

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R F.1107-2
(2011/05)

التحليل الاحتمالي لتقييم التداخل على
الخدمة الثابتة من سواتل تستعمل
المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض

السلسلة F
الخدمة الثابتة

تمهيد

يوظف قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد مدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها. ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهروتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد الاستمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en> حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>)

العنوان	السلسلة
البث الساتلي	BO
التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية	BR
الخدمة الإذاعية (الصوتية)	BS
الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)	BT
الخدمة الثابتة	F
الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة	M
انتشار الموجات الراديوية	P
علم الفلك الراديوي	RA
أنظمة الاستشعار عن بعد	RS
الخدمة الثابتة الساتلية	S
التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية	SA
تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة	SF
إدارة الطيف	SM
التجميع الساتلي للأخبار	SNG
إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت	TF
المفردات والمواضيع ذات الصلة	V

ملاحظة: تمت الموافقة على النسخة الإنكليزية لهذه التوصية الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.

النشر الإلكتروني

جنيف، 2011

© ITU 2011

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التوصية ITU-R F.1107-2*

التحليل الاحتمالي لتقييم التداخل على الخدمة الثابتة من سواتل تستعمل المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض

(2011-2002-1994)

مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية طرائق لتقييم معايير التقاسم بالنسبة للتداخل من سواتل تستعمل المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض على أنظمة لا سلكية رقمية ثابتة. ويقدم الملحق 1 طريقة لحساب التداخل على الأنظمة الرقمية مع ملخص لمنهجية الحساب، كما يتضمن أمثلة ونموذج برمجية لتنفيذ المنهجية.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

- أ) أن الإرسالات الصادرة عن المحطات الفضائية العاملة في المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض وتتنافس الطيف نفسه، يمكن أن تنتج تداخلات على محطات استقبال الخدمة الثابتة؛
- ب) أنه قد لا يكون مناسباً من الناحية العملية التنسيق بين الكثير من محطات الأرض والكثير من المحطات الفضائية، وبالتالي، ينبغي وضع معايير للتقاسم للاستغناء عن التنسيق المفصل؛
- ج) أنه يجب، عند وضع معايير التقاسم هذه، مراعاة المتطلبات التشغيلية والتقنية للشبكات العاملة في الخدمة الساتلية فضلاً عن متطلبات الخدمة الثابتة والتدابير المتاحة بشأنها؛
- د) أنه تحدد أن الأساس الاحتمالي لوضع معايير التقاسم أدى إلى استعمال بكفاءة أكبر من المعايير التي يتم وضعها باستعمال تحليل الحالة الأسوأ؛
- هـ) أنه من الصعب والمجهد جمع معلومات كافية ودقيقة إحصائياً عن الوضع الحقيقي لمحطات الأنظمة الأرضية والساتلية القائمة والمخططة؛
- و) أن عمليات المحاكاة الحاسوبية للخدمات الثابتة والساتلية العاملة في المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض يمكن أن تنتج معلومات دقيقة إحصائياً تلائم وضع معايير التقاسم لمجموعة واسعة من سيناريوهات التقاسم،

توصي

- 1 بأنه يمكن للمعلومات المشتقة من عمليات المحاكاة الحاسوبية للخدمات الثابتة والساتلية العاملة في المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض والتي تستعمل طيف الترددات نفسه، أن تكون مقبولة بالنسبة لوضع معايير التقاسم؛
- 2 بأنه عند وضع معايير التداخل للأنظمة الرقمية العاملة في الخدمة الثابتة، ينبغي مراعاة المواد الواردة في الملحق 1 لتقييم التداخل من الخدمة الثابتة على الخدمة الثابتة الرقمية.

* ترفع هذه التوصية لعناية لجان الدراسات 4 و6 و7 بقطاع الاتصالات الراديوية.

الملحق 1

معلومات لتقييم التداخل على أنظمة الخدمة الثابتة الرقمية من إرسالات المحطات الفضائية العاملة في المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض

1 مقدمة

يقدم هذا الملحق معلومات إضافية ضرورية لتقييم التداخل على أنظمة الخدمة الثابتة التي تستخدم التشكيل الرقمي. وتوفر المنهجية إحصائيات بشأن كل من قيم النسبة تداخل إلى ضوضاء (I/N) للمحطات الفردية وقيم الانحطاط الجزئي في الأداء (FDP) للمسيرات. والمنهجية المستخدمة في تقييم الانحطاط الجزئي في الأداء للمسير والمشروحة في الفقرة 3 لا تصلح إلا عندما لا تكون النسبة I/N لمحطة الاستقبال في هذا المسير كبيرة بما يكفي لدفع المستقبل نحو المدى غير الخطي. وبالتالي، يفضل قيام المستعمل بتقييم إحصاءات النسبة I/N لكل مستقبل، على النحو المبين في الفقرة 2، وذلك قبل تقييم إحصاءات الانحطاط الجزئي في الأداء على أساس تعدد القفزات، كما هو مبين في الفقرة 3. ويطبق هذا الملحق على أنظمة الخدمة الثابتة الرقمية التي يسود فيها الحبو الناجم عن تعدد المسيرات بشكل عام ولا يطبق على الأنظمة التي يسود فيها التوهين الناجم عن الهواطل بشكل عام.

2 التحليل لكل محطة على حدة

في حالة أنظمة الخدمة الثابتة الرقمية من نقطة-إلى-نقطة (P-P) ومن نقطة-إلى-عدة نقاط (P-MP)، يفضل تقييم التداخل من منظور الانحطاط الجزئي في الأداء على النحو المعرف للتداخل المتغير مع الزمن من سواتل في مدارات غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض في الملحق 3 من التوصية ITU-R F.1108. وكمراجع قياسي، عندما لا يكون هناك غير محطة واحدة للخدمة الثابتة، فإن قيمة الانحطاط FDP_{hop} نتيجة لإسهامات التداخل من السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض يمكن تحديدها عند نقطة أي مستقبل كالتالي، مع الأخذ في الاعتبار أن مستوى التداخل لا يتغير مع الزمن على الأغلب:

$$(1) \quad FDP_{hop} = \frac{I}{N_T}$$

حيث:

I : التداخل الإجمالي (W/MHz) من السواتل المرئية على مستقبل الخدمة الثابتة

N_T : الضوضاء الحرارية للمستقبل (W/MHz).

