

التوصية ITU-R P.1409-3

(2023/08)

السلسلة P: انتشار الموجات الراديوية

بيانات الانتشار وطرائق التنبؤ للأنظمة التي تستخدم
محطات على منصات عالية الارتفاع وغيرها من المحطات
المرفوعة في طبقة الاستراتوسفير عند الترددات التي تزيد
عن 0,7 GHz تقريباً

تمهيد

يضطلع 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 القرار ITU-R 1. وترد الاستثمارات 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.

سلسلة توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني <https://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 بُعد	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، 2024

© ITU 2024

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 P.1409-3

بيانات الانتشار وطرائق التنبؤ للأنظمة التي تستخدم محطات على منصات
عالية الارتفاع وغيرها من المحطات المرفوعة في طبقة الاستراتوسفير
عند الترددات التي تزيد عن 0,7 GHz تقريباً

(2023-2021-2012-1999)

مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية معلومات عن طرائق التنبؤ المناسبة بالانتشار لدى النظر في أنظمة أو شبكات الاتصالات الراديوية التي تنطوي على استخدام محطات على منصات عالية الارتفاع أو غيرها من المحطات المرفوعة في طبقة الاستراتوسفير. وتُقدم طرائق التنبؤ بشكل منفصل بمهدفين مختلفين: طرائق التنبؤ لتقييم التداخل بين الأنظمة أو الشبكات التي تنطوي على استخدام محطات على منصات عالية الارتفاع وأنظمة أو شبكات الاتصالات الراديوية الأخرى، وطرائق التنبؤ لتصميم أنظمة أو شبكات الاتصالات الراديوية التي تنطوي على استخدام محطات على منصات عالية الارتفاع.

مصطلحات أساسية

خسارة الإرسال الأساسية، محطات على منصات عالية الارتفاع، تداخل

المختصرات/مسرد المصطلحات

HAPS محطة منصة عالية الارتفاع (High-altitude platform station)

LOS خط البصر (Line-of-sight)

TEC محتوى الإلكترونات الإجمالي (Total electron content)

توصيات وتقارير الاتحاد ذات الصلة

التوصية ITU-R P.528

التوصية ITU-R P.531

التوصية ITU-R P.618

التوصية ITU-R P.619

التوصية ITU-R P.680

التوصية ITU-R P.833

التوصية ITU-R P.2109

ملاحظة - في كل حالة، ينبغي استخدام أحدث طبعة من التوصية السارية.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

(¹) أن لوائح الراديو تشمل أحكاماً تعين استخدام الأنظمة التي تستخدم محطات على منصات عالية الارتفاع في الخدمة الثابتة حتى 48,2 GHz وفي الخدمة المتنقلة قرب التردد 2 GHz؛

- (ب) أن النطاقات الترددية المعينة موزعة أيضاً للاستخدام في خدمات أخرى؛
- (ج) أن دراسات قد أجريت على أنظمة وشبكات تستخدم منصات مرتفعة قد تكون على ارتفاعات أخفض في طبقة الاستراتوسفير،

توصي

بأن تؤخذ آليات ومؤثرات الانتشار المنصوص عليها في الملحق 1 بعين الاعتبار في تقييم التداخل بين الأنظمة أو الشبكات التي تنطوي على استخدام محطات على منصات عالية الارتفاع وأنظمة أو شبكات الاتصالات الراديوية الأخرى، وفي تصميم أنظمة تستخدم محطات المنصات عالية الارتفاع ومنصات أخرى مرفوعة في طبقة الاستراتوسفير.

الملحق 1

جدول المحتويات

الصفحة

2 الملحق 1	
2 مقدمة	1
3 طرائق التنبؤ بالانتشار من أجل دراسات تقاسم الترددات والتوافق	2
3 1.2 بين المحطات عالية الارتفاع ومحطات الأرض الأخرى	
5 2.2 بين المحطات عالية الارتفاع والمحطات الفضائية	
7 3.2 بين المحطات عالية الارتفاع والمحطات في الغلاف الجوي	
8 3 طرائق التنبؤ بالانتشار لتصميم الأنظمة التي تستخدم المحطات عالية الارتفاع	

