التوصيـــة ITU-R SF.1649-1

توجيهات بشأن تحديد التداخل الذي تتعرض له محطات في الخدمة الثابتة من محطات أرضية مقامة على متن سفن عندما تكون المحطة الأرضية ضمن المسافة الدنيا*

(المسألتان ITU-R 226/9 وITU-R 254/4)

(2008-2003)

مجال التطبيق

تُقدم هذه التوصية توجيهات إلى الإدارات لتحديد التداخل الذي يُحتمل أن تتعرض له محطات في الخدمة الثابتة من محطات أرضية مقامة على متن سفن. ويُقدم الملحق 1 الاعتبارات العامة لهذا التحديد. ويُقدم الملحق 2 وصفًا لأقرب نهج إلى هذا التحديد. ويُقدم الملحق 3 عدة نهج بديلة مبنية على أساس المحاكاة. ويتضمن الملحق 4 المواد التي يمكن النظر فيها في المناقشات الثنائية أو متعددة الأطراف عندما ترخص الإدارات باستعمال الهوائيات التي يقل قطرها عن 1,2 متر في النطاق GHz 14,5-14,0 لضمان امتثال هذه الهوائيات لمتطلبات القرار (WRC-03) 902.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن السفن قد تكون مجهزة لتشغيل محطات أرضية مقامة على متنها في الخدمة الثابتة الساتلية تبث في النطاق MHz 6 425-5 925 في شبكات هذه الخدمة (أرض–فضاء) بموجب الرقم 4.4 من لوائح الراديو؛

ب) أن السفن قد تكون مجهزة للعمل بصفة محطات أرضية مقامة على متن سفن في النطاق GHz 14,5-14 بموجب الرقم 4.4 من لوائح الراديو أو بصفة خدمة ثانوية في الخدمة المتنقلة الساتلية؛

ج) أن بعض النطاقات الواردة في البندين أ) وب) من الفقرة "*إذ تضع في اعتبارها*" نطاقات متقاسمة على أساس أولي مشترك مع الخدمة الثابتة؛

د) أنه لو سُمح للمحطات الأرضية المقامة على متن السفن بالعمل في الممرات والقنوات البحرية القريبة من السواحل سيصبح من الضروري تحديد مناطق مركَّبة لهذه العمليات؛

هـ) أن التوصية ITU-R SF.1585 توفر طريقة لتحديد هذه المناطق؛

و) أن محطات الخدمة الثابتة ضمن هذه المناطق يجب أن تُدرس لتحديد ما إذا كانت ستتعرض لقدر من التداخل يتجاوز القدر المسموح به؛

ز) أن العديد من الأنظمة الرقمية في الخدمة الثابتة تعمل بنظام التحكم الأوتوماتي في قدرة الإرسال (ATPC)؛

ح) أن حالات التداخل التي تستغرق أكثر من بضع ثوانٍ قد تؤدي إلى انقطاع هام طويل الأمد للإرسال في الأنظمة الرقمية في الخدمة الثابتة؛

* للاطلاع على تعريف "المسافة الدنيا" انظر التوصية ITU-R SF.1650-1.

ط) أن التوصية ITU-R SF.1006 و/أو التوصية ITU-R SM.1448 توفران الطرائق التي يمكن استعمالها لتحديد التداخل المحتمل بين محطات الخدمة الثابتة الساتلية ومحطات الخدمة الثابتة عندما تكون المحطات الأرضية على متن السفن مستقرة (انظر الملاحظة 1)؛

ي) أن منهجية تحديد سوية التداخل التي تتعرض لها محطات الخدمة الثابتة من المحطات الأرضية على متن السفن مسألة تخضع للاتفاق بين الإدارات المعنية؛

ك) أن التوجيهات المتاحة للإدارات بشأن التحديد التفصيلي لهذه السويات بهدف إجراء تحليل أولي قد تكون مع ذلك مبادئ ذات فائدة بالنسبة إلى البعض في التقييم التفصيلي للتداخل؛

ل) أن التوصيتين ITU-R F.696 وITU-R F.1565 تحددان معايير التداخل المسموح بها في محطات الخدمة الثابتة؛

م) أن هنالك حاجة إلى طرائق ومعايير للتداخل مختلفة بغية تحديد احتمال التداخل من المحطات الأرضية على متن السفن عندما لا تكون هذه المحطات ثابتة،

وإذ تدرك

أ) أن المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية (إسطنبول، 2000) دعا قطاع الاتصالات الراديوية إلى الإسراع في استكمال دراساته المتعلقة بالمحطات الأرضية على متن السفن، ولا سيما استبعاد احتمال التسبب في تداخل غير مقبول في محطات خدمات أخرى في أي إدارة؛

ب) أن الرقم 457A.5 من لوائح الراديو يقضي بأنه يجوز للمحطات الأرضية على متن السفن والعاملة في النطاقين 5 925-6 425 MHz و14-14,5 GHz إقامة اتصال مع محطات فضائية في الخدمة الثابتة الساتلية طالما كان هذا الاستعمال وفقاً للقرار (WRC-03) 902؛

ج) أن الرقم 457B.5 من لوائح الراديو يقضي بأنه يجوز للمحطات الأرضية على متن السفن والعاملة في النطاقين 5 925-6 425 MHz و14-14,5 GHz أن تعمل في الخدمة المتنقلة الساتلية البحرية على أساس ثانوي وفقاً للخصائص والشروط الواردة في القرار (WRC-03) 902 في البلدان التالية: الجزائر والمملكة العربية السعودية والبحرين وجزر القمر وجيبوتي ومصر والإمارات العربية المتحدة والجماهيرية العربية الليبية والأردن والكويت والمغرب وموريتانيا وعمان وقطر والجمهورية العربية السورية والسودان وتونس واليمن،

وإذ تلاحظ

أ) أن القيود التقنية لتشغيل المحطات الأرضية على متن السفن، والواردة في الملحق 2 من القرار (WRC-03) 902، لا سيما الحدود الواقعة خارج المحور، تنطبق على تحديد احتمال التداخل؛

ب) أن التوصية (WRC-03) 37 (إجراءات تشغيل المحطات الأرضية على السفن) تحدد إجراءات تشغيل المحطات الأرضية على متن السفن،

توصـــي

1 باستعمال التوجيهات الموصوفة في الملحق 1 كإطار للتقييم الإجمالي للتداخل الذي تتعرض له محطات الخدمة الثابتة من المحطات الأرضية على متن السفن والعاملة ضمن "المسافة الدنيا"؛

2 باستعمال التوجيهات الواردة في الملحق 2 كأساس لحساب التداخل من المحطات الأرضية على متن السفن (انظر الملاحظة 2 والملاحظة 3)؛

3 باستعمال نتائج تطبيق الطريقة المبينة في الملحق 2 لتحديد ما إذا كان يجوز النظر في استعمال أجزاء من نطاقات التردد الواردة في البند ب) من الفقرة *"إذ تضع في اعتبارها"* من قبل المحطات الأرضية على متن السفن والعاملة ضمن "المسافة الدنيا" (انظر الملاحظة 3)؛

4 بأن تنظر الإدارات في المواد التقنية الواردة في الملحق 4 وذلك في مناقشاتها الثنائية ومتعددة الأطراف عند الترخيص للمحطات الأرضية على متن السفن والعاملة بهوائيات قطرها أقل من 1,2 متر في النطاق GHz 14,5-14,0 بغية ضمان امتثال هذه الهوائيات لمتطلبات القرار (WRC-03) 902.

الملاحظة 1 – تستعمل الطرائق الواردة في هذه التوصية معايير حماية الخدمة الثابتة من التداخل. وعلى سبيل المثال، تحدد التوصية ITU-R SF.1006 هذه المعايير، بيد أن المعايير قصيرة الأجل لا تمتثل إلا للتوصية ITU-T G.821. ومن جهة أخرى، فإن التوصية ITU-R SF.1650 تحدد معايير الحماية قصيرة الأجل للخدمة الثابتة بالنسبة للوصلات المحدّثة والمصممة للوفاء بمتطلبات التوصيتين ITU-T G.826 وITU-T G.828.

الملاحظة 2 – عند تحديد الترددات بالنسبة للمحطات الأرضية على متن السفن، قد يتعين النظر في تقنيات تخفيف التداخل. وعلى سبيل المثال، عندما توضع ترتيبات ترددات الخدمات الثابتة على أساس التوصية ITU-R F.383، فإن استعمال النطاق المركزي للخدمة الثابتة عند تردد GHz 6 (قريب من GHz 6,175) من جانب مرسلات المحطات الأرضية على متن السفن من شأنه أن يخفض إلى حد كبير من احتمال التداخل الذي تتعرض له مستقبلات الخدمة الثابتة، ذلك أنه عند دراسة التداخل بالنسبة لأي قناة للخدمة الثابتة هنالك فائدة متوخاة من ترشيح المُستقبل.

الملاحظة 3 – يمكن تكملة الطريقة الواردة في الملحق 2 باستعمال الطريقة الواردة في الملحق 3.

الملحق 1

توجيهات لتحديد واستعمال نقاط على كفاف التشغيل* من أجل تحديد التداخل الذي تتعرض له محطة في الخدمة الثابتة من البث الصادر عن محطة أرضية على متن سفينة متحركة (طريقة نقاط الكفاف الحرجة)

يمكن استعمال الطريقة التالية كإطار للتقييم الإجمالي للتداخل الذي تتعرض له محطات في الخدمة الثابتة من محطات أرضية على متن سفن تعمل ضمن المسافة الدنيا.

1 مقدمة

تحدد التوصية ITU-R SF.1006 طريقة تقييم احتمال التداخل بين محطة في الخدمة الثابتة الساتلية ومحطة في الخدمة الثابتة، وتفترض هذه التوصية أن محطة الخدمة الثابتة الساتلية ومحطة الخدمة الثابتة محكومتان بعلاقة فضائية ثابتة. فالمحطات الأرضية على متن السفن المتحركة باتجاه ميناء أو الداخلة إلى رصيف أو مرسى تكون أثناء الحركة محكومة بعلاقة متغيرة مع محطات الخدمة الثابتة.

* كفاف التشغيل معرف في التوصية ITU-R SF.1585.

وتصف التوصية ITU-R SF.1585 طريقةً لاستعمال كفاف تشغيل السفن المجهزة بالمحطات الأرضية من أجل تحديد منطقة يمكن استعمالها لتحديد محطات الخدمة الثابتة التي قد تتعرض لتداخل غير مقبول صادر عن محطة أرضية على متن سفينة تتحرك على امتداد هذا الكفاف. وبموجب الإجراءات القائمة، لا بد من تقييم احتمال هذا التداخل كما لو كانت المحطة مستقرة عند كل نقطة ممكنة على مسار السفينة كلما كانت داخل هذه المنطقة.

ويحدد هذا الملحق منهجية تُسمى طريقة نقاط الكفاف الحرجة التي تُبسِّط تحديد احتمال التداخل الذي قد تتعرض له محطات الخدمة الثابتة وذلك بحصر هذه العملية في دراسة مجموعة صغيرة من النقاط تقع على كفاف التشغيل. ويتم تخصيص كل من هذه النقاط بصفتها نقطة من نقاط الكفاف الحرجة. وبعض هذه النقاط خاص بكفاف التشغيل بينما بعضها الآخر خاص بمحطة الخدمة الثابتة المعنية.

2 اعتبارات في تحديد نقاط الكفاف الحرجة

1.2 التشغيل في حالة الاستقرار

بالنسبة لتشغيل المحطات الأرضية على متن السفن في حالة الاستقرار، يمكن تقييم احتمال التداخل باستعمال التوصية ITU-R SF.1006 أو التوصية ITU-R SM.1448 أو باستعمال أي إجراءات متفق عليها بين الإدارات المعنية إذا كان يمكن تطبيقها على أي محطة جديدة في الخدمة الثابتة الساتلية.

2.2 التشغيل في حالة الحركة

يجب دراسة كل من محطات الخدمة الثابتة داخل منطقة ما (كما جاء مثلاً في التوصية ITU-R SF.1585) وذلك بهدف تحديد ما إذا كانت ستتعرض أم لا إلى قدر يتجاوز القدر المسموح به من التداخل. وهذا يتطلب عادة تقييماً لاحتمال التداخل بالنسبة إلى كل من محطات الخدمة الثابتة عند كل من النقاط التي تقع على طريق سفينة مجهزة بمحطة أرضية ومتحركة داخل كفاف التشغيل. بيد أن منهجية نقاط الكفاف الحرجة توفر وسيلة لتخفيض هذه المتطلبات الحسابية عن طريق تحديد عدد صغير من النقاط بالنسبة لكل مستقبل في الخدمة الثابتة داخل منطقة معينة.