ويمكن استعمال المنهجية الواردة في التذييل 2 بهذا الملحق لتقييم إحصاءات النسبة I/N .

وإذا استدعى الأمر تحديد أثر التداخل على مستقبلات الخدمة الثابتة الرقمية التي تستخدم التنوع، قد يكون من الأنسب استعمال معادلة مختلفة لتقييم الانحطاط FDP_{hop} على النحو المبين في الملحق 4 بالتوصية ITU-R F.1108.

3 أنظمة الخدمة الثابتة متعددة القفزات من نقطة إلى نقطة

بالنسبة لأنظمة الخدمة الثابتة الرقمية ذات العدد n من القفزات والتي تعمل على ترددات يسود فيها عموماً الحبو الناجم عن تعدد المسيرات ومع التسليم بأن أهداف الأداء، بوجه عام، لأنظمة الخدمة الثابتة متعددة القفزات من نقطة إلى نقطة موضوعة على أساس المسير، يمكن استخدام طريقتين للتقييم الاحتمالي. الأولى يرد شرحها في الفقرة 2، فيما تستخدم الثانية لتقييم

الانحطاط الجزئي في الأداء للمسير كنسبة للقدرة الإجمالية للتداخلات إلى القدرة الإجمالية للضوضاء في اتجاه واحد للمسير كالتالي:

$$(2) \quad FDP_{route} = \frac{\sum_{k=1}^n (I_k)}{n \times N_T}$$

حيث I_k ، التداخل الإجمالي الواقع على المستقبل رقم k من السواتل المرئية.

وتجدر الإشارة إلى أن المعادلة (2) تقوم على افتراض:

- أن الإشارة الرقمية تتولد في كل مكرر من المكررات؛
- أن للخبو خصائص رايلي.

كما تجدر الإشارة إلى أنه، عند تقييم الانحطاط FDP_{route} لأنظمة الخدمة الثابتة الرقمية التي تستخدم التنوع، ينبغي استعمال معادلة مناسبة تختلف عن المعادلة (2). وهناك حاجة إلى مزيد من الدراسات في هذا الصدد.

وعلى الرغم من وجود أنماط متنوعة للخبو، يعتبر خبو رايلي الأخطر في مسيرات خط البصر ويعتبر عاملاً حاسماً في تقييم أداء أنظمة الخدمة الثابتة. والسمة المميزة لخبو رايلي تتمثل في أن الاحتمال البالغ 10 dB أعمق في الخبو، على سبيل المثال يصبح أقل بمعامل يبلغ 1/10. وبالتالي، في حال وجود تداخل لا يتغير مع الزمن في قفزة ويكون مستواه مساوياً لمستوى الضوضاء الحرارية (أي أن النسبة I/N تساوي 0 dB)، فإن احتمال الثواني شديدة الأخطاء (أو احتمال عدم وجود وقت متاح) سيصبح ضعف قيمة الاحتمال في حالة عدم وجود تداخلات.

ولمفهوم الانحطاط FDP بعض القيود، يعد فيها الافتراض الأهم أن يستمر تشغيل مستقبل الخدمة الثابتة في مدى استجابة خطية. ففي حال وجود مستوى عال جداً من التداخل يؤدي إلى تشغيل مستقبل الخدمة الثابتة في مدى استجابة غير خطية، لا يطبق مفهوم الانحطاط أو سيؤدي إلى التقليل من أثر التداخل (انظر الفقرة التي تلي المعادلة (16) في الملحق 3 بالتوصية ITU-R F.1108). بيد أنه طالما استمر تشغيل مستقبل الخدمة الثابتة في مدى استجابة خطية، فإن المعادلة (2) تعتبر سارية لأنظمة الرقمية متعددة القفزات في الخدمة الثابتة.

لا تؤدي المناقشة المتضمنة في الفقرة السابقة إلى استنتاج بأنه ينبغي فقط تقييم الانحطاط FDP على أساس المسير. ويعد التقييم على أساس الحطة للانحطاط FDP على قدر كبير من الفائدة أيضاً لفهم تأثيرات التداخل.

ويفترض أن مسافة القفزة النمطية لأنظمة طويلة المدى 50 km، بيد أنه ربما تكون مسافة أقصر للقفزة ملائمة لأنظمة قصيرة المدى، وذلك طبقاً لعوامل مختلفة من بينها تردد التشغيل وتأثيرات الانتشار. فمثلاً إذا كان تردد التشغيل في المدى 1-3 GHz، فإن الانتقاء العشوائي بين مسافتين محددتين (بين 10 و 30 km مثلاً) قد يكون ملائماً كمسافات نمطية للقفزة.

وينبغي انتقاء مسيرات الخدمة الثابتة قيد البحث طبقاً لنهج محاكاة مونت كارلو على أن تنتقى نقطة بدء المسير عشوائياً ضمن إطار اختبار محدد من المستعمل بقيمتين الخطي العرضي والطول.

وعند إجراء تحليل المسير لأنظمة الرقمية المتأثرة بخبو تعدد المسيرات، ربما لا تكون هناك ضرورة أن تفي كل قفزة فردية بمعيار النسبة I/N . بيد أن الأداء الإجمالي للمسير يجب أن يفي بمعيار الانحطاط FDP. ويرد شرح هذه المسألة أدناه.