1 مقدمة

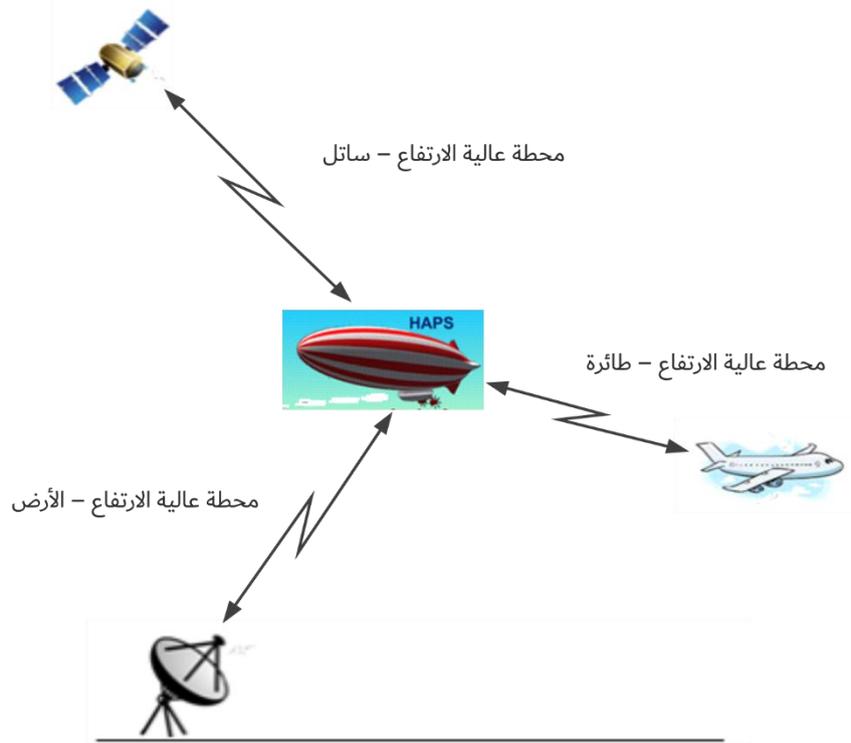
تقدم هذه التوصية معلومات عن طرائق الانتشار المناسبة لدى النظر في أنظمة أو شبكات الاتصالات الراديوية التي تنطوي على استخدام محطات على منصات عالية الارتفاع أو غيرها من المحطات المرفوعة في طبقة الاستراتوسفير. وللإيجاز، تستخدم عبارة "محطة عالية الارتفاع" للإشارة إلى كل من محطات المنصات عالية الارتفاع وغيرها من المحطات في طبقة الاستراتوسفير.

وكما هو مبين في الشكل 1، ينبغي النظر في المسارات الثلاثة التالية للمحطات عالية الارتفاع:

- "محطة عالية الارتفاع - محطات على سطح الأرض"؛
- "محطة عالية الارتفاع - محطات في طبقة الاستراتوسفير"؛
- "محطة عالية الارتفاع - محطات في الفضاء".

الشكل 1

مسارات الانتشار لمحطة عالية الارتفاع



P.1409-01

يمكن النظر في مهمتين مختلفتين في حالة "المحطات عالية الارتفاع - المحطات على سطح الأرض":

- تصميم الأنظمة التي تستخدم المحطات عالية الارتفاع؛

- تقييم التداخل بين المحطة عالية الارتفاع والمحطة على سطح الأرض.

وبالنسبة لمساري "المحطات عالية الارتفاع - المحطات في الغلاف الجوي" و"المحطات عالية الارتفاع - المحطات في الفضاء" ينبغي النظر في تقييم التداخل فقط.

ويقدم القسم 2 من هذه التوصية مشورة بشأن التداخل بين المحطة عالية الارتفاع والمحطات على سطح الأرض (مثل أنظمة الأرض) وبين المحطة عالية الارتفاع والمحطات في الفضاء وبين المحطة عالية الارتفاع والمحطات في الغلاف الجوي. وهو يقدم إرشادات بشأن التنبؤ بآليات التداخل ذات الصلة بالإحالة إلى توصيات أخرى بما فيها التوصيتان ITU-R P.619 و ITU-R P.528. ويقدم القسم 3 من هذه التوصية مشورة بشأن قضايا الانتشار في تصميم الأنظمة التي تستعمل محطات عالية الارتفاع.

2 طرائق التنبؤ بالانتشار من أجل دراسات تقاسم الترددات والتوافق

1.2 بين المحطات عالية الارتفاع ومحطات الأرض الأخرى

فيما يتعلق بمساري الانتشار هذين، ينبغي النظر في الآليات والآثار التالية، حسب الاقتضاء:

- خسارة الإرسال الأساسية في الفضاء الحر؛

- التوهين في الغلاف الجوي بسبب الامتصاص الغازي في طبقة التروبوسفير؛

- التوهين الناجم عن المطر (من المعروف أن الهواطل التي تشمل المطر والثلوج الرطبة والسحب، تتسبب في توهين عند ترددات أعلى من 5 GHz تقريباً؛ ومع ذلك، يعتمد وجودها إلى حد كبير على الوقت والموقع المحلي. وإذا لم تتوفر معلومات موثوقة عن الهواطل للموقع المحلي لمحطة الأرض الخاضعة للتحليل، يوصى بضبط التوهين الناجم عن المطر على الصفر لتقييم المسير غير المرغوب فيه)؛
- الانتثار بالمطر؛
- التلألؤ التروبوسفيري؛
- الانتثار التروبوسفيري؛
- الانعراج بسبب الأرض الكروية؛
- الانعراج الناجم عن التضاريس و/أو عن عائق محدد (في حال توفر معلومات جغرافية إضافية عن المحطة المستقبلية للتداخل الضار)؛
- الخسارة الناجمة عن الجلبة (لا ينطبق النموذج المبين في الفقرة 3.3 من التوصية ITU-R P.2108-0 إلا على مدى التردد 10-100 GHz)؛
- الخسارة بسبب الغطاء النباتي (إذا كان من الضروري مراعاة الخسارة الناجمة عن الغطاء النباتي في دراسات تقاسم الترددات والتوافق، توفر التوصية ITU-R P.833 المعلومات ذات الصلة. وتقتصر المناطق وأنواع الغطاء النباتي القابلة للتطبيق على تلك الموصوفة في التوصية ITU-R P.833. وفي حال عدم توفر معلومات موثوقة بشأن الغطاء النباتي للموقع المحلي لمحطة الأرض الخاضعة للتحليل، يوصى بضبط الخسارة الناجمة عن الغطاء النباتي على الصفر لتقييم المسير غير المطلوب)؛
- التوهين بسبب اختراق المباني (بالنسبة لحدود النموذج المطبقة، راجع التوصية ITU-R P.2109)؛
- وفيما يتعلق بالتنبؤ بخسارة الإرسال الأساسية، وفي حال عدم استيفاء أي من الشروط الموصوفة أدناه، يوصى باستخدام الأسلوب الموضح في:
- 1 التوصية ITU-R P.619 أو
- 2 التوصية ITU-R P.528 مع الانتباه إلى فقرة توصي 2 من التوصية.
- ويوصى باستخدام الأسلوب الموضح في التوصية ITU-R P.619 إذا استوفى أيّ من الشروط التالية:
- عندما يكون التردد أعلى من 30 GHz.
- عندما يكون هوائي المحطة عالية الارتفاع أعلى من 20 km.
- عندما يتطلب التحليل مراعاة الخسارة بالانعراج الناجمة عن تضاريس أرضية محددة أو جسم سطحي آخر.
- عندما يُخفف انعكاس السطح متعدد المسارات في المحطة الأرضية بسبب وجود تضاريس أرضية غير منتظمة أو عوائق سطحية.
- عندما يُخفف انعكاس السطح متعدد المسارات في المحطة الأرضية أو المرفق باستخدام أثقال موازنة.
- عندما يخفف استعمال هوائي اتجاهي من حدة الانعكاس السطحي عبر مسيرات متعددة في المحطة الأرضية، يوصى باستعمال الطريقة الموصوفة في التوصية ITU-R P.619 في المنطقة التي يكبر فيها الفرق بين زوايا وصول المسير المباشر والمسيرات المتعددة للانعكاس السطحي. ويمكن استعمال إما التوصية ITU-R P.619 أو التوصية ITU-R P.528 في المنطقة التي تتجاوز المسافات التي يصبح الفرق فيها بين زوايا وصول المسير المباشر والمسيرات المتعددة للانعكاس السطحي أصغر. ولكن لا يوصى بالتبديل بين استعمال التوصية ITU-R P.619 والتوصية ITU-R P.528، أو العكس، في أحد التحليلات. وفي هذه الحالة، يمكن استخدام أي توصية بشكل متسق ضمن تحليل واحد.

ويمكن للتغيرات في دليل الانكسار الناجمة عن الاضطرابات الجوية أن تؤدي إلى حالات خبو وتحسينات مكانية وزمانية في شدة الإشارة. وتتكون العملية الفيزيائية من التعاقب بين تركيز موجة راديوية وإزالة تركيزها. ويوجد ارتباط بين شدة حالات التلاؤ هذه والعبارة المتعلقة بالرطوبة في دليل الانكسار الجوي، التي ترتبط بحد ذاتها بكثافة بخار الماء. وينبغي حساب الخسائر الناجمة عن التلاؤ التروبوسفيري باستخدام المنهجية الواردة في الفقرة 2.5.2 من التوصية ITU-R P.619-5.

2.2 بين المحطات عالية الارتفاع والمحطات الفضائية

بالنسبة لمسيرات الانتشار هذه، ينبغي مراعاة الآليات والتأثيرات التالية:

- خسارة الإرسال الأساسية في الفضاء الحر؛
- تمييز الاستقطاب المتقاطع بسبب دوران فاراداي؛
- الامتصاص الأيونوسفيري والتلاؤ؛
- الانتثار العكسي من سطح الأرض؛ (يُتوقع أن يكون الانتثار العكسي من أعلى الخلايا المطرية أو من الطبقة الذائبة أقل أهمية).

1.2.2 خسارة الإرسال الأساسية في الفضاء الحر

لحساب خسارة الإرسال الأساسية في الفضاء، من الضروري تحديد طول مسار التداخل r :

$$(1) \quad r = [(R + h_{ant})^2 + (R + h_{HS})^2 - 2(R + h_{ant})(R + h_{HS}) \cos(r_{gr}/R)]^{0.5} \quad (m)$$

حيث:

h_{HS} : ارتفاع هوائي المحطة المقامة على سطح الأرض فوق متوسط مستوى البحر (m)