1.2.2 تحديد نقاط الكفاف الحرجة بالنسبة لكل مستقبل في الخدمة الثابتة معرض للتداخل

هنالك بالنسبة لأي تعرض مستقبل خدمة ثابتة للتداخل الصادر عن مطراف محطة أرضية على متن سفينة متحركة، ثلاثة متغيرات متعلقة بالموقع في العملية الحسابية:

– خسارة الانتشار التي يتم تجاوزها طيلة الفترة الزمنية فيما عدا نسبة مئوية منها. وتتوقف هذه الخسارة على طول مسير التداخل، والمناطق الراديوية المناخية، كما يمكن أن تشمل آثار أي حواجز على مسير التداخل؛

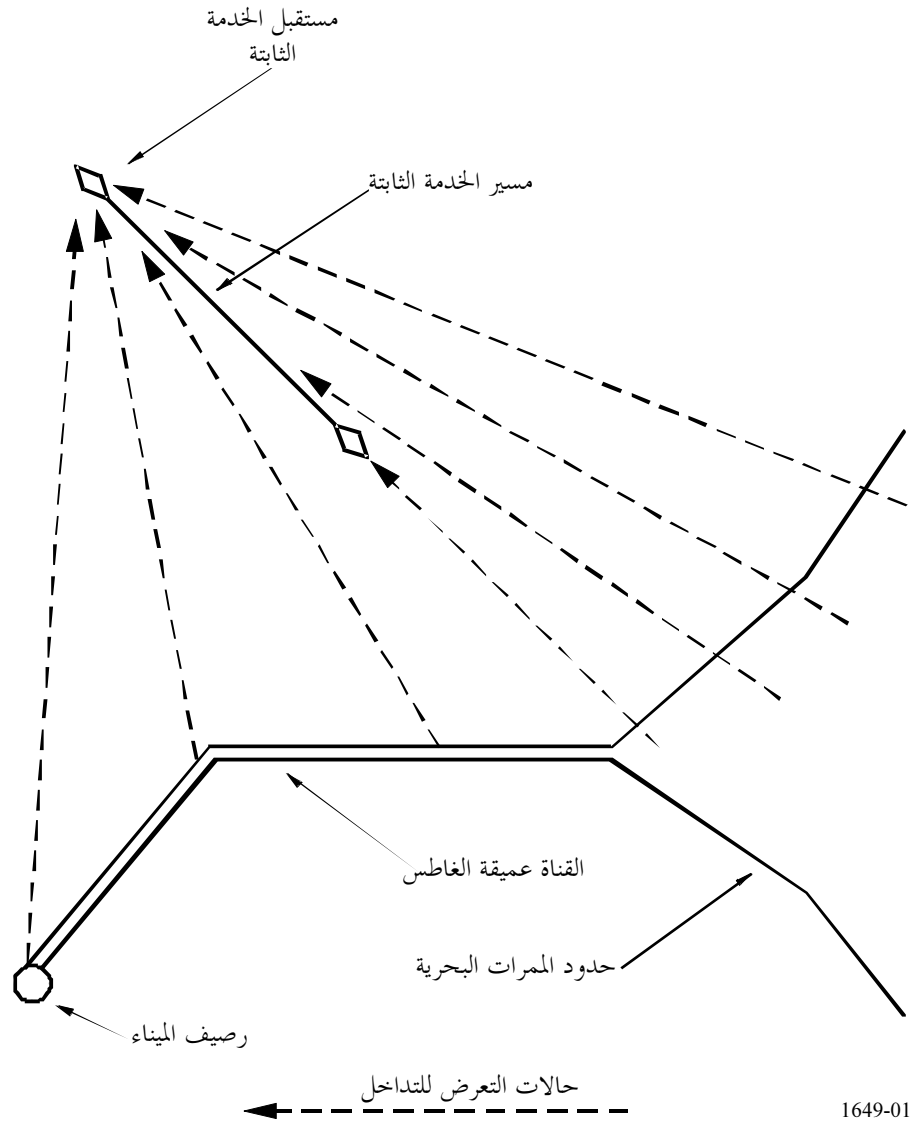
– كسب هوائي مستقبل الخدمة الثابتة؛

– كسب هوائي المحطة الأرضية على متن السفينة في اتجاه الأفق.

وبالنسبة لكل نقطة ضمن كفاف التشغيل كما تحددها القناة عميقة الغاطس (انظر الشكل 1)، يمكن بسهولة تحديد كل من هذه العوامل الثلاثة.

الشـــكل 1

الهندسة الأساسية للتداخل



لأغراض تقييم احتمال التداخل، يرسم كفاف التشغيل بشكل تقريبي بواسطة عدد من الخطوط المستقيمة المتعاقبة. ويتوقف تحديد نقاط الكفاف الحرجة على موقع وتراصف مسير الخدمة الثابتة بالنسبة إلى كفاف التشغيل، وهنا لا بد من تمييز عدد من الحالات. وفي تلك الحالات التي لا يتقاطع فيها سمت محور الحزمة الرئيسية لهوائي الخدمة الثابتة مع أي رقعة من منطقة تشغيل المحطة الأرضية على متن السفينة، تكون نقاط الكفاف الحرجة هي النقاط الموجودة على كفاف التشغيل حيث يغير الكفاف اتجاهه أو يصل إلى الحدود قبالة الساحل التي لا يكون التنسيق بعدها ضرورياً. وفي تلك الحالات التي يتقاطع فيها سمت محور الحزمة الرئيسية في هوائي الخدمة الثابتة مع كفاف التشغيل، من الضروري زيادة و/أو تعديل عدد نقاط الكفاف الحرجة. وينبغي على أي حال استعمال نفس نقاط الكفاف الحرجة بغية مراعاة كل من التداخلات طويلة الأجل وقصيرة الأجل التي قد تتعرض لها أي محطة للخدمة الثابتة قيد النظر. ويتم تقييم التداخل من عمليات محطة أرضية على متن سفينة ومتحركة إلى أي مستقبل في الخدمة الثابتة ضمن المنطقة التي ينبغي تقييم احتمال التداخل فيها بدراسة العملية عند كل من نقاط الكفاف الحرجة لكل مستقبل وباستعمال نماذج خسارة الانتشار، كتلك الواردة في التوصية ITU-R P.452. وهدف هذا التقييم هو تحديد الترددات التي يمكن استعمالها بالنسبة لعمليات محطة أرضية على متن سفينة متحركة دون التسبب في سويات غير مقبولة من التداخل في محطات الخدمة الثابتة.

من أجل تحديد نقاط الكفاف الحرجة بالنسبة لمستقبِل محدد في الخدمة الثابتة، لا بد من التمييز بين الحالات الثلاث التالية:

الحالة 1: في هذه الحالة لا يتقاطع محور الحزمة الرئيسية لهوائي استقبال الخدمة الثابتة مع أي جزء من كفاف التشغيل. ونقاط الكفاف الحرجة الوحيدة الضرورية في هذه الحالة هي النقاط التي يتغير فيها اتجاه كفاف تشغيل المحطة الأرضية على متن السفينة.

الحالة 2: في هذه الحالة، تقع الحزمة الرئيسية لهوائي استقبال الخدمة الثابتة (في حدود 10 dB من كسب الهوائي الأقصى) تماماً ضمن جزء واحد من كفاف التشغيل. وتحدد النقاط الواقعة على كفاف التشغيل حيث يكون كسب الهوائي أدنى بمقدار 10 dB من الحد الأقصى نقطتين إضافيتين من نقاط الكفاف الحرجة. ويتضمن جزء كفاف التشغيل القائم بين هاتين النقطتين نقطة التقاطع الطبيعية، وهي النقطة التي يتقاطع فيها محور الحزمة الرئيسية لهوائي الخدمة الثابتة مع كفاف التشغيل. وتُعتبر نقطة التقاطع الطبيعية دائماً نقطةً من نقاط الكفاف الحرجة.

الحالة 3: في هذه الحالة، تكون نقطة التقاطع الطبيعية قريبة بما يكفي من إحدى النقاط التي يغير فيها اتجاه كفاف التشغيل لتمكين الحزمة الرئيسية لهوائي الخدمة الثابتة من تغطية أكثر من جزء من كفاف التشغيل. وتنشأ هذه الحالة على الأرجح عندما تكون نقطة التقاطع الطبيعية قريبة من إحدى النقاط التي يتغير فيها اتجاه كفاف التشغيل للمحطة الأرضية على متن السفينة. ويحدد تقاطع كفاف التشغيل مع نقاط الهوائي بمقدار 10 dB نقطتين إضافيتين من نقاط الكفاف الحرجة على غرار الحالة 2؛ ومع ذلك، ففي هذه الحالة، لا حاجة لاعتبار النقطة الأصلية داخل الحزمة الرئيسية نقطةً من نقاط الكفاف الحرجة.

احتمال آخر: إذا كانت هنالك نقطة على كفاف تشغيل محطة أرضية على متن سفينة يُوجَّه منها الحد الأقصى لكسب الأفق في هوائي هذه المحطة باتجاه مستقبِل في الخدمة الثابتة، يمكن تحديد تلك النقطة على الكفاف بوصفها نقطة إضافية حرجة بالنسبة لذلك المستقبل بصرف النظر عن انطباق أي من هذه الحالات الثلاث.

2.2.2 دراسة التداخل طويل الأجل

يتم تحديد التداخل طويل الأجل عن طريق تجميع قدرة التداخل من كل جزء من كفاف التشغيل ابتداءً من رصيف الميناء إلى نهاية كفاف التشغيل التي يكون التنسيق بعدها غير ضروري. أي من خلال جمع المساهمات الناتجة عن التشغيل بين كل نقطتين متتاليتين من نقاط الكفاف الحرجة بالنسبة إلى محطة استقبال في الخدمة الثابتة*. ويستعمل هذا الإجراء، المفصل في الملحق 2 مبدأ الانحطاط النسبي للأداء الوارد في التوصية ITU-R F.1108. والفرق الوحيد هو أن خسارة الانتشار الضرورية للحساب هي خسارة الانتشار من كل من نقاط الكفاف الحرجة التي يتم تجاوزها طيلة الفترة الزمنية باستثناء 20% منها. ويمكن حساب مساهمة الانحطاط النسبي للأداء من كل جزء في شكل مغلق على أساس متوسط قدرة التداخل الواردة بسبب تشغيل محطة أرضية على متن سفينة داخل هذا الجزء، بما في ذلك أثر الفترة الزمنية في هذا الجزء أثناء عدة جولات من مرور محطات أرضية على متن سفن. وبالنسبة إلى جزء لا يتضمن نقطة تقاطع طبيعية، يتم حساب هذا المتوسط بافتراض أن مجموع الكسب (dB) الحاصل من هوائيات الخدمة الثابتة والمحطات الأرضية على متن السفن يتباين خطياً في هذا الجزء. ويتحدد هذا المتوسط عبر جزء يتضمن نقطة تقاطع طبيعية على أساس حزمة رئيسية غوسية الشكل لهوائي الخدمة الثابتة كما جاء في التوصية ITU-R F.1245.

أما المعيار الذي يُطبَّق على هذا التداخل فهو سوية القدرة المأخوذة من التداخل طويل الأجل المحدد في التوصية ITU-R SF.1006 أو التوصية ITU-R F.758.

3.2.2 دراسة التداخل قصير الأجل

يمكن تحديد مدى قبول التداخل قصير الأجل تبعاً لما إذا كانت قدرة التداخل الناجمة عن عمليات قرب أي من نقاط الكفاف الحرجة تتجاوز القيمة المحددة بالمعيار قصير الأجل طوال أكثر من نسبة مئوية مقبولة من الوقت (p_{ST}). ويمكن لهذا الغرض استعمال معايير التداخل قصير الأجل المستعملة في التوصية ITU-R SF.1650 فيما يتعلق بالنطاقين 6 و14 GHz.

* كفاف التشغيل معرف في التوصية ITU-R SF.1585.

ويتوقف تحديد قدرة التداخل قصير الأجل الناجم عن تشغيل محطات أرضية على متن سفن قرب نقطة الكفاف الحرجة على خسارة الانتشار على المسير انطلاقًا من تلك النقطة. وبصفة خاصة، يتوقف على خسارة الانتشار التي تم تجاوزها طيلة الفترة الزمنية كلها باستثناء نسبة مئوية صغيرة منها، وهي متناسبة عكساً مع النسبة المئوية للوقت (p_{ESVi}) المرتبط بتشغيل المحطات الأرضية على متن السفن قرب نقطة الكفاف الحرجة تلك. وتُشبه هذه الطريقة، الموصوفة بالتفصيل في الملحق 2، تلك المستعملة في التوصية ITU-R SF.1485 أو في البند 2.2.2 من الملحق 1 بالتوصية ITU-R SM.1448. وتتوقف النسبة المئوية للوقت المرتبط بتشغيل محطة أرضية على متن سفينة قرب نقطة كفاف حرجة على الحالة المعنية من الحالات الثلاث المذكورة أعلاه في البند 1.2.2.

وفي الحالات التي يكون فيها لمحور الحزمة الرئيسية للخدمة الثابتة نقطة تقاطع طبيعية على كفاف التشغيل لمحطة أرضية على متن سفينة تكون النسبة المئوية للوقت (p_{ESVi}) المرتبط بتشغيل هذه المحطة قرب نقطة التقاطع الطبيعية تلك متناسبة طرداً مع الوقت الذي تستغرقه تلك المحطة في التحرك على طول كفاف التشغيل بين النقطتين بمقدار 10 dB في هوائي الخدمة الثابتة.

وباستثناء نقاط الكفاف الحرجة المتاخمة لنقطة تقاطع طبيعية، والتي تُعامَل على أنها نقاط انتهاء لكفاف التشغيل، تتوقف النسبة المئوية للوقت p_{ESVi} على الوقت الذي تستغرقه المحطة الأرضية على متن السفينة في التحرك من نقطة منتصف الجزء السابق من كفاف التشغيل إلى نقطة منتصف الجزء التالي من هذا الكفاف. وعندما تكون نقطة الكفاف الحرجة نقطة انتهاء في كفاف التشغيل، فإن أحد هذين الجزأين غير موجود وتُحدَّد مساهمته بقيمة صفر.