عندما يكون الخبو الناجم عن تعدد المسيرات هو آلية الخبو السائدة، ترجع التوصية ITU-R P.530 احتمال حدوث انقطاع في القفزة $P_{(hop\ outage)}$ إلى هامش الخبو الحراري للوصلة TFM:

$$P(hop\ outage) = K \cdot d^{3.6} \cdot f^{0.89} \cdot (1 + |h_r - h_e|/d)^{-1.4} \cdot 10^{-TFM/10}$$

حيث:

- K : عامل جيومناحي
 d : طول الوصلة (km)
 f : التردد (GHz)
 h_e, h_r : ارتفاعا هوائيين الإرسال والاستقبال (عدد الأمتار فوق مستوى البحر أو أي مرجع مشترك)
 TFM : هامش الخبو الحراري على القفزة (dB).

$$TFM = 10 \log \left(\frac{C}{N_T} \right) - CNC$$

حيث:

- $10 \log \left(\frac{C}{N_T} \right)$: النسبة موجه حاملة إلى ضوضاء (C/N) بدون خبو (dB)
 CNC : قيمة النسبة C/N التي يتم عندها الوفاء بالكاد بمعيار الأداء (dB)

الضبط

$$K \cdot d^{3.6} \cdot f^{0.89} \cdot (1 + |hr - he|/d)^{-1.4} \cdot 10^{-CNC/10} = \gamma$$

وبالتالي:

$$P(\text{hop outage}) = \gamma \cdot N_T / C$$

وعلى ذلك:

$$P(\text{انقطاع القفزة قبل التداخل الساتلي}) = \gamma \cdot N_T / C$$

$$P(\text{انقطاع القفزة بعد التداخل الإجمالي الساتلي}) = \gamma \cdot (N_T + I) / C$$

بحيث تكون التغيرات C و N_T و I بوحدات قدرة متناسقة.

ويفرض:

- أن كل قفزة مصممة بحيث يكون لها قيمة اسمية مشابهة لاحتمال الانقطاع قبل التداخل الساتلي؛
- أن الخبو في القفزات مستقل، وأن حالات إضافة احتمالات الانقطاعات نادرة إلى حد كبير،

فإن القيمة الاسمية الخالصة لاحتمال الانقطاع بالنسبة للمسير تكون:

$$\text{الاحتمال } (P) (\text{انقطاع المسير}) = \text{مجموع } (P) (\text{احتمال } P (\text{انقطاع القفزة})) \text{ لعدد القفزات في المسير}$$

وعلى ذلك، تكون الزيادة الجزئية في احتمال انقطاع المسير نتيجة لهامش خبو منحط على كل فقرة داخل المسير كالتالي:

$$\frac{\text{الاحتمال } P (\text{انقطاع المسير}) - \text{الاحتمال } P (\text{انقطاع المسير بدون تداخل})}{\text{الاحتمال } P (\text{انقطاع المسير بدون تداخل})} = FDP$$

$$= \frac{\sum (\gamma \cdot (N_T + I) / C) - \sum (\gamma \cdot N_T / C)}{\sum (\gamma \cdot N_T / C)}$$

$$= \frac{\sum I}{\sum N_T}$$

أي أن الانحطاط FDP للمسير يساوي إجمالي قدرة التداخل على المسير مقسوماً على القدرة الإجمالية للضوضاء في المسير:

$$= \frac{\sum I}{n \cdot N_T} \quad \text{كنسبة قدرة}$$

$$= 100 \frac{\sum I}{n \cdot N_T} \quad \text{كنسبة مئوية}$$

وبالتالي، من المناسب استعمال منح الانحطاط FDP لتقييم أثر التداخل على مسير في الخدمة الثابتة مع استعمال النسب المئوية (بدلاً من dB).

وفي الأنظمة من نقطة-إلى-عدة نقاط، تكون معظم الوصلات أحادية القفزة وبالتالي تطبق المعادلة (1). وفي الأنظمة من نقطة-إلى-نقطة، تكون عمليات النشر متعددة القفزات هي الحالة الأغلب وبالتالي تطبق المعادلة (2).

4 أنظمة الخدمة الثابتة من نقطة-إلى-عدة نقاط

ينبغي تقييم التداخل على محطات مركزية في الأنظمة من نقطة-إلى-عدة نقاط طبقاً للفقرة 2 في حالة التشكيل الرقمي، بيد أنه تجدر الإشارة إلى أن هذه المحطات تستخدم هوائيات شاملة الاتجاهات أو قطاعية. ويرد وصف مخططات الإشعاع المرجعية لهذه الهوائيات في المستوى الرأسي في التوصية ITU-R F.1336. ويمكن تقييم، إن أمكن، تأثير إمالة حزم الهوائيات لأسفل عند تقييم التداخل.

كما ينبغي تقييم التداخل على محطات المشتركين في أنظمة الخدمة الثابتة من نقطة-إلى-عدة نقاط طبقاً للفقرة 2 في حالة التشكيل الرقمي. وفي هذه الحالة، يفترض عامة أن اتجاهات السمات لهوائيات محطات المشتركين موزعة بانتظام عبر الدائرة الكاملة للزوايا (0°-360°) مع ملاحظة أن تفادي الاصطدام على المدار غير مجد بوجه عام لهذه الأنظمة.

5 منطقة الاختبار

يجري توزيع عدد كبير من مسيرات ومحطات الخدمة الثابتة (لضمان الاستقرار والتقارب في الإحصاءات) في اتجاهات خطي العرض والطول والسمت في منطقة اختبار يحددها المستعمل. ولضمان التعرض المنتظم لجميع زوايا السقوط، ينبغي أن يكون بعد منطقة الاختبار في اتجاه خط الطول مضاعفاً صحيحاً للمباعدة الساتلية في حالة السواتل ذات المباعدة المنتظمة وأن يكون بعد منطقة الاختبار في اتجاه خط العرض كبيراً بما يكفي. ويمكن بدلاً من ذلك تحديد منطقة الاختبار بحيث تضم أراضي إدارة ما بحيث يمكن تقييم معالم خاصة بأنظمة هذه الإدارة. وفي هذه الحالة، يمكن تحديد مواقع السواتل.