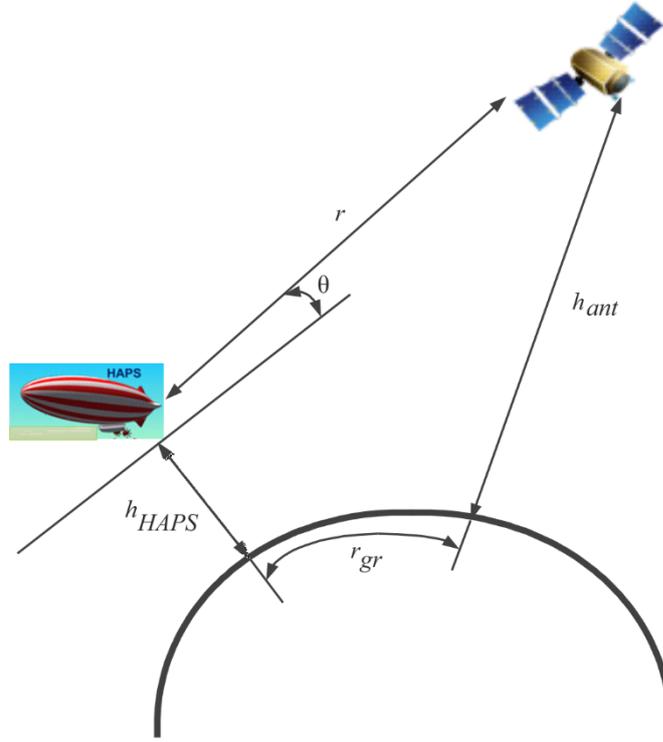
h_{ant} : ارتفاع هوائي المحطة الفضائية فوق متوسط مستوى البحر (m)

R : متوسط نصف قطر الأرض ($6\,371 \times 10^3$ m)

r_{gr} : مسير الدائرة العظمى (m) بين إسقاط محطة فضائية على سطح الأرض وإسقاط محطة عالية الارتفاع على سطح الأرض، على النحو المبين في الشكل 2.

الشكل 2

محطة منصة عالية الارتفاع - مسار الساتل



P.1409-02

يُعبّر عن خسارة الإرسال الأساسية في الفضاء الحر بالمعادلة المعروفة:

$$(2) \quad L_{bfS} = 32.4 + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(r) \quad (\text{dB})$$

حيث:

f : التردد (MHz)

r : طول مسار التداخل (km) المحدد بالمعادلة (1).

2.2.2 تمييز الاستقطاب المتقاطع بسبب دوران فاراداي

يرجع تأثير فاراداي في طبقة الأيونوسفير الأرضي إلى واقع أن الموجة ذات الاستقطاب الخطي يمكن اعتبارها منتشرة في الأيونوسفير كموجتين مستقطبتين دائريتين لكل منهما سرعة طور مختلفة. ولذلك، يظهر بين هاتين الموجتين المستقطبتين الدائريتين تأخير يتسبب في دوران موجة ناتجة مع استقطاب خطي. ويرد وصف لطريقة حساب دوران فاراداي في التوصية ITU-R P.531 على النحو التالي:

$$(3) \quad \theta = 2.36 \times 10^{-14} \frac{B_{av} N_T}{f^2}$$

حيث:

θ : زاوية الدوران (rad)

B_{av} : الشدة المتوسطة للمجال المغنطيسي الأرضي ($\text{Wb} \cdot \text{m}^{-2}$ أو T)

f : التردد (GHz)

N_T : TEC ($\text{el} \cdot \text{m}^{-2}$)

في حال استخدام الاستقطاب الخطي، يمكن حساب الخسائر الإضافية L_F التي يسببها دوران فارادي θ (rad) بالمعادلة التالية:

$$(4) \quad L_F = -20 \log_{10}[\cos(\theta)] \quad (\text{dB})$$

3.2.2 التلألؤ وامتصاص الموجات الراديوية في طبقة الأيونوسفير

وفقاً للتوصية ITU-R P.531، ينبغي أن يؤخذ في الاعتبار التلألؤ الأيونوسفيري على المسار نحو سائل من أجل الترددات التي تقل عن 3 GHz. واستناداً إلى البيانات الحالية بشأن الامتصاص في الغلاف الأيوني الواردة في التوصية ITU-R P.531 وكتيب قطاع الاتصالات الراديوية بشأن الأيونوسفير وتأثيراته على انتشار الموجات الراديوية، يمكن القول إنه في حالة المناطق الاستوائية والواقعة على منتصف خط الطول، فإن الموجات الراديوية التي تفوق 70 MHz تكفل اختراق الأيونوسفير دون قدر كبير من الامتصاص. وتدل القياسات في وسط خطوط الطول أن الامتصاص عند 30 MHz في حالة عبور الأيونوسفير في اتجاه واحد في ظل ورود رأسي يتراوح عادة في الأحوال العادية بين 0,2 dB و 0,5 dB. ومن شأن الامتصاص أن يزيد خلال الاندفاعات الشمسية، ولكنه يقل عندئذ عن 5 dB. ووفقاً للجدول 1 في التوصية ITU-R P.618، عند خطوط العرض المتوسطة، يكون الامتصاص بمقدار حوالي 30° في حالة الانتشار في اتجاه واحد أقل من 0,04 dB عند 0,5 GHz وأقل من 0,01 dB عند 1 GHz و 3 GHz وأقل من 1×10^{-4} dB عند 10 GHz.

ويمكن استنتاج أن خسائر التلألؤ والامتصاص عند ترددات أعلى من 70 MHz أقل بكثير من خسارة الإرسال الأساسية في الفضاء الحر ويمكن تجاهلها.

4.2.2 الانتثار العكسي من سطح الأرض

وبالإضافة إلى ذلك، ينبغي النظر في المسيرات التي تنطوي على انتشار الأرض أو انعكاس الأرض. وحتى توافر المزيد من المعلومات، يمكن أن تعطى التوجيهات التالية.

