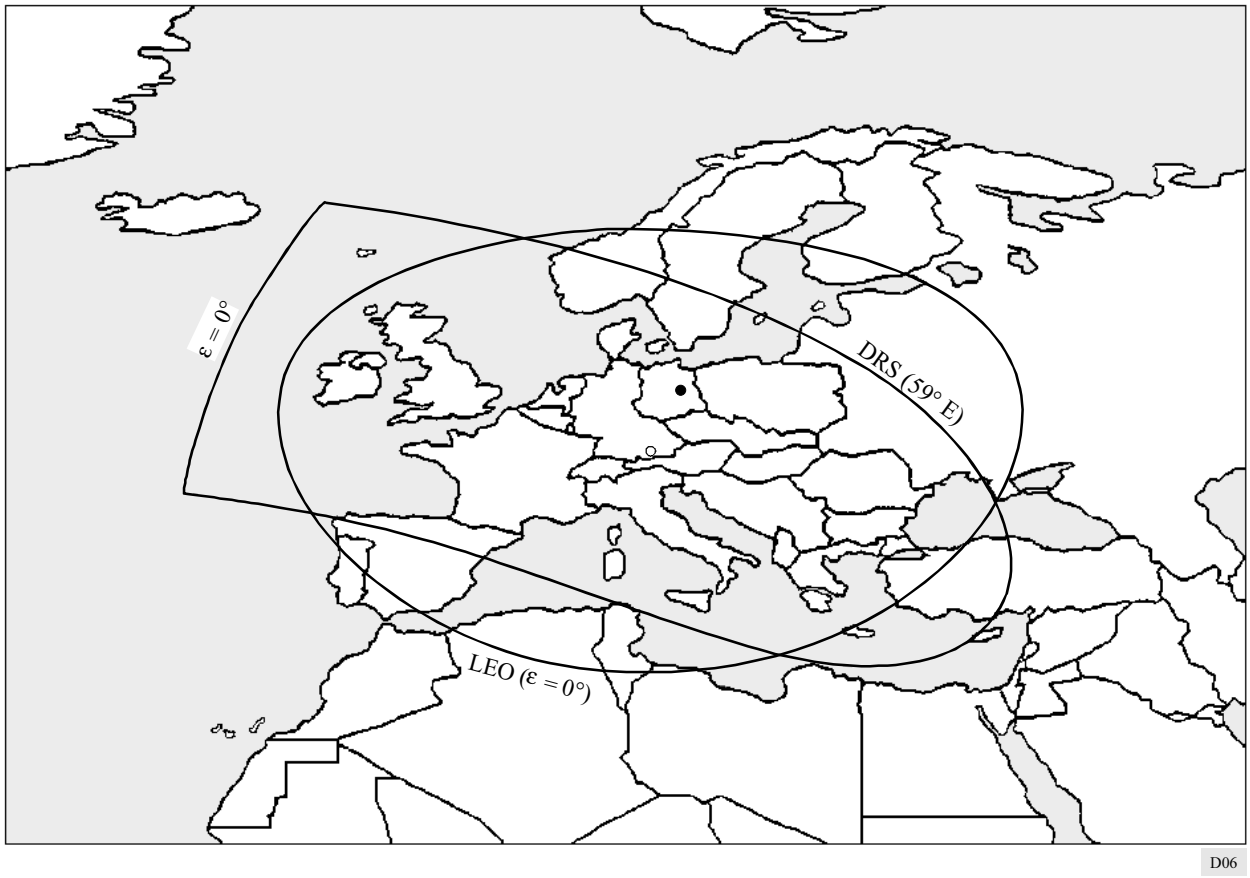
4.5 الوصلة فضاء–فضاء (MHz 2290-2200)

يستخدم نطاق الترددات هذا لوصلات المعطيات الواردة من سواتل المدارات المنخفضة والقاصدة إلى سواتل ترحيل معطيات مستقرة بالنسبة إلى الأرض وللاتصالات قصيرة المدى بين سواتل المدارات المنخفضة وربما كذلك بين روّاد الفضاء. وعليه فالارتفاعات المدارية التي ينبغي أخذها بالاعتبار تتراوح بين 250 و000 36 km.

والفرضيات المنطبقة هنا هي مبدئياً نفس الفرضيات السابقة باستثناء أن الساتل المستقر بالنسبة إلى الأرض يستخدم هوائيات كسبها مرتفع بالنسبة إلى الوصلات الذاهبة إلى المركبات الفضائية في المدارات المنخفضة. وينجم عن ذلك سويات منخفضة جداً من التداخل المقبول عند مدخل الهوائي. وبما أن فتحة حزمة هذا الهوائي تبلغ عادة بضع درجات، يمكن إذاً استقبال التداخلات الواردة من منطقة أصغر بقليل من منطقة المدار الواقع على ارتفاع 250 km. ويقدم الشكل 6 مثالاً واضحاً عن المنطقة التي تصدر عنها التداخلات التي يستقبلها الساتل المرحل للمعطيات التابع لمركبة فضائية تدور في مدار منخفض.

الشكل 6

تغطية هوائي الساتل المرحل للمعطيات (DRS) والمركبة الفضائية الدائرة في مدار منخفض (LEO) على ارتفاع 250 km



ويقدم الجدول 5 تفاصيل النتائج. وفي هذه الحالة أيضاً يكون التقاسم مع الأسف غير ممكن.

5.5 سيناريوهات أسوأ حالة بالنسبة إلى جميع الوصلات

الفرضيات الموضوعة بشأن دراسات التداخل الواردة أعلاه هي التالية: متوسط توزيع المحطات المتنقلة في منطقة التداخل، ومتوسط النشاط وسويات القدرة الدنيا للمحطات FPLMTS وشغل جميع القنوات المتوفرة بصورة متساوية. وبذلك تقع قيم زيادة التداخل الناتجة وسطياً في الجزء السفلي من المدى.