6 كوكبة السواتل

يفترض عادة مدار كامل لسواتل بينها مباعدات متساوية عند دراسة خدمة ساتلية جديدة. ويمكن بدلاً من ذلك تأمين مواقع للسواتل يحددها المستعمل. وهناك خيار آخر يتمثل في السماح بمواقع عشوائية داخل قوس مدارية محددة. وينبغي للنموذج أن يسمح بتفادي الاصطدام على المدار في الحالات التي تكون فيها هذه التقنية مناسبة عملياً للخدمة الثابتة. وبوجه عام، لا يمكن لأنظمة الخدمة الثابتة التي يتم نشرها في كل مكان أن تستفيد من هذه التقنية.

7 قناع كثافة تدفق القدرة (pfd)

يفترض أن جميع السواتل ترسل المستويات القصوى المسموح بها من قناع الكثافة pfd المفترض. وهذا الافتراض متحفظ بالنسبة لمستوى التداخل. ويتكون القناع من مقاطع مستقيمة من الكثافة pfd مقابل زاوية الوصول (من 0° إلى 90°). وينبغي

للمنموذج أن يسمح بتحديد مقاطع متعددة. ويمكن أيضاً اشتقاق أقيسة إحصائية للكثافة pfd لمراعاة منطقة تغطية الخدمة الساتلية. ويحتاج الأمر إلى مزيد من الدراسة.

8 معلمات الخدمة الثابتة

يتعين تحديد قيم معامل الضوضاء (أو عتبة الضوضاء الحرارية) والخسارة في المغذي المشتركة لجميع محطات الخدمة الثابتة في المحاكاة الحاسوبية. ويتعين إضافة إلى ذلك تحديد القيم المشتركة لكسب الهوائي ومخطط الإشعاع للهوائي. ويمكن إدراج مخططات الإشعاع المرجعية التالية في ملف الهوائي لكي يختار المستعمل من بينها، على سبيل المثال:

- التوصية ITU-R F.1245، الفقرة توصي 2، للأنظمة من نقطة-إلى-نقطة المشتركة في القطب مع مصادر التداخلات.
- التوصية ITU-R F.1245، الملاحظة 7، للأنظمة من نقطة-إلى-نقطة ذات التمييز الخطي/الدائري في ظروف الاقتران من الحزمة الرئيسية إلى الحزمة الرئيسية.
- التوصية ITU-R F.669، الملحق 1، للأنظمة من نقطة-إلى-نقطة ذات البنية الجيبية المربعة في الفصوص الجانبية.
- التوصية ITU-R 699، للأنظمة من نقطة إلى نقطة المشتركة في القطب مع مصادر التداخلات.
- التوصية ITU-R 1336، لهوائيات المحطات المركزية للأنظمة من نقطة-إلى-عدة نقاط.
- التوصية ITU-R 1336 للأنظمة لهوائيات محطات المشتركين في الأنظمة من نقطة-إلى-عدة نقاط.

وينبغي للحوارزمية، إضافة إلى ذلك، أن تقبل مخططات الإشعاع المحددة من قبل المستعمل والتي يمكن أن تتألف، على سبيل المثال، من فصل رئيسي يتم تحديده بعرض النطاق 3 dB مع تغير التمييز بمربع الزاوية من المحور والانتقال إلى منطقة خطية القطع في النص الجانبي (بمقياس لوغاريتمي للزاوية من المحور). ويمكن إدخال مخططات الإشعاع تلك المحددة من قبل المستعمل في ملف مكتبة مخططات إشعاع الهوائي من أجل التطبيقات المستقبلية.

9 اعتبارات أخرى

1.9 معايير التداخل

بالنسبة للنطاقات التي يتم التحكم داخلها في الخبو عن طريق تعدد المسيرات، تنص التوصية ITU-R F.758، على أنه، مبدئياً، ينبغي لمستوى التداخل ألا يتجاوز بالنسبة للضوضاء الحرارية للمستقبل -10 dB (أو -6 dB). وفي حالة أنظمة الخدمة الثابتة الرقمية، تقابل هذه القيمة قيمة للانحطاط FDP_{hop} تبلغ 10% (أو 15%) على التوالي. ويوصى بأن تعتمد القيمة -10 dB، إن أمكن. بيد أنه في بعض حالات التقاسم الصعبة، تبين أن من الصعب جداً تطبيق شرط القيمة -10 dB من منظور تسهيل تقاسم الترددات. فعلى سبيل المثال، تقوم التوصيتان ITU-R M.1141 و ITU-R M.1142 اللتان تتناولان تقاسم الترددات بين أنظمة الخدمة الثابتة والمحطات الفضائية (سواء كانت في مدار مستقر أو غير مستقر بالنسبة إلى الأرض) العاملة في الخدمة المتنقلة الساتلية في مدى الترددات 1-3 GHz على شرط القيمة -6 dB.

وفي أي تقييم إحصائي للتداخل، لا بد من تحديد نسبة مئوية معينة مسموح بها من المحطات أو المسيرات يتجاوز فيها التداخل الإجمالي معيار التداخل. ويفضل أن تكون هذه النسبة المئوية أصغر ما يمكن، بيد أنه تبين في بعض حالات التقاسم الصعبة أن من الصعب جداً اعتماد نسبة مئوية مسموح بها صغيرة جداً. فمثلاً، ربما تكون نسبة 10% من مستقبلات الخدمة الثابتة الخاضعة للدراسة في هذه الحالات مهيأة لقبول تداخل يتجاوز معيار التداخل المفضل. وبصورة مماثلة، يمكن تحديد نسبة مئوية معينة مسموح بها من المسيرات التي يمكن للانحطاط FDP أن يتجاوز فيها المعيار FDP.