وهنالك أيضاً احتمال حدوث حالات أكثر تعقيدًا، بيد أنه يمكن معالجتها باستعمال طريقة شبيهة بالطريقة المقترحة هنا.

3 تطبيق منهجية نقاط الكفاف الحرجة في تحديد الطيف المتاح

يمكن تحديد الطيف المتاح لمطاريف المحطات الأرضية على متن السفن في الموانئ أو قربها باستعمال منهجية نقاط الكفاف الحرجة لتقدير ما إذا كان استعمال تردد معين يؤدي إلى قدر من التداخل يتجاوز القدر المسموح به بين المحطات الأرضية على متن السفن ومحطات الخدمة الثابتة.

وبعد تحديد نقاط الكفاف الحرجة بالنسبة لمحطة استقبال في الخدمة الثابتة، يمكن استعمال الملحق 2 لتحديد ما إذا كانت سويات كل من التداخلات طويلة الأجل والتداخلات قصيرة الأجل مقبولة. ثم يمكن بعد ذلك تخصيص نطاقات التردد التي يتبيّن أن تشغيل المحطات الأرضية على متن السفن فيها لا يسبب تداخلات غير مقبولة لأي مستقبل في الخدمة الثابتة، وذلك لاستعمالها من جانب المحطات الأرضية على متن السفن التي تزور ذلك الميناء بالذات.

الملحق 2

حساب التداخل من المحطات الأرضية على متن السفن

1 مقدمة

يتعلق القرار (WRC-2000) 82 بأحكام تشغيل المحطات الأرضية على متن السفن في نطاقي التردد 700 3-200 4 MHz و925 5-425 6 MHz. وتم وضع ثلاث توصيات جديدة في إطار فرقة العمل 4-9S، تتطلب توصيتان منها دراسة معايير التداخل قصير الأجل. وهاتان التوصيتان هما التوصية ITU-R SF.1650، التي تعالج المسافة قبالة الساحل التي لا داعي بعدها لأن يؤخذ في الاعتبار التداخل في الخدمة الثابتة والتوصية ITU-R SF.1585 التي تعالج تحديد المنطقة التي ينبغي فيها مراعاة احتمال التداخل من المحطات الأرضية على متن السفن وذلك عندما ينتظر إجراء عمليات ضمن المسافة قبالة الساحل. أما التوصية الثالثة، وهي التوصية الحالية، فهي تعالج تحديد احتمال التداخل من جانب المحطات الأرضية على متن السفن عند تشغيلها ضمن هذه المسافة.

ويعالج الملحق 1 تحديد النقاط الضرورية لتحديد التداخل المحتمل من المحطات الأرضية على متن السفن. وبعد تحديد ذلك، من الضروري النظر في التداخل في المحطات الواقعة فيما وراء الأفق الراديوي وكذا التداخل في المحطات الواقعة في خط البصر بالنسبة إلى مواقع تشغيل محطة أرضية على متن سفينة متحركة. وفي حالة المحطات الأرضية الثابتة المرسلة، يتم الحد من التداخل في مستقبلات الخدمة الثابتة الواقعة فيما وراء الأفق بتطبيق معايير التداخل قصير الأجل، ويتم الحد من التداخل في المستقبلات الواقعة في خط البصر بتطبيق معايير التداخل طويل الأجل. وتحدد التوصية ITU-R SF.1006 المنهجية ومعايير التداخل الخاصة لتقدير كل من التداخل طويل الأجل وقصير الأجل وتوصي بالوفاء بمعايير الحالتين في تحديد احتمالات التداخل. وإذا كانت المحطات الأرضية على متن السفن تزيد من تعقيد عملية تحديد احتمالات التداخل، فإن المبادئ هي نفسها، حيث تتم حماية المحطات البعيدة من التداخل قصير المدة عالي القدرة باستعمال المعايير قصيرة الأجل؛ أما المحطات القريبة فتتم حمايتها باستعمال المعايير طويلة الأجل، التي تحمي هامش الخبو في المستقبِل. ويوفر هذا الملحق الأساس لتحديد احتمالات التداخل في جميع الحالات موضع الاهتمام.

ويقدم القسم 2 أدناه إحصاءات خسارة الانتشار بين محطتين على سطح الأرض ويبين العلاقة، بالنسبة لمسيرين بطُولين مختلفين، بين الخسارة التي يتم تجاوزها طول الوقت باستثناء نسبة مئوية منه ومعايير التداخل طويل الأجل وقصير الأجل التي يتم تطبيقها عندما تكون محطة الإرسال الأرضية في موقع ثابت. ويتناول القسم 3 كيفية تحديد احتمال التداخل في وجود التعقيد الإضافي الذي تسببه إضافة الحركة إلى موقع المحطة المتسببة في التداخل كما يبلور نهجاً مشتقاً من استعمال نهج الانحطاط النسبي للأداء (FDP) المحدد في التوصية ITU-R F.1108 مقترناً بمنهجية نقطة الكفاف الحرجة (CCP) المحددة في الملحق 1 بهذه التوصية. ويتم الاستدلال في القسم 4 على أن هذا النهج يؤدي إلى طريقة لتحديد مدى قبول التداخل المحتمل على أساس معايير التداخل طويل الأجل القائمة. وتتم بلورة نهج لدراسة التداخل قصير الأجل على أساس نفس المجموعة من نقاط الكفاف الحرجة في القسم 5.

2 خسارة الانتشار الدنيا المطلوبة لنسبة مئوية محددة من الوقت فيما يتعلق بالمحطات المستقرة

يمكن الحصول على خسارة الانتشار الدنيا المطلوبة للامتثال للسوية المسموح بها لقدرة التداخل عند مطاريف هوائيات محطة استقبال ثابتة لنسبة مئوية من الوقت *(p)*، من التوصية ITU-R SM.1448، حيث تكون الخسارة الدنيا المطلوبة هي الخسارة التي يجب أن تساويها أو تتجاوزها خسارة المسير المتوقعة طول الوقت باستثناء نسبة مئوية p منه[1]. وهكذا:

$$L_b(p) = P_t + G_t + G_r - P_r(p) \quad \text{dB} \tag{1}$$

حيث:

p: النسبة المئوية القصوى من الوقت التي يجوز خلالها تجاوز قدرة التداخل المسموح بها

$L_b(p)$: الخسارة الدنيا المطلوبة (dB) في أسلوب الانتشار (1) لنسبة مئوية p من الوقت؛ وهذه القيمة يجب أن تتجاوزها خسارة المسير المتوقعة في أسلوب الانتشار (1) طول الوقت باستثناء نسبة مئوية p منه.

P_t: سوية قدرة الإرسال القصوى المتاحة (dBW) في عرض النطاق المرجعي عند مطاريف هوائيات محطة إرسال للأرض أو محطة أرضية

$P_r(p)$: قدرة التداخل المسموح به لإرسال مسبب للتداخل (dBW) في عرض النطاق المرجعي الذي لا يجب تجاوزه لنسبة من الوقت أكبر من p% عند مطاريف هوائيات محطة استقبال للأرض قد تكون عرضة للتداخل، حيث يكون الإرسال المسبب للتداخل صادراً من مصدر واحد

G_t: الكسب (dB نسبة إلى الكسب المتناحي) لهوائي محطة الإرسال للأرض أو المحطة الأرضية. وبالنسبة إلى محطة إرسال أرضية، يمثل هذا الكسب كسب الهوائي تجاه الأفق المادي على سمت معين

[1] عندما تكون p نسبة مئوية صغيرة من الوقت، ضمن المدى 0,001% إلى 1,0%، يُشار إلى التداخل بأنه قصير الأجل، أما إذا كانت p نسبة $\leq$ 20% فيُشار إلى التداخل بأنه طويل الأجل.

G_r: الكسب (dB نسبة إلى الكسب المتناحي) لهوائي الاستقبال لمحطة الأرض أو المحطة الأرضية التي قد تكون عرضة للتداخل. وبالنسبة إلى محطة استقبال للأرض، يجب استعمال الكسب الأقصى للهوائي في اتجاه محور الحزمة الرئيسية.

أما بالنسبة للتداخل طويل الأجل يفترض عادة أن نسبة الوقت تساوي 20% وأن قدرة التداخل المسموح به، طبقًا للتوصية ITU-R SF.1006، تُحدد حسب المعادلة التالية:

$$P_r(20) = 10 \log (k T_e B) + J \quad \text{dBW} \tag{2}$$

حيث:

k: ثابت بولتزمان، ($1{,}38 \times 10^{-23}$ J/K)

T_e: درجة حرارة الضوضاء الحرارية لنظام الاستقبال (K)، عند مطراف هوائي الاستقبال

B: عرض النطاق المرجعي (Hz)، أي عرض النطاق في محطة الاستقبال التي تكون عرضة للتداخل وهو عرض النطاق الذي يمكن على أساسه حساب متوسط قدرة الإرسال المسبب للتداخل

J: نسبة (dB) قدرة التداخل طويل الأجل المسموح به والصادر من مصدر واحد أياً كان إلى الضوضاء الحرارية لنظام الاستقبال.

وأما بالنسبة إلى التداخل قصير الأجل، فتكون النسبة المئوية من الوقت نسبة ملائمة من إجمالي النسبة المئوية للوقت المسموح به للتداخل. ولأغراض المناقشة الحالية، نفترض أن هذه النسبة المئوية تساوي 0,001%، ويعبر عنها بالصيغة التالية:

$$P_r(0.001) = 10 \log (k T_e B) + 10 \log (10^{M_s/10} - 1) \quad \text{dBW} \tag{3}$$

حيث M_s هامش أداء الوصلة (dB).

ويلاحظ أن القدرة المسموح بها للتداخل قصير الأجل أكبر بكثير من القدرة المسموح بها للتداخل طويل الأجل. ويعني ذلك ما يلي:

$$P_r(0{,}001) - P_r(20) = 10 \log (10^{M_s/10} - 1) - J \quad \text{dB} \tag{4}$$

استعملت التوصية ITU-R SF.1650 قيمة 19 dB للهامش M_s في حساب القدرة المسموح بها للتداخل طويل الأجل. وبافتراض –10 dB كقيمة تمثيلية للنسبة J، يصبح الفرق في المعادلة (4) كالتالي:

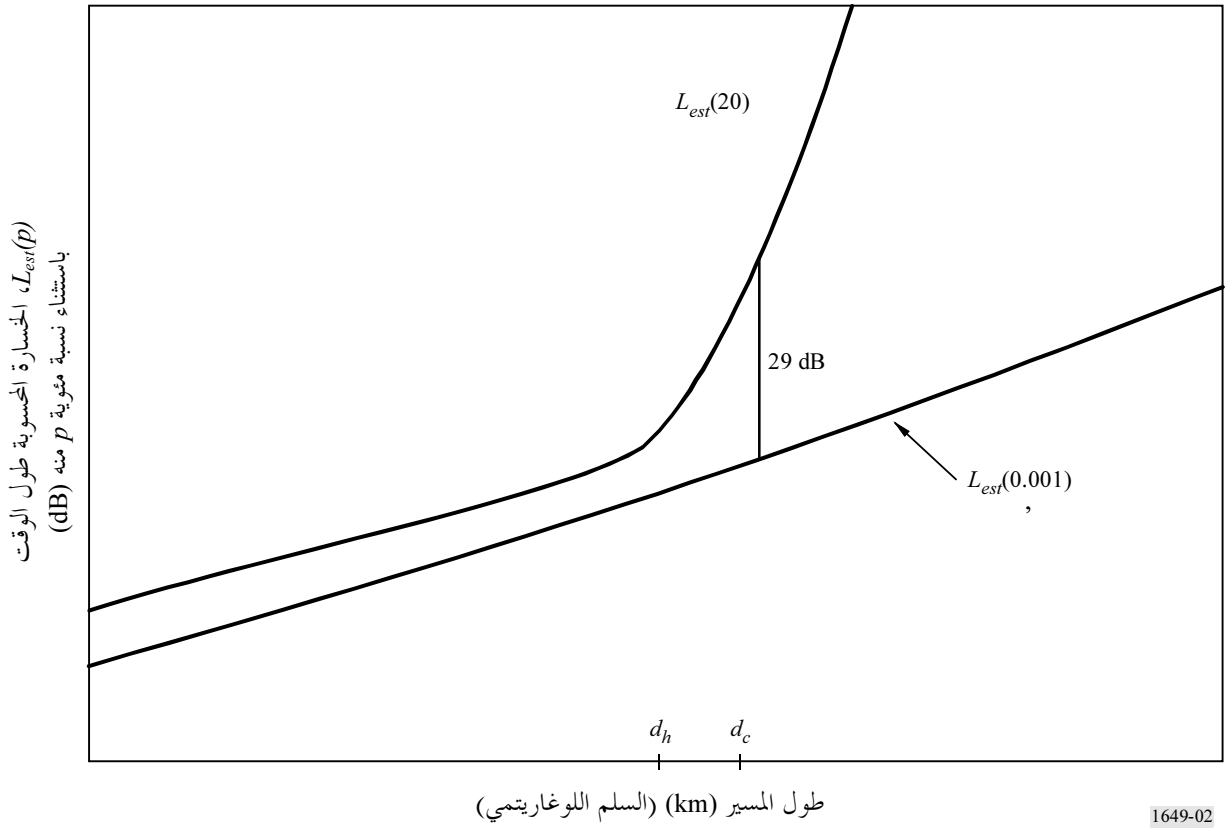
$$P_r(0.001) - P_r(20) \approx 29 \quad \text{dB} \tag{5}$$

ويمكن استعمال هذه السويات لقدرة التداخل المسموح بها في المعادلة (1) لتحديد خسارة الانتشار الدنيا المطلوبة، التي يجب أن تتجاوزها خسارة المسير المتوقعة طول الوقت باستثناء نفس النسبة المئوية منه. ويمكن حساب خسارة المسير المتوقعة التي يتم تجاوزها طول الوقت باستثناء نسبة مئوية p منه باستعمال الإجراء الوارد في التوصية ITU-R P.452، ويمكن الإشارة إليها بالرمز: $L_{452}(p)$. ويبدو اختلاف خسارة المسير المتوقعة باختلاف المسافة والتي يتم تجاوزها طول الوقت باستثناء نسبة 20% منه وطول الوقت باستثناء نسبة 0,001% منه نمطياً كما هو مبين في الشكل 2.