الجدول 5

الوصلات فضاء – فضاء (MHz 2290-2200)

	محطة شخصية داخل المباني		محطة شخصية خارج المباني		محطة متنقلة	
ارتفاع مدار المركبة الفضائية (km)	250	36 000	250	36 000	250	36 000
القدرة e.i.r.p. لمحطة FPLMTS (W)	0,003	0,003	0,020	0,020	1,000	1,000
عرض نطاق قناة الاتصالات الصوتية (kHz)	50,0	50,0	50,0	50,0	25,0	25,0
كثافة القدرة e.i.r.p. لمحطة FPLMTS ((dB(W/Hz))	–72,2	–72,2	–64,0	–64,0	–44,0	–44,0
الخسارة (التشتت) في الفضاء (dB)	146,7	189,8	146,7	189,8	146,7	189,8
التداخل في المحطة ((dB(W/Hz)	–218,9	–262,1	–210,7	–253,8	–190,7	–233,8
كثافة التداخل المقبول ((dB(W/Hz)	–212,0	–247,0	–212,0	–247,0	–212,0	–247,0
الزيادة عن التداخل المقبول في المحطة (dB)	–6,9	–15,1	1,3	–6,8	21,3	13,2
منطقة تداخل "مرئية" عن طريق المركبة الفضائية (مليون/km^2)	9,64	8,00	9,64	8,00	9,64	8,00
مجموع عدد السكان في المنطقة (مليون)	600	500	600	500	600	500
النسبة المئوية للمشتركين في الخدمة (%)	20,0	20,0	20,0	20,0	10,0	10,0
متوسط عدد المحطات الإجمالي في كل km^2	62,2	26,5	62,2	62,5	6,2	62,5
النسبة المئوية للمحطات النشيطة في المنطقة (%)	10,0	10,0	10,0	10,0	4,0	4,0
عدد المحطات النشيطة في نفس الوقت في المنطقة (مليون)	12,0	10,0	12,0	10,0	2,4	2,0
متوسط عدد المحطات النشيطة في كل km^2 (E/km^2) km^2	1,24	1,25	1,24	1,25	0,25	0,25
عرض نطاق الخدمة المتوقع (قنوات صوتية) (MHz)	24	24	27	27	111	111
عدد المحطات النشيطة في القناة الواحدة	25 000	20 833	22 222	18 519	541	450
توهين البيئة (المباني، الأشجار) (dB)	10,0	10,0	3,0	3,0	3,0	3,0
التداخل التراكمي الذي تسببه جميع المحطات النشيطة ((dB(W/Hz)	–196,0	–218,9	–181,3	–211,1	–177,4	–207,3
متوسط قيمة زيادة التداخل (dB)	16,0	27,2	30,7	34,9	34,6	38,8
قيمة زيادة التداخل خلال فترات النشاط الأقصى (dB)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
قيمة زيادة التداخل بالنسبة إلى سويات قدرة أعلى (dB)	5,2	5,2	4,0	4,0	7,0	7,0
قيمة زيادة التداخل فوق مناطق الكثافة السكانية العالية (dB)	5,3	0,0	5,3	0,0	5,3	0,0
قيمة الزيادة عن التداخل المقبول في أسوأ حالة (dB)	31,5	37,4	45,0	34,9	51,8	50,8

عند مرور المركبة الفضائية فوق المدن الكبيرة أو فوق مناطق أوروبا المزدحمة بالسكان، تلاحظ زيادة ملموسة في التداخل التراكمي بسبب المسافة القصيرة الموجودة بين عدد كبير من المحطات المتنقلة بالنسبة إلى المركبة الفضائية. ومن أجل معرفة المناطق الواسعة الحضرية وشبه الحضرية يقبل فرضاً بأن نسبة 20% من جميع المحطات المتنقلة "المرئية" من المركبة الفضائية تقع قرب مسقط السائل على سطح الأرض. ويمكن بلوغ مثل هذه النسبة المئوية بسهولة فوق المدن الكبيرة كباريس ولندن حيث يمكن أن تبلغ كثافة الحركة 20 000 E/km^2 عند مستوى المباني. ويؤدي ذلك إلى زيادة في التداخل قدرها 3 dB لمدار ارتفاعه 750 km وقدرها 5 dB لمدار ارتفاعه 250 km. وفيما يتعلق بالسوائل المستقرة بالنسبة إلى الأرض، افترضت الزيادة معدومة، نظراً لضعف احتمال حدوث تركيز كبير جداً للمحطات المتنقلة قرب خط الاستواء.

كما تلاحظ أيضاً زيادة التداخل في فترات النشاط الأقصى. وفيما يتعلق بكثافة الحركة يمكن افتراض حدوث زيادة قصوى تصل إلى 3 أمثال. وينتج عن ذلك احتمال زيادة التداخل بقدر 4 إلى 7 dB. كما يمكن أن يحدث تداخل أعلى بسبب شغل القنوات غير المتساوي؛ ونظراً لصعوبة تقدير هذا العامل، لم يؤخذ بعين الاعتبار في هذه الدراسة.

وفيما يتعلق بالوصلات أرض–فضاء وبنمطي الوصلات فضاء–فضاء، يمكن الاستنتاج بأن تداخل أسوأ حالة يمكن أن يزيد بقدر يتراوح بين 9 dB و16 dB عن قيمة التداخل المتوسطة.

وفيما يتعلق بالوصلات فضاء–أرض، تختلف الحالة قليلاً. فالحالة الأكثر سوءاً تقابل محطة إرسال متنقلة ترسل بجوار محطة قريبة من اتجاه الحزمة الرئيسية. وعندما يفترض أن المسافة بين المحطة المتنقلة والمحطة الأرضية تبلغ 10 km، تتجاوز سوية التداخل المقابل سويات الحماية المقررة بمقدار يتراوح بين 43 و75 dB.