ومن ثم يحدد فيما يلي زوجان من معايير الأداء:

هدف النسبة I/N للمستقبل	نسبة مئوية من محطات الاستقبال يسمح فيها بتجاوز هدف المستقبل
هدف الانحطاط FDP في المسير	نسبة مئوية من المسيرات يسمح فيها بتجاوز هدف المسير

ويمكن تطبيق أي من معياري الأداء هذين أو كليهما في أي حالة.

2.9 توهين الانتشار

يرد في التوصيتين ITU-R SF.1395 و ITU-R F.1404 التوهين الأدنى للانتشار الناجم عن الغازات الجوية وذلك لاستعماله في دراسات تقاسم الترددات بين أنظمة الخدمة الثابتة والسواتل في مختلف الخدمات الفضائية.

3.9 المدارات ذات الميل الطفيف

تتيح الخدمة الساتلية الموجهة إلى هوائيات شاملة الاتجاهات للمشغلين الساتليين الاستفادة من الوفورات في الوقود التي تنشأ عند الحفاظ التسلسل لموقع المحطة في الاتجاه شمال-جنوب وتسمح للسواتل باستخدام المدارات ذات الميل الطفيف. ويؤدي ذلك إلى تغيير زوايا وصول التداخل إلى الشبكات الأرضية يومياً، ومن ثم توسيع القوس المداري تحت الأفق الراديوي السكوني لجزء من الوقت وزيادة زاوية الوصول (وبالتالي الكثافة pfd) للتداخل فوق الأفق لفترة أخرى من الوقت. وهناك آلية بسيطة لتقييم هذا الأثر، تتمثل في تعديل خط عرض محطة الخدمة الثابتة، لأغراض الحساب: يمكن تحديد خط العرض الأسمى للمحطة زائد الميل الأقصى للمدار وخط العرض الأسمى للمحطة ناقص الميل الأقصى للمدار.

10 النتائج المتحصلة

المخرجات المطلوبة عبارة عن دوال التوزيع الاحتمالي للنسبة I/N الإجمالي أو الانحطاط FDP الإجمالي لكل محطة فردية من محطات الخدمة الثابتة (FDP_{hop}) وقيم الانحطاط FDP للمسير (FDP_{route}). وتشمل المخرجات الاختيارية $\{I/N, azimuth\}$ و $\{I/N, arrival angle\}$ من أجل العرض في صورة مخططات التشتت. ويُعد الناتج الأخير مفيداً في تشكيل قناع pfd. ولا تحتاج هذه المخرجات الاختيارية إلى معالجات إضافية حيث إن المعلمات تكون قد حُسبت بالفعل.

التذييل 1

للملحق 1

نموذج برمجية من أجل التقييم الاحتمالي للتداخل على أساس من نقطة-إلى-نقطة بقفزات متعددة

1 المقدمة

في نطاقات التردد المزمع استعمال منهجية التداخل الاحتمالية فيها، تكون الخدمة الثابتة هي الخدمة القائمة فيما تعرف الخدمة الساتلية بالنظام الجديد المجهول. وبالتالي، من المنطقي عند تخصيص العلامات في نموذج البرمجية تثبيت معلمات الخدمة الثابتة بأقصى قدر ممكن مع تغيير العلامات الساتلية.

وفي هذا النموذج، يتم دمج نهج منطقة التغطية مع التحليل الإحصائي للتداخل لمجموعة من المحطات والمسارات الفردية. والنشر الأولي للسواتل يكون نشرًا للسواتل بمباعدات منتظمة مع أقنعة pfd منتظمة. ويجوز افتراض أسلوب النشر هذا لأغراض التبسيط مع ملاحظة أن هذه النهج تتسم بالحفاظة. ومن بين الخيارات التي يمكن اللجوء إليها مواقع للسواتل يحددها المستعمل في النشر أو النشر العشوائي. ويُفترض في كل ذلك خط مستقيم بسيط وانتظام كروية الأرض والهندسة.

2 المعلمات المدخلة للنموذج

1.2 المعلمات الساتلية

- القناع pfd {رؤوس الزوايا المحددة من قبل المستعمل}، مع افتراض مقاطع خطية وعدد رؤوس الزوايا المحددة من قبل المستعمل، بحيث تكون واحدة لجميع السواتل.
- مباعدة منتظمة للمدار الساتلي المستقر بالنسبة إلى الأرض (يجب أن تكون القيمة عبارة عن قاسم صحيح للزاوية 360°)، كامل المدار؛ (اختيارياً، يمكن إدخال المواقع المدارية المحددة أو يمكن توزيع السواتل عشوائياً في قوس مدارية محددة).
- ميل مداري (0° أو 5° مثلاً)، يطبق على جميع السواتل.

2.2 معايير أداء الخدمة الثابتة

- مستوى الحماية المطلوب (مثلاً، $FDP_{route} = 10\%$ أو 25% ، النسبة I/N للمحطة = -10 أو -6 dB).

3.2 معلمات منطقة اختبار الخدمة الثابتة

- حدود خطوط الطول والعرض.
- نموذج الخسارة الجوية (الاختبار من قائمة تتعلق بالخسارة الجوية التي يتعين تطبيقها على قدرة التداخل على أساس زاوية الوصول والمنطقة الجيومناخية، تأخذ القيمة صفر في حالة عدم وجود قائمة).
- نموذج الانكسار (الاختبار من قائمة لنماذج تتعلق بزوايا انكسار عظمى وخط العرض والمنطقة الجيومناخية، تأخذ القيمة صفر في حالة عدم وجود قائمة).
- نموذج الخبو الناجم عن المطر إن كان قابلاً للتطبيق، أي إذا تحتم تطبيق الخبو الناجم عن المطر على قدرة التداخل (الاختبار من قائمة لمستويات الخبو الناجم عن المطر الواجب تطبيقها، زاوية الوصول والعلاقات بينها وبين الزاوية من المحور والمنطقة الجيومناخية، تأخذ القيمة صفر في حالة عدم وجود قائمة).