وفي بعض الحالات، فإن الأسطح الملساء ذات المساحات التي تزيد عن 0,6 في منطقة انعكاس فرنيل يمكن أن تسبب ومضات انعكاس جيد باهندسة المراوية. فيمكن تحديد الإشارة في هذه الحالات من القدرة المشعة المتناحية المكافئة في الاتجاه المناسب، بما في ذلك الخسارة من توهين الغلاف الجوي جراء اختراق طبقة التروبوسفير مرتين للزاوية المائلة المعنية وبافتراض معامل انعكاس قدره -10 dB (وبعض الحالات الخاصة قد يكون لها معاملات انعكاس أعلى).

وبصورة أعم، يمكن اعتبار سطح الأرض خشناً. وفي هذه الحالة، لعل من المناسب افتراض الإشعاع من المساحة المضاءة بالكامل بشعاع من محطة منصة في الفضاء على نصف الرقعة فوق سطح الأرض، وتارة أخرى معامل انتشار قدره -10 dB، أي افتراض مصدر على سطح الأرض يُشع إشعاعاً متناحياً بقدرة تعطى بقدرة المرسل الفعلية وتخفض بخسارة توهين الغلاف الجوي جراء اختراق طبقة التروبوسفير مرتين للزاوية المائلة المعنية، وتخفض كذلك بمقدار 10 dB لمعامل الانعكاس، ثم يضاف إليها 3 dB لأن الإشعاع ليس إلا على نصف الرقعة. (انظر التوصية ITU-R P.680 للاطلاع على مزيد من المعلومات بشأن انعكاس البحر).

3.2 بين المحطات عالية الارتفاع والمحطات في الغلاف الجوي

بالنسبة إلى مسارات الانتشار هذه، ينبغي النظر في الآليات والآثار التالية:

- خسارة الإرسال الأساسية في الفضاء الحر؛
- الانعراج؛
- التلألؤ التروبوسفيري؛
- التوهين الناجم عن الغازات الجوية.

وللتنبؤ بخسارة الإرسال الأساسية في مدى التردد 100 MHz إلى 30 GHz، ينبغي استخدام الطريقة الموصوفة في التوصية ITU-R P.528 مع إيلاء الاهتمام للفقرة توصي 2 من التوصية.

ويمكن للتغيرات في دليل الانكسار الناجمة عن الاضطراب الجوي أن تسبب حالات خبو وتحسن مكاني وزماني في شدة الإشارة. وتتكون العملية الفيزيائية من التعاقب بين تركيز موجة راديوية وإزالة تركيزها. ويوجد ارتباط بين شدة حالات التلاؤ هذه والعبارة المتعلقة بالرطوبة في دليل الانكسار الجوي، التي ترتبط بمد ذاتها بكثافة بخار الماء. وينبغي حساب الخسائر الناجمة عن التلاؤ التروبوسفيري باستخدام المنهجية المبينة في الفقرة 2.5.2 من التوصية ITU-R P.619-5.

3 طرائق التنبؤ بالانتشار لتصميم الأنظمة التي تستخدم المحطات عالية الارتفاع

ينبغي أن تستخدم الطريقة الموصوفة في التوصية ITU-R P.618، علماً بأن الآثار الناجمة عن طبقة الأيونوسفير لن تنطبق في هذا التنبؤ. إذا كانت محطات الأرض في بيئات توجد فيها خسارة الغطاء النباتي، ينبغي استعمال الطريقة الموصوفة في التوصية ITU-R P.833. وتقتصر المناطق وأنواع الغطاء النباتي القابلة للتطبيق على تلك الموصوفة في التوصية ITU-R P.833.

وإذا كانت محطات الأرض في بيئات توجد فيها خسارة حجب بشري، ينبغي استعمال الطريقة التالية لحساب خسارة الحجب البشري. ويُلاحظ أن خسارة الحجب البشري تشمل مساهمة المسيرات المتعددة مثل الانعكاس (الانعكاسات) و/أو الانعراج (الانعراجات) التي تسببها البيئات المحيطة.

ويُقدم نموذج خسارة الحجب البشري للحالات الأربع التالية:

- '1' خسارة الحجب البشري عند خط البصر أو في البيئات الريفية عندما يكون الهوائي عند مستوى ارتفاع الرأس،
- '2' خسارة الحجب البشري في البيئات الحضرية أو شبه الحضرية عندما يكون الهوائي عند مستوى ارتفاع الرأس،
- '3' خسارة الحجب البشري عند خط البصر أو في البيئات الريفية عندما يكون الهوائي عند مستوى ارتفاع الصدر،
- '4' خسارة الحجب البشري في البيئات الحضرية أو شبه الحضرية عندما يكون الهوائي عند مستوى ارتفاع الصدر.

وترد المعلومات ذات الصلة لكل حالة على النحو التالي:

f : التردد (GHz)

φ : زاوية السمت (الزاوية الحادة بين اتجاه المحطة عالية الارتفاع واتجاه الطريق) (بالدرجات)

θ_a : زاوية ارتفاع اتجاه مسار الوصول (بالدرجات)

h_s : متوسط ارتفاع المباني (بالأمتار)

P : النسبة المئوية للزوايا التي لا تتجاوز عندها الحجب البشري قيمة L_{hsl} عند تدوير جسم الإنسان 360 درجة (%).

وهنا، يصح هذا النموذج بالنسبة لما يلي:

f : 0,7 إلى 3,35 GHz

φ : 0 درجة إلى 90 درجة

θ_a : 0 درجة إلى 75 درجة

h_s : 5 إلى 30 متر

P : 0 إلى 100 %

وتعطي خسارة الحجب البشري للحالات الأربع بالمعادلة التالية:

$$(5) \quad L_{hsl} = b \exp(aP) - 2 \quad (\text{dB})$$

حيث:

الحالة '1'

$$a = (0,75 + 0,125f)(0,0366 - 0,0129 \log_{10}(\theta_a + 1))$$

$$b = 1,20 + 2,71 \log_{10}(\theta_a + 1)$$

الحالة '2'

$$a = (0,75 + 0,125f)(0,0255 - 0,0124 \log_{10}(\theta_a + 1) + E_{a\phi} + E_{ahs})$$

$$b = 0,55 + 2,76 \log_{10}(\theta_a + 1) + E_{b\phi} + E_{bhs}$$

$$E_{a\phi} = 0,0013 - 0,0009 \log_{10}(\phi + 1)$$

$$E_{ahs} = -0,0039 + 0,0032 \log_{10}(hs)$$

$$E_{b\phi} = 1,41 - 0,96 \log_{10}(\phi + 1)$$

$$E_{bhs} = -1,01 + 0,80 \log_{10}(hs)$$

الحالة '3'

$$a = (0,875 + 0,0625f)(0,0420 - 0,0106 \log_{10}(\theta_a + 1))$$

$$b = 1,07 + 1,72 \log_{10}(\theta_a + 1)$$

الحالة '4'

$$a = (0,875 + 0,0625f)(0,0245 - 0,0098 \log_{10}(\theta_a + 1) + E_{a\phi} + E_{ahs})$$

$$b = 0,58 + 1,941 \log_{10}(\theta_a + 1) + E_{bhs}$$

$$E_{a\phi} = 0,0076 - 0,0052 \log_{10}(\phi + 1)$$

$$E_{ahs} = -0,0090 + 0,0073 \log_{10}(hs)$$

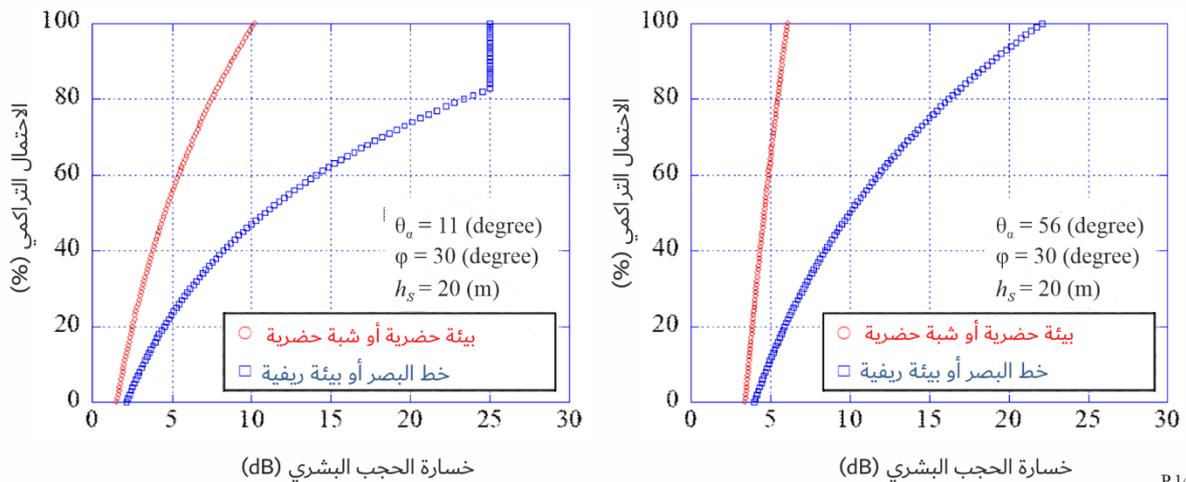
$$E_{bhs} = -0,35 + 0,28 \log_{10}(hs)$$

إذا كانت a أقل من 0، تُضبط a على 0,0001 وإذا كانت b أقل من 0، تُضبط b على 0,001 بالنسبة للحالة '2' والحالة '4'. وإذا تجاوزت قيمة $Lhsl$ قيمة 25 dB بالنسبة للحالتين '1' و'2'، يتم استخدام $Lhsl = 25$ dB كحد أعلى. ومن ناحية أخرى، إذا تجاوزت قيمة $Lhsl$ قيمة 40 dB بالنسبة للحالتين '3' و'4'، يتم استخدام $Lhsl = 40$ dB.

ويوضح الشكل 3 مثالاً على خسارة الحجب البشري بزوايا ارتفاع متفاوتة على تردد 2 GHz.

الشكل 3

التوزيع التراكمي لخسارة الحجب البشري عندما يكون الهوائي عند مستوى ارتفاع الرأس على تردد $f = 2$ GHz



ويرد فيما يلي اتجاه الموجات الراديوية الواردة إلى جسم الإنسان وقدرتها المستقبلية في الحالة '2' و'4'. وترد المعلمات ذات الصلة على النحو التالي:

f : التردد (GHz)

φ : زاوية السمت بين المحطة عالية الارتفاع والمحطة الأرضية على أساس 0 درجة في اتجاه الطريق في الربع الأول (بالدرجات)

$\Delta\varphi$: زاوية سمّت وصول الموجة الراديوية على أساس 0 درجة في اتجاه الطريق (بالدرجات)

θ : زاوية الارتفاع بين المحطة عالية الارتفاع والمحطة الأرضية (بالدرجات)

$\Delta\theta$: زاوية ارتفاع وصول الموجة الراديوية على أساس 0 درجة في اتجاه الأوج (بالدرجات)

h_{SS} : ارتفاع هوائي المحطة الأرضية (m)

h_{BS} : ارتفاع هوائي المحطة عالية الارتفاع (m)

w : عرض الطريق حول المحطة الأرضية (m)

h_s : متوسط ارتفاع المباني على طول الطريق حول المحطة الأرضية (m).

وهنا، هذا النموذج صالح لما يلي:

$$0.7 \leq f \leq 3.35 \text{ GHz} \quad :f$$

$$0 < \varphi \leq 90 \text{ درجة} \quad :\varphi$$

$$-180 < \Delta\varphi \leq 180 \text{ درجة} \quad :\Delta\varphi$$

$$0 < \theta \leq 50 \text{ درجة} \quad :\theta$$

$$-180 < \Delta\theta \leq 180 \text{ درجة} \quad :\Delta\theta$$

$$0 < h_{SS} \leq 5 \text{ m} \quad :h_{SS}$$

$$h_{BS} > 160 \text{ m} \quad :h_{BS}$$

$$8 \leq w \leq 25 \text{ m} \quad :w$$

$$5 \leq h_s \leq 50 \text{ m} \quad :h_s$$

ويعطى الفرق في القدرة المستقبلية بين اتجاهي الطريق والمبنى في المستوي الأفقي بالمعادلة:

$$(6) \quad Pd_{NLoS}(\Delta\varphi) = 10 \log_{10} \left(\frac{Pd_{NLoS,pow}(\Delta\varphi)}{\max(Pd_{NLoS,pow}(\Delta\varphi))} \right) \text{ (dB)}$$

حيث:

$$(7) \quad Pd_{NLoS,pow}(\Delta\varphi) = \frac{1}{\sqrt{\cos(\Delta\varphi)^2 + \sin(\Delta\varphi)^2 / \eta^2}}$$

$$(8) \quad \eta = \min(1, \{2.6/h_s^{0.5} \cdot (1 - \exp(-0.03\varphi)) + 0.05\}^{1.5})$$

وتُستخلص القيمة القصوى للقدرة المستقبلية كمسير ورود في اتجاه الطريق. وتُستخلص القيمة الدنيا للقدرة المستقبلية كمسير ورود في اتجاه المبنى.

$$(9) \quad Pd_{Road} = \max(Pd_{NLoS}(\Delta\varphi)) \text{ (dB)}$$

$$(10) \quad Pd_{Bldg} = \min(Pd_{NLoS}(\Delta\varphi)) \text{ (dB)}$$

ولبيان الخسائر الناجمة عن الموجات المنعكسة والمنعرجة للقدرة المستقبلية لمسير الورود في اتجاه المبنى. والخسارتان التاليتان $L_R(\Delta h_{SS})$ و $L_D(\Delta h_{SS})$ هما الخسارتان الزائدتان الناجمتان عن الموجات المنعكسة الواردة والموجات المنعرجة الواردة في منطقة خارج خط البصر، على التوالي. ويعبر عنهما على النحو التالي.

حين:

$$\Delta h_{SS,k} \leq \Delta h_{SS} < \Delta h_{SS,k+1}$$

$$(11) \quad L_R(\Delta h_{SS}) = L_R(\Delta h_{SS,k}) + \frac{L_R(\Delta h_{SS,k+1}) - L_R(\Delta h_{SS,k})}{\Delta h_{SS,k+1} - \Delta h_{SS,k}} \cdot (\Delta h_{SS} - \Delta h_{SS,k}) \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (\text{dB})$$

حيث:

$$(12) \quad \Delta h_{SS,k} = \frac{2kw \cdot (h_{BS} - h_s)}{2d \cdot \sin \varphi - w} \quad (\text{m})$$

$$(13) \quad L_R(\Delta h_{SS,k}) \approx 20 \log_{10} \left(\frac{d_{kp}}{d_{op} \cdot R^k} \right) \quad (\text{dB})$$

$$R = 0.33$$

$$(14) \quad d_{kp} = \frac{1}{\sin \varphi_k} \cdot \sqrt{(d \cdot \sin \varphi + kw)^2 + \left\{ h_{BS} + \Delta h_{SS,k} - h_s + \frac{w \cdot (h_{BS} - h_s)}{2d \cdot \sin \varphi - w} \right\}^2} \quad (\text{m})$$

$$(15) \quad \varphi_k = \tan^{-1} \left(\frac{d \sin \varphi + kw}{d \cos \varphi} \right) \quad (\text{degrees})$$

$$(16) \quad \Delta h_{SS} = h_s - h_{SS} - \frac{w(h_{BS} - h_s)}{2d - w} \quad (\text{m})$$

$$(17) \quad d = \frac{(h_{BS} - h_{SS})}{\tan \theta} \quad (\text{m})$$

$$(18) \quad L_D(\Delta h_{SS}) \approx \begin{cases} K_1 & (0 \text{ m} \leq \Delta h_{SS} < 1 \text{ m}) \\ K_2 & (1 \text{ m} \leq \Delta h_{SS} < 10 \text{ m}) \\ K_3 & (10 \text{ m} \leq \Delta h_{SS}) \end{cases} \quad (\text{dB})$$

وحيث:

$$(18a) \quad K_1 = \{5.8947 \log_{10}(f) + 0.31519\} \cdot \Delta h_{SS}^{(-0.003559 f + 0.65122)}$$

$$(18b) \quad K_2 = \{3.7432 \log_{10}(f) + 19.245\} \cdot \log_{10}(\Delta h_{SS}) + 5.8947 \log_{10}(f) + 0.31519$$

$$(18c) \quad K_3 = 24.5 \log_{10}(\Delta h_{SS}) + 9.6379 \log_{10}(f) - 4.93981$$

وفي هذه الخطوة، يمكن الحصول على القدرة المستقبلية لمسير الورود في اتجاه المبنى، وهي تبين الخسائر الناجمة عن الموجات المنعكسة والمنعرجة.

$$(19) \quad Pd_{R,Bldg} = \begin{cases} Pd_{Bldg} & (L_D(\Delta h_{SS}) - L_R(\Delta h_{SS}) \geq 0) \\ Pd_{Bldg} + (L_D(\Delta h_{SS}) - L_R(\Delta h_{SS})) & (L_D(\Delta h_{SS}) - L_R(\Delta h_{SS}) < 0) \end{cases} \quad (\text{dB})$$

$$(20) \quad Pd_{D,Bldg} = \begin{cases} Pd_{Bldg} - (L_D(\Delta h_{SS}) - L_R(\Delta h_{SS})) & (L_D(\Delta h_{SS}) - L_R(\Delta h_{SS}) \geq 0) \\ Pd_{Bldg} & (L_D(\Delta h_{SS}) - L_R(\Delta h_{SS}) < 0) \end{cases} \quad (\text{dB})$$

والخطوة الأخيرة هي أن القدرة المستقبلية لكل مسار ورود في اتجاهي الطريق والمبنى ويمكن رسمها كبيانات وصفية زاوية للوصول الرأسية للقدرة عند المحطة الأرضية على النحو التالي:

$$(21) \quad Ph_{Road,pow}(\Delta\theta) = \max(Ph_{R,Road}(\Delta\theta), Ph_{D,Road}(\Delta\theta)) \quad (\text{dB})$$

$$(22) \quad Ph_{Bldg,pow}(\Delta\theta) = \max(Ph_{R,Bldg}(\Delta\theta), Ph_{D,Bldg}(\Delta\theta)) \quad (\text{dB})$$

حيث:

$$(23) \quad Ph_{R,Road}(\Delta\theta) = 10 \log_{10} \left\{ \left(1 + \frac{|\Delta\theta + (90 - \theta)|}{\alpha} \right)^{-\beta} \right\} + Pd_{Road} \text{ (dB)}$$

$$(24) \quad Ph_{D,Road}(\Delta\theta) = 10 \log_{10} \left\{ \left(1 + \frac{|\Delta\theta - (90 - \theta)|}{\alpha} \right)^{-\beta} \right\} + Pd_{Road} \text{ (dB)}$$

$$(25) \quad Ph_{R,Bldg}(\Delta\theta) = 10 \log_{10} \left\{ \left(1 + \frac{|\Delta\theta + (90 - \theta)|}{\alpha} \right)^{-\beta} \right\} + Pd_{R,Bldg} \text{ (dB)}$$

$$(26) \quad Ph_{D,Bldg}(\Delta\theta) = 10 \log_{10} \left\{ \left(1 + \frac{|\Delta\theta - (90 - \theta)|}{\alpha} \right)^{-\beta} \right\} + Pd_{D,Bldg} \text{ (dB)}$$

$$(27) \quad \alpha = -0.6 + 1.2 \left(\frac{h_s}{h_{SS}} \right)^{0.23}$$

$$(28) \quad \beta = -0.045h_s + 1.87 + 0.76 \log_{10}(h_{SS})$$

ويبين الشكل 4 مثالين على القدرة النسبية المستقبلية لمسير ورود اتجاه الارتفاع في اتجاه الطريق، $Ph_{Road,pow}(\Delta\theta)$ ، وفي اتجاه المبنى، $Ph_{Bldg,pow}(\Delta\theta)$.

الشكل 4

نتائج التنبؤ بالقدرة النسبية المستقبلية لكل مسير ورود

