

التوصية ITU-R S.1781

منهجية ممكنة لتقاسم الترددات بين شبكات ثنائية الاتجاه في الخدمة الثابتة الساتلية
في مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض تشمل محطات أرضية
منتشرة في كل مكان

(المسألة ITU-R 209/4)

(2007)

مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية منهجية تستند إلى التنسيق بين المناطق من أجل تأمين مواعمة التردد بين نظامين للخدمة الثابتة الساتلية (FSS) عندما يحتوي أحد النظامين أو كلاهما على عدد كبير من مطاريف منتشرة في كل مكان على الأرض وعندما ترسل مطاريف أحد النظامين بينما تستقبل مطاريف النظام الآخر باستعمال نفس نطاقات التردد الموزعة "في الاتجاهين على الخدمة الثابتة الساتلية.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

(أ) تزايد الاهتمام في نشر المحطات الأرضية للخدمة الثابتة الساتلية (FSS) من نمط المطاريف ذات الفتحة الصغيرة جداً (VSAT) في كل مكان، مما يعني تركيب وتشغيل المحطات الأرضية دون الحصول على ترخيص فردي لكل منها بل على ترخيص عام للنظام الذي تعمل فيه؛

(ب) أن المواقع المحددة للمحطات الأرضية في كل هذه الحالات غير معروفة في الوقت الذي يجري فيه تنسيق التردد للنظام؛

(ج) أن الحاجة إلى نشر المحطات الأرضية بأعداد كبيرة تجعل من الصعب التنسيق بينها موقعاً موقعاً؛

(د) أن بعض نطاقات التردد التي يراد نشر هذه المحطات فيها موزعة على الخدمة الثابتة الساتلية في الاتجاهين؛

(هـ) أن بعض النطاقات الموزعة على الخدمة الثابتة الساتلية في الاتجاهين يخضع أيضاً لأحكام تنظيمية خاصة مثل أحكام خطة تعيين الخدمة الثابتة الساتلية أو الخطة الواردة في التذييل 30A للوائح الراديو؛

(و) أن بعض الإدارات قد تختار شكلاً معيناً للتنسيق بين المناطق يمكن في إطاره للمحطات الأرضية من النمط VSAT العاملة في الخدمة الثابتة الساتلية أن تعمل في اتجاه واحد للإرسال؛

(ز) أنه من المفيد للإدارات في حالات من هذا القبيل، كما يرد في البند و) من إذ يضع في اعتباره، توفير منهجيات تساعد على تحديد التنسيق العام بين المناطق استناداً إلى معايير تقنية تختارها الإدارات،

وإذ تلاحظ

(أ) أن حدود التنسيق المحيطة بالمنطقة التي ترغب إدارة ما في تنفيذ تنسيق بين المناطق داخلها قد تتجاوز حدود مناطق تنسيق أخرى تقع في أراضي نفس الإدارة أو في حدود دولية؛

(ب) أنه يتعين على الإدارات أن تتخذ التدابير اللازمة من أجل تحديد نطاقات التردد والمناطق الجغرافية المصاحبة التي قد تنفذ فيها أي طريقة تنسيق تشتمل على عدد كبير من المطاريف العاملة في نفس النطاق،

وإذ تدرك

- أ) أن للإدارات كامل الحرية في البحث عن ترتيبات ثنائية خارج نطاق لوائح الراديو؛
- ب) أن للإدارات كامل الحرية في اختيار مستوى الحماية التي تؤمنها للمحطات الأرضية من النمط VSAT العاملة في الخدمة الثابتة الساتلية والمنتشرة على أراضيها؛
- ج) أنه يتعين على الإدارات، في حالة التنسيق الدولي، أن تتفق على خصائص المحطات الأرضية وشروط الحماية التي ينبغي مراعاتها؛
- د) أن بعض العوامل مثل حماية المحطات الأرضية للاستقبال من المحطات الأرضية عالية القدرة للإرسال الواقعة في أراضي إدارات لم ترم اتفاقات ثنائية تدل على أنه من المستحسن تسجيل المحطات الأرضية للاستقبال في مكتب الاتصالات الراديوية سواء شمل اتفاق ثنائي هذه المحطات أم لم يشملها؛
- هـ) أنه يجب على الإدارات أيضاً، فيما يتعلق بحالة المحطات الأرضية المخطط لها أن تعمل في نطاقات موزعة للخدمة الثابتة الساتلية في الاتجاهين تخضع لأحكام تنظيمية خاصة، أن تراعي هذه الأحكام عند التخطيط لنشر هذه المحطات،

توصي

- 1 الإدارات التي تريد منح تراخيص على أراضيها استناداً إلى التنسيق بين مناطق المحطات الأرضية ذات النمط VSAT العاملة في الخدمة الثابتة الساتلية والمنتشرة في كل مكان في النطاقات الموزعة في الاتجاهين للخدمة الثابتة الساتلية بأن تراعي استعمال الإرشادات التي يتضمنها الملحق 1 بهذه التوصية.

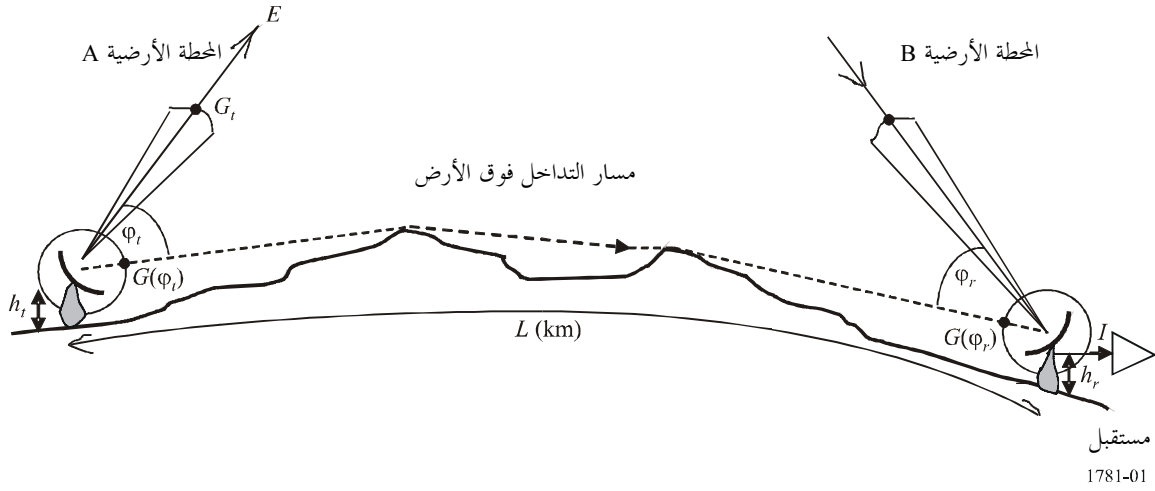
الملحق 1

1 مقدمة

يضم هذا الملحق عناصر طريقة تأمين مواعمة التردد بين نظامين يعملان في خدمة ثابتة ساتلية عندما يشتمل أحد النظامين أو كلاهما على أعداد كبيرة من المطاريف الأرضية المنتشرة في كل مكان، وعندما تقوم مطاريف أحد النظامين بالإرسال بينما تقوم مطاريف النظام الآخر بالاستقبال.

ويستند التحليل المقدم في هذا الملحق إلى معلمات نظام مستخدمة في النطاق 12,75-12,5 GHz. ونظراً إلى أن توزيعات الخدمة الثابتة الساتلية في الاتجاهين لا تنطبق إلا على الإقليم 1 في هذا النطاق، فلا بد من استعمال أمثلة من بلدان الإقليم 1. لكن الطريقة تبقى عامة ويمكن تطبيقها على أي نطاق تقاسمه خدمة ثابتة ساتلية في الاتجاهين.

