التوصيـــة ITU-R F.1819

حماية خدمة الفلك الراديوي في النطاق GHz 49,04-48,94 من البث غير المطلوب من محطات منصات عالية الارتفاع في النطاقين GHz 47,5-47,2 و GHz 48,2-47,9*

(2007)

مجال التطبيق

تعيّن هذه التوصية مسافة المباعدة الدنيا بين محطة الفلك الراديوي ونظير منصة محطة HAPS وحماية محطات الفلك الراديوي العاملة في النطاق GHz 49,04-48,94 من البث غير المطلوب من محطات المنصات عالية الارتفاع العاملة في النطاقين GHz 47,5-47,2 و GHz 48,2-47,9.

المختصرات

HAPS محطات المنصات عالية الارتفاع RAS خدمة الفلك الراديوي
(High altitude platform stationsRAS radio astronomy service)

UAC تغذية منطقة حضرية *(Urban area coverage)*

SAC تغطية منطقة الضواحي *(Suburban area coverage)*

RAC تغطية منطقة ريفية *(Rural area coverage)*

إن جمعية الاتصالات الراديوية التابعة للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أنه يجري تطوير تكنولوجيا جديدة تستخدم محطات المنصات عالية الارتفاع (HAPS) في الاستراتوسفير؛

ب) أن المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية (WRC-97) أصدر أحكاماً بشأن تشغيل المحطات (HAPS) في الخدمة الثابتة في النطاقين GHz 47,5-47,2 و GHz 48,2-47,9؛

ج) أن التوصية ITU-R F.1500 تتضمن خصائص الأنظمة في الخدمة الثابتة التي تستعمل محطات HAPS العاملة في النطاقين GHz 47,5-47,2 و GHz 48,2-47,9؛

د) أن من الضروري حماية خدمة الفلك الراديوي (RAS) العاملة في النطاق GHz 49,04-48,94؛

هـ) أن القرار (Rev.WRC-03) 122 طلب إجراء دراسات بشأن تقاسم التردد بين خدمة الفلك الراديوي وأنظمة محطات HAPS باستعمال النطاقين المذكورين أعلاه،

توصـــي بأنه

1 لحماية محطات الفلك الراديوي العاملة في النطاق GHz 49,04-48,94 من البث غير المطلوب من المحطة HAPS العاملة في النطاقين GHz 47,5-47,2 و GHz 48,2-47,9 ينبغي ألا تتجاوز مسافة المباعدة بين محطة الفلك الراديوية ونظير منصة المحطة HAPS مسافة km 50 (انظر الملحق 1).

* ينبغي إحاطة لجنة الدراسات 7 لقطاع الاتصالات الراديوية علماً بهذه التوصية.

الملحق 1

منهجية لتحديد مسافة المباعدة الدنيا بين هوائي خدمة الفلك الراديوي ونظير منصة محطة منصات عالية الارتفاع

1 مقدمة

تعرض هذه التوصية نتائج دراسات التوافق بين محطات المنصات عالية الارتفاع (HAPS) التي توفر خدمات النفاذ اللاسلكي الثابتة (FWA) في النطاقين GHz 47,5-47,2 وGHz 48,2-47,9، وخدمة الفلك الراديوي – (RAS) في النطاق GHz 49,04-48,94 (RR 5.555B) الذي يستعمل فقط لرصدات الخط الطيفي للفلك الراديوي. وبالاستناد إلى نتائج الدراسة تقترح مسافة مباعدة دنيا لحماية خدمة الفلك الراديوي.

2 خصائص النظام

1.2 نظام المحطات HAPS

المعلمات المستخدمة في هذا التحليل واردة في التوصية ITU-R F.1500.

2.2 مستويات العتبة للتداخل الضار بخدمة الفلك الراديوي

إن المستوى المقترح لعتبة كثافة تدفق القدرة الطيفية (spfd) لحماية محطة لخدمة الفلك الراديوي ذات كسب هوائي للفص الجانبي قدره 0 dBi هو –209 (dB(W/(m^2 · Hz)) **أو** –149 (dB(W/(m^2 · MHz)). ومن الضروري النظر في كسب الهوائي الفعلي لخدمة الفلك الراديوي G بغية تحديد ما إذا كان التداخل يتجاوز مستوى العتبة الضارة.