أما بالنسبة إلى القيم المختارة لارتفاع الهوائيات، فإن مسير الانتشار انطلاقاً من مصدر التداخل إلى مستقبل الخدمة الثابتة يحتك مجرد احتكاك بمسافة المسير d_h. وبالنسبة إلى المسافات الأكبر يكون المستقبل أبعد من الأفق الراديوي والخسارة المتوقعة التي يتم تجاوزها طول الوقت باستثناء نسبة 20% منه ($L_{452}(20)$) تزداد سريعاً بتزايد المسافة. عند بلوغ المسافة الحرجة d_c، تكون الخسارة المتوقعة التي يتم تجاوزها طول الوقت باستثناء نسبة 20% منه أكبر من الخسارة التي يتم تجاوزها لنسبة 0,001% من الوقت بمقدار 29 dB. ومن هنا، فعلى هذه المسافة، تتحقق الاستجابة لمعايير التداخل طويل الأجل والتداخل قصير الأجل لهاتين النسبتين المئويتين من الوقت أو لا تتحقق لأي منهما. أما على مسافات أطول، فتتحقق دائماً الاستجابة لمعيار التداخل طويل الأجل إذا تحققت الاستجابة لمعيار التداخل قصير الأجل. وأما على مسافات أقصر، فتتحقق دائمًا الاستجابة لمعيار التداخل قصير الأجل إذا تحققت الاستجابة لمعيار التداخل طويل الأجل. وهذا هو السبب في أن معايير التداخل قصير الأجل هي فقط التي تُستعمَل في تحديد منطقة التنسيق.

الشـــكل 2

اختلاف خسارة المسير المتوقعة باختلاف المسافة
طول الوقت باستثناء نسبة 20% ونسبة 0,001% منه (حسب التقدير)



3 تبعات التغير مع الوقت في معلمات أخرى غير خسارة الانتشار

في حالة المحطات الأرضية على متن السفن، تكون قدرة التداخل عند هوائي الاستقبال عرضة للتغيرات بسبب حركة محطة الإرسال الأرضية وبسبب خسارة الانتشار التي تتغير مع الوقت. ويمكن معالجة الاعتبارات الخاصة بالتداخل طويل الأجل وقصير الأجل بتكييف التقنيات المستعملة في سيناريوهات تقاسم أخرى. وتقدم الأقسام الفرعية التالية المعالجات المستقلة الضرورية لدراسة التداخل قصير الأجل وطويل الأجل للمحطات الأرضية على متن السفن المتحركة.

1.3 دراسة التداخل قصير الأجل

ليست اعتبارات التداخل قصير الأجل الصادرِ من المحطات الأرضية على متن السفن مختلفة عن تلك الاعتبارات المستعملة لتحديد منطقة التنسيق لمحطة استقبال ثابتة نسبةً إلى المحطات الأرضية التي تبث باتجاه المحطات الفضائية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض، وإن كانت تلك الاعتبارات الأولى أكثر تعقيداً من الثانية. وبالنسبة إلى حالة المحطات غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض، يطرأ التغيير مع الوقت فقط فيما يتصل بالكسب في اتجاه الأفق G_t، المبين في المعادلة (1). وقد اقترحت التوصية ITU-R SM.1448 طريقة الكسب المتغير مع الوقت في البند 1.2.2 كطريقة تكميلية لهذه السيناريوهات (انظر كذلك التوصية ITU-R SF.1485). ويتطلب تطبيق طريقة الكسب المتغير مع الوقت تحديد التوزيع التراكمي للكسب في اتجاه الأفق واتجاه المحطة الثابتة الذي يتم تجاوزه لنسبٍ مئوية من الوقت (p_n). وبالنسبة لكل نسبة مئوية (p_n)، يتم استعمال الكسب المصاحب

في اتجاه الأفق وقدرة التداخل المسموح به ($P_t(p)$) في المعادلة (1) بهدف تحديد الخسارة الدنيا المطلوبة التي ينبغي تجاوزها طول الوقت باستثناء نسبة مئوية (p_v%) منه، وذلك مع فرض القيد التالي:

$$p_v = \begin{cases} 100\ p/p_n & \text{for } p_n \geq 2\ p \\ 50 & \text{for } p_n < 2\ p \end{cases} \quad \% \tag{6}$$

ويجب أن تتجاوز خسارة المسير المتوقعة لمدة نسبة مئوية (p_v%) من الوقت هذه الخسارة فيما يخص كل نسبة مئوية (p_n) عند مسافة التنسيق، لدى تحديد منطقة التنسيق.

وتُعتبر حالة المحطات الأرضية على متن السفن أكثر تعقيداً لأن المسير المسبب للتداخل الصادر من المحطات الأرضية على متن السفن باتجاه المحطة الثابتة يتغير كذلك، في هذه الحالة، مع تحرك السفينة. وهكذا، لا يوجد ارتباط فريد من نوعه بين النسب المئوية (p_n) وقيم الكسب (G_n). ولتحديد احتمال التداخل، من الضروري اعتبار عدد من النقاط على طول كفاف تشغيل المحطات الأرضية على متن السفن بصفتها نقاط كفاف حرجة للكفاف وربط قيمة معينة لكسب هوائي الإرسال في اتجاه الأفق ونسبة مئوية معينة من الوقت بكل نقطة من هذه النقاط.

2.3 دراسة التداخل طويل الأجل

تكون دراسة التداخل طويل الأجل الصادر من المحطات الأرضية على متن السفن ضرورية فقط لتحديد احتمال التداخل. ولا يختلف هذا السيناريو كثيراً عن سيناريوهات التداخل فضاء-أرض من السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض باتجاه مستقبلات الخدمة الثابتة، التي تم تطوير مفهوم الانحطاط النسبي للأداء لمعالجتها. وتحدد التوصية ITU-R F.1108 الانحطاط النسبي للأداء كما يلي:

$$FDP = \frac{\sum_i f_i I_i}{N_T} = \frac{\text{القدرة المتوسطة للتداخل}}{NT} \tag{7}$$

حيث:

N_T: قدرة الضوضاء الفعلية عند مُدخل المستقبل في عرض النطاق: B (dB(W/B))

B: عرض النطاق المرجعي

I_i: السوية رقم i لقدرة التداخل المتوفرة عند مُدخل المستقبل في عرض النطاق B (W/B)

f_i: الجزء من الوقت الذي توجد فيه سوية التداخل رقم i.

وفي حالة التداخل من سواتل غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض، يُفترض عادةً أن إرسالات السواتل تنتشر في ظروف الفضاء الحر، وإن كانت الخسارات الجوية مشمولة في بعض الحالات. وهكذا، يتم تحديد الانحطاط النسبي للأداء بواسطة المعادلة (7) باستعمال المحاكاة للحصول على قيم قدرة التداخل والجزء من الوقت الذي يستغرقه التداخل. ولدى دراسة التداخل بين المحطات الأرضية الثابتة ومحطات الأرض الثابتة، يتمثل الإجراء العادي في استعمال نموذج انتشار مثل ذلك الوارد في التوصية ITU-R P.452 لتحديد خسارة الانتشار. ويمكن تطوير نهج مركب باستعمال التوصية ITU-R P.452 لتحديد خسارة الانتشار التي يتم تجاوزها طول الوقت باستثناء اختلاف نسبة 20% منه، فيما يتعلق بنقطة من نقاط الكفاف الحرجة. وبتدريج هذه الخسارة على أساس الخسارة في الفضاء الحر باختلاف مربع المسافة، يمكن تحديد المساهمة في الانحطاط النسبي للأداء من العمليات الجارية على طول أجزاء من مسار المحطة الأرضية على متن سفينة بالصيغة الكاملة بواسطة التكامل المباشر. ومن أجل تحقيق مطابقة أكبر للمنهجية المستعملة مع المحطات الأرضية بغية تحديد احتمال التداخل، سيتم تحديد هذا الاحتمال على أساس متوسط قدرة التداخل – بسط الكسر للمعادلة الواردة في المعادلة (7). ويمكن مقارنة متوسط القدرة هذا مباشرةً مع القيمة المسموح بها للتداخل طويل الأجل. وثمة وصف أكثر تفصيلاً لهذا النهج في البند 4.

4 دراسة مفصلة للتداخل طويل الأجل

من أجل دراسة التداخل طويل الأجل من المحطات الأرضية على متن السفن العاملة على كفاف مقترح ضمن المسافة من الساحل، فمن الضروري أولاً أن يتم تجزئة كفاف التشغيل لتكوين مجموعة من مقاطع الخطوط المستقيمة. وتتيح أطراف هذه المقاطع من الخطوط المستقيمة الأساس لتحديد جميع نقاط الكفاف الحرجة المحددة باستعمال الطريقة الواردة في الملحق 1 والضرورية لتحديد متوسط قدرة التداخل. وفي الحالات التي يتقاطع فيها محور الحزمة الرئيسية لهوائي الخدمة الثابتة مع أحد المقاطع، تشكل نقطة التقاطع كذلك نقطة من نقاط الكفاف الحرجة لمحطة الخدمة الثابتة تلك. ويُحسب متوسط قدرة التداخل من مجموع المساهمات من كل مقطع من كفاف التشغيل. ووفقًا للاستعمال والترميز الواردين في التوصية ITU-R SF.1650، يُفترض أن عدداً من السفن f_{ESV} في السنة يعبر كفاف التشغيل، حيث تكون سرعة كل سفينة منها سرعة ثابتة تساوي v_{ESV} km/h.

وعندما يتضمن مقطع ما تقاطعاً مع محور الحزمة الرئيسية لهوائي الخدمة الثابتة، يُحتمل أن تسيطر المساهمة الناجمة عن مرور المحطة الأرضية على متن سفينة عبر الحزمة الرئيسية مساهمة ذلك المقطع في متوسط قدرة التداخل. وتأتي دراسة المساهمات الناجمة عن عبور حزمة رئيسية وعن العبور من خلال مقطع ليس له تقاطع مع محور الحزمة الرئيسية في القسمين الفرعيين التاليين، على التوالي. ويرد الإجراء العام لإدراج جميع المساهمات في متوسط قدرة التداخل في القسم الفرعي الثالث.

1.4 المساهمة من عبور الحزمة الرئيسية في متوسط قدرة التداخل

يمكن استعمال التوصية ITU-R F.699 أو التوصية ITU-R F.1245 للحصول على الشكل الوظائفي لكسب هوائي الخدمة الثابتة (dBi) عند الزاوية φ_d (بالدرجات) من محور التسديد، كما يلي:

$$G_r(\varphi_d) = G_{max} - 2.5 \times 10^{-3}\left(\frac{D}{\lambda}\right)^2 \varphi_d^2 \qquad \text{for } \varphi_d < \varphi_{dm}$$

حيث:

$10^{(G_{max}-7.7)/20} = \frac{D}{\lambda}$ (نسبة قطر الهوائي إلى طول الموجة)

$\frac{20\lambda}{D}\sqrt{G_{max}-G_1} = \varphi_{dm}$ (زاوية الانحراف عن محور التسديد حتى أول فص جانبي (بالدرجات))

$2 + 15 \log (D/\lambda) = G_1$ (كسب الهوائي عند أول فص جانبي (dBi)).

وعند ذلك يتم تحديد نسبة الكسب في الحزمة الرئيسية داخل زاوية φ_d (درجة) من محور التسديد بواسطة ما يلي[2]:

$$g_r(\varphi_r) = g_{max}\, e^{-\alpha^2\varphi_r^2} \qquad \text{for } \varphi_r < \varphi_{dm} \tag{8}$$

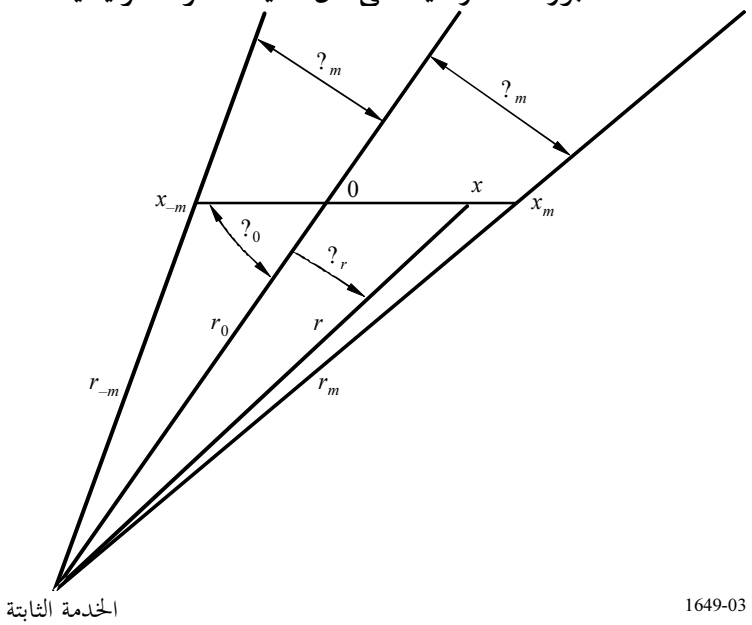
حيث:

$$\alpha^2 = \frac{\ln(10)}{10}(2.5\times10^{-3})\left(\frac{D}{\lambda}\right)^2$$

[2] خلال كل هذه التحليلات، يتم تحديد الكميات (dB أو dBi أو dBW) باستعمال الرموز الرومانية المائلة الكبيرة. وتتم الدلالة على نفس الكميات، عند التعبير عليها في صورة نسب قدرة أو وحدات قدرة، باستعمال الحروف الصغيرة لنفس الرموز الرومانية المائلة وبنفس الخط تحت السطر. ولذلك، $g_{max} = 10^{G_{max}/10} = e^{G_{max}\ln(10)/10}$.

الشـــكل 3

هندسة عبور محطة أرضية على متن سفينة للحزمة الرئيسية



يرد بيان هندسة عبور الحزمة الرئيسية في الشكل 3. ويكون طريق تشغيل المحطة الأرضية على متن سفينة على طول المحور x (x-axis)، ويشق محور الحزمة الرئيسية عند $x = 0$ مع زاوية θ_0. وللحزمة الرئيسية للهوائي –10 dB عرض نطاق ($2\varphi_m$) أقل من 2° لهوائي ذي كسب أقصى قدره 45 dBi وهي قيمة تمثيلية للنطاق 6 GHz. وتتقاطع الحزمة الرئيسية مع مسير المحطة الأرضية على متن السفينة على مدى x حيث تقع x بين x_{-m} وx_m. ويمكن صياغة القدرة المستقبَلة (المقيسة بالواط في عرض النطاق المرجعي) والتي يتم استقبالها عند انزياح المحطة الأرضية على متن سفينة عن النقطة التي يتقاطع فيها محور الحزمة الرئيسية مع مسار هذه المحطة، بعدد من الكيلومترات (km x)، وانزياحها عن مستقبل الخدمة الثابتة بعدد من الكيلومترات (km r)، كما يلي:

$$p_{r,x} = \frac{p_t \, g_{t0} \, g_{r\,max}}{\ell_{452}(20) \, \ell_F} \, \frac{r_0^2}{r^2} \, e^{-\alpha^2 \varphi_r^2} \tag{9}$$

حيث:

p_t: قدرة الإرسال (W) في عرض النطاق المرجعي

g_{t0}: كسب هوائي الإرسال (في صيغة نسبة) باتجاه مستقبل الخدمة الثابتة عندما تبلغ المحطة الأرضية على متن سفينة نقطة تقاطع الحزمة

$g_{r\,max}$: الكسب الأقصى (في صيغة نسبة) لهوائي الاستقبال

ℓ_F: نسبة خسارة مغذي نظام استقبال الخدمة الثابتة

$\ell_{452}(20)$: نسبة خسارة الانتشار إلى تقاطع الحزمة، بالصيغة المحسوبة وفقاً للتوصية ITU-R P.452، والتي سيتم تجاوزها طول الوقت باستثناء نسبة 20% منه

φ_r: زاوية الانحراف عن محور الحزمة الرئيسية (بالدرجات)

φ_m: زاوية الانحراف عن محور الحزمة الرئيسية (بالدرجات) التي يبلغ فيها كسب هوائي الاستقبال 10 dB أقل من حده الأقصى.

يلاحَظ أنه يُفترض أن تكون قيمة كسب هوائي الإرسال قيمة ثابتة على منطقة الزاوية الضيقة (أقل من 2°)، وأن خسارة الانتشار مُدرَّجة للمسافة r.

ولما كان نصف عرض الحزمة الرئيسية أقل من 1°، يمكن تقديم الصيغة التقريبية التالية:

$$r = r_0 + x\cos\theta_0$$

$$\varphi_r = (180/\pi)x\sin\theta_0/(r_0 + x\cos\theta_0)$$

ويساوي متوسط قيمة قدرة التداخل بالنسبة إلى مُرسل، بالموزع على الطريق من x_{-m} إلى x_m ما يلي:

$$\overline{p_{r,0}} = \frac{1}{x_m - x_{-m}} \int_{x_{-m}}^{x_m} p_{r,x}\, \mathrm{d}x$$

حيث تحدد المعادلة (9) القيمة ($p_{r,x}$). ومع تغيير في متغير التكامل إلى φ_r، تصبح الصيغة كما يلي:

$$\overline{p_{r,0}} = \frac{p_t\, g_{t0}\, g_{r\,max}}{\ell_{452}(20)\ \ell_F} \frac{2\varphi_m r_0(\pi/180)}{(x_m - x_{-m})\ \sin\theta_0} \left[\frac{1}{2\varphi_m} \int_{-\varphi_m}^{\varphi_m} \mathrm{e}^{-\alpha^2\varphi_r^2}\, \mathrm{d}\varphi_r\right] \quad (10)$$

وتدل العبارة الواقعة بين قوسين مربعين على متوسط الكسب نسبةً إلى $g_{r\,max}$ (كنسبة) من الحزمة الرئيسية التي يتم قياسها بين الزوايا حيث يساوي الكسب 10 dB أقل من الحد الأقصى للكسب. وبالنسبة إلى نمط الهوائي المرجعي للتوصية ITU-R F.699 أو التوصية ITU-R F.1245، تكون لهذه الكمية قيمة 0,565.

أما المتوسط المحدد بواسطة المعادلة (10) فيمكن تحويله إلى متوسط مجمع للقدرة طوال سنة واحدة بضربه بجزء من السنة يكون فيه متوسط قدرة التداخل هذا حاضراً. ويكون الوقت المقيس بالساعات والضروري لعبور سفينة عبر الحزمة الرئيسية هو $(x_m - x_{-m})/v_{ESV}$). وإذا كان عدد السفن التي تعبر كل سنة الحزمة الرئيسية هو f_{ESV}، يُحدَّد المتوسط المجمع لقدرة التداخل والذي يتم حسابه على طول السنة، حسب الصيغة التالية[3]:

$$\tilde{I}_{0,av} = \frac{p_t\, g_{t0}\, g_{r\,max}}{\ell_{452}(20)\ \ell_F} \frac{2\pi\varphi_m r_0}{180\ v_{ESV}\sin\theta_0} \frac{f_{ESV}}{8\,760}(0.565) \quad (11)$$

حيث 8 760 هو عدد الساعات في السنة.

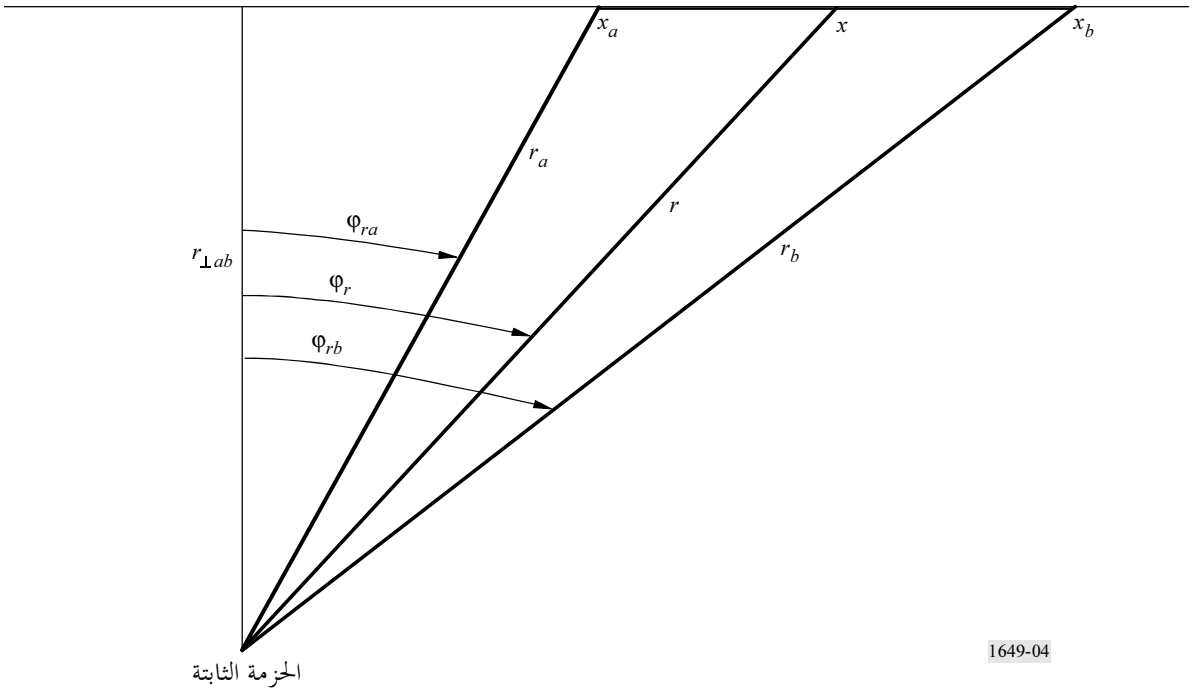
ويلاحظ أن متوسط قدرة التداخل طويل الأجل أقل بكثير من المتوسط الذي يُحدَّد لمحطة أرضية بنفس الخصائص، لو كانت تقع بشكل دائم عند النقطة التي يتقاطع فيها محور الحزمة الرئيسية للخدمة الثابتة مع مسار تشغيل المحطة الأرضية على متن سفينة. وعلى سبيل المثال، فإن زاوية تقاطع تبلغ 90°، وهي الزاوية التي ينتج عنها أقل سوية من التداخل، وبمرور سفينة ما 1 000 مرة بسرعة 5 عُقد (9,261 km/h) على مسافة 20 km، فإن متوسط قدرة التداخل المحدد حسب المعادلة (11) يكون أقل بمقدار 23,8 dB. وفي حالة مماثلة، ولكن حيث تبلغ زاوية التقاطع 20°، يكون المتوسط أقل بمقدار 19,1 dB فقط. وبالطبع، فلا بد من مراعاة مساهمات تشغيل المحطات الأرضية على متن السفن على أجزاء أخرى من طريق التشغيل، إذ إن هذه المساهمات من شأنها زيادة تخفيض هذا الفرق (dB). وحتى لو أمكن إغفال هذه المساهمات الأخرى، فليس واضحًا إن كانت معايير الأجل الطويل أم معايير الأجل القصير ستتحكم في هذه الحالة، ذلك أن معايير الأجل القصير ستُطبق على قدرة التداخل عند تقاطع محور الحزمة الرئيسية مع كفاف التشغيل. وهذا هو السبب الكامن وراء ضرورة تطبيق معايير التداخل القصير الأجل والطويل الأجل على المحطات الأرضية على متن السفن المتحركة.

[3] يُستعمَل الرمز تيلده (~) فوق الرمز المستعمَل للدلالة على متوسط قدرة التداخل للتذكير بأن هذه الكمية هي قدرة بوحدات واط (Watts) في عرض النطاق المرجعي.

2.4 المساهمة في متوسط قدرة التداخل من مقطع دون تقاطع مع الحزمة الرئيسية

الشـــكل 4

هندسة عبور محطة أرضية مقامة على متن سفينة
عبر مقطع من كفاف تشغيل خارج الحزمة الرئيسية لهوائي الخدمة الثابتة



يرد بيان الهندسة والإحداثيات الخاصة بهذه الحالة في الشكل 4. وتعبر السفينة مقطعاً من كفاف التشغيل بين x_a وx_b. وتكون الصياغة شبيهة بصياغة في المعادلة (9)، فيما عدا طول المقطع الذي قد يكون أطول بكثير من عبور عرض حزمة. وبناءً عليه، تتم في هذه الحالة الاستعاضة عن الكسب في اتجاه الأفق للمحطة الأرضية على متن سفينة بقيمته القصوى على السمت الخاص بمستقبل الخدمة الثابتة عند عبوره للمقطع. وبينما يمكن إدراج نمط الكسب الفعلي لهوائي الخدمة الثابتة في عملية تكامل، ثمة مقاربة أبسط تتمثل في افتراض تباين كسب الخدمة الثابتة (dBi) خطياً تبعاً لزاوية السمت بين القيمتين φ_a وφ_b. ويلاحظ أنه يتم قياس زوايا السمت في هذه الصياغة من الخط المتعامد المنحدر من مقر محطة الخدمة الثابتة إلى الخط المتضمن للمقطع من x_a إلى x_b. ويُعتبر التقريب الخطي محافظاً بمعنى أن أنماط كسب الهوائي المرجعية خارج الحزمة الرئيسية إما أن تكون مسطَّحة أو أن تكون مقعَّرة إلى أعلى؛ ولن يحط ذلك من دقة النتائج لأن الفرق عادةً في الكسب من طرف إلى آخر من المقطع ليس فرقاً كبيراً. وبناء عليه، تتم صياغة القدرة المستقبلَة (المقيسة بالواط في عرض النطاق المرجعي) عندما توجد المحطة الأرضية على متن السفينة على هذا المقطع على مسافة x من تقاطع الخط المتعامد المنحدر من محطة الخدمة الثابتة إلى الخط المتضمن للمقطع، كما يلي:

$$p_{r,x} = \frac{p_t \, g_{t,ab}}{\ell_{452.a}(20) \, \ell_F} \, \frac{r_a^2 \, g_{r\varphi_r}}{r_{\perp ab}^2 + x^2} \tag{12}$$

حيث:

p_t: قدرة الإرسال (W) في عرض النطاق المرجعي

$g_{t,ab}$: الحد الأقصى لنسبة كسب هوائي الإرسال باتجاه مستقبل الخدمة الثابتة عندما تكون المحطة الأرضية على متن سفينة بين x_a وx_b

ℓ_F: نسبة خسارة مغذي نظام استقبال الخدمة الثابتة

$\ell_{452.a}(20)$: نسبة خسارة الانتشار إلى نقطة x_a، بالصيغة المحسوبة وفقاً للتوصية ITU-R P.452، والتي سيتم تجاوزها طول الوقت باستثناء نسبة 20% منه

$g_{r\varphi_r}$: كسب (كنسبة) هوائي الاستقبال على السمت φ_r إلى النقطة x

$r_{\perp ab}$: المسافة من محطة الخدمة الثابتة إلى الخط المتضمن للمقطع من x_a إلى x_b.