الشكل 1



تعمل المحطة الأرضية A المبينة في الشكل 1 مع سائل مستقر بالنسبة إلى الأرض ومجهز لاستعمال النطاق GHz 12,75-12,5 الموزع للخدمة FSS (أرض-فضاء)، بينما تعمل المحطة الأرضية B مع سائل آخر مستقر بالنسبة إلى الأرض يستعمل النطاق GHz 12,75-12,5 الموزع للخدمة FSS (فضاء-أرض). وترسل المحطة الأرضية A موجة حاملة للتشكيل بزحزة الطور (PSK) ممركة على النطاق GHz 12,625 وكثافة طيفية للقدر e.i.r.p. قدرها E dB(W/MHz) تسبب تداخلاً عبر مسار فوق الأرض في استقبال المحطة الأرضية B لموجة حاملة أخرى من التشكيل PSK ممركة على النطاق GHz 12,625. وبالتالي، تعطي الكثافة الطيفية للتداخل I عند مدخل مستقبل المحطة الأرضية B في المعادلة التالية:

$$(1) \quad I = E - G_t + G(\varphi_t) - pl + G(\varphi_r) \quad \text{dB(W/MHz)}$$

حيث:

G_t : الكسب في محور تسديد هوائي المحطة الأرضية A (dBi)

$G(\varphi_t)$: كسب هوائي المحطة الأرضية A نحو الأفق في اتجاه المحطة الأرضية B (dBi)

pl : الخسارة في المسير بين المحطتين (dB)

$G(\varphi_r)$: كسب هوائي المحطة الأرضية B نحو الأفق في اتجاه المحطة الأرضية A (dBi)

φ_t : زاوية الانحراف عن المحور الرئيسي في المحطة الأرضية A نحو الأفق في اتجاه المحطة الأرضية B (درجة)

φ_r : زاوية الانحراف عن المحور الرئيسي في المحطة الأرضية B نحو الأفق في اتجاه المحطة الأرضية A (درجة)

وبدلاً من اللجوء إلى فرضيات مثل حالة من الحالات، يمكن رسم حدود يتواءم فيها نشر محطات خدمة FSS عاملة في اتجاهات معاكسة للإرسال في نفس النطاقات مع أي نسبة مئوية من الحالات، من خلال اختيار مناسب للمعاملات التي تستخدم في المعادلة (1).

وعلى سبيل المثال، قُدّم استقصاء أجراه قطاع الاتصالات الراديوية عام 2002 يتعلق بالمحطات الأرضية القائمة والمخطط لها في الخدمة FSS إحصاءات عن أطوار الهوائيات وقدرتها e.i.r.p. وعرض نطاق الموجات الحاملة المرسل. وضم الاستقصاء حوالي 127 000 مطراً هوائيات يتراوح قطرها بين 1,5 و 2,1 متر. ومع أن الدراسة ركزت بصورة رئيسية على المحطات الأرضية المصممة للإرسال في النطاق GHz 14,5-14، يمكن افتراض أن الدراسة تتعلق بالنطاق GHz 12,75-12,5، ستعطي إحصاءات

مماثلة حتى لو كانت البيانات أصغر. ويمكن استخدام هذه النتائج في وضع افتراضات معقولة للمعلمتين E و G_r في المعادلة (1).

وتعتمد القيمتان φ_r و φ_t على خطي العرض والطول للمحطة الأرضية، وخطي طول الساتل الذي تعمل معه والتقويم الزاوي السمتي للمحطة الأرضية الأخرى. ويرد حساب تغير الزاوية φ تبعاً لهذه المعلمتين في التذييل 1 الذي يبين أيضاً كيفية وضع دالات توزيع تراكمي لزاويا الانحراف عن المحور الرئيسي فيما يتعلق بالتداخل بين المحطات الأرضية العاملة في اتجاهات إرسال متعاكسة على نحو يتيح إمكانية اختيار قيم ملائمة للزاويتين φ_r و φ_t لاستعمالها في المعادلة (1).

1.2 الطريقة المتبعة في مثال للتطبيق الدولي

بينت الدراسة التي أجراها قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد عام 2002 عن المحطات الأرضية القائمة والمخطط لها في الخدمة الثابتة الساتلية أن قطر معظم الهوائيات المركبة حتى ذلك الحين والعاملة في النطاق 14,5-14 GHz، تقارب عموماً 1,8 متر، وأن 98% من هذه الهوائيات ترسل موجات حاملة لا تتجاوز قدرتها e.i.r.p. القيمة 52 dBW ولا يتجاوز عرض نطاقها 1 MHz. ولذلك، اختير لهذا المثال القيمة $E = 52 \text{ dB(W/MHz)}$ و $G_r = 10 \log((0,65)\{\pi(1,8)/\lambda\}^2) = 45,7 \text{ dBi}$.

وكما هو مبين في التذييل 1 لا تقل الزاويتان φ_r و φ_t في 96% من المحطات الأرضية عن 25°، وبالتالي لا تتجاوز القيمتان $G(\varphi_r)$ و $G(\varphi_t)$ القيمة 3-dBi. كما يبين التذييل 1 أنه من المعقول إذا كانت $G(\varphi_r) \equiv 3\text{-dBi}$ افتراض أن $G(\varphi_t) \equiv 10\text{-dBi}$ والعكس بالعكس.

وبافتراض أن هذه القيم للعناصر E و φ_r و φ_t و $G(\varphi_r)$ و $G(\varphi_t)$ تمثل الحالة الأسوأ، تصبح المعادلة (1) كالتالي:

$$(2) \quad I = -6.7 - pl \quad \text{dB(W/MHz)}$$

وتصمم الوصلة GSO FSS وفقاً للتوصية ITU-R S.1323 على أساس "ألا تتجاوز قدرة التداخل التراكمي الصادرة عن إرسالات المحطات الأرضية والمحطات الفضائية من جميع شبكات الخدمة GSO FSS الأخرى عند مدخل مزيل التشكيل نسبة 20% من القدرة الكلية لضوضاء النظام في ظروف الجو الصافي". ويفترض في هذا المثال أن التداخل التراكمي يضم توزيعات متساوية من إرسالات الوصلات الصاعدة والوصلات الهابطة لجميع أنظمة الخدمة GSO FSS العاملة في نفس الاتجاه أو في الاتجاهين في نطاق عرضه 1 MHz ممرکز على 12,625 MHz. وبالتالي، فإن التداخل التراكمي الذي يصل إلى المحطة الأرضية B والصادر عن جميع المحطات الأرضية التي تستعمل هذا النطاق وعرضه 1 MHz في الاتجاه أرض-فضاء يقتصر هنا على حد أقصى نسبته 5% من حصيلة ضوضاء الوصلة.

وباستثناء الشبكات CDMA تستطيع محطة أرضية واحدة الإرسال إلى ساتل معين في تردد واتجاه استقطاب محدد للموجة الحاملة في نفس الوقت داخل منطقة تغطية حزمة استقبال ما، لأن الوصلات الصاعدة للموجات الحاملة المتعددة ذات التردد الواحد في نفس الحزمة تسبب الكثير من التداخل لبعضها البعض. (مع أن تقنية النفاذ CDMA تسمح بتواجد عدد n من هذه الموجات الحاملة في هذه الظروف، لكن القدرة e.i.r.p. للموجة الحاملة لكل محطة أرضية في هذه الحالة لا تساوي إلا $1/n$ تقريباً من القدرة e.i.r.p. لمحطة أرضية واحدة تستخدم التقنية FDMA.) وعند خطوط العرض القريبة من 50° تفوق زاوية ارتفاع المدار GSO 10° في أي نقطة من سطح الأرض يقارب خط طولها 120° (أي $\pm 60^\circ$). ويبلغ أدنى تباعد بين السواتل العاملة بنفس التردد ونفس التغطية في إقليمي الاتحاد 1 و 3 حوالي 3°، وفي الإقليم 2 حوالي 2°. وينتج عن ذلك أنه بإمكان 40 إلى 60 محطة أرضية تعمل في منطقة تغطية ما أن ترسل على نفس تردد واستقطاب الموجة الحاملة، إلى سواتل مختلفة في المدار الثابت بالنسبة إلى الأرض، علماً بأن التداخل بين وصلاتها الصاعدة تبقى في حدود مقبولة بفضل التمييز الذي توفره مخططات إرسال هوائياتها.