6 الاستنتاجات

يتضمن الجدول 6 ملخصاً موجزاً لقيم زيادة التداخل بالنسبة لجميع الوصلات المدروسة. وتحسب القيمة الأكثر انخفاضاً استناداً إلى متوسط قيم زيادة التداخل، وتراعي القيمة الأكثر ارتفاعاً الحالات الأكثر سوءاً: كازدياد كثافات المحطات المتنقلة في المناطق المزدحمة بالسكان والحدود العليا لقدرة الأداء المعينة وفترات النشاط الكثيف في الاتصالات. ولم يؤخذ بعين الاعتبار عامل عدم المساواة في شغل القنوات الذي يكون مع ذلك مصدراً آخر لزيادة التداخلات.

الجدول 6

ملخص التداخلات بالنسبة إلى جميع الوصلات وجميع المحطات المتنقلة المعنية

زيادة التداخل (dB)	محطة شخصية داخل المباني	محطة شخصية خارج المباني	محطة متنقلة
وصلة أرض–فضاء (2 025-2 110 MHz)	32-16	45-31	52-35
وصلة فضاء–أرض (2 200-2 290 MHz)	47-39	55-47	75-51
وصلة فضاء–فضاء (2 025-2 110 MHz)	32-16	45-31	52-35
وصلة فضاء–فضاء (2 200-2 290 MHz)	37-27	45-35	52-39

لقد قدمنا دراسة للتداخلات بين الأنظمة المتنقلة البرية من النمط FPLMTS وخدمات العمليات الفضائية والأبحاث الفضائية واستكشاف الأرض. وفيما يخص جميع أنماط الوصلات المدروسة في هذه التوصية تبين أن التقاسم مع هذه الأنماط أو الأنماط المماثلة من الأنظمة المتنقلة ذات الكثافة العالية بالمحطات المتنقلة غير ممكن، نظراً لأن سويات التداخل الناجمة أعلى بكثير من السويات المقبولة المحددة في لوائح الراديو وفي توصيات القطاع ITU-R.

الملحق 2

ملخص لدراسات خصائص الأنظمة المتنقلة التي تيسر تلاؤمها الراديوي مع الخدمات العلمية الفضائية

1 مقدمة

يلخص هذا الملحق نتائج الدراسات المتعلقة بالخصائص التقنية والتشغيلية للأنظمة المتنقلة التي تسهل ملاءمتها مع الأنظمة SRS وSOS وEESS العاملة في النطاقين 2025-2110 MHz و2200-2290 MHz.

وخصائص الأنظمة المتنقلة التي تسهل التقاسم هي التالية:

- الإرسال بكثافة طيفية ضعيفة للقدرة،
- الإرسال ذو الطابع المتقطع،
- استخدام هوائيات إرسال اتجاهية،
- الحد الأوتوماتي من عدد المحطات المتنقلة بطبيعة التطبيق ذاتها.

وتعرض الفقرات التالية الدراسات الخاصة بمختلف سلاسل الفرضيات ومديات القيم بالنسبة إلى هذه الخصائص العامة. ولا بد من دراسات جديدة تتعلق بالملاءمة بين الأنظمة المتنقلة والأنظمة العلمية الفضائية في النطاقين 2025-2110 MHz و2200-2290 MHz حتى يتحدد الوسط المحيط المعرض للتداخل تحديداً أفضل.

2 ملخص الدراسات الخاصة بالقدرة e.i.r.p. وكسب الهوائي

أدى إدخال مواصفات تقنية تخص الخدمة المتنقلة في النطاقين 2025-2110 MHz و2200-2290 MHz، من أجل تسهيل التقاسم مع الخدمات العلمية الفضائية، إلى اقتراح حدٍ للقدرة e.i.r.p. قدره 28 dBW وكسب أدنى للهوائي قدره 24 dBi. ولقد شرع بدراسات تتعلق بتأثير التداخل الذي تسببه هذه الأنظمة على خدمة الأبحاث الفضائية.

ويستند النموذج المستخدم في هذه الدراسة إلى الفرضية القائمة على توزيع شامل ومنتظم للمحطات المتنقلة ذات الهوائيات الاتجاهية مع قيم كسب تقع بين 22 و26,5 dBi وقيم للقدرة e.i.r.p. تتراوح بين 28 و37 dBW. وتتراوح الارتفاعات التي أخذت بالاعتبار بالنسبة إلى مدار المركبات الفضائية بين 250 و36 000 km.

وتبين نتائج هذه الدراسة أن عمليات الخدمات العلمية الفضائية في النطاق 2200-2290 MHz حساسة للتداخل أكثر منها في النطاق 2025-2110 MHz. ولقد أجريت دراسة لحساسية كسب الهوائي. وفي حالة السويات الثابتة للقدرة e.i.r.p.، ينقص احتمال التداخل كلما ازداد كسب الهوائي كما هو مبين في الشكل 7، حيث يظهر أيضاً أن احتمال التداخل يزداد بشكل لا خطي في حالة الازدياد الخطي للقدرة e.i.r.p.

وفي النهاية خلصت الدراسة إلى أن حدّ القدرة .e.i.r.p المقترح والبالغ 28 dBW، وكذلك كسب الهوائي الأعلى من 24 dBi، يشكلان شروطاً ملائمة لإتاحة التقاسم مع حوالي 000 1 نظام متنقل من هذا النمط في العالم أجمع.

3 ملخص دراسة التداخلات التي تسببها بعض الأنظمة المتنقلة

لقد أجريت دراسة اقترح فيها أربعة سيناريوهات ممكنة في مجال التداخل الذي تعانيه أنظمة الخدمات العلمية الفضائية كما هو مبين في الجدول 7.

وتتضمن الفقرات التالية عرض خصائص الأنظمة المستخدمة في هذه الدراسة.