ويحتاج الأمر لمزيد من الدراسة لوضع قوائم مناسبة للنماذج أعلاه الظاهرة الخاصة بزواوية وصول صغيرة استناداً إلى توصيات قطاع الاتصالات الراديوية مع الأخذ في الاعتبار أن هذه الظاهرة تؤثر بوجه عام على حالات التعرض القريبة من الحالة الأسوأ فقط بصورة كبيرة، وأن حالات التعرض هذه يتم خفضها كثيراً باستعمال النهج الاحتمالي.

4.2 معلمات محطات الخدمة الثابتة

- زاوية تفادي التصادم على المدار (صفر إذا لم تكن هناك قيمة).
- عدد المسيرات في المنطقة المعرضة.
- العدد الأدنى والأقصى للقفزات في المسير: العدد الإجمالي الناتج للمحطات (مجموع كافة المسيرات (عدد المحطات في كل مسير))؛ ينبغي أن يكون كبيراً بقدر ما تسمح به قيود الحاسوب المتعلقة بالذاكرة والسرعة.
- الطول الأدنى والأقصى للقفزات (غير مطلوبة لتحليل المحطة الواحدة).
- التباين الأقصى في السمت عن خط اتجاه المسير (غير مطلوب لتحليل المحطة الواحدة).
- معلمات المحطة، تحتاج الأنماط المختلفة للمحطات خطوات منفصلة. وفي داخل أي اختبار، تعتبر المعلمات التالية مشتركة لكافة المحطات:
- كسب الهوائي ومخطط إشعاعه (من قائمة مدمجة) بما في ذلك خيارات مثل التمييز من خطي إلى دائري وبنية النص الجانبي)، توفير إمكانية إدخال هوائيات أخرى بالقائمة).
- خسارة المغذي.
- معامل الضوضاء.
- دالة التقدير الكمي لتوزيع زاوية الارتفاع (احتمالية من $ei-1$ إلى ei). يفترض عدد أقصى 100 زوج من زوايا الارتفاع وقيم احتمال ظهور كل توزيع (من $i=1$ إلى I_{elev_max}) مع ملاحظة أن الأنماط المختلفة من المحطات يكون لها على الأرجح إحصاءات مختلفة لزوايا الارتفاع (تستعمل الهوائيات الكبيرة عادة عندما تكون هناك حاجة إلى كسب كبير لجبر الخسارة الكبيرة في أطوال المسيرات الطويلة، حيث تنطوي أطوال المسيرات الطويلة ضمناً على زوايا ارتفاع منخفضة). وينبغي لتوزيع زاوية الارتفاع أن يكون متمائلاً حول زاوية الارتفاع ذات القيمة صفر درجة.

3 عملية انتقاء المعلمات

تعد قائمة مرجحة من 100 قيمة (لتقابل قيم النسب المئوية) من أجل توزيع زاوية الارتفاع. ويقوم مؤشر عشوائي موزع بانتظام باختيار زاوية الارتفاع لكل محطة.

(يشير الرمز " $>1<$ " إلى بداية العروة 1؛ " $RANDx$ " = رقم عشوائي موزع بانتظام بين 0 و1).

← $<1>$ اختيار نقاط بدء المسير وخطوط الاتجاه (عشوائية المعلمات):

$$latitude = latitude(min) + RAND1 * (latitude(max) - latitude(min))$$

$$longitude = longitude(min) + RAND2 * (longitude(max) - longitude(min))$$

- $trend_line_azimuth = RAND3 * 360$ ، إذا كان اتجاه واحد للإرسال فقط هو العرضة للتداخل و $90 + RAND3$ ، إذا كان اتجاهها الإرسال معروضين للتداخل الساتلي من نفس الخدمة الساتلية، ومسير الاتجاه "go" (سمت خط الاتجاه 90° مروراً بالسمت 180° وصولاً إلى 270°) يتم عكسه في اتجاه "return" للإرسال 270° مروراً بالسمت 0° وصولاً إلى 90°) وتحدد القيمة الأكبر من قيمتي الانحطاط أداء المسير؛

$$.number\ of\ hops = hop(min) + RAND4*(hop(max) - hop(min)) \quad -$$

بالنسبة لتحليل المحطة الواحدة (أي أن العدد الأدنى للقفزات = العدد الأقصى للقفزات = 1)، يكون سمت خط الاتجاه هو نفسه سمت المحطة التي يُفترض أن تكون مستقبلاً.

اختيار مواقع المحطات:

- موقع المحطة الأول يكون هو نفسه نقطة بدء المسير؛ ويُفترض أن تكون المحطة الأولى محطة إرسال في هذا السياق إلا إذا لم يكن هناك غير محطة واحدة في المسير.

⇐ <2> للمحطة الثانية والمحطات التالي في المسير

$$azimuth = trend_line_azimuth + (2 * RAND5 - 1) * max\ hop_azimuth_variation \quad -$$

$$elevation\ angle = \text{Nearest_integer}\{100 * RAND6\} \text{ بالرمز إليه المشار للمدى المتوسط للمدى المشار إليه بالرمز } \quad -$$

التحقق من تطبيق تفادي الاصطدام في المدار (مع ملاحظة أن المحطات ذات زوايا الارتفاع التي تزيد عن الصفر يمكن أن تتقاطع مع المدار فوق الأفق). وفي حالة تطبيق التفادي وكان اتجاه الحزمة الرئيسية للمحطة داخل زاوية التفادي، تستبعد المحطة، يتم الانتقال إلى <2>؛

$$hop\ length = hop\ length(min) + RAND7 * (hop\ length(max) - hop\ length(min)) \quad -$$

- تحديد خطي العرض والطول للمحطة.

إذا كانت المحطة خارج منطقة الاختبار، تستبعد المحطة. يتم الانتقال إلى <2>.