لكن، حتى ولو استعمل مورد طيف المدار GSO في النطاق المعين للموجات الحاملة بشكل كامل بهذه الطريقة، فإنه من غير المرجح أن تقع جميع المحطات الأرضية التي تبث في نفس منطقة التغطية قرب محطة أرضية تستقبل موجات حاملة بنفس التردد

بحيث تسبب لها تداخلاً كبيراً. ويرجح أولاً تقسيم المورد على عدة بلدان لأن الحزمة الساتلية النمطية العاملة في النطاق GHz 14,5-14 مصممة للتغطية القارية وليس الوطنية. وبناء على ذلك فإن السماح بعشر محطات أرضية ترسل في عرض MHz 1 في النطاق GHz 12,625 وتسبب تداخلاً في نفس المحطة الأرضية التي تستقبل على نفس هذا التردد يعتبر تفاوتاً مسموحاً به هنا. وبالتالي، تحدد هذه الدراسة الحد الأقصى للتداخل الذي تسببه محطة أرضية واحدة A إلى محطة أرضية B في الجو الصافي بنسبة 0,5% من حصيلة ضوضاء النظام.

ونظراً لأن التداخل عبر المسيرات فوق سطح الأرض يتأثر بظروف الانتشار، فإنه من الضروري معرفة النسبة المئوية من الوقت التي تنطبق أثناءها ظروف "الجو الصافي" هذه. ووفقاً للتوصية ITU-R S.1062، لا يسمح بتجاوز النسبة BER المطلوبة للمدى الطويل أثناء أكثر من 10% من الشهر الأسوأ، مما يعادل 4% من المتوسط السنوي. وبالتالي ينبغي للتداخل الناجم عن محطة أرضية A في محطة أرضية B ألا يتجاوز نسبة 0,5% من ضوضاء النظام B أثناء أكثر من 4% من الوقت، أي:

$$(3) \quad I \leq 10 \log ((0,05)(k T B)) \quad \text{dBW}$$

حيث:

$$228,6 - 10 \log (k) \text{ dB(W/Hz) للكالفين (K) الواحد (ثابت بولتزمان)}$$

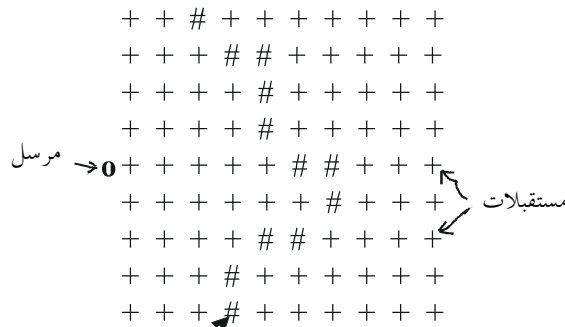
T : درجة حرارة الضوضاء في النظام ($K < 200$ في معظم الوصلات الصاعدة في النطاق GHz 14,5-14)

B : MHz 1 كما تحدد أعلاه.

وبجمع المعادلتين (2) و(3) ينتج أنه يتعين، من أجل تقاسم النطاق بين مجموعة شبكات ثنائية الاتجاه في الخدمة FSS، أن تكون الخسارة في مسير التداخل بين المحطتين A و B 162 dB أو أكثر خلال 96% من الوقت على الأقل.

وفي حالة توافر قاعدة بيانات عن التضاريس أي قاعدة بيانات تضم قيم ارتفاع الأرض عن سطح البحر في نقاط موزعة بانتظام في منطقة معينة، يمكن استعمال المعلومات والخوارزميات الواردة في التوصيتين ITU-R P.452 و ITU-R P.526 لحساب الخسارة الناجمة عن الانتشار والتي يتم تجاوزها أثناء نسبة مئوية من الوقت في مسير الدائرة العظمى بين أي نقطتي بيانات داخل المنطقة. وتغطي هاتان التوصيتان مسارات خط البصر وعبر الأفق على حد سواء، بما فيها الامتصاص الجوي وأساليب الانتشار بالانكسار وبالمجاري وبالانتشار التروبوسفيري، حسب الاقتضاء. وهكذا، فإن إعداد نموذج برمجية يحتوي على مرسل واحد وعدد كبير من المستقبلات المتباعدة بانتظام بين بعضها البعض سيمكن من حساب قيم الخسارة التي يتم تجاوزها أثناء نسبة معينة من الوقت في المسارات بين المرسل وكل مستقبل على حدة، وبالتالي تحديد جميع المسارات التي تشهد الخسارة القريبة من قيمة معينة - انظر الشكل 2.

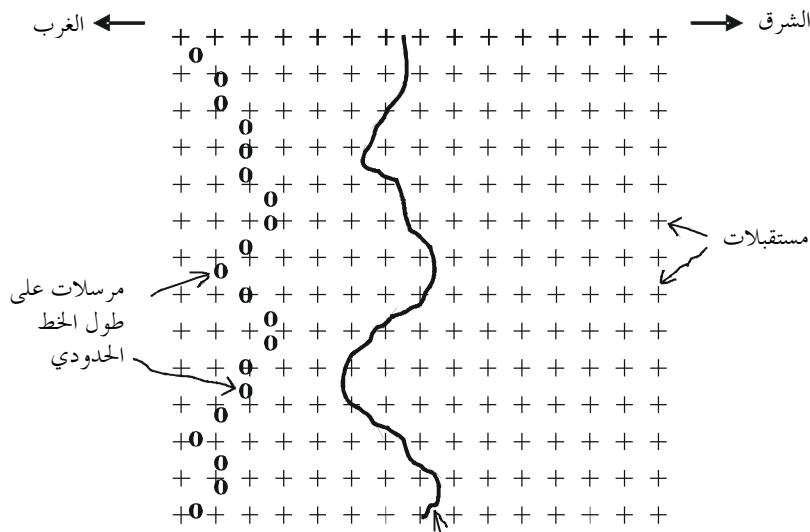
الشكل 2



مستقبلات تكون فيها الخسارة التي يتم تجاوزها أثناء 96% من الوقت على المسير الآتي من المرسل قريبة من 162 dB

وإذا أضيفت إلى النموذج مرسلات أخرى متباعدة بفواصل صغيرة على طول أي خط حدودي ضمن المنطقة الجغرافية المعنية ثم تعين أقصى طول مسير، L ، من مرسل وهو يعادل خسارة المسير المعني، يمكن رسم كفاف يتم بعده تجاوز قيمة الخسارة المعنية للإرسال أثناء النسبة المتوية المحددة من الوقت في أي مكان على طول هذا الخط الحدودي. والمنطقة الواقعة بين الحد وهذا الكفاف هي أكبر مساحة تكون ضمنها خسارة المسير ملائمة لتقاسم الترددات. وبالإمكان تحسين دقة الكفاف باستعمال الاستقطاب الداخلي الخطي بين الأزواج المناسبة من المستقبلات المتجاورة - انظر الشكل 3.

الشكل 3



في أي مكان يقع إلى شرق هذا الكفاف ستتجاوز خسارة المسير من أي نقطة على طول الخط الحدودي القيمة 162 dB، مثلاً، أثناء أكثر من 96% من الوقت

1781-03

ويرتبط شكل الكفاف جزئياً بشكل الخط الحدودي جزئياً بطبيعة الأراضي الممتدة بين الكفاف والحدود.

ويتضح من تحليل هذا المثال أن محطة أرضية بهوائي طوله 1,8 متر أو أكثر يرسل قدرة e.i.r.p. تصل إلى 52 dB(W/MHz) في النطاق 12,75-12,5 GHz، قد تتواجد في أي مكان إلى غرب الحدود دون أن تتجاوز معيار التداخل الناجم من مصدر واحد والبالغ 0,5% من ضوضاء النظام في محطة أرضية تستقبل نفس التردد في أي مكان يقع إلى شرق الكفاف.