1.3 خصائص الأنظمة

1.1.3 خصائص الاستقبال

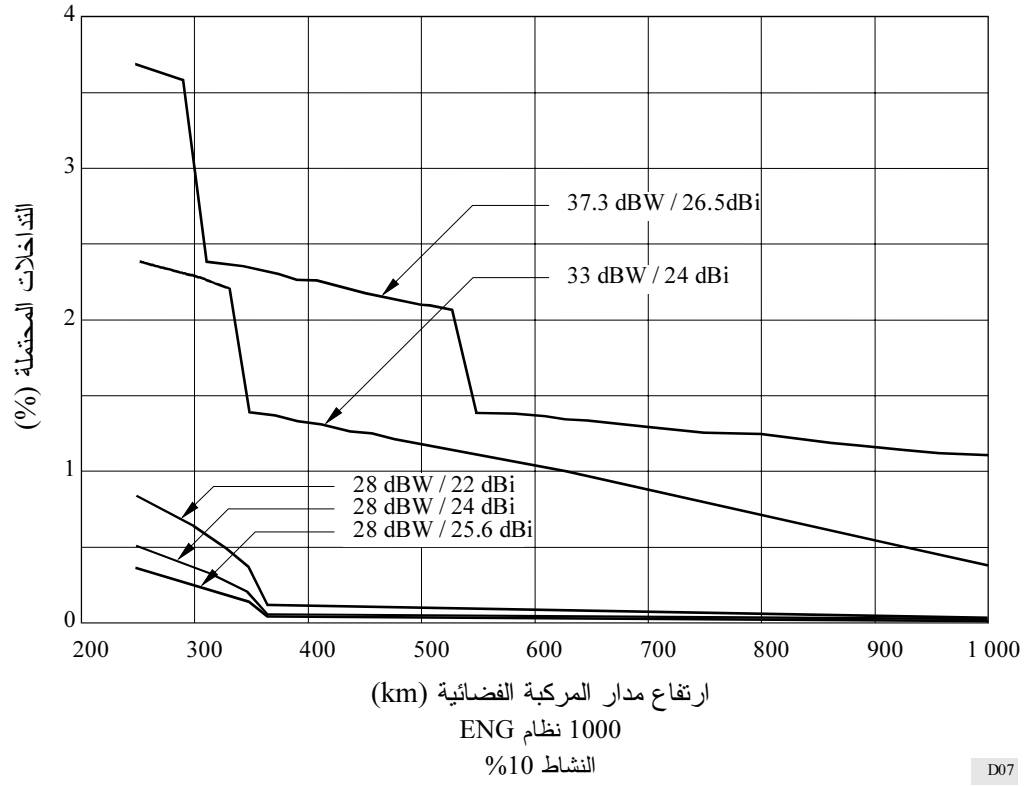
1.1.1.3 السواتل المرحلة للمعطيات

هوائي الاستقبال (يفترض فيه تتبع المركبة الفضائية في مدار منخفض عند رؤيتها):

- الكسب في محور التسديد = 34 dBi؛
- الخصائص خارج الحزمة مطابقة لمخطط الإشعاع المرجعي للحزم الدائرية وحيدة التغذية (سوية الفص الجانبي = –20 dB تقريباً) كما هي محددة في التوصية ITU-R S.672.

الشكل 7

احتمال التداخل بالنسبة إلى خصائص مختلف أنظمة جمع الأخبار إلكترونياً (ENG)



الجدول 7

	MHz 2 110-2 025	MHz 2 290-2 200
خدمات فضائية مرحلات معطيات	فضاء–فضاء (ذهاب) (1)	فضاء–فضاء (إياب) (3)
خدمات فضائية وصلة مباشرة مع الأرض	أرض–فضاء (2)	فضاء–أرض (4)
متنقل	اتجاهي (ENG)	شامل الاتجاهات

2.1.1.3 المركبة الفضائية في مدار منخفض (التسديد باتجاه ساتل ترحيل المعطيات)

هوائي الاستقبال (يفترض فيه تتبع الساتل المرحل المستقر بالنسبة إلى الأرض عند رؤيته):

- الكسب في محور التسديد = 25 dBi؛
- الخصائص خارج الحزمة مطابقة لمخطط الإرسال المرجعي المحدد بالنسبة إلى الحزم الدائرية وحيدة التغذية (سوية الفص الجانبي = –20 dB تقريباً) كما هي محددة في التوصية ITU-R S.672؛
- ارتفاع المدار = 300 km؛
- زاوية الميل = 29°.

3.1.1.3 المركبة الفضائية في المدار المنخفض (التسديد باتجاه الأرض)

هوائي استقبال شامل الاتجاهات (الكسب = 0 dBi):

- ارتفاع المدار = 300 km؛
- زاوية الميل = 29°

4.1.1.3 المحطة الأرضية

هوائي استقبال (يفترض فيه تتبع المركبة الفضائية في مدار منخفض عند رؤيتها):

- الكسب في محور التسديد = 45 dBi؛
- خصائص خارج الحزمة مطابقة لتلك المحددة في التذييلين 28 و29 من لوائح الراديو.

2.1.3 خصائص الإرسال

1.2.1.3 المحطة المتنقلة (الاتجاهية) – النظام ENG

- الكسب في محور التسديد = 25 dBi؛
- الكثافة الطيفية للقدرة داخل الهوائي = –38 dB (W/kHz)؛
- الخصائص خارج الحزمة مطابقة للخصائص المحددة في التذييلين 28 و29 من لوائح الراديو.

2.2.1.3 المحطة المتنقلة (شاملة الاتجاهات)

- كسب الهوائي = 0 dBi؛
- كثافة طيفية للقدرة داخل الهوائي = –42 dB (W/kHz).

2.3 ملخص واستنتاجات

تم تقييم أربع تشكيلات هندسية (من A إلى D) للسيناريوهات المبينة في الجدول 7، استناداً إلى الخصائص التقنية المشار إليها أعلاه. وتلخص نتائج التحليل الاحتمالي في الجدول 8.