يتم تكرار الخطوات لجميع القفزات في المسير. يتم الانتقال إلى <2>.

يتم تكرار الخطوات لجميع المسيرات في المنطقة المينة. يتم الانتقال إلى <1>؛ يلاحظ أنه إذا كان التداخل في كلا اتجاهي الإرسال سيخضع للتقييم، فإن الاتجاه "return" للمسير يأخذ القائمة المعكوسة لمواقع المحطات وزوايا السمات والارتفاع المتممة من معلمات مسير الاتجاه "go".

يتم تخزين معلمات محطات الخدمة الثابتة {{FS}} = {{النمط (كسب ومخطط إشعاع الهوائي، معامل الضوضاء، خسارة المغذي)، رقم المسير، موقع المحطة (خط الطول وخط العرض)، زاوية السمات، زاوية الارتفاع}}.

وبالنسبة للسواتل ذات المباعدة المتساوية فيما بينها، يعبر عن خط الطول المرجعي للكوكبة نسبة إلى خط الطول الوسيط لمنطقة الاختبار "longmid". تحديد مواقع السواتل.

$$satellite\ longitude\ long_m = long_{mid} + m*(360/number_of_satellites) \quad -$$

$$m = 0\ to\ (number_of_satellites - 1)$$

وبالنسبة للسواتل الموزعة عشوائياً.

$$satellite\ longitude\ long_m = min\ arc\ longitude + RAND8*(max\ arc\ longitude - min\ arc\ longitude) \quad -$$

⇐ <3> لكل مسير

⇐ <4> لكل محطة في المسير

⇐ <5> لكل ساتل في الكوكبة.

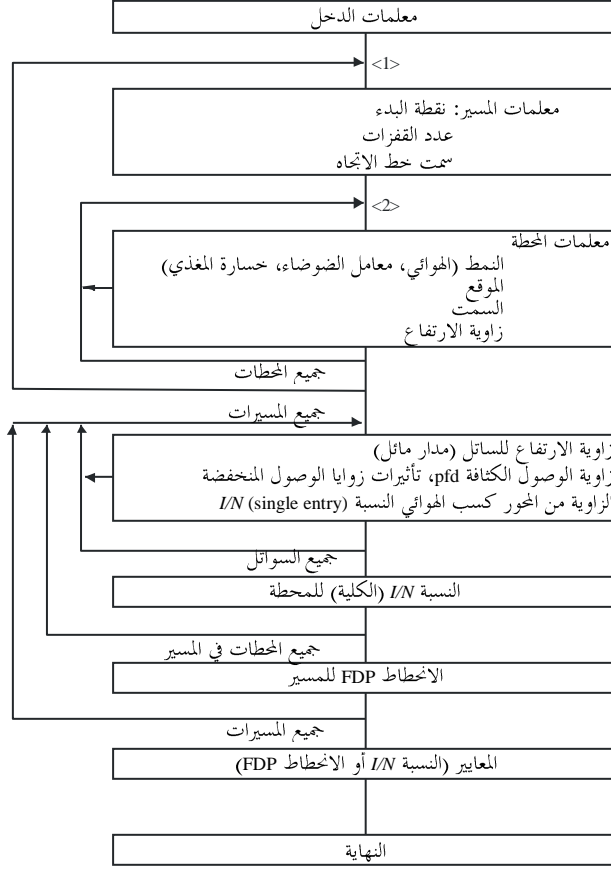
- تُحسب زاوية الوصول الاسمية للسواتل، تُحسب زوايا الوصول عند الانحرافات القصوى والدنيا لميل المدار والتي تسمح بالانكسار؛

- إذا كانت أي زاوية من زوايا الوصول تلك أكبر كقيمة سالبة من زاوية الانكسار، ضع علامة "ignore" من أجل الحسابات المستقبلية. وإذا كان هذا الأمر ينطبق على جميع زوايا الوصول هذه، يتم الانتقال إلى <5> لاختيار الساتل التالي، خلاف ذلك:
- تحسب الزوايا من المحور وقيم كسب الهوائي، وتُحسب القيمة القصوى من بين القيم $I/N|_{single\ entry}$ الثلاثة [كنسب قدرة] مع مراعاة التوهين الجوي (بدلالة زاوية الوصول) والخبو الناجم عن المطر (بدلالة الزاوية من المحور وزاوية الوصول) إن أمكن.
- الانتقال إلى <5>، الساتل التالي
- حساب $I/N|_{aggregate} = \sum_{all\ satellites} (I/N|_{single\ entry})$, $I/N|_{station} = 10 \log(I/N|_{aggregate})$ (dB)
الملاحظة 1 - يرد في التذييل 2 بهذا الملحق شرح لاشتقاق النسبة $I/N|_{aggregate}$. مزيد من التفصيل.
- الانتقال إلى <4> المحطة التالية في المسير
- حساب $FDP_{route} = \sum_{all\ stations} (I/N|_{aggregate})/n$ المجموع لجميع المحطات في المسير.
- الانتقال إلى <3> المسير التالي:
- صياغة دالة التوزيع الاحتمالي (pdf) للقيم $I/N|_{aggregate}$ للمحطة بوضع قائمة مرتبة للقيم من الأكبر إلى الأقل، وترقيم قائمة المدخلات، أي $(j, I/N|_j: j = 1 \text{ to } J)$ قيم مئوية مقابلة للنسبة $\{100*j/J\}$ حيث بعد هذا الرقم يكون أداء كافة المحطات التالية أفضل (أقل) من النسبة $I/N|_j$. صياغة الدالة pdf للانحطاط FDP للمسير بطريقة مماثلة.
- تُستخرج من الدوال pdf،
- النسبة المئوية من المحطات أو المسيرات، حسبما يتناسب، عند معيار الأداء المصاحب ("stations_at_I/Ncriterion" and "routes_at_FDPcriterion")؛
- قيمة النسبة I/N أو الانحطاط FDP، حسبما يتناسب، عند نسبة مئوية محددة من المحطات أو المسيرات، على التوالي ("I/N_at_Pstation" and "FDP_at_Proute")؛
- تستخرج الدوال pdf للنسبة I/N للمحطة أو الانحطاط FDP في المسير: {القيمة I/N ، احتمال تجاوز القيمة I/N : {قيمة الانحطاط FDP، احتمال تجاوز قيمة الانحطاط FDP} من أجل العرض كمخطط بياني استخراج القيم المشتقة أعلاه: "stations_at_I/Ncriterion"، "routes_at_FDPcriterion"، "I/N_at_Pstation"، "FDP_at_Proute".