وقد أنشئ نموذج من هذا القبيل استناداً إلى مجموعة برمجيات خاصة للاستخدام في مثال كانت الحدود فيه هي الحدود بين فرنسا وألمانيا. وكانت الاستبانة الأفقية لقاعدة بيانات التضاريس المستخدمة تساوي 900 متر تقريباً والاستبانة الرأسية 1 m تقريباً. ووفقاً لذلك اعتمد فاصل قدره 5 km بين المحطات الأرضية المتجاورة للاستقبال في جميع أرجاء الشرق الفرنسي وفي جميع أرجاء ألمانيا الغربية، واستبانة مماثلة بين المحطات الأرضية المتجاورة للإرسال على طول الحدود بين البلدين. وتحدد ارتفاع الهوائي فوق مستوى سطح الأرض محلياً لكل محطة أرضية للاستقبال ولكل محطة أرضية للإرسال (h_r و h_t في الشكل 1) بمقدار 5 m.

وترد النتائج في الشكل 4 حيث يظهر الكفاف في كل من فرنسا وألمانيا. وتظهر حالتان هما:

- عندما تنشر محطات أرضية للإرسال في فرنسا تصل إلى الحدود الدولية، تستوفي معايير التداخل في أي محطة أرضية في ألمانيا تقع على الكفاف G أو إلى الشرق منه،
- وعندما تنشر محطات أرضية للإرسال في ألمانيا تصل إلى الحدود الدولية، تستوفي معايير التداخل في محطة أرضية في فرنسا تقع على الكفاف F أو إلى الغرب منه.

ومن أجل استعمال النطاق الموزع للوصلات الصاعدة والوصلات الهابطة أفضل استعمال وتوفير نفاذ متساو للبلدين على حد سواء، بإمكان فرنسا تقنياً أن تستعمل كامل النطاق في أي مكان يقع إلى غرب الكفاف F ونصف النطاق في أي مكان يقع بين الكفاف F ونصف النطاق في أي مكان يقع بين الكفاف F وحدودها مع ألمانيا. بينما بإمكان ألمانيا أن تستعمل كامل النطاق في أي مكان يقع إلى شرق الكفاف G والنصف الآخر من النطاق في أي مكان يقع بين الكفاف G وحدودها مع فرنسا. وبالطبع تخضع مثل هذه الترتيبات لاتفاق مسبق بين إدارتي البلدين. وتعتبر المناطق التي تطبق فيها تقييدات استعمال النطاق مناطق صغيرة للغاية نسبة إلى المساحة الكلية لفرنسا وألمانيا على التوالي، ولا يراعى فيها تأثير حجب التضاريس المحلية في طرفي مسارات التداخل.

ويمكن حساب الألفة مع مزيد من الدقة إذا ما استعملت قواعد بيانات تضاريس باستبانة أفضل و/أو إذا ما صغر الفاصل بين المحطات الأرضية المتجاورة في النموذج الحاسوبي وازدادت بالتالي الأرقام الناتجة. ويؤدي ذلك في معظم الحالات إلى تقليص مناطق "التقييدات" إلى حد ما. وإضافة إلى ذلك، يمكن تقليص مناطق "التقييدات" محلياً ولكل حالة على حدة باستعمال أثر حجب التضاريس.

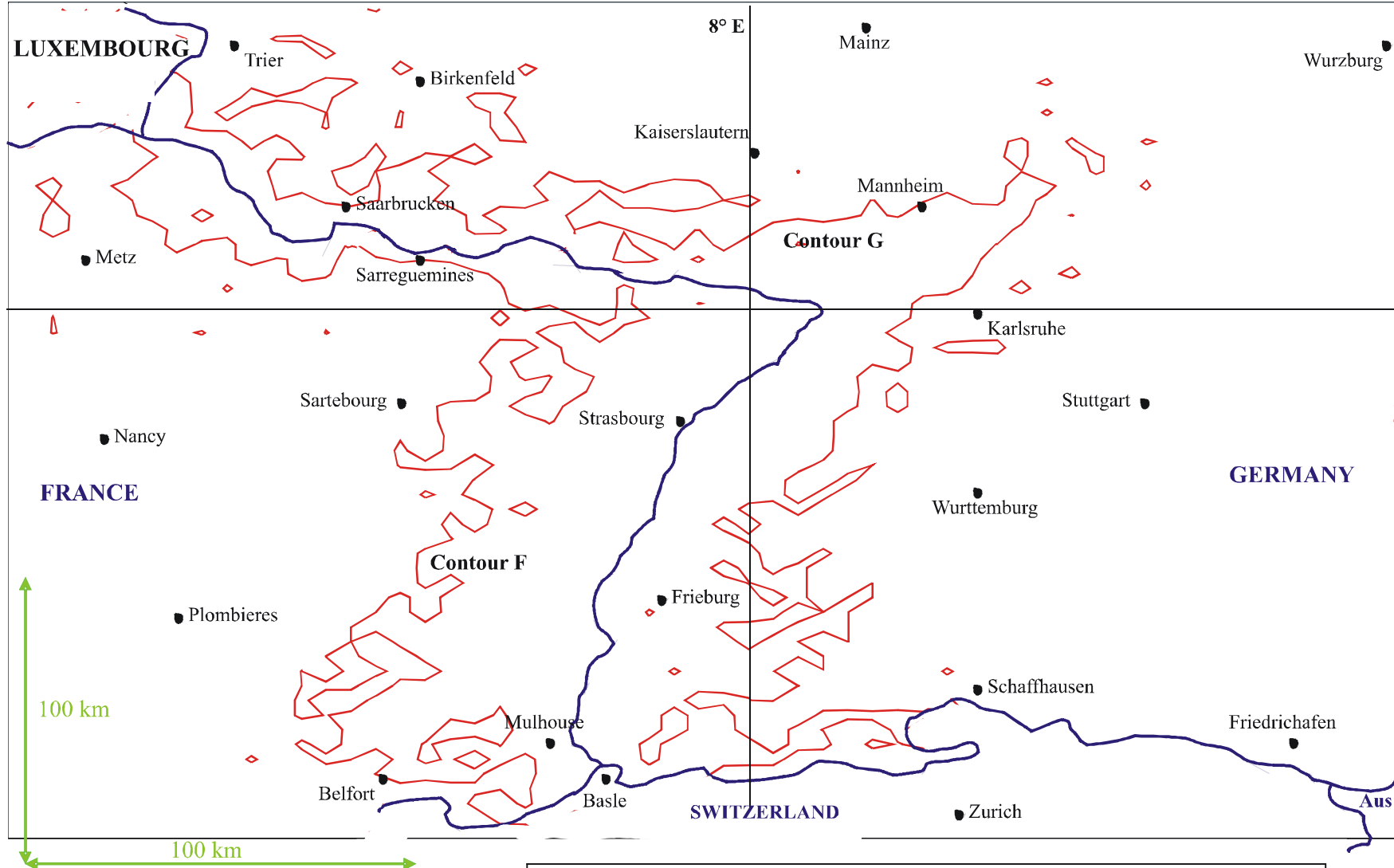
2.2 الطريقة المتبعة في مثال للتطبيق الوطني

من غير المناسب بالطبع في هذه الحالة استعمال الحدود بين بلدين كحدود لأغراض تقاسم الترددات في الاتجاهين. ولا بد داخل أي بلد من تعيين الحدود التي تستطيع المحطات الأرضية ضمنها الإرسال إلى بعض السواتل على نفس التردد الذي تستعمله محطات أرضية تقع خارج هذه الحدود، ولكن داخل البلد ذاته، للاستقبال من سواتل أخرى. ومن الممكن نظرياً استعمال حدود جغرافية محلية لهذا الغرض (مثال حدود المقاطعات في إنكلترا أو حدود الكانتونات في سويسرا) لكن قد يكون ذلك عديم النفع بسبب عدم وجود ترابط غالباً بين نشر الأنظمة VSAT وهذه الحدود الجغرافية. وثمة خطة أكثر ملاءمة تكمن في تعيين حدود مناطق سداسية الشكل على نحو يمكن المناطق المتجاورة من تقاسم الترددات في اتجاهين في كامل أرجاء البلد وذلك بطريقة مماثلة للنظام الحلوي للأرض ولكن مع "خلايا" - أكبر كما يبين الشكل 5.