الجدول 8

المرجع	مصدر التداخل	أقصى سوية تداخل نسبة للمعيار (dB)	النسبة المئوية لاحتمال تجاوز المعيار (%)
1 A	النظام ENG باتجاه مدار منخفض (تسديد باتجاه الساتل المرحل للمعطيات)	+31,0	0,65
1 B		+7,5	0,20
1 C		+6,5	0,15
1 D		+6,5	0,15
2 A	النظام ENG باتجاه مدار منخفض (تسديد باتجاه الأرض)	+2,5	0,20
2 B		+2,5	0,04
2 C		+2,5	0,045
2 D		+2,5	0,035
3 A	محطة شاملة الاتجاهات باتجاه الساتل المرحل للمعطيات	–16,5	2,50[1]
3 B		–16,5	1,50[1]
3 C		–15,0	0,15[1]
3 D		–15,0	0,50[1]
4 A	محطة شاملة الاتجاهات باتجاه المحطة الأرضية	+48,5	1,00
4 B		+48,0	0,55

[1] احتمال أقصى سوية للتداخل.

1.2.3 التداخلات التي تسببها محطات متنقلة اتجاهية لمركبة فضائية في مدار منخفض (التسديد باتجاه الساتل المرحل للمعطيات) في النطاق MHz 2110-2025

تشير القيم الواردة في الجدول 8 إلى أن المحطة ENG الوحيدة في عدة تشكيلات هندسية قد تتجاوز معايير الحماية المطبقة. إلا أنه بالنسبة إلى معظم التشكيلات يتيح تخفيض قدره 1 dB من قدرة إرسال المحطة ENG أن ينقص احتمال تجاوز معيار الحماية إلى 0,1%. وهذا ليس صحيحاً بالنسبة إلى التشكيلات الهندسية الأكثر صعوبة حيث هنالك ضرورة أحياناً لفرض بعض التقييدات فيما يتعلق باختيار مواقع المطاريف ENG الأرضية.

2.2.3 التداخلات التي تسببها محطات متنقلة اتجاهية لمركبة فضائية في مدار منخفض (التسديد باتجاه الأرض) في النطاق MHz 2110-2025

تشير النتائج إلى أن محطتين أو ثلاث محطات منفصلة في الفضاء لنفس القناة قد تكون مقبولة، مما يسمح بقبول مجموعة من 100 و150 محطة ENG دون اعتبار هندسة الحالة الأكثر سوءاً.

3.2.3 التداخلات التي تسببها محطات متنقلة شاملة الاتجاهات لساتل ترحيل معطيات مستقر بالنسبة إلى الأرض (لتتبع مركبة فضائية في مدار منخفض) في النطاق MHz 2290-2200

يستنتج من القيم المقدمة في الجدول 8 أن سويات قدرة التداخل لمحطة شاملة الاتجاهات هي في حدود المعايير المسموح بها. ولكن نظراً لأن احتمالات حدوث مثل هذه السويات مرتفعة جداً، يمكن لعدة محطات أن تسمح بسويات إجمالية من التداخل

تستطيع، على الرغم من تجاوزها سويات القدرة المسموح بها فقط بقدر صغير، أن تمثل السويات المقبولة من حيث احتمال الانشغال بعدة أمثال.

4.2.3 التداخلات التي تسببها محطات متنقلة شاملة الاتجاهات لمحطة أرضية (تتتبع مركبة فضائية في مدار منخفض) في النطاق MHz 2290-2200

وبافتراض غياب مسيرات خط البصر كأن تتبع خسارة الإرسال المرجعي قانون التكعيب العكسي، قد يعمل المطراف الشامل الاتجاهات ضمن نصف قطر قدره km 0,5 لمحطة أرضية (مع زاوية ارتفاع أكبر من 5°).

الملحق 3

وصف بعض أنظمة جمع الأخبار الإلكترونياً (ENG) العاملة في النطاق MHz 2110-2025

1 المقدمة

يعالج هذا الملحق الخصائص التقنية والتشغيلية الخاصة بالأنظمة ENG المحددة المستخدمة في بعض الإدارات، وهذه الخصائص كفيلة بتسهيل التقاسم مع الخدمات SRS وSOS وEESS.

2 خصائص/وصف الأنظمة ENG

تضم الأنظمة ENG أنظمة "العين المتنقلة" وأنظمة ENG المحمولة لالتقاط الصور معاً في أماكن مختلفة ولنشاطات متفرقة. وتستخدم الأنظمة ENG لأغراض التقارير الإخبارية أو المقابلات الميدانية وللتسجيل والإرسال الفيديوي المباشر للقاءات الرياضية أو العروض المسلية. وبسبب أهمية الفيديو الميداني، تستخدم غالبية محطات التلفزيون المحلية في المناطق الحضرية في الولايات المتحدة الأمريكية الأنظمة ENG. وتركب عادة الأنظمة ENG المحمولة المستخدمة للتقارير الميدانية على متن شاحنات صغيرة، وتعمل بأسلوب ثابت وتبث إشارات فيديوية باتجاه موقع استقبال ثابت. وتقدم هذه الأنظمة إمكانية الحركة المنشودة لأغراض تقارير الأخبار في نقاط مختلفة من منطقة جغرافية ما.

3 الأنظمة ENG والبيئة

يصف هذا القسم أسلوبي تشغيل متداولين:

1.3 الأنظمة المحمولة

تستخدم الأنظمة المحمولة الموصوفة في الفقرة 2 في تسجيلات الفيديو المخصصة للإرسال المباشر أو المؤجل والمتعلقة بالتقارير الإخبارية وإذاعة اللقاءات الرياضية والعروض المسلية. وتستعمل الأنظمة ENG المحمولة المركبة عادة على متن شاحنات صغيرة، مرسلات تعمل بقدرة تبلغ dBW 10,8 تقريباً. كما تستعمل هذه الأنظمة هوائيات اتجاهية كسبها يتراوح بين 20 و22 dBi، مركبة في أعلى سارية متداخلة يصل ارتفاعها إلى m 15. وقد تستخدم الأنظمة ENG الاستقطاب الخطي أو

الدائري من أجل تأمين حماية أفضل من التداخلات التي يسببها بعضها لبعض. والأنظمة ENG التي ترسل مع توهين إرسال في الخط قد يبلغ 5 dB هي عديدة (من 30 إلى 50% منها على الأرجح).

2.3 أنظمة "العين المتنقلة"

وهي مرسلات صغيرة خفيفة الوزن تعمل بموجات صغرية وتستعمل في تسجيلات الفيديو المتنقل والمصوّر من قرب في أمكنة يرغب التصوير فيها مباشرة ولكن استعمال المسجلات الفيديوية فيها ليس سهلاً ولا عملياً، نظراً لحجمها ولصعوبة الظروف الميدانية. وتتميز هذه المرسلات عادة بقدرة عمل قصوى تبلغ 5 dBW. وهذه الأنظمة التي تستعمل أساساً هوائيات شاملة الاتجاهات بكسب يتراوح بين 0 و3 dBi، تستخدم الاستقطاب الخطي أو الدائري.

ويستخدم نظام "العين المتنقلة" عادة بدلاً من نظام ENG محمول يعمل في نفس القناة وليس إضافة إليه. ومن غير الممكن عموماً تشغيل أنظمة "العين المتنقلة" والأنظمة المحمولة على التآون، لأن الأنظمة المحمولة تسبب تداخلات مفرطة لمستقبلات "العين المتنقلة".

ويعطي الجدول 9 خصائص الأنظمة ENG النمطية العاملة في النطاق 2025-2110 MHz.

الجدول 9

الأنظمة ENG النمطية العاملة بالتردد 2 GHz والمستعملة في الولايات المتحدة الأمريكية

نمط الاستعمال	موقع المرسل	قدرة الإرسال	كسب الهوائي (dBi)	موقع المستقبل
نظام ENG محمول (شاحنة صغيرة)	سارية الشاحنة	12 W	22	برج
وصلة ثابتة مؤقتة	سطح	12 W	25	سطح
مؤتمر	منصة قاعة المؤتمر	100 mW	0-5	مدرج
نظام "العين المتنقلة" (مثال، متزلج)	إنسان/خوذة	100 mW	0	على مرتفع أو على متن طائرة مروحية
لقاءات رياضية				
ملعب رياضي	في الملعب الرياضي	1 W	12	منصة الصحافة
ملعب غولف (نظام 1)	في ملعب الغولف	3 W	16	كرة
ملعب غولف (نظام 2)	في ملعب الغولف	12 W	12	رافعة (ذراع متداخلة)
حلبة سباق	في سيارة	3 W	7	طائرة مروحية
طائرة مروحية	مروحية ترحيل	12 W	7	نقطة استقبال على الأرض
سباق العدو الطويل				
دراجة نارية متتبعة	دراجة نارية	3 W	7	طائرة مروحية
عربة ترحيل	بيك أب (شاحنة)	12 W	12	طائرة مروحية
طائرة مروحية	مروحية ترحيل	12 W	7	سطح

4 الخصائص التشغيلية

لا تستطيع جميع الأنظمة ENG العمل في آن واحد. ونظراً إلى حساسيتها للتداخل فلا يسمح عادة إلا بإرسال واحد في نفس الوقت في كل قناة وكل موقع استقبال. وتمتلك غالبية الشبكات التلفزيونية التجارية في الولايات المتحدة عدداً كبيراً من مواقع الاستقبال تسمح بإرسالات متعددة في نفس الوقت على نفس القناة. إذ إن عدد الإرسالات المتآونة على القناة الأكثر انشغالاً محدد بستة إرسالات في معظم الشبكات التجارية وباثنين عموماً في الشبكات الأخرى. ومن النادر أن يحسب أكثر من إرسالين على نفس القناة في نفس الوقت. وفي الواقع فإن أكبر الشبكات التجارية التلفزيونية وحدها هي التي تمتلك عدداً كبيراً من مواقع الاستقبال ومن الأنظمة ENG مع العلم أن الإرسالات المتآونة في الأنظمة ENG على نفس القناة هي قليلة جداً أو غير موجودة في غالبية المناطق.

وعلى الرغم من استعمال الأنظمة ENG المحمولة لمدة 24 ساعة في اليوم إلا أنها تعمل أساساً لإذاعة معلومات محلية خلال أيام الأسبوع، وعموماً في الساعات 1200-1230 و1700-1900 و2300-2330 بالتوقيت المحلي. وتجدر الإشارة إلى وجود استعمال مهم للأنظمة ENG في معظم الشبكات التجارية قبل أخبار بعد الظهر في الفترة الواقعة بين الساعة 1500 والساعة 1700، كما أن البرامج المحلية الصباحية بين الساعتين 0600 و0900 التي تستعيد شعبيتها، تستخدم هي أيضاً الأنظمة ENG. وتستعمل المرسلات ENG المحمولة حوالي مرتين يومياً. ويقدر مهندسو الإذاعة مدة الإرسالات ENG وسطياً بحوالي 15 دقيقة تبلغ أقصرها 5 دقائق وتصل أطولها إلى 5 ساعات أحياناً.

