

التوصية ITU-R P.1812-7

(2023/08)

السلسلة P: انتشار الموجات الراديوية

طريقة تنبؤ بانتشار خاصة بمسير لخدمات الأرض من
نقطة-إلى-منطقة في مدى الترددات من 30 MHz
إلى 6 GHz

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.1812-7

طريقة تنبؤ بانتشار خاصة بمسیر لخدمات الأرض من نقطة-إلى-منطقة

في مدى الترددات من 30 MHz إلى 6 GHz

(المسألة ITU-R 203/3)

(2007-2009-2012-2013-2015-2019-2021-2023)

مجال التطبيق

تصف هذه التوصية طريقة تنبؤ بانتشار تناسب خدمات الأرض من نقطة-إلى-منطقة في مدى الترددات من 30 MHz إلى 6 GHz. وهي تتنبأ بمستويات الإشارة المتجاوزة خلال نسبة مئوية معينة من الوقت $p\%$ ضمن المدى $(1\% \leq p \leq 50\%)$ ، وفي نسبة مئوية معينة من المواقع، $p_L\%$ ، ضمن المدى $(1\% \leq p_L \leq 99\%)$ ، وذلك في متوسط توزيع المسيرات المتعددة. وتقدم هذه الطريقة تحليلاً مفصلاً يقوم على المظهر الجانبي لتضاريس الأرض.

وتناسب هذه الطريقة التنبؤات في أنظمة الاتصالات الراديوية التي تستخدم دارات أرضية تتراوح أطوال مسيراتها بين 0,25 km ونحو 3 000 km مسافةً، مع كون كلا المطرافين على ارتفاع يقرب من 3 km فوق الأرض. ولا تلائم هذه الطريقة تنبؤات الانتشار على دارات راديوية جو-أرض أو فضاء-أرض.

هذا وتتم هذه التوصية بالتوصية ITU-R P.1546.

كلمات أساسية

الانتشار طويل المدى الخاص بمسیر، المسيرات/الدارات التروبوسفيرية، التنبؤ بخسارة الإرسال الأساسية، التغير في الزمن والموقع

المختصرات/مسرد المصطلحات

amsl	فوق متوسط مستوى سطح البحر (<i>above mean sea level</i>)
DTT	التلفزيون الرقمي للأرض (<i>Digital terrestrial television</i>)
IDWM	خريطة العالم المرقمنة لدى الاتحاد الدولي للاتصالات (<i>ITU digitized world map</i>)
LoS	خط البصر (<i>Line-of-sight</i>)
NLoS	على غير خط البصر (<i>Non-line-of-sight</i>)
P-P	من نقطة-إلى-نقطة (<i>Point-to-Point</i>)
UHF	الموجات الדיسیمترية (<i>Ultra-high frequency</i>)
VHF	الموجات المترية (<i>Very high frequency</i>)

توصيات الاتحاد الدولي للاتصالات وتقاريره ذات الصلة

- التوصية ITU-R P.452
- التوصية ITU-R P.528
- التوصية ITU-R P.530
- التوصية ITU-R P.617
- التوصية ITU-R P.844

التوصية ITU-R P.1144

التوصية ITU-R P.1406

التوصية ITU-R P.1411

التوصية ITU-R P.1546

التوصية ITU-R P.2001

التوصية ITU-R P.2040

ملاحظة - ينبغي استخدام أحدث مراجعة/طبعة من التوصية/التقرير.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

(أ) أن من الضروري تقديم إرشادات إلى المهندسين المكلفين بتخطيط خدمات الاتصالات الراديوية للأرض في نطاقات الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF)؛

(ب) أن من الأهمية بمكان تحديد مسافة جغرافية دنيا تفصل بين المحطات التي تعمل على نفس قنوات التردد أو على قنوات متجاورة لتفادي التداخلات غير المقبولة من جراء الانتشار الأرضي على مسافة طويلة،

وإذ تلاحظ

(أ) أن التوصية ITU-R P.528 تقدم إرشادات بشأن التنبؤ بخسارة الإرسال الأساسية من نقطة-إلى-منطقة فيما يتعلق بالخدمة المتنقلة للطيران في مدى الترددات من 100 MHz إلى 30 GHz؛

(ب) أن التوصية ITU-R P.452 تقدم إرشادات بشأن التقييم المفصل للتداخلات الصغيرة بين المحطات المقامة على سطح الأرض عند ترددات تزيد عن 0,1 GHz تقريباً؛

(ج) أن التوصية ITU-R P.617 تقدم إرشادات بشأن التنبؤ بخسارة الانتشار من نقطة-إلى-نقطة (P-P) بالنسبة إلى أنظمة المرحلات الراديوية عبر الأفق فيما يتعلق بمدى الترددات الذي يزيد عن 30 MHz، وبالنسبة إلى مدى المسافات من 100 إلى 1 000 km؛

(د) أن التوصية ITU-R P.1411 تقدم إرشادات بشأن التنبؤ بالانتشار فيما يتعلق بخدمات الاتصالات الراديوية خارج المباني ذات المدى القصير (إلى حد 1 km)؛

(هـ) أن التوصية ITU-R P.530 تقدم إرشادات بشأن التنبؤ بخسارة الانتشار من نقطة إلى نقطة فيما يتعلق بأنظمة خط البصر الأرضية؛

(و) أن التوصية ITU-R P.1546 تقدم إرشادات بشأن التنبؤ من نقطة-إلى-منطقة بقيم شدة المجال في نطاقات الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF) بالاستناد في المقام الأول إلى تحاليل إحصائية للبيانات التجريبية؛

(ز) أن التوصية ITU-R P.2001 توفر نموذج انتشار للأرض واسع المدى من أجل مدى الترددات من 30 MHz إلى 50 GHz بما في ذلك إحصاءات الخبو والتعزيز التي درست جيداً من أجل استعمالها في عمليات محاكاة مونت كارلو؛

(ح) أن التوصية ITU-R P.2040 تقدم توجيهات بشأن آثار خواص مواد البناء وهياكل المباني على انتشار الموجات الراديوية،

توصي

باستعمال الإجراء الوارد في الملحق 1 من أجل التقييم المفصل لمستويات الإشارة من نقطة-إلى-منطقة فيما يتعلق بهذه الخدمات.

ملاحظة - قد تحدث أيضاً مسيرات انتشار طويلة المدى في النطاق VHF عبر طبقة الأيونوسفير. ويرد تلخيص لهذه الأساليب في التوصية ITU-R P.844.

الملحق 1

جدول المحتويات

الصفحة

3	..... الملحق 1	
5	..... مقدمة	1
6	..... عناصر النموذج لطريقة التنبؤ بالانتشار	2
6	..... معلمات الدخل	3
6	..... 1.3 بيانات الدخل الأساسية	
7	..... 2.3 المظهر الجانبي للمسير الراديوي	
9	..... 3.3 المناطق المناخية الراديوية	
10	..... 4.3 مسافات المطراف من الساحل	
10	..... 5.3 معلمات الأرصاد الجوية الراديوية الأساسية	
11	..... 6.3 حالة الانتشار التروبوسفيري الموجه	
11	..... 7.3 نصف قطر الأرض الفعّال	
12	..... 8.3 المعلمات التي يتم الحصول عليها من تحليل المظهر الجانبي للمسير	
12	..... إجراء التنبؤ	4
12	..... 1.4 نظرة عامة	
13	..... 2.4 الانتشار في خط البصر (بما في ذلك التأثيرات قصيرة الأجل)	
13	..... 3.4 الانتشار بالانعراج	
20	..... 4.4 الانتشار بالتناثر التروبوسفيري	
21	..... 5.4 الانتشار الناتج عن الانتشار التروبوسفيري الموجه/الانعكاس على الطبقات	
22	..... 6.4 خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p من الوقت وفي 50% من المواقع	
25	..... 7.4 تغيير الخسارة حسب الموقع	
26	..... 8.4 خسارة الدخول إلى المباني	
26	..... 9.4 خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها للنسبة المئوية p من الوقت وفي p_L % من المواقع	
27	..... 10.4 شدة المجال التي يتم تجاوزها للنسبة