وإذا كانت المنطقة سداسية الشكل في هذا الترتيب كبيرة بقدر كافٍ، يمكن استعمال الجزء الأعظم من المنطقة A لأغراض المحطات الأرضية للإرسال (إلى سواتل مختلفة) باستعمال نفس التردد الذي تستعمله المحطات الأرضية في المناطق B و C و D وغيرها للاستقبال والعكس بالعكس. وكما هو الحال في مثال التطبيق الدولي يظهر جزء غير منتظم من الأرض مباشرة داخل الحدود السداسية لكل منطقة يخضع فيها الإرسال للتقييدات. أما الطبيعة الدقيقة لهذه التقييدات فهي موضوع يخص المشغلين المعنيين والسلطة الوطنية لمنح التراخيص. ويعرض الجدول 1 إحدى إمكانيات توفير نفاذ متساوٍ إلى الطيف لأجزاء المناطق السداسية المختلفة التي تخضع للتقييدات.

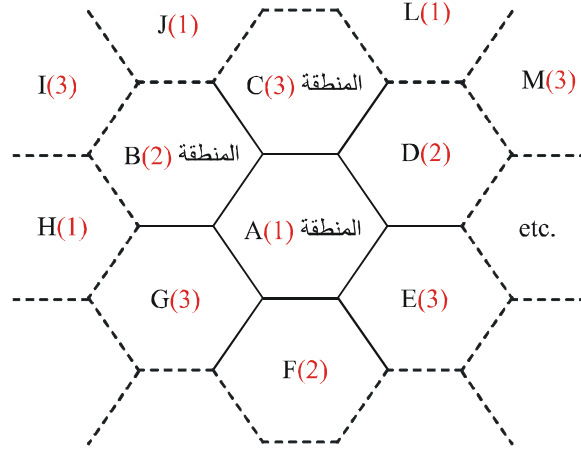
الشكل 4

أكفة حدود التقاسم بين الخطات الأرضية المنتشرة في كل مكان لشبكتين تعملان في الخدمة الثابتة الساتلية في اتجاهي إرسال متعاكسين، تطبيق دولي



Contours are for minimum path-loss from international border ≥ 162 dB for all but 4% of time.

الشكل 5



1781-05

الجدول 1

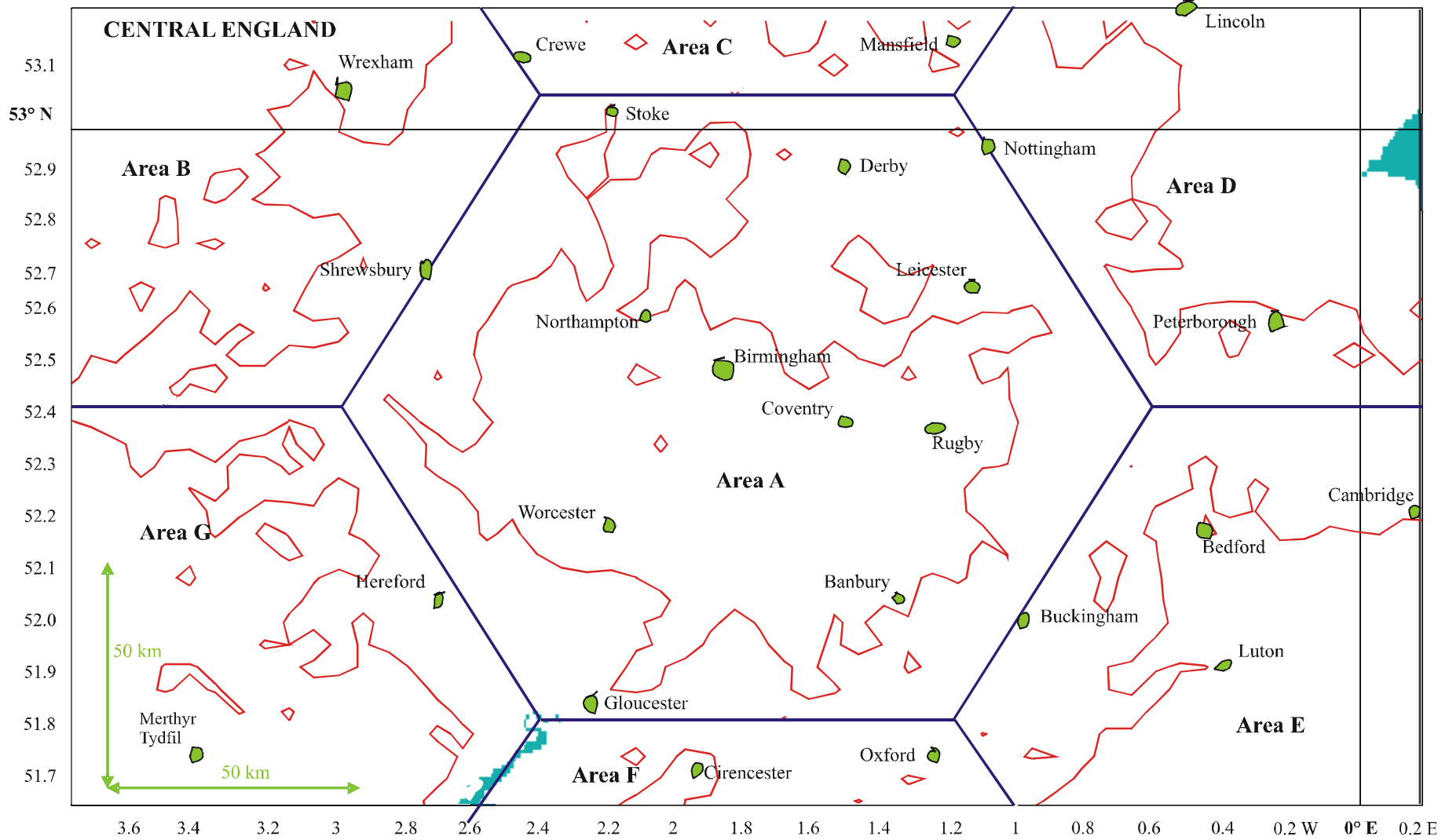
إمكانية تقسيم النطاق بالتساوي

<----- GHz 12.75-12.5 ----->		
GHz 12,75-12,667 = f3 (3) في الشكل 5	GHz 12,667-12,583 = f2 (2) في الشكل 5	GHz 12,583-12,5 = f1 (1) في الشكل 5
جزء المنطقة C الخاضع لتقييد الإرسال على التردد f3	جزء المنطقة B الخاضع لتقييد الإرسال على التردد f2	جزء المنطقة A الخاضع لتقييد الإرسال على التردد f1
جزء المنطقة E الخاضع لتقييد الإرسال على التردد f3	جزء المنطقة D الخاضع لتقييد الإرسال على التردد f2	جزء المنطقة H الخاضع لتقييد الإرسال على التردد f1
جزء المنطقة G الخاضع لتقييد الإرسال على التردد f3	جزء المنطقة F الخاضع لتقييد الإرسال على التردد f2	جزء المنطقة J الخاضع لتقييد الإرسال على التردد f1
جزء المنطقة I الخاضع لتقييد الإرسال على التردد f3		جزء المنطقة L الخاضع لتقييد الإرسال على التردد f1
جزء المنطقة M الخاضع لتقييد الإرسال على التردد f3		

وقد أعد مثال لهذا الترتيب في منطقة سداسية الشكل في وسط إنكلترا باستعمال مجموعة برمجيات خاصة بالطريقة الوارد وصفها في الفقرة 3، وتظهر النتائج في الشكل 6. ومرة أخرى كان التباعد بين محطات الاستقبال الأرضية المتجاورة وبين محطات الإرسال الأرضية المتجاورة أيضاً 5 km، وأقيمت هوائيات جميع المحطات على ارتفاع 5 m. ووضعت محطات الإرسال الأرضية على حدود المنطقة السداسية المركزية وأيضاً على طول الخطوط الستة التي تفصل هذه المنطقة من المناطق المجاورة من نفس الحجم. وقد تحددت أبعاد "شبكة" محطات الاستقبال الأرضية بحيث تغطي كامل المنطقة المستطيلة المبينة في الشكل 6. مما أتاح رسم الكفاف الذي حدد الجزء "A" من المنطقة السداسية، والأجزاء الأخرى من الكفاف التي تعدل أجزاء المناطق المجاورة B و C و D و E و F و G الواقعة في المنطقة موضوع الإعداد.

الشكل 6

أكفة حدود التقاسم بين المحطات الأرضية المنتشرة في كل مكان لشبكتين تعملان في الخدمة الثابتة الساتلية في اتجاهي إرسال متعاكسين، تطبيق وطني



Contours are for minimum path-loss from hexagonal boundary ≥ 155 dB for all but 4% of time.

وفيما يتعلق بتقاسم الترددات داخل البلد الواحد، وخاصة في بلد صغير المساحة نسبياً، قد يكون من المناسب استعمال معايير تدخل أقل تشدداً نوعاً ما بحيث لا تمثل الأجزاء الخاضعة "للتقييد" جزءاً كبيراً جداً من المناطق السداسية. ونتيجة لذلك وفي هذا المثال الخاص بالتطبيق الوطني، أعيدت دراسة الفرضيات التي أعطت المعادلتين (2) و(3)، وفيما يلي التعديلات التي أدخلت:

- أولاً، يَبْنَى إعادة دراسة البيانات المجمعة من الردود على استقصاء العام 2002 فيما يتعلق بالمطاريف VSAT العاملة في النطاق 14-14,5 GHz والمزودة بهوائيات يتراوح قطرها بين 1,5 متر و2,1 متر أنه على الرغم من أن 98% من المحطات الأرضية لا ترسل أكثر من 52 dBW (لكل 1 MHz من عرض النطاق)، فإن هذه النسبة المثوية تبدأ بالهبوط بشدة عند سويات القدرة e.i.r.p. حوالي 49 dBW. والحقيقة أن 97% من المحطات الأرضية لا ترسل سويات قدرة e.i.r.p. أعلى من 50 dBW.
 - ثانياً، نظراً لأن تقاسم الترددات في هذه الحالة يقع ضمن نطاق إدارة واحدة، فمن الأرجح أن يكون التحكم في بيئة التداخل أكثر فعالية منه في مثال التطبيق الدولي. وعلاوة على ذلك، وبالمقارنة مع حالة التطبيق الدولي، من غير المرجح أن يصل عدد المحطات الأرضية التي تقع داخل الحيز "المسبب للتداخل" لمحطة أرضية معينة وترسل على نفس التردد استقبال هذه المحطة إلى عشر محطات. وبالتالي، فيما يتعلق بهذا المثال، يعتبر التفاوت المسموح به لدخول واحد بمقدار 1% من حصيلة ضوضاء النظام (بدلاً من النسبة 0,5% الواردة في الفقرة 2) معقولاً.
 - ثالثاً، يستنتج من الشكل 11 أنه فيما يتعلق بجوالي 92% من مسارات التداخل ستكون زوايا الانحراف عن المحور الرئيسي لمحطة أرضية للإرسال أو الاستقبال أكبر من 30° تقريباً (بدلاً من الزاوية 25° المفترضة في الفقرة 2). أما كسب الفص الجانبي للهوائي عند زاوية الانحراف عن المحور الرئيسي البالغة 30° فسيبلغ -5 dB. وبالتالي، سيكون الكسب أقل من -5 dB في حوالي 92% من مسارات التداخل. ويفترض في هذا المثال أنه $G(\varphi_r) = -5 \text{ dB}$ و $G(\varphi_r) = -10 \text{ dB}$.
- ومع مراعاة هذه العوامل الثلاثة في المعادلتين (2) و(3)، فإن خسارة المسير التي يتم تجاوزها أثناء 96% من الوقت على الأقل تصبح 155 dB بغية تحديد الألفة.

ويبين الشكل 6 أن تقاسم كامل النطاق 12,5-12,75 GHz داخل الخدمة الثابتة الساتلية في الاتجاهين سيكون عملياً في الحالة الوطنية لأغراض المحطات الأرضية في معظم أرجاء البلاد. فمثلاً، داخل المنطقة A في الشكل 6 لن توضع تقييدات على استعمال النطاق لأغراض محطات الإرسال الأرضية داخل الكفاف الذي يضم أكثر من 50% من المساحة وهناك دلائل على أن ذلك قد يكون صحيحاً أيضاً بالنسبة إلى المناطق B و C و D و E و H. وقد يؤدي استخدام قاعدة بيانات تضاريس ذات استبانة أعلى من تلك المستخدمة هنا وإدراج "العوائق" المحلية (أي المباني والأشجار وغيرها) إلى "زحزحة" الكفاف باتجاه حدود المناطق في كثير من الحالات. وثمة حاجة إلى مزيد من الوسائل من أجل تسهيل تقاسم النطاق بين الكفاف وحدود المنطقة السداسية، مثل الاقتصار على ثلث النطاق للإرسال في كل منطقة سداسية كما ورد أعلاه.

التذييل 1

للملحق 1

تغير الزاوية الواقعة بين محور تسديد الهوائيات ومسير التداخل

تحدد زاوية ارتفاع محطة أرضية تعمل مع ساتل ذي مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض باستعمال المعادلة التالية:

$$(4) \quad E_s = \arctan \left(\frac{\cos(\alpha_E - \alpha_S) \cdot \cos(\lambda_E) - 0.1513}{1 - \cos^2(\alpha_E - \alpha_S) \cdot \cos^2(\lambda_E)} \right)^{1/2}$$

حيث:

E_S : زاوية ارتفاع هوائي المحطة الأرضية

α_E : خط طول المحطة الأرضية

α_S : خط طول الساتل

λ_E : خط عرض المحطة الأرضية.

وتحدد زاوية سمت المحطة الأرضية في اتجاه الساتل باستعمال المعادلة التالية:

$$(5) \quad A_s = 180 + \arctan(\tan(\alpha_E - \alpha_S)/\sin(\lambda_E))$$

حيث A_s هي زاوية السمت مقيسة بالدرجات من الشمال الحقيقي باتجاه المحطة الفضائية التي تعمل معها المحطة الأرضية.

وتحدد زاوية الانحراف عن محور هوائي محطة أرضية تعمل وفقاً للقيمتين E_S و A_S المعرفتين أعلاه، وفي اتجاه أي محطة أرضية أخرى زاويتها السمتية المقيسة أيضاً بالدرجات من الشمال الحقيقي هي A_E ، باستعمال العلاقة التالية مع افتراض أن زاوية ارتفاع الأفق تساوي صفرًا¹:

$$(6) \quad \varphi = \arccos(\cos(E_S)\cos(A_E - A_S))$$

حيث:

φ : الزاوية الواقعة بين هوائي المحطة الأرضية واتجاه المحطة الأرضية الأخرى

A_E : زاوية السمت بالدرجات من الشمال الحقيقي باتجاه المحطة الأرضية الأخرى.

يبلغ متوسط خط العرض في مثال التطبيق الدولي الوارد في متن هذه التوصية حوالي 49°N، أما في الأشكال من 7 إلى 10، استعملت المعادلات من (4) إلى (6) لتمثيل φ ، في حالة $\lambda_E = 49^\circ$ ، بدلالة A_E في أربع قيم تباعد بين خطوط طول المحطة الأرضية والسواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض الذي تعمله معه المحطة $(\alpha_E - \alpha_S)$. ويبين الشكل 7، كما هو متوقع، اللحظة التي تكون فيها المحطة الأرضية وساتلها على نفس خط الطول علماً بأن تغير زاوية الانحراف عن المحور الرئيسي للهوائي متناظرة مع التقويم الزاوي السمتي شرقاً وغرباً. وبطريقة مماثلة تبين الأشكال 8 و 9 و 10 تغيرات غير متناظرة شرقاً وغرباً، وقيمة دنيا للزاوية φ التي تتشكل عندما تقابل A_E زاوية سمت محطة الإرسال الأرضية. وإذا أعيد حساب الأشكال 8 و 9 و 10 للحالات المقابلة حيث يقع الساتل إلى غرب المحطة الأرضية تنتج الصور العاكسة (حول $A_E = 0^\circ$) للمخططات الثلاثة.

وكما هو متوقع أيضاً تكون القيمة الدنيا للزاوية φ في كل حالة مساوية لزاوية ارتفاع الساتل حسبما "يرى" في المحطة الأرضية. ويمكن التحقق من ذلك من خلال تقييم المعادلة (4) ومقارنة النتيجة مع النقاط الدنيا من منحنيات الأشكال من 7 إلى 10.

60	40	20	0	$\alpha_E - \alpha_S$ (درجة)
10,60	22,11	30,58	33,78	E_S (درجة)

ونظراً لأن معظم شبكات الخدمة GSO FSS العاملة في النطاق 14,5-14 GHz لا تعمل بزوايا ارتفاع تقل عن 10° تقريباً، يمكن اعتبار أن الأشكال من 7 إلى 10 تغطي كامل مدى الزوايا الواقعة بين طور التسديد واتجاه التداخل، وذلك بين المحطات الأرضية التي تستعمل اتجاهات إرسال معاكسة.

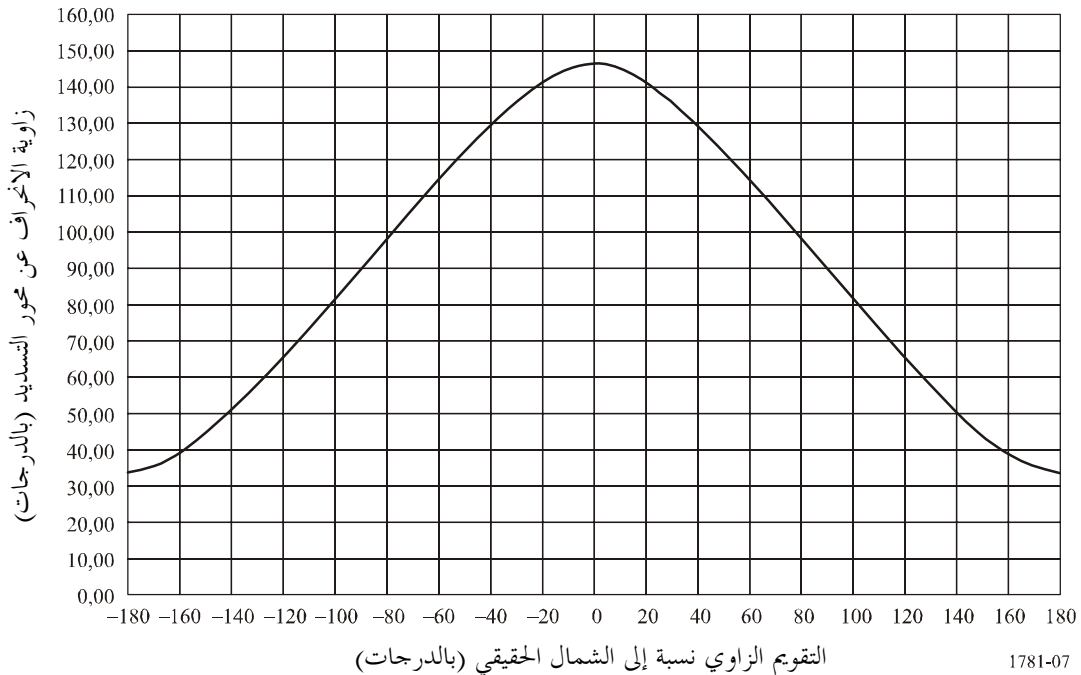
¹ ستكون نتائج هذا التذييل مختلفة قليلاً لو استعملت زاوية ارتفاع أفق غير الصفر. لكن الفرق سيكون ضئيلاً لأن مواقع المحطة الأرضية التي تتجاوز زوايا ارتفاعها 2° أو 3° نادرة.

ونظراً لأن المحطات الأرضية قد توضع في أي مكان، فإن مسير التداخل بين محطة أرضية تستعمل النطاق 12,75-12,5 GHz الموزع على الخدمة FSS (أرض-فضاء) ومحطة أرضية تستعمل النطاق نفسه الموزع على الخدمة (فضاء-أرض) قد يتخذ أي اتجاه على سطح الأرض. وبالتالي يمكن اعتبار أي تقويم زاوي سمّي (A_E) في أي محطة أرضية في النظام للإرسال كانت أم للاستقبال ممكناً. وبطريقة مماثلة وفيما يتعلق بهذه الحالة، تعتبر جميع الفروقات (الممكنة) بين خط طول المحطة الأرضية وخط طول الساتل ($\alpha_E - \alpha_S$) ممكنة؛ (لكن الفروق الصغيرة بين خطوط الطول عملياً أكثر شيوعاً من الفروق الكبيرة، لكن هذه الفرضية تبسط التحليل وتميل إلى التوجه المتشدد أي أن النتائج تكون مشدرة قليلاً). لذلك يمكن بالاستناد إلى الأشكال 7 و 8 و 9 و 10 والحصول على نتائج تتعلق بالقيم $\alpha_E - \alpha_S$ المتباعدة بمقدار 10° تتراوح بين 0° و 60°، أن تتولد دالة توزيع تراكمي (CDF) للزوايا الواقعة بين خط التسديد واتجاه التداخل تغطي جميع الظروف الجغرافية استناداً إلى فرضيات الاحتمالات المتشابهة وخط عرض متوسط قدره 49°. وتظهر دالة التوزيع التراكمي هذه في الخط المنحني العلوي في الشكل 11.

وتيسيراً للأمر، أضيف نموذج الكسب خارج المحور الهوائي طوله 1,8 متر يعمل بتردد 12,625 GHz (كما يرد في المثال في متن التوصية) إلى الشكل 11 (المنحني السفلي) وذلك من خلال إدراج محور شاقولي إلى اليمين وسلم قياس مناسب. وجرى حساب هذا المخطط باستعمال المعادلات الواردة في التوصية ITU-R S.580. ولذا يمكن، على سبيل المثال، ملاحظة أنه تم تجاوز زاوية انحراف عن المحور الرئيسي قدرها 25° من قبل 96% من مسارات التداخل على الأقل، وأن كسب الهوائي أقل من 3-dBi تقريباً في جميع زوايا الانحراف عن محور التسديد التي تتجاوز 25°. وبما أن أقصى كسب (أي في المحور) لمثل هذا الهوائي يبلغ 45,7 dBi عند افتراض كفاءة هوائي بنسبة 65%، ينتج أن تمييز الهوائي في كل من طرفي مسير التداخل لا يقل عن 48,7 dB في 96% من هذه الحالات. وعلاوة على ذلك، فإن احتمال أن يكون كسب الهوائي في اتجاه مسير التداخل قريباً من 3-dBi في هوائيات المحطتين الأرضيتين على حد سواء ضئيل جداً، حوالي $(0,04)^2$ أو 0,16%، ولذلك فإن متن التوصية متشدد بدرجة كافية بالنسبة لهذا الشأن عندما يفترض الكسب خارج المحور هو 3-dBi في أحد طرفي مسير التداخل و-10 dBi في الطرف الآخر.