وبافتراض تباين كسب هوائي الاستقبال (dB) خطياً من G_a عند φ_{ra} إلى G_b عند φ_{rb}، يمكن صياغة نسبة الكسب $g_{r\varphi_r}$ كما يلي:

$$g_{r\varphi_r} = g_{ra}\, \mathrm{e}^{\frac{\ln(10)}{10}\left(\frac{G_{rb}-G_{ra}}{\varphi_{rb}-\varphi_{ra}}\right)(\varphi_r-\varphi_{ra})} \tag{13}$$

ويمكن الحصول على متوسط قيمة قدرة التداخل $\overline{p_{r,ab}}$ على المقطع بالصيغة المحددة في المعادلة (10) وذلك بتحقيق التكامل للمعادلة (12) على المسافة من x_a إلى x_b وقسمتها على طول المسافة. وبتغيير متغير التكامل إلى φ_r حيث: $x = r_{\perp ab}\tan(\pi\varphi_r/180)$، نستنتج ما يلي:

$$\overline{p_{r,ab}} = \frac{p_t g_{t,ab}}{\ell_{452.a}(20)\ \ell_F}\ \frac{\pi r_a^2(\varphi_{rb}-\varphi_{ra})\sqrt{g_{ra}g_{rb}}}{180\, r_{\perp ab}(x_b-x_a)}\ \mathrm{sinch}((G_b-G_a)\ln(10)/20) \tag{14}$$

حيث يعبّر عن الزاويتين φ_{ra} وφ_{rb} بالدرجات كما يلي:

$$\mathrm{sinch}(x) = \frac{\sinh(x)}{x}$$

أما الوقت المقيس بالساعات والضروري لعبور سفينة عبر هذا المقطع من طريق تشغيل محطة أرضية مقامة على متن سفينة فقدره $(x_b - x_a)/v_{ESV}$. وإذا كان عدد السفن التي تعبر خلال سنة واحدة عبر الحزمة الرئيسية هو f_{ESV}، يُحدَّد المتوسط المجمع لقدرة التداخل لهذا المقطع والذي يتم حسابه على طول السنة، حسب الصيغة التالية:

$$\tilde{I}_{ab,av} = \frac{p_t\, g_{t,ab}\sqrt{g_{ra}g_{rb}}}{\ell_{452.a}(20)\ \ell_F}\ \frac{\pi r_a^2(\varphi_{rb}-\varphi_{ra})\, f_{ESV}}{180\, r_{\perp ab}\, 8\,760\, v_{ESV}}\ \mathrm{sinch}((G_{rb}-G_{ra})\ln(10)/20) \tag{15}$$

ويكمن الدليل على أن هذا التحليل بدأ بتوسيع مُعامل خسارة الانتشار عند النقطة x_a في العبارة $r_a^2/\ell_{452.a}(20)$ الواردة في المعادلة (15). فلو تم تحديد مُعامل خسارة الانتشار عند النقطة x_b، لكان متوسط قدرة التداخل هو نفسه باستثناء الاستعاضة عن العبارة $r_a^2/\ell_{452.a}(20)$ بالعبارة $r_b^2/\ell_{452.b}(20)$. ولو اختلف معامل خسارة الانتشار الذي تم تجاوزه طول الوقت باستثناء 20% منه على نحو عكسي مع مربع المسافة، لكانت هاتان العبارتان متطابقتين كذلك. وثمة طريقة بسيطة تعوِّض عن الانحراف عن الاعتماد على قانون التربيع العكسي تتمثل في حساب متوسط المعادلتين الحسابيتين، مما يفضي إلى النتيجة التالية:

$$\tilde{I}_{ab,av} = \frac{p_t\, g_{t,ab}\sqrt{g_{ra}g_{rb}}}{2\,\ell_F}\ \frac{\pi(\varphi_{rb}-\varphi_{ra})\, f_{ESV}}{180\, r_{\perp ab}\, 8\,760\, v_{ESV}}\left(\frac{r_a^2}{\ell_{452.a}(20)}+\frac{r_b^2}{\ell_{452.b}(20)}\right) \times \mathrm{sinch}((G_{rb}-G_{ra})\ln(10)/20) \tag{16}$$

3.4 المتوسط المجمع لقدرة التداخل من أحد كفاف تشغيل

يتم تحديد نقاط الكفاف الحرجة بتجزئة كفاف تشغيل المحطة الأرضية على متن سفينة لتكوين مجموعة من مقاطع الخطوط المستقيمة ثم تحديد المواقع الجغرافية للنقاط التي تتواصل فيها أطراف المقاطع. وبعد تحديد موقع السمت لكل نقطة من النقاط الحرجة من مستقبل معين للخدمة الثابتة، يمكن بسهولة تحديد إذا ما كان محور الحزمة الرئيسية لهوائي الخدمة الثابتة يتقاطع مع أي مقطع.

فإن لم تحدث أي تقاطعات مع الحزمة الرئيسية، يمكن تحديد متوسط قيمة التداخل المحتمل عن طريق تجميع مساهمة كل مقطع من كفاف التشغيل باستعمال المعادلة (16).

وإن حدث تقاطع مع الحزمة الرئيسية على أحد المقاطع، فستكون هنالك مساهمة واحدة أو مساهمتان، أو ثلاث مساهمات في المتوسط الإجمالي لاحتمال التداخل من عمليات التشغيل على ذلك المقطع موضوع التقاطع. وتتم إضافة هذه المساهمات إلى المجموع الجزئي لمساهمات كل مقطع من المقاطع المتبقية بالصيغة المحسوبة وفقاً للمعادلة (16).

ويتم تحديد المساهمات الثلاث الممكنة من المقطع موضوع التقاطع كما يلي:

- يتم تحديد مساهمة مقابلة لعبور الحزمة الرئيسية بتطبيق المعادلة (11). فإن كان هذا المقطع يقع تماماً داخل الحزمة الرئيسية لهوائي الخدمة الثابتة، فهذه هي المساهمة الوحيدة لهذا المقطع.
- يمكن تحديد مساهمة جزء أو أجزاء من هذا المقطع خارج الحزمة الرئيسية لهوائي الخدمة الثابتة باستعمال المعادلة (16) بتحديد نقطة أو نقاط الكفاف الحرجة عند حافة الحزمة الرئيسية.

وقد ساد، طيلة هذه المناقشات، الافتراض بأن الكسب في اتجاه الأفق لهوائي الإرسال الخاص بمحطة أرضية مقامة على متن سفينة لا يتباين كثيراً مع تباين السمت. إلا أنه يمكن تعديل هذا الإجراء بسهولة من أجل مراعاة التباين في الكسب في اتجاه الأفق مع تباين السمت. فإن لم يكن لكسب أي هوائي حد أقصى في موقع محطة أرضية على متن سفينة ضمن مقطع ما، يمكن تطبيق متوسط الكسب الذي تم تطبيقه على كسب المستقبل في الفقرة 2.4 على حاصل ضرب نسبتَي كسب الإرسال والاستقبال. وفي هذه الحالة، تصبح المعادلة (16) كما يلي:

$$\tilde{I}_{ab,av} = \frac{p_t \sqrt{g_{ta} g_{ra} g_{tb} g_{rb}}}{2\,\ell_F} \cdot \frac{\pi(\varphi_{rb} - \varphi_{ra}) f_{ESV}}{180\, r_{\perp ab}\, 8\,760\, \nu_{ESV}} \left(\frac{r_a^2}{\ell_{452.a}(20)} + \frac{r_b^2}{\ell_{452.b}(20)} \right) \times \text{sinch}((G_{tb} + G_{rb} - G_{ta} - G_{ra}) \ln(10)/20) \quad (17)$$

حيث:

g_{ta}: نسبة كسب هوائي الإرسال باتجاه مستقبل الخدمة الثابتة عندما تكون المحطة الأرضية على متن سفينة عند نقطة الكفاف الحرجة عند x_a

g_{tb}: نسبة كسب هوائي الإرسال باتجاه مستقبل الخدمة الثابتة عندما تكون المحطة الأرضية على متن سفينة عند نقطة الكفاف الحرجة عند x_b.

أما الخيار الثاني، فهو عندما يكون لكسب هوائي الإرسال حد أقصى بالنسبة إلى مستقبل الخدمة الثابتة عندما تمر المحطة الأرضية على متن سفينة عبر مقطع ما ولا يكون لكسب المستقبل حد أقصى، حيث يمكن الحصول على نتيجة أكثر دقة عن طريق تحديد النقطة الكائنة على المقطع والتي يتعرض فيها مستقبل معين للخدمة الثابتة إلى الحد الأقصى وذلك بوصف هذه النقطة من نقاط الكفاف الحرجة الإضافية التي يمكن استعمالها في تحديد احتمال التداخل في ذلك المستقبل.

5 دراسة مفصلة للتداخل قصير الأجل

تختلف اعتبارات احتمال التداخل قصير الأجل والصادر من المحطات الأرضية على متن السفن في جانبين هامين عن اعتبارات التداخل قصير الأجل التي تم استعمالها في تحديد مسافة قبالة الساحل التي لا داعي بعدها لأن يؤخذ في الاعتبار التداخل الصادر من المحطات الأرضية على متن السفن. وفي تحديد المسافة قبالة الساحل، اقتصرت الدراسة على الحالات التي تعبر فيها هذه المحطات محور الحزمة الرئيسية لهوائي استقبال الخدمة الثابتة. كما اقتصرت الدراسة على الحالة التي يكون فيها مسار العبور متعامداً مع محور الحزمة الرئيسية. وتُراعي الاعتبارات الخاصة بالتداخل قصير الأجل والتي تم تحليلها في هذا القسم كل الاحتمالات، ومن هنا، فهي ستكون موازية للتحليل الذي ورد في القسم السابق.

لدى دراسة احتمال التداخل قصير الأجل الذي يتعرض له مستقبل الخدمة الثابتة من محطة أرضية مقامة على متن سفينة على كفاف تشغيلها، يلزم تحديد قدرة التداخل المحتمل قصير الأجل من كل نقطة من النقاط الحرجة الكائنة على هذا الكفاف وذلك من أجل تحديد النقطة التي تتحكم في التداخل قصير الأجل. ويسود في التحليل التالي الافتراض بأن هنالك نقطة حرجة واحدة تحدد قدرة التداخل المحتمل، والتي يتم تجاوزها لمدة نسبة مئوية محددة من الوقت ويمكن مقارنتها بمعيار التداخل قصير الأجل. وبسبب العلاقات القائمة بين المعلمات، لا يمكن عادةً إجراء تحديد مباشر للنقطة المتحكمة والقدرة المصاحبة لها. وفي حين يوجد العديد من النُهج الممكنة، يبدو النهج الوارد في هذا القسم هو أفضل النهج المباشرة.

وتوخياً للتيسير خلال التحليلات التالية، سيشار إلى نقطة الكفاف الحرجة المحدَّدة بواسطة التقاطع مع الحزمة الرئيسية، عندما يوجد مثل هذا التقاطع، بالرقم 0. أما نقاط الكفاف الحرجة المتبقية، والتي تحدد النقاط التي يغير فيها كفاف التشغيل اتجاهه، فيتم ترقيمها بالتسلسل على امتداد هذا الكفاف وابتداء من 1 إلى N_{ccp} حيث يكون N_{ccp} هو عدد هذه النقاط الحرجة على طريق تشغيل المحطة الأرضية على متن سفينة. ووفقاً للمناقشة الواردة في الفقرة 1.3 وطبقًا للتحليلات الواردة في الفقرة 4، تُحدد القدرة عند مستقبل الخدمة الثابتة (dBW) والتي يتم تجاوزها لمدة نسبة مئوية طولها p_{ST}% من الوقت عندما يتم تشغيل المحطة الأرضية على متن سفينة قرب النقطة رقم (i) من نقاط الكفاف الحرجة، حسب الصيغة التالية:

$$I_{ST,i}(p_{ST}) = P_t + G_{t,i} + G_{r,i} - L_F - L_{452.i}(p_{Li}) \quad (18)$$

حيث:

p_{ST}: النسبة المئوية من الوقت التي يمكن فيها تجاوز سوية القدرة المسموح بها للتداخل قصير الأجل (انظر المعادلة (3))

P_t: قدرة الإرسال (dBW) في عرض النطاق المرجعي

$G_{t,i}$: كسب هوائي الإرسال باتجاه مستقبل الخدمة الثابتة عندما تكون المحطة الأرضية على متن سفينة عند نقطة الكفاف الحرجة رقم (i)، مع افتراض أن قيمة (i) تساوي من 1 إلى N_{ccp} (dBi)

$G_{r,i}$: كسب هوائي الاستقبال باتجاه المحطة الأرضية على متن سفينة عندما تكون هذه المحطة عند نقطة الكفاف الحرجة رقم (i)، مع افتراض أن قيمة (i) تساوي من 1 إلى N_{ccp} (dBi)

L_F: خسارة مغذي نظام استقبال الخدمة الثابتة (dB)

$L_{452.i}(p_{Li})$: خسارة الانتشار إلى نقطة الكفاف الحرجة رقم (i)، بالصيغة المحسوبة وفقاً للتوصية ITU-R P.452، والتي سيتم تجاوزها طول الوقت باستثناء نسبة مئوية (p_{Li}%) منه، مع افتراض أن قيمة (i) تساوي من 1 إلى N_{ccp} (dB).