إن لهوائيات خدمة الفلك الراديوي عادة كسب هوائي عال للغاية يبلغ 70-80 dBi. وفي الاستجابة النموذجية للهوائي الواردة في التوصية ITU-R SA.509، يبلغ مستوى الفص الجانبي عند زاوية 5° من الحزمة الرئيسية هو 15 dBi. ويحدث مستوى الفص الجانبي 0 dBi عند زاوية تبلغ 19,05° من محور الحزمة الرئيسية. وبسبب ضيق الحزمة الرئيسية، فإن التداخل في هوائي فلك راديوي يستقبل دائماً تقريباً من خلال الفصوص الجانبية للهوائيات ولذلك يفترض هنا ألا تصبح محطات المنصات HAPS أقرب من 5° من الحزمة الرئيسية لهوائي خدمة الفلك الراديوي، ولذلك فإن استجابة الحزمة الرئيسية للتداخل لا تبحث في هذه الدراسة. ومن الواضح أن من المرغوب فيه وضع منصة المحطة HAPS على مسافة لا يقل قربها عن 20° من الحزمة الرئيسية للهوائي لكن هذا الوضع ليس عملياً دائماً. ومن هنا، وفي هذه الدراسة يعتبر أن معيار التداخل يبلغ –164 (dB(W/(m^2 · Hz)) للسماح بكسب الفصل الجانبي لهوائي خدمة الفلك الراديوي البالغ قدره 15 dBi.

3.2 تقنيات تخفيف التداخل

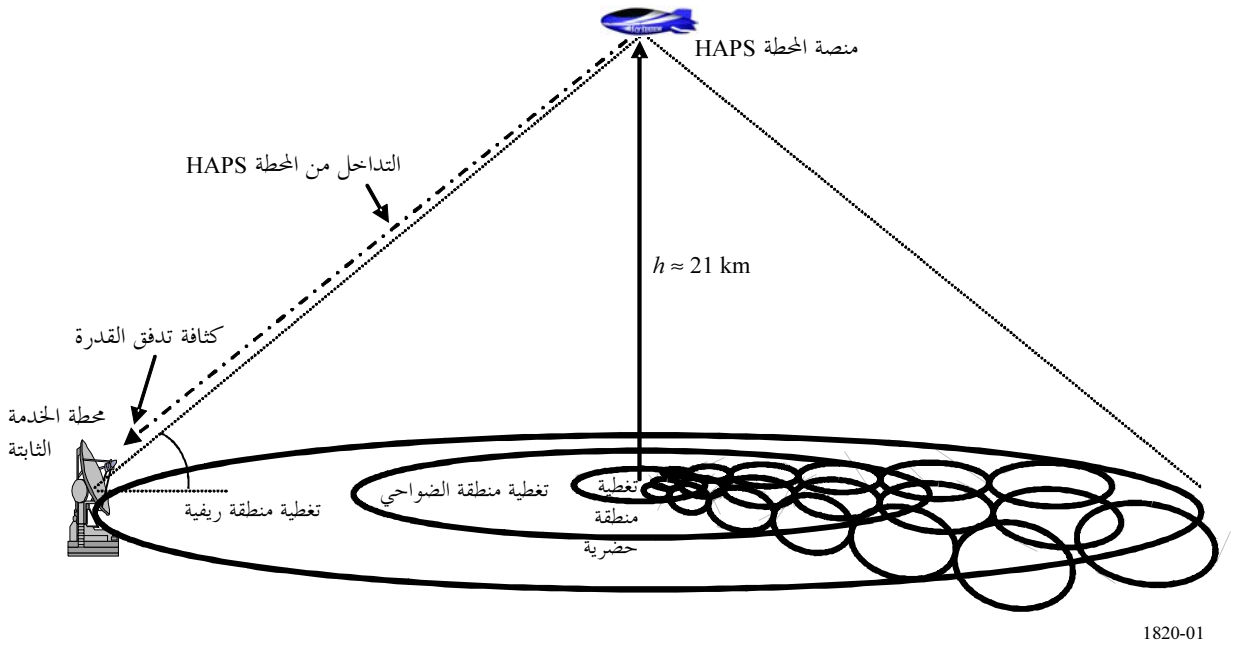
يتضمن هوائي كل منصة لمحطة HAPS مرشاح نطاق تمرير دليل الموجة Chebyshev 12 قسماً مع نسبة رفض في نطاق الإيقاف تزيد على 70 dB للبث غير المطلوب في ترددات أكبر من أربعة عروض نطاق 3 dB من نطاق التمرير. ولزيادة تخفيف التداخل المحتمل في خدمة الفلك الراديوي عند GHz 49، يكون لدى الهوائي أيضاً مرشاح (كسب) في نطاق إيقاف Chebyshev 5 أقسام، متكامل مع عمق كسب يبلغ –25 dB ضمن نطاق الإيقاف البالغ MHz 100. ويوفر هذا رفضاً كلياً لنطاق الإيقاف يزيد على 95 dB لحماية النطاق GHz 49 لخدمة الفلك الراديوي.

4.2 سيناريو التداخل

يبين الشكل 1 سيناريو التداخل المفترض. وفي هذا السيناريو، تقع محطة الفلك الراديوي الأرضية التي تستقبل إشارة التداخل المرسلة من منصة محطة HAPS إما عند حافة تغطية المحطة HAPS أو وراء نطاق هذه الحافة. وتحسب إشارة التداخل المجمَّعة من جميع المرسلات على متن منصة المحطة HAPS من أجل توفير حد أعلى لكثافة تدفق القدرة (pfd).

الشكل 1

التداخل من منصة المحطة HAPS في محطة خدمة الفلك الراديوي



تصف المختصرات UAC وSAC وRAC على التوالي تغطية منطقة حضرية ومنطقة الضواحي ومنطقة ريفية من قِبَل المحطات HAPS.

5.2 خسارة الإرسال الأساسية

يمكن التعبير عن خسارة الإرسال الأساسية L_b من هوائي محطة منصة HAPS وحيدة إلى محطة خدمة فلك راديوية وفقاً للتوصية ITU-R P.619 كما يلي:

$$L_b = 92.5 + 20\log f + 20\log d + A_g + A_D - G_S \quad \text{dB} \tag{1}$$

حيث:

f: التردد (GHz)

d: طول المسير (km)

A_g: التوهين بسبب غازات الغلاف الجوي (dB)

A_D: التوهين (dB) بسبب انتشار الحزمة

G_S: الكسب (dB) بسبب التلألؤ

وبالنسبة للتوهين في الغلاف الجوي، ستستخدم التوصية ITU-R F.1501. وبالنسبة لتحليل التداخل، فإن صيغة التوهين الدنيا فقط هي ذات الأهمية، ومن هنا فإن الصيغة الخاصة للتوهين A_H في مناطق خطوط العرض العليا (فوق 45°) عند 47,2 GHz تختار لتوفير تحليل أسوأ حالة.

$$A_H(h,\theta) = 46.70/[1 + 0.6872\theta + 0.03637\theta^2 - 0.001105\theta^3 + 0.8087\times10^{-5}\theta^4 + h(0.2472 + 0.1819\theta) + h^2(0.04858 + 0.03221\theta)] \quad (2)$$

والصيغة سليمة بالنسبة لـ $0 \le h \le 3$ km و$0 \le \theta \le 90°$، حيث θ (درجات)، هو زاوية ارتفاع المحطة الأرضية فيما يتعلق بالمنصة HAPS وh (km) هو ارتفاع المحطة الأرضية فوق مستوى سطح البحر. وبالنسبة لزوايا الارتفاع الفعلية الأقل من 0°، ينبغي استعمال التوهين الخاص بـ 0°.

ومن أجل إجراء تحليل أسوأ حالة، يتم في هذه الدراسة إغفال التوهين بسبب انتشار الحزمة.

وإن كسب التلألؤ، G_S هو دالة للتردد، وقطر هوائي المحطة الأرضية، وزاوية الارتفاع والمناخ المحلي، ويمكن حسابه من شدة التلألؤ المتنبأ بها في التروبوسفير. وتؤدي فتحة هوائي الاستقبال دوراً في تخفيف أثر دليل تقلب الانكسار؛ وكلما كانت فتحة الهوائي أكبر فيما يتعلق بمنطقة Fresnel الأولى، كلما كان عامل تحديد متوسط فتحة المُستقبِل أصغر وهو دائماً أقل من 1. ويتراوح عامل تحديد متوسط فتحة الهوائي النمطي لخدمة الفلك الراديوي بين 0,1 إلى 0,7 على طول محور الحزمة الرئيسي. وبالنسبة للاستقبال خارج المحور، ينبغي أن يقترب عامل تحديد المتوسط من 1.

ونظراً لأن الحد الأدنى لزاوية ارتفاع منصة HAPS سيكون أكبر من 5° لا يتوافر حالياً خط توجيهي فيما يتعلق بكيفية تقدير كسب التلألؤ عند 49 GHz. إلا أن التوصية ITU-R P.618 في المعادلة (25) تستخدم كمرشد لتقدير الانحراف المعياري لاتساع التلألؤ:

$$\sigma(f,\theta,D) = \sigma_{reference}(f_0,\theta_0,D_0)\cdot\left(\frac{f}{f_0}\right)^{7/12}\cdot\left(\frac{\sin(\theta_0)}{\sin(\theta)}\right)^{1.2}\cdot\frac{G(D)}{G(D_0)} \quad (3)$$

حيث $\sigma_{reference}(f_0, \theta_0, D_0)$ هو الانحراف المعياري المرجعي لاتساع التلألؤ عند التردد f_0، وزاوية الارتفاع θ_0، وقطر الفتحة D_0، $G(D)$ هو عامل تحديد منطقة كسب الفتحة بسبب التلألؤ وf_0 وθ وD هي التردد وزاوية الارتفاع، وفتحة هوائي خدمة الفلك الراديوي المعنية.

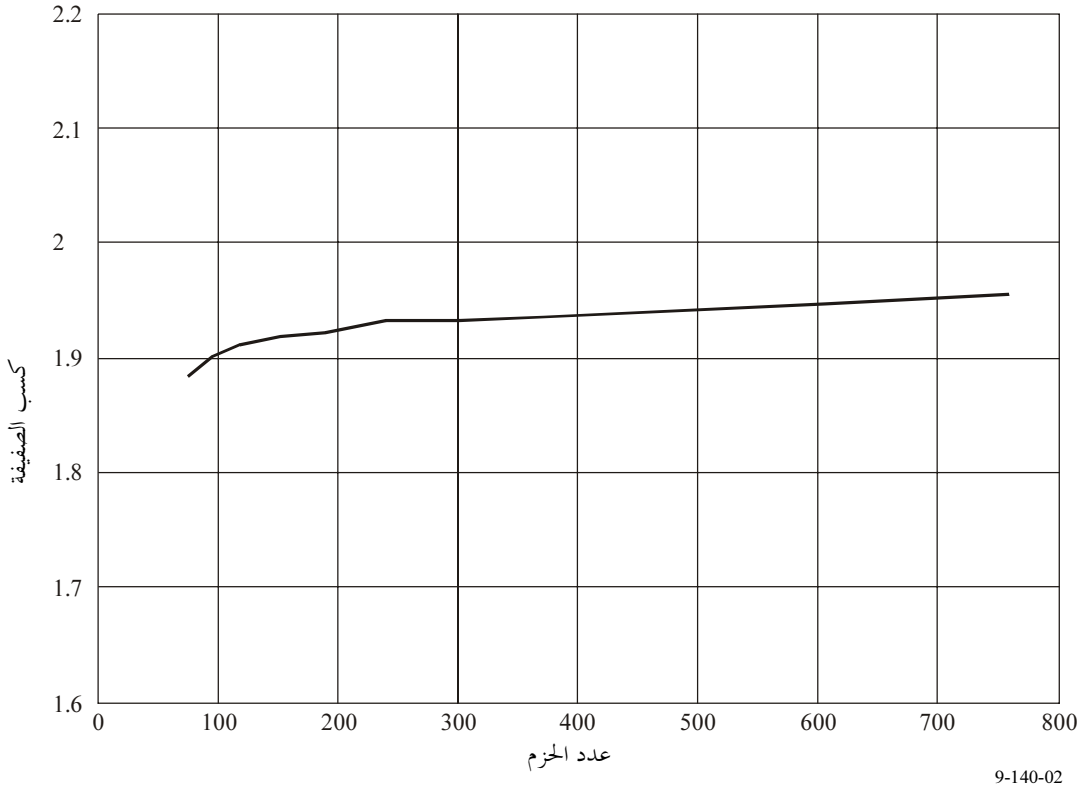
وتوفر الفقرة 4.4 من التوصية ITU-R P.452 أيضاً معادلة لحساب خسارة الإرسال بين المحطات على سطح الأرض بسبب الانتشار التروبوسفيري الذي لا يتجاوز عند نسب مئوية من الوقت P%. إلا أن خسارة الانتشار التروبوسفيري تطبق فقط على المسيرات عبر الأفق (التوصية ITU-R P.452، الفقرة 4.4، الملاحظة 2)، وهو في حالة المنصة HAPS أكثر من 500 km من النظير. ومن ثم طالما كانت مسافة المباعدة الدنيا المحسوبة أقل من ذلك، ويمكن تجاهل خسارة الانتشار التروبوسفيري. وينطبق الوضع ذاته على الخسائر الأخرى عبر الأفق من مثل خسائر المجاري والانعراج.

6.2 نتائج الدراسة

لحساب مستوى التداخل المجمع من منصة HAPS، ينبغي حساب عامل كسب صفيفة أولاً بغية الحصول على الكسب الفعلي للهوائي المرسل G_t بغية توفير المستوى الكلي لقدرة الإرسال قبل جميع الخسائر على النحو الوارد في المعادلة (1). ويحسب عامل كسب الصفيفة انطلاقاً من افتراض أن هوائيات HAPS مرتبة على هيئة شبكة سداسية على سطح نصف الكرة الأرضية واضعين نصب العينين أن صفيفة الهوائيات لن تغطي نصف الكرة الأرضية بأكمله حتى بزاوية ارتفاع دنيا تبلغ الصفر، ولذلك فإن هذا الحساب يطابق الحد الأعلى لحد كثافة تدفق القدرة الطيفية. ويتمثل افتراض تبسيطي آخر في الاستعاضة عن جميع الهوائيات الأخرى لتغطية المنطقة الريفية RAC بهوائيات ذات كسب أخفض لتغطية مناطق الضواحي، باستثناء الهواء الموجه مباشرة نحو المُستقبِل الأرضي المعرض للتداخل. وعلى خلاف سيناريوهات التداخل في نفس القناة تسهم هوائيات المنصة HAPS في البث غير المطلوب عند ترددات خدمة الفلك الراديوي التي تبلغ 48,94-49,04 GHz. وتحسب قدرة التداخل الفعلية بضرب رقم كسب الهوائي الوحيد (غير المعبر عنه بالوحدة dBi) في عامل كسب الصفيفة.

الشكل 2

عامل كسب الصفيفة مقابل العدد الإجمالي لحزم HAPS



ويبين الشكل 2 أن عامل كسب الصفيفة المحسوب قريب من 2 بغض النظر تقريباً عن عدد حزم HAPS. ومن ثم يمكن تقدير مستوى قوة التداخل قبل جميع الخسائر من خلال الزعم بوجود هوائي HAPS فقط موجه مباشرة إلى هوائي محطة خدمة الفلك الراديوي ومن خلال حاصل ضرب مستوى القوى الناتجة في عامل كسب الصفيفة. ونظراً لأن عامل كسب الصفيفة هو دائماً أقل من 2,2 فإنه سوف يؤخذ على أنه عامل كسب الصفيفة بالنسبة لهذا الحساب.

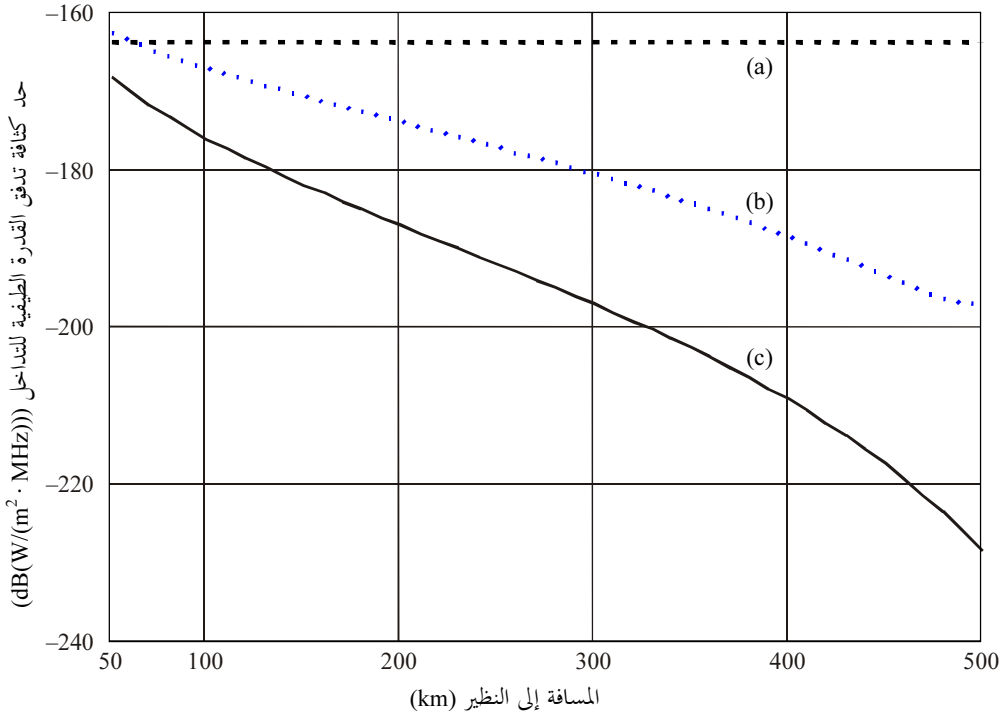
ويبين الشكل 3 أدناه تقدير الحد الأعلى لكثافة تدفق القدرة الطيفية للتداخل التي يتوقع أن تشهدها محطة خدمة فلك راديوي على مسافة تتراوح بين 50 km و500 km من نظير المنصة HAPS. ويفترض عرض نطاق إرسال يبلغ 11 MHz، وخسارة مشتركة للكبل/المغذي تبلغ 5 dB ويستخدم التوهين الإجمالي لنطاق الإيقاف الذي يبلغ 95 dB للحصول على النتائج النهائية. وتكون كثافة تدفق القدرة الطيفية المحسوبة في مدى يتراوح بين −176,3 dB(W/(m^2 · MHz)) و−236,6 dB(W/(m^2 · MHz)) للمسافات التي تتراوح بين 50 km و500 km، على التوالي، حسبما يمثلها المنحنى الكامل غير المتقطع.

ولتكوين فكرة عن أثر تلألؤ الانتشار التروبوسفيري فإن بيانات القياسات طويلة الأجل المتحصل عليها في راديو Isfjord، Spitzbergen أثناء صيف 1982 على ارتفاع 3,2° تستكمل خارجياً إلى 49 GHz وإلى زوايا ارتفاع أخرى باستعمال المعادلة (3) في التوصية ITU-R F.1501. وجدير بالذكر أن المعادلة (3) غير موصى باستعمالها عندما تكون زوايا الارتفاع أقل من 4° ولا عندما تكون الترددات تتجاوز 20 GHz. ولذلك فإن استعمالها غير ملائم كلية، إنما هو فقط للحصول على تقدير تقريبي. وتبين بيانات قياس Spitzbergen أن كسب سعة التلألؤ تجاوزت 12 dB لوقت لا يزيد على 0,001% من الوقت. ويمثل المنحني المنقط إضافة كسب تلألؤ التروبوسفير المستكمل خارجياً لتفسير تعزيز التداخل بسبب الانتشار التروبوسفيري للموجة الراديوية عند 49 GHz، في حين أن المنحني الكامل بدون انقطاعات هو مستوى التداخل عندما يكون كسب التلألؤ صفراً. ويتم في هذه الدراسة تجاهل عامل تحديد متوسط كسب فتحة هوائي خدمة الفلك الراديوي$G(D)$ الذي يقل دائماً

عن 1 بغية الحصول على تقدير أسوأ حالة. ويشمل مستوى كثافة تدفق القدرة الطيفية المسببة للتداخل في هذه الحالة بدايات تتراوح بين dB(W/(m^2 · MHz)) 172,0– إلى dB(W/(m^2 · MHz)) 212,5–. وتعكس الزيادة الأوضح في كثافة تدفق القدرة المسببة للتداخل التعزيز الكبير للإشارة الراديوية عند زوايا الارتفاع المنخفضة. ويظل حد كثافة تدفق القدرة الطيفية أدنى من عتبة حماية كثافة تدفق القدرة الطيفية لخدمة الفلك الراديوي التي تبلغ dB(W/(m^2 · MHz)) 164–، عندما لا يدرج كسب التلألؤ التروبوسفيري. ومع كسب التلألؤ يبلغ الحد الأدنى لمسافة المباعدة نحو km 51. إلا أنه إذا استطاعت المنصة HAPS البقاء لأكثر من °5 من محور الحزمة الرئيسية لهوائي خدمة الفلك الراديوي، فإن الأرجح هو أن تكون مسافة المباعدة الدنيا كافية حتى مع التلألؤ. وتتناقص كثافة تدفق القدرة الطيفية تناقصاً حاداً عندما تصبح المسافة أكبر من km 200، مما يعني زيادة سريعة في التوهين في الغلاف الجوي. وتبلغ زاوية الارتفاع التي تطابق مسافة km 200 من النظير نحو °5. ويستند الحساب المذكور أعلاه إلى افتراض أن المحطة الأرضية للخدمة الثابتة المعرضة للتداخل هي عند مستوى سطح البحر. أما المحطة الأرضية للخدمة الثابتة الأعلى من مستوى سطح البحر فستتلقى مستويات تداخل أعلى بسبب انخفاض التوهين في الغلاف الجوي.

الشكل 3

كثافة تدفق القدرة الطيفية التي يستقبلها هوائي خدمة الفلك الراديوي مقابل المسافة إلى النظير



المنحني (أ): عتبة الحماية الخاصة بخدمة الفلك الراديوية
المنحني (ب): مستوى التداخل مع كسب التلألؤ
المنحني (ج): مستوى التداخل عندما يكون كسب التلألؤ صفراً

9-140-03

3 مسافة المباعدة الدنيا لهوائي خدمة الفلك الراديوي والنظير لمحطة المنصة HAPS من أجل حماية خدمة الفلك الراديوي

يقترح أن تتجاوز المباعدة بين هوائي خدمة الفلك الراديوي والنظير لمنصة HAPS مسافة km 50 وذلك لأغراض حماية رصدات الفلك الراديوية في النطاق GHz 49,04-48,94 من منصة HAPS تعمل في نطاقي الترددات GHz 47,5-47,2 و GHz 48,2-47,9.