5 استخدام الطيف وخصائصه

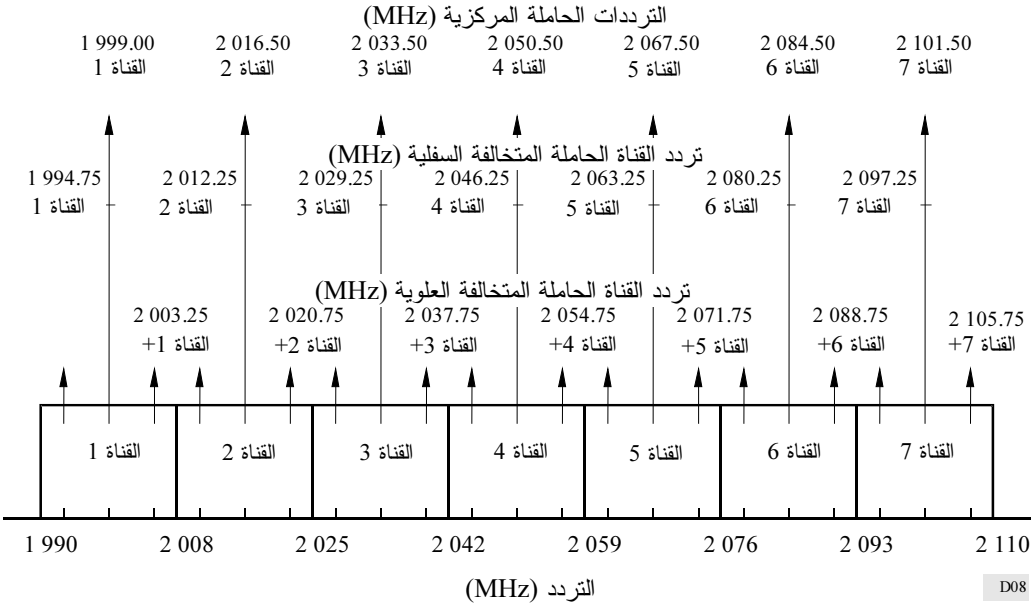
إن النطاق 1990-2110 MHz هو نطاق النظام ENG الأمثل نظراً إلى خصائص انتشاره الجيدة التي منها ضعف سويات التوهين الناجم عن الأوراق النباتية عند الترددات العالية، وقدرة الإشارة على "القفز فوق المباني" متيحة بذلك إقامة وصلة مؤقتة قاصدة إلى موقع استقبال ثابت رغم وجود عنصر حاجب لا يمكن تجنبه على المسير.

وفي الولايات المتحدة الأمريكية، يقسم نطاق الترددات ENG إلى 7 قنوات تردد كل منها 17 MHz، باستثناء أول قناة يكون ترددها 18 MHz (انظر الشكل 8). وتعمل الأنظمة ENG عادة في مركز كل قناة وإن كانت تستعمل أيضاً قسمي القناة المنزاحين السفلي والعلوي. مما يتيح الحصول على 21 تردداً حاملاً لا يمكن استعمالها جميعاً في نفس الوقت. وقد تعمل الأنظمة ENG في القناة المركزية أو في القناتين المنزاحتين السفلية أو العلوية أو في كليهما معاً حسب احتياجات واستعمالات القناة المجاورة. ولما كانت الأنظمة ENG حساسة للتداخلات، فهي لا تسمح عادة إلا بإرسال واحد في كل قناة وكل موقع استقبال.

وتستخدم الأنظمة ENG تشكيل التردد (FM) لإرسال إشارات الفيديو. ولا ترسل الموجة الحاملة عملياً مطلقاً عندما لا تكون مشكلة بإشارة الفيديو.

الشكل 8

مخطط قنوات الأنظمة ENG المستعملة في الولايات المتحدة الأمريكية



الملحق 4

وصف بعض أنظمة القياس من بعد المتنقلة للطيران العاملة داخل النطاق MHz 2290-2200

1 المقدمة

تتكون أنظمة القياس من بعد المتنقلة للطيران التابعة لإدارة ما من عدد صغير من المرسلات قصيرة المدة والمتحكم فيها من بعد والعاملة في بعض المناطق المحددة.

ومن النادر أن يعمل أكثر من 15 نظام إرسال في نفس الوقت في منطقة يبلغ نصف قطرها 000 1 km. ونادراً ما تتجاوز القدرة e.i.r.p. القصوى W 10 في اتجاه الساتل بالنسبة إلى عرض نطاق قدره MHz 3 في منطقة يبلغ نصف قطرها 1 000 km.

2 الخصائص التقنية لأنظمة القياس من بعد المتنقلة للطيران

يستخدم القياس من بعد للطيران النطاق MHz 2290-2200 لأغراض التجارب الصاروخية ومركبات الإطلاق الفضائية والطائرات والأنظمة الفرعية منذ أواخر الستينات. وإن كان معظم هذه التجارب يدوم أقل من 10 دقائق فإن بعضها يدوم عدة ساعات. ويمكن إجراء عمليات القياس من بعد في أي ساعة من ساعات النهار مع العلم أن أقصى فترة للاستخدام تقع خلال ساعات النهار. وفي الولايات المتحدة الأمريكية تجري معظم تجارب الطيران في ميدان واحد أو أكثر من ميادين الاختبار الفيدرالية.

ولقد استمثلت خصائص أنظمة الإرسال للقياس من بعد فيما يخص المركبة الخاضعة للتجارب. وتتباين بالتالي كثيراً من مركبة إلى أخرى. وليس هنالك نظام إرسال "نمطي". وتتراوح عموماً القدرة المشعة الفعالة لأنظمة القياس من بعد بين 1 و5 W. وتتوقف سوية القدرة الضرورية على كمية المعلومات الواجب إرسالها وعلى المدى الأقصى بين أنظمة الإرسال وأنظمة الاستقبال وعلى النوعية المطلوبة من أجل المعطيات وعلى حساسية نظام الاستقبال. وتصمم عادة هوائيات الإرسال للقياس من بعد ذات الاستقطاب الخطي عموماً، من أجل تأمين تغطية متناحية تقريباً نظراً لخطر التغيير السريع جداً لتوجه مركبة الاختبار بالنسبة إلى هوائي استقبال القياس عن بعد. وباعتبار أن هوائي الاستقبال يتتبع مركبة أثناء طيرانها، فإن الإشارات داخل المستقبل تخضع لتغييرات كبيرة في السوية. وينجم هذا "الخبو" عن أصفار مخطط إشعاع هوائي المركبة وعن الحالات الشاذة للانتشار كتعدد المسيرات والمجاري. وقد يبلغ انخفاض سوية الإشارة أثناء الخبو أكثر من 30 dB. ولذا تفرض الشروط المثلى للطيران إشارة مستقبلة من سوية أعلى بكثير من سوية العتبة لتفادي أي خسارة في المعطيات في حالات الخبو.