ويتم تحديد النسبة المئوية من الوقت (p_{Li}) حسب الصيغة التالية:

$$p_{Li} = 100\, p_{ST} / p_{ESVi} \quad (19)$$

حيث:

pESVi: النسبة المئوية من الوقت المصاحبة لتشغيل محطة أرضية على متن سفينة قرب نقطة الكفاف الحرجة رقم (i).

وينبغي عند اللزوم الحد من النسبة المئوية p_{Li} بحيث يتم احتواؤها في الحدود من 0,001% إلى 50% طبقًا لما تتطلبه التوصية ITU-R P.452.

وفي حالة التقاطع مع الحزمة الرئيسية، يمكن إجراء تقدير مباشر للقيم الضرورية. وتكون النسبة المئوية من الوقت المصاحبة لتشغيل محطة أرضية على متن سفينة قرب التقاطع مع الحزمة الرئيسية هو الوقت اللازم لعبور الحزمة الرئيسية لهوائي الخدمة الثابتة عند سوية محددة من الكسب بالنسبة إلى الحد الأقصى من الكسب. وفي هذه التوصية وفي الفقرة 4 تم استعمال عرض يقابل 10 dB. وحفاظًا على الاتساق، ينبغي استعمال نفس هذه القيمة من أجل تحديد احتمال التداخل قصير الأجل. وباستعمال عرض الحزمة الذي يقابل 10 dB كأساس لحساب النسب المئوية (p_{ESV0})، يتحدد ما يلي:

$$p_{ESV0} = 4 \times 10^{-4} \frac{f_{ESV}\, \varphi_m\, r_0}{\nu_{ESV} \sin\theta_0} \quad (20)$$

حيث تم تعريف هذه الرموز لدى اشتقاق المعادلة (11).

يمكننا تحديد $I_{ST,0}$ وهي قيمة القدرة عند مستقبل الخدمة الثابتة التي يتم تجاوزها لمدة نسبة مئوية (p_{ST}%) من الوقت بسبب تشغيل محطة أرضية على متن سفينة في الحزمة الرئيسية لهوائي الخدمة الثابتة، وذلك باستعمال المعادلات من (18) إلى (20). وعلى الرغم من أنه قد توجد مناطق قريبة من نقطة حرجة أخرى على طريق تشغيل هذه المحطة، مما قد يؤدي إلى تحديد قدرة للأجل القصير من شأنها أن تكون عالية بنفس القيمة تقريباً لمدة نفس النسبة المئوية من الوقت، فستتم دراسة حالة واحدة هي القدرة القصوى في الحالة الأسوأ. أما الخيار البديل فهو القيام بتقسيم النسبة المئوية المسموح بها من الوقت (p_{ST}) بين نقاط الكفاف الحرجة هذه.

ومن أجل تحديد قدرة التداخل المحتمل من نقطة كفاف حرجة لا تكون ناتجة عن تقاطع الحزمة الرئيسية مع مقطع من كفاف التشغيل، فلا بد لنا أولاً من تحديد النسبة المئوية المصاحبة من الوقت التي يتم خلالها تشغيل المحطة الأرضية على متن سفينة قرب هذه النقطة. ويتمثل أفضل النهج المباشرة والمحافظة في حساب النسبة المصاحبة لنقطة كفاف حرجة معينة نصف كل من الجزأين المتاخمين لمقاطع التشغيل. وهكذا، فمع الترميز بالعبارة $x_{i,i+1}$ لطول المقطع الكائن بين نقطة كفاف حرجة رقمها (i) ونقطة كفاف حرجة متاخمة لها رقمها (i+1)، تكون النسبة المئوية من الوقت المصاحبة لنقطة الكفاف الحرجة هذه كما يلي:

$$p_{ESVi} = \text{Lesser of } \frac{f_{ESV}}{87.6 \nu_{ESV}} \frac{(x_{i,i-1} + x_{i,i+1})}{2} \text{ and } 100\% \tag{21}$$

ويمكن تحديد كل من قيم قدرة التداخل المحتمل قصير الأجل عند النقاط الحرجة ($i \neq 0$) باستعمال المعادلات (21) و(19) و(18). فتكون أكبر قيمة للقدرة قصيرة الأجل هي قيمة قدرة التحكم الواجبة الاستعمال بالمقارنة مع قدرة التداخل قصير الأجل المسموح بها.

6 ملخص

يصف هذا الملحق مجموعة من الإجراءات التي يمكن استعمالها لتحديد احتمال التداخل الذي يسببه انبعاثات صادرة من محطة أرضية على متن سفينة يتم تشغيلها على كفاف محدد قريباً من البر.

وعلى الرغم من أن هذه الإجراءات يركز على النطاق GHz 6، فيمكن أن يكون نفس النهج قابلاً للتطبيق على النطاق GHz 14، وهو النطاق الذي يتناوله أيضاً القرار (WRC-2000) 82. ويتأثر أداء وصلات الخدمة الثابتة في النطاق GHz 14 بخبو المسيرات المتعددة وبخبو هطول الأمطار، وتتوقف الأهمية النسبية لهاتين الآليتين على مناخ الأرصاد الجوية الراديوية. ومع بقاء الاعتبارات الأخرى ثابتة، تكون ظروف التقاسم مقيدة أكثر عندما يتحكم خبو المسيرات المتعددة في أداء وصلة ثابتة من وصلات الخدمة. ومن هنا ينبغي أن تكون هذه الإجراءات ملائمة كذلك للنطاق GHz 14.

ويمكن الاطلاع على جدول المعلمات الواجبة الاستعمال بصفتها توجيهات لتطبيق هذه الطريقة في التوصية ITU-R SF.1650. وينبغي أن تمثل المعلمات الخاصة بالمحطات الأرضية على متن السفن معلمات النظام الفعلية التي يجب أن تطابق تلك المعلمات المحددة في التوصية ITU-R S.1428. وينبغي أن تمثل المعلمات الخاصة بالوصلات الثابتة كذلك معلمات النظام الفعلية. أما فيما يتعلق بمعايير التداخل، فيمكن الرجوع إلى التوصيتين ITU-R SF.1006 وITU-R SF.1650.

الملحق 3

الطريقة البديلة لحساب التداخل من المحطات الأرضية على متن السفن

1 مقدمة

يقدم هذا الملحق تحليلاً إضافياً للطريقة الواردة في الملحق 2 حتى يمكن تنفيذها كعملية محاكاة كاملة لعمليات المحطات الأرضية على متن السفن. وتتطلب هذه الطريقة وقتاً إضافياً للحساب. وقد تؤدي إلى نتائج أكثر دقة عند وجود سمات للتضاريس الأرضية على امتداد كفاف التشغيل من شأنها التسبب في حجب مستقبل الخدمة الثابتة عن هذه المحطات بطريقة تختلف عما توفره السمات القائمة بين المستقبل ونقاط الكفاف الحرجة. ويمكن أن تُطبق الإجراءات الواردة في هذا الملحق على كفاف التشغيل بكامله، أو على أجزاء من هذا الكفاف، مع تطبيق الإجراء الوارد في الملحق 2 على بقية الكفاف.

2 إجراء المحاكاة

بدايةً، يتم تقسيم كفاف التشغيل إلى عدد كبير (R) من مقاطع الخطوط المستقيمة الصغيرة حتى تصبح (r_i) هي طول المقطع رقم (i) بالكيلومتر، مع (حيث $i = 1$، 2، ...، R). وبصفة عامة، تكون أطوال هذه المقاطع أصغر بكثير من أطوال المقاطع المدروسة في الملحق 2. وفي نهج المحاكاة، يُفترض أنه يمكن إرجاع مساهمة التداخل الناتجة عن عمليات المحطات الأرضية على متن السفن داخل أي مقطع إلى التشغيل عند نقطة الوسط لذلك المقطع. وعندما يتقاطع محور الحزمة الرئيسية لهوائي الخدمة الثابتة مع كفاف التشغيل عند نقطة التقاطع الطبيعية، يجب أن يكون عدد المقاطع عدداً كبيراً بما يكفي لضمان أن تكون نقطة الوسط لمقطع واحد على الأقل قريبة بما يكفي لنقطة التقاطع الطبيعية حتى تكون قيمة كسب الهوائي عند نقطة الوسط لهذا المقطع في حدود dB 1 من الكسب عند نقطة التقاطع الطبيعية هذه.

3 تحديد حدوث التداخل قصير الأجل من خلال المحاكاة

يتطلب تحديد حدوث التداخل قصير الأجل تجميع حالات حدوث هذا التداخل من كل مقطع من كفاف تشغيل المحطة الأرضية على متن سفينة. وعندما يكون هنالك مقطع واحد فقط من كفاف التشغيل منشغلاً في وقت معين، يمكن إضافة نتائج توزيع النسب المئوية من الوقت. وهكذا:

$$p_{ST} = \sum_{i=1}^{R} p_{STi} F_{Yi} \tag{22}$$

حيث:

p_{ST}: النسبة المئوية من الوقت المحسوبة في سنة واحدة والتي يتجاوز فيها التداخل معايير التداخل قصير الأجل، I_{STC}

p_{STi}: النسبة المئوية من الوقت المحسوبة في سنة واحدة والتي من شأن قدرة التداخل أن تتجاوز فيها معايير التداخل، I_{STC}، إذا ثبت موقع المحطة الأرضية على متن سفينة بشكل دائم في الموقع الكائن في مركز المقطع رقم i من كفاف التشغيل

F_{Yi}: الجزء من الوقت في سنة واحدة الذي تكون فيه المحطة الأرضية على متن سفينة في المقطع رقم i.

يتم تحديد النسبة المئوية من الوقت p_{STi} انطلاقًا من خسارة الانتشار L_{STi} بالنسبة إلى المسير من مركز المقطع رقم i، وهو المقطع الضروري للوصول بقدرة التداخل عند مستقبل الخدمة الثابتة إلى قيمة I_{STC}. ويعني ذلك ما يلي:

$$L_{STi} = P_t + G_{t,i} + G_{r,i} - L_F - I_{STC} \quad (23)$$

حيث:

L_{STi}: خسارة الانتشار التي يجب أن تتجاوزها الخسارة من مركز المقطع رقم (i) إلى مستقبل الخدمة الثابتة، إذا كانت قدرة التداخل المطلوبة أقل من القيمة الحرجة، I_{STC} (dB)

P_t: قدرة الإرسال (dBW) في عرض النطاق المرجعي

$G_{t,i}$: الكسب في اتجاه الأفق لهوائي الإرسال الخاص بالمحطة الأرضية على متن سفينة باتجاه مستقبل الخدمة الثابتة عندما تكون هذه المحطة في مركز المقطع رقم (i) (dBi)

$G_{r,i}$: كسب هوائي استقبال الخدمة الثابتة باتجاه المحطة الأرضية على متن سفينة عندما تكون هذه المحطة في مركز المقطع رقم (i) (dBi)

L_F: خسارة مغذي نظام استقبال الخدمة الثابتة (dB)

I_{STC}: قدرة التداخل الحرجة عند مستقبل الخدمة الثابتة التي يتم بشأنها تحديد النسبة المئوية من الوقت المسموح بها لمعيار التداخل قصير الأجل (dBW).

يتم تحديد النسبة المئوية من الوقت (p_{STi}) بصفتها النسبة المئوية من الوقت التي تكون فيها خسارة الانتشار بالنسبة إلى المسير المنطلق من مركز المقطع (p) $L_{452.i}$ رقم (i)، وهي الخسارة المحسوبة وفقًا للتوصية ITU-R P.452، مساوية للخسارة المطلوبة L_{STi} أو أكبر منها. وعلى الرغم من ذلك، فإن نموذج الانتشار المحدد في التوصية ITU-R P.452 يحدد فقط خسارة الانتشار التي يتم تجاوزها طول الوقت باستثناء النسبة المئوية (p) عندما تكون (p) بين 0,001% و50%. وبالتالي، فبالنسبة إلى نماذج الانتشار هذه، يصح ما يلي:

$$p_{STi} = \begin{cases} 100 \quad \text{for} & L_{452.i}(50) < L_{STi} \\ \text{value such that} & L_{452.i}(p_{STi}) = L_{STi} \\ 0.001 \quad \text{for} & L_{452.i}(0.001) > L_{STi} \end{cases} \quad (24)$$

وعندما تكون النسبة المئوية من الوقت (p_{STi}) بين 0,001% و50% من الوقت، قد تتطلب الاستجابة للمعادلة (24) تنفيذ إجراء تكراري لتحديد النسبة المئوية من الوقت انطلاقاً من خسارة الانتشار المقررة.

إذا كانت سرعة المحطة الأرضية على متن سفينة ثابتة على الجزء من كفاف التشغيل الذي يتم تنفيذ المحاكاة من أجله، وإذا كان عدد السفن التي تمر في السنة الواحدة عبر كفاف التشغيل يساوي f_{ESV}، وإذا كان للمقطع رقم (i) الطول (r_i)، يمكن تحديد المعلم (F_{Yi}) في المعادلة (22) كما يلي:

$$F_{Yi} = \frac{f_{ESV} \cdot r_i}{8\,760\,\nu_{ESV}} \quad (25)$$

وفضلاً عن ذلك، إذا كان لكل المقاطع نفس الطول (r_0) (بالكيلومتر)، يكون المعلم (F_{Yi}) ثابتاً، ويمكن تبسيط المعادلة (22) كما يلي:

$$p_{ST} = \frac{f_{ESV} \cdot r_0}{8\,760\,\nu_{ESV}} \sum_{i=1}^{R} p_{STi} \quad (26)$$

4 تحديد التداخل طويل الأجل من خلال المحاكاة

يمكن تحديد التداخل طويل الأجل الناتج عن عمليات المحطات الأرضية على متن السفن على امتداد كفاف التشغيل باستعمال العديد من نفس الكميات المحسوبة لتحديد التداخل قصير الأجل. ويتم تحديد التداخل طويل الأجل كمتوسط قيمة قدرة التداخل. وتُستعمل قدرة التداخل التي يتم تجاوزها لمدة 20% من الوقت لو ثبت موقع المحطة الأرضية على متن سفينة بشكل دائم عند مركز مقطع الكفاف رقم (i)، كقيمة تقديرية لمتوسط قدرة التداخل لهذا المقطع. ومن ثم يمكن التعبير عن قدرة التداخل طويل الأجل، (I_{LT})، بصفتها مجموع المساهمات من كل مقطع مع ترجيح كل مقطع بالجزء من السنة الذي تكون فيه تلك المحطة داخل هذا المقطع. وهكذا:

$$I_{LT} = 10 \log\left(\sum_{i=1}^{R} \tilde{I}_{LT,i} F_{Yi}\right) \quad \text{dBW} \tag{27}$$

حيث:

$$\tilde{I}_{LT,i} = 10^{\left(P_t + G_{t,i} + G_{r,i} - L_F - L_{452.i}(20)\right)/10} \quad \text{W} \tag{28}$$

أما بالنسبة إلى كل الكميات الأخرى، فقد تم تحديدها سابقاً.

ويلاحظ أنه يمكن حساب الخسارة $L_{452.i}$ (18) مباشرةً طبقاً للتوصية ITU-R P.452. وعلاوة على ذلك، لما كانت المساهمات من كل عبور لكل سفينة مساهمات تجمعية، فليست هنالك أي تعقيدات بسبب الشغل المتزامن لمقاطع متعددة على كفاف التشغيل. ويمكن مقارنة قدرة التداخل المحددة في المعادلة (3) مباشرة بمعيار التداخل طويل الأجل لمستقبل الخدمة الثابتة.

5 إجراءات المحاكاة السريعة

في الحالات التي توجد فيها نقطة تقاطع طبيعية على كفاف تشغيل المحطة الأرضية على متن سفينة، حيث يتقاطع محور الحزمة الرئيسية لهوائي استقبال الخدمة الثابتة مع كفاف التشغيل، يكون غالباً من الممكن تبسيط الإجراءات الواردة في القسمين 3 و4. وبسبب الكسب المرتفع للحزمة الرئيسية للهوائيات النمطية للخدمة الثابتة، من المرجح أن يتم استقبال أعلى قيم لقدرة التداخل عندما يتم تشغيل تلك المحطة بالقرب من نقطة التقاطع الطبيعية.

وهكذا فسوف تحدث القيم العليا لقدرة التداخل التي قد تتجاوز سوية القدرة الحرجة لمعيار التداخل قصير الأجل فقط بسبب عمليات المحطة الأرضية على متن سفينة قرب نقطة التقاطع الطبيعية. ولذلك فسوف يكون من الضروري تنفيذ الإجراء الوارد في القسم 3 فقط بالنسبة لجزء من كفاف التشغيل. وسيكون الجزء الواقع بين نقطتين على كفاف التشغيل، حيث يكون كسب هوائي الخدمة الثابتة 10 dB أقل من الحد الأقصى، كافياً في أغلب الحالات طبقاً للفقرتين 1.2.2 و3.2.2 من الملحق 1 وللفقرتين 1.4 و5 من الملحق 2.

وعلى الرغم من أنه يمكن للمرء أن ينفذ إجراءً مماثلاً على أساس النهج الوارد في الفقرة 5 من الملحق 2، يشمل نهج المحاكاة على نحو أدق أثر شكل حزمة الهوائي على النسبة المئوية المحسوبة من الوقت الذي يتم فيه تجاوز القدرة الحرجة.

ويمكن كذلك استعمال طرائق المحاكاة السريعة بغية دراسة آثار التداخل طويل الأجل، ولكن إيلاء المزيد من العناية ضروري في هذه الحالة. وسيستقبل مستقبل الخدمة الثابتة سوية أقل من التداخل من خلال الفصوص الجانبية للهوائي لفترات أطول بكثير من الوقت. وهذه الأنواع من الأحداث هي الأنواع المحددة التي ينبغي أن تغطيها أي منهجية لتقدير التداخل طويل الأجل. وبسبب النسب المئوية الأكبر من الوقت والمصاحبة لحالات التعرض من خلال الفصوص الجانبية، سيكون الجزء من كفاف التشغيل الذي ينبغي إدراجه في المحاكاة أكبر في هذه الحالة منه بالنسبة إلى الاعتبارات قصيرة الأجل. وينبغي تحديد الجزء من كفاف التشغيل الذي ينبغي دراسته من خلال عملية حساب تكييفية.

إذا لم يتم الامتثال لمعيار التداخل قصير الأجل بالنسبة لمستقبل معين، لن يكون من الضروري إجراء تحليل للتداخل طويل الأجل بالنسبة لذلك المستقبل.

وجدير بالملاحظة أن هنالك دائماً ظروفاً من شأنها أن تضع صلاحية طرائق المحاكاة السريعة محل تساؤل. وتحدث حالة واحدة عندما يتقاطع محور الحزمة الرئيسية لهوائي الخدمة الثابتة مع كفاف تشغيل المحطة الأرضية على متن سفينة عند زاوية تتجاوز، مثلاً، 75°، من الخط المتعامد. ويمكن أن تحدث حالة أخرى عندما يكون لكفاف التشغيل انحناء داخله يجعل مسير التداخل إلى نقطة التقاطع الطبيعية مسيراً عبر الأفق. ولو كان كفاف التشغيل قريباً من مستقبل الخدمة الثابتة، فعلى الأرجح أنه سيكون من الضروري إجراء تقديرات للتداخل على جزء كبير من كفاف التشغيل.

6 تحديد توزيع القدرة الكاملة للتداخل من خلال المحاكاة

يمكن كذلك تحديد النسبة المئوية من الوقت (p_I) التي يتم خلالها تجاوز سوية عشوائية وسيطة للتداخل (I) باستعمال الإجراء الموصوف في القسم 3 من الملحق الحالي وذلك ببساطة بالاستعاضة عن I_{STC} بسوية التداخل (I) ثم حل المعادلات (23) و(24) و(22)، حسب هذا الترتيب. ويميز الزوج المتواصل (I, p_I) دالة التوزيع التكميلية التراكمية (*ccdf*) لقدرة التداخل. وتنطبق نفس القيود الواردة في القسم 3 على هذه الحسابات.

ويمكن استعمال التوزيع الكامل للنسبة المئوية من الوقت التي يتم فيها تجاوز قدرة التداخل للحصول على متوسط قيمة قدرة التداخل التي تم استقبالها، للمقارنة بمعيار التداخل طويل الأجل. ويجدر بالملاحظة أنه إذا وجدت نسب مئوية من الوقت تم فيها تجاوز القدرة الحرجة للتداخل قصير الأجل، فقد يحدث تجاوز معيار التداخل قصير الأجل وعندها لن يكون هنالك داع للتوصل إلى التوزيع الكامل. ولدواعي التبسيط، يُفترض هنا أن قدرة التداخل قصير الأجل لم يتم تجاوزها. وفي هذه الحالة، يتطلب تحديد متوسط قدرة التداخل تحويل توزيع قدرة التداخل إلى دالة التوزيع التكميلية التراكمية لقدرة التداخل المقيسة بالواط. وباستعمال التكامل عن طريق الأجزاء، يمكن الاستدلال بسهولة على أنه يمكن الحصول على متوسط قدرة التداخل في صيغة تكامل هذا التوزيع المحسوب على جميع قيم القدرة.

ومن الواضح أن هذه الطريقة لتحديد متوسط قدرة التداخل مكثَّفة من الناحية الحسابية أكثر من الطريقة الواردة في القسم 4 من الملحق 2 أو القسم 4 من هذا الملحق.

الملحق 4

المعلمات التقنية المطلوبة لمطابقة الهوائيات الأصغر في النطاق GHz 14

يتطلب القرار (WRC-03) 902 أن تكون هوائيات المحطات الأرضية على متن السفن التي يقل قطرها عن الحد الأدنى الحالي البالغ 1,2 متر للنطاق GHz 14,5-14,0 مطابقة للحدود الخاصة بأربع معلمات تقنية محددة. وهذه المعلمات واردة في الملحق 2 من القرار (WRC-03) 902. وهي معلمات تم تصميمها لحماية الخدمات الأرضية التي يمكن أن تكون متقاسمة للنطاق ولحماية السواتل المجاورة للساتل الذي تتصل بواسطته المحطة الأرضية على متن السفينة. وفضلا عن ذلك، يجب أن تمتثل الهوائيات الأصغر لمتطلبات الحماية المقررة في اتفاقات التنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخاصة بالساتل الذي تقوم هذه المحطة بالاتصال من خلاله.

وتتمثل المعلمات المحددة الأربع والحدود الضرورية لمطابقة الهوائيات الأصغر فيما يلي:

أ) دقة التتبع بقدر ±0,2° أو أفضل؛

ب) الحد الأقصى للكثافة الطيفية للقدرة المشعة المكافئة المتناحية للمحطة الأرضية على متن سفينة باتجاه الأفق بمقدار 12,5 dB (W/MHz)؛

ج) الحد الأقصى للقدرة المشعة المكافئة المتناحية للمحطة الأرضية على متن سفينة باتجاه الأفق بمقدار 16,3 dBW؛

د) الحد الأقصى لكثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية خارج المحور الرئيسي ضمن الحدود المذكورة أدناه.

الحدود خارج المحور الرئيسي

أما بالنسبة للمحطات الأرضية على متن السفن العاملة في النطاق 14,5-14,0 GHz، عند أي زاوية φ محددة أدناه، خارج محور الفص الرئيسي لهوائي محطة أرضية، فقد جاء بيان الحد الأقصى للقدرة المشعة المكافئة المتناحية في أي اتجاه ضمن 3° من المدار الساتلي المستقر بالنسبة إلى الأرض في الملحق 2 من القرار (WRC-03) 902.

1 المطابقة مع اتفاقات التنسيق بين الأنظمة

تعتمد الإدارات إجراءات الترخيص للمطاريف ذات الأقطار المساوية للحدود الدنيا المحددة في اتفاق أو اتفاقات التنسيق بين الأنظمة ذات الصلة أو التي تكون أكبر من تلك الحدود. وعلى الرغم من ذلك، فينبغي للمشغلين الذين يودون استعمال هوائيات أصغر من الحدود، لاحتياجات إرسال محددة، التوصل إلى اتفاق مع الإدارات المتأثرة ومع تلك الإدارات الأطراف في اتفاقات التنسيق ذات الصلة بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية.

2 الأثر على المسافة الدنيا المحددة في التوصية ITU-R SF.1650-1

يتطلب القرار (WRC-03) 902 كذلك مراعاة أحكام التوصية ITU-R SF.1650-1 عند الترخيص لهوائيات محطة أرضية على متن سفينة تكون أصغر من الحدود الدنيا المقررة. وتحدد التوصية ITU-R SF.1650-1 المسافة الدنيا من علامة انحسار المياه كما أقرتها رسمياً الدولة الساحلية التي يمكن أن يتم تشغيل هذه المحطة بعدها دون اتفاق مسبق من أي إدارة. وبالنسبة إلى النطاق 14,5-14,0 GHz تكون المسافة الدنيا 125 km من العلامة المرجعية لانحسار المياه. وعندما يتم تشغيل المحطات الأرضية على متن السفن الخاصة بالإدارات التي يُحتمل أن تتأثر ضمن هذه المسافة، يصبح الاتفاق المسبق بين هذه الإدارات ضرورياً.

وقد بيّنت الدراسات السابقة في قطاع الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات أن العامل الهام في تحديد المسافة الدنيا هو الحد الأقصى من القدرة المشعة المكافئة المتناحية باتجاه الأفق، والذي من شأن نظام الخدمة الثابتة أن يستقبله. وفي القرار (WRC-03) 902، يتم التعبير عن ذلك في نفس الوقت كحد أقصى لسوية القدرة المشعة المكافئة المتناحية وحد أقصى لكثافة هذه القدرة باتجاه الأفق. وتستند قيم هذه القدرة المشعة المكافئة المتناحية إلى الحد الأقصى لقدرة إرسال المحطة الأرضية على متن سفينة عند الشفة وكسب الهوائي باتجاه الأفق.