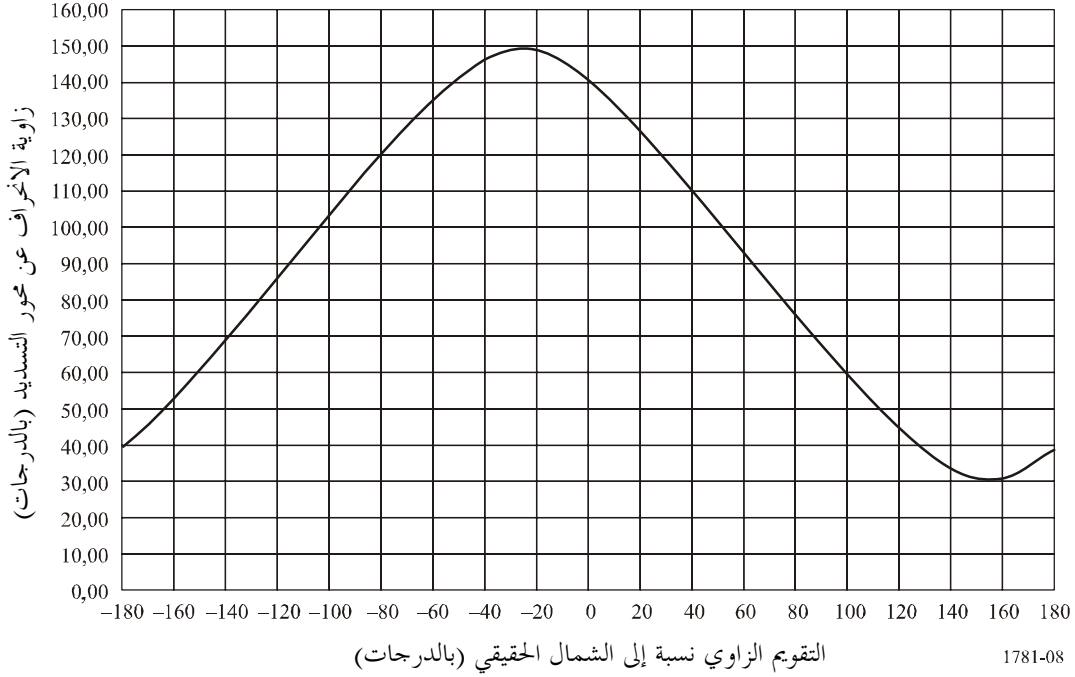
الشكل 7

الزاوية الواقعة بين محور التسديد واتجاه التداخل بدلالة التقويم الزاوي السمتي نسبة إلى الشمال الحقيقي في محطة أرضية تقع على خط العرض 49° شمالاً، علماً بأن الساتل يقع على نفس خط طول المحطة الأرضية



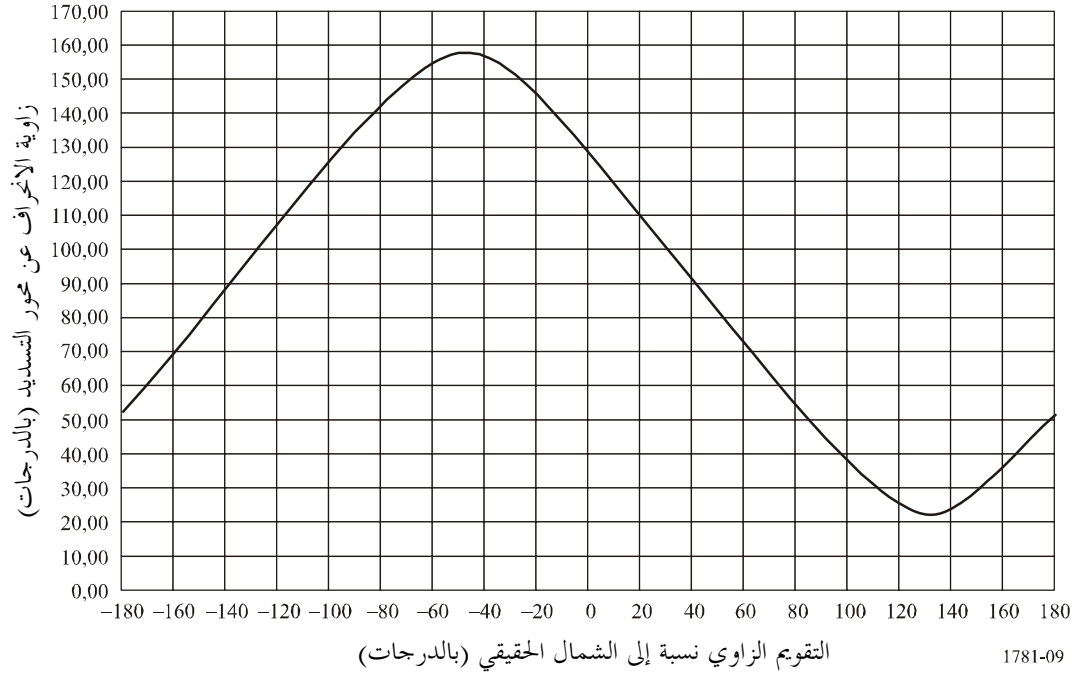
الشكل 8

الزاوية الواقعة بين محور التسديد واتجاه التداخل بدلالة التقويم الزاوي السمتي نسبة إلى الشمال الحقيقي في محطة أرضية تقع على خط العرض 49° شمالاً، الساتل يقع على بعد 20° شرقاً من الخطة الأرضية



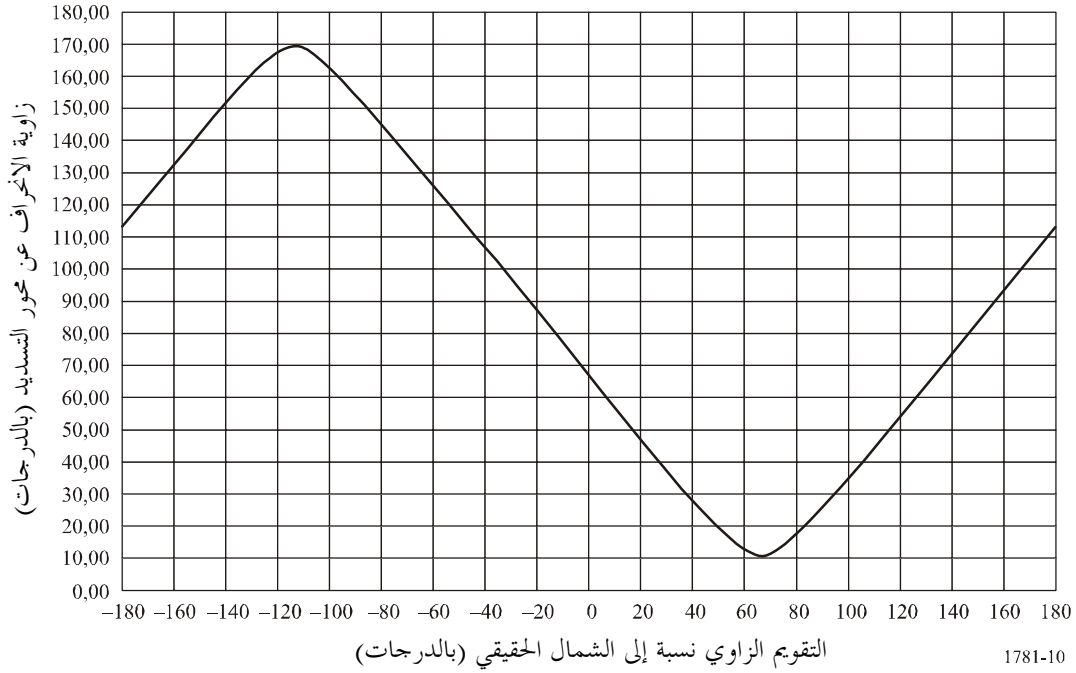
الشكل 9

الزاوية الواقعة بين محور التسديد واتجاه التداخل بدلالة التقويم الزاوي السمتي نسبة إلى الشمال الحقيقي في محطة أرضية تقع على خط العرض 49° شمالاً، الساتل يقع على بعد 40° شرقاً من الخطة الأرضية



الشكل 10

الزاوية الواقعة بين محور التسديد واتجاه التداخل بدلالة التقويم الزاوي السمتي نسبة إلى الشمال الحقيقي في محطة أرضية تقع على خط العرض 49° شمالاً، الساتل يقع على بعد 60° شرقاً من الخطة الأرضية



الشكل 11

دالة التوزيع التراكمي للزوايا الواقعة بين محور التسديد واتجاه التداخل بين المحطات الأرضية العاملة في اتجاهات متعاكسة للإرسال ونموذج الكسب خارج المحور وفقاً للتوصية ITU-R S.580