تتباين إذاً أنساق معطيات القياس عن بعد ومعدلاتها تبايناً كثيراً من مركبة إلى أخرى. وتستخدم غالبية أنظمة الإرسال للقياس عن بعد تشكيل التردد أو الطور. وقد تكون إشارات الدخل في المرسل تماثلية أو رقمية أو مختلطة. وفيما يخص أنظمة الإرسال للقياس من بعد فإن 99% من القدرة يتمركز في عرض نطاق يتراوح بين أقل من 1 MHz إلى أكثر من 10 MHz.

وتتراوح القيمة المطلوبة لنسبة الإشارة/الضوضاء قبل الكشف بين 9 و15 dB لكي تكون نوعية المعطيات مقبولة. وتتراوح عادة أقصى مسافة بين مركبة الاختبار ومحطة استقبال القياس عن بعد بين 20 و400 km (ويتجاوز أقصى مدى بالنسبة إلى بعض الاختبارات 3 000 km). ويتراوح عادة عرض نطاق المستقبلات بين 0,5 و10 MHz (وهذه القيم في ازدياد مستمر). وتتراوح درجة حرارة ضوضاء أنظمة الاستقبال بين 200 K و500 K. وتتراوح قيم الكسب في الفص الرئيسي لهوائيات الاستقبال بين 6 dBi بالنسبة إلى بعض الأنظمة المتنقلة قصيرة المدى و50 dBi بالنسبة إلى الهوائيات الكبيرة. وتتتبع أكبر هذه الهوائيات أوتوماتياً مركبة الاختبار بينما يسدد عادة أصغرها (ذات الكسب الأقل من 20 dBi) في اتجاه المرسل. وتعتمد الفصوص الجانبية لهوائي الاستقبال على حجمها ونمط الهوائي. وفي معظم الأحيان يتراوح قطر هوائيات الاستقبال للقياس عن بعد بين 2,44 متراً (8 أقدام) و10 أمتار (32,8 قدماً).

3 اعتبارات تتعلق بالطيف

قسَّم مصنعو أنظمة القياس من بعد المتنقلة للطيران في الولايات المتحدة الأمريكية هذا النطاق إلى 90 قناة عرض نطاق كل منها 1 MHz. وتخصص عدة قنوات معاً عند الحاجة إلى نطاق أعرض.

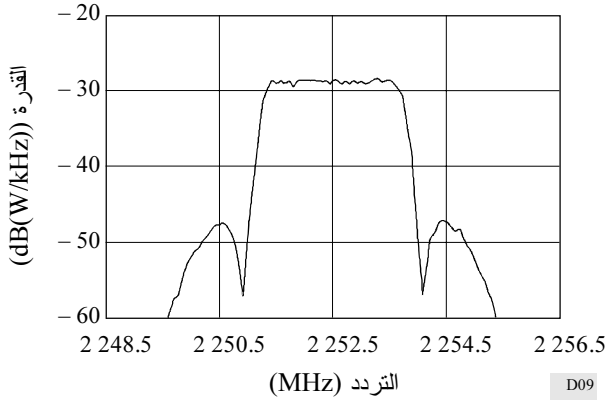
ويوفر التنسيق بين مختلف المستعملين حالياً الحماية لعمليات الطيران للقياس عن بعد. وتقسم أراضي الولايات المتحدة الأمريكية إلى مناطق تنسيق يعمل فيها منسقو الترددات على تخصيص هذه الترددات وبرمجة استخدامها.

وهنالك خطر تداخل كبير بين المحطات الأرضية المركبة في مواقع إرسال القياس من بعد للطيران في النطاق 2200-2290 MHz. ويمكن التخفيف من هذا الخطر عن طريق التحكم بموعد كل خدمة في هذا النطاق وترددها وموقع إرسالها. وتتيح مراكز إدارة الترددات المسببة للتداخل إجراء تغييرات في الوقت الفعلي وللإرسالات غير المسموح بها وتحديد مواقعها وتعرف هويتها.

ويقدم الشكل 9 مثالاً عن الكثافة الطيفية للقدرة المشعة. ويدل هذا الشكل على الكثافة الطيفية للقدرة الاسمية لنظام القياس عن بعد. والمعطيات المقدمة فيه ليست نموذجية ولا تمثل أفضل الحالات ولا أسوأها؛ بل تقدم فقط على سبيل المثال للخصائص الطيفية من نمط النظام الأكثر استعمالاً اليوم بين أنظمة القياس من بعد المتنقلة للطيران. وبسبب المكونات الطيفية المنفصلة التي تضمها بعض أنظمة القياس من بعد المتنقلة للطيران في بعض لحظات طيران اختباري، يمكن لقيم الكثافة الطيفية القصوى (dB (W/kHz)) أن تتجاوز بكثير القيم المشار إليها في الشكل 9.

الشكل 9

مثال عن الطيف



وتكون القدرة الإجمالية القصوى التي تشعها أنظمة القياس عن بعد المتنقلة للطيران في أي اتجاه في مساحة يبلغ نصف قطرها 1 000 km أقل من 100 W في النطاق 2200-2290 MHz. ونادراً ما تتجاوز القدرة الإجمالية القصوى المشعة في أي اتجاه في مساحة يبلغ نصف قطرها 1 000 km القيمة 10 W بالنسبة إلى عرض نطاق قدره 3 MHz.

_____