يقدم الشكل 1 مخططاً انسيابياً للعملية الموضحة أعلاه.

الشكل 1

مخطط انسيابي مبسط للخوارزمية



F.1107-01

يشير معيار الاختبار "I/N_at_Pstation" إلى الكم الذي يتعين خفضه من قناع الكثافة pfd. فمثلاً، بافتراض ضرورة الحفاظ على الانتقال الأصلي من مستوى pfd لزاوية وصول منخفضة إلى مستوى pfd لزاوية وصول عالية، إذا كان الأداء المقبول ينطوي على أن يكون هناك 90% من المحطات لها قيمة للنسبة I/N أقل من أو تساوي -10 dB وإذا كان معيار الاختبار "I/N_at_Pstation" (dB) يتجاوز هذه القيمة، فإن قناع الكثافة pfd ينبغي خفضه بالفارق {(-10) - "I/N_at_Pstation"} لكي يفي بالمعيار. وبالمثل، إذا كان الأداء المقبول ينطوي على أن يكون لنحو 90% من المسيرات انحطاط FDP أقل من أو يساوي 25% وإذا تجاوز معيار الاختبار ("FDP_at_Proute" (%)) هذه القيمة، فإن قناع الكثافة pfd ينبغي تخفيضه بالفارق {10 log("FDP_at_Proute"/100) - 10 log(0,25)} للوفاء بالمعيار.

يمكن لمخطط تشتت للقيم I/N المحسوبة مقابل زاوية الوصول أن يتيح وضع مسار انتقال آخر مختلف، إذا لزم الأمر.

وينبغي أن يدخل صراحة قاعدة بيانات فعالية لمحطات استقبال الخدمة الثابتة و/أو كوكبة ساتلية معروفة بدلاً من مجموعة عشوائية من المحطات وكوكبة منتظمة وذلك للحصول على نتيجة واقعية، إذا احتاج الأمر. وبالطبع، يجب السماح بهذه الخيارات في عمليات إدخال البيانات.

التذييل 2 للملحق 1

اشتقاق النسبة $I/N_{aggregate}$ لمستقبلات الخدمة الثابتة الفردية

تقوم المنهجية على الخوارزمية التالية:

- تبني مبادعة معينة بين السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض $Longref = 360/nb_sat$ ؛
- تبني قناع pfd معين يطبق على كل ساتل من السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض؛
- تبني خطي عرض وطول معينين لنظام الخدمة الثابتة؛
- كل سمت تسديد للخدمة الثابتة (يتغير من 0° إلى 360°)؛
- لكل خط طول نسبي للكوكبة الساتلية $\Delta long$ يتغير من 0° إلى $Longref$ ؛
- حساب التداخل الإجمالي عند دخل مستقبل الخدمة الثابتة الصادر عن جميع السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض المرئية؛
- حساب القيمة I/N الناتجة عن مستقبل الخدمة الثابتة:

$$\frac{I}{N}(azimuth, \Delta long) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{vis} \left(pfd_i(\Delta long) + G(\theta_i(azimuth, \Delta long)) + 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) - FL \right)$$

حيث:

القيمة I/N الإجمالية الناتجة من جميع السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض المرئية عند مستقبل الخدمة الثابتة، $\Delta long$ هي خط الطول النسبي للكوكبة الساتلية $azimuth$ هو سمت التسديد لهوائي محطة الخدمة الثابتة

بكثافة pfd عند محطة الخدمة الثابتة الصادرة عن الساتل المستقر بالنسبة إلى الأرض المرئي رقم i

$\theta_i(azimuth, \Delta long)$: الزاوية من المحور بين اتجاه تسديد هوائي الخدمة الثابتة والاتجاه الذي يرى منه الساتل رقم "i" من محطة الخدمة الثابتة (في حالة المحطات المركزية للأنظمة من نقطة إلى عدة نقاط، ينبغي الاستعاضة عن $\theta_i(azimuth, \Delta long)$ بالزاوية $elev_i(\Delta long)$ والتي هي عبارة عن الفارق بين زاوية ارتفاع التسديد لهوائي الخدمة الثابتة وزاوية الارتفاع التي يرى منها الساتل رقم "i"). وعندما يكون لمحطات الخدمة الثابتة الاتجاهية زوايا ارتفاع خلاف الصفر، تعدل الزاوية من المحور تبعاً لذلك

$G(\theta)$: كسب هوائي الخدمة الثابتة للزاوية من المحور

λ : طول الموجة

FL : خسارة مغذي الخدمة الثابتة

vis : عدد السواتل المرئية من محطة الخدمة الثابتة

N : الضوضاء الحرارية لمستقبل الخدمة الثابتة.

ويسمح ذلك بتحديد جدول لقيم النسبة I/N (أو الانحطاط FDP) عند محطة استقبال الخدمة الثابتة بدلالة زاوية سمت التسديد لمحطة الخدمة الثابتة وخط الطول النسبي للكوكبة الساتلية، وبالتالي دالة التوزيع الاحتمال للنسبة I/N لمحطة الخدمة الثابتة أو الانحطاط FDP_{hop} أو الانحطاط FDP_{route} معين ومبادعة معينة بين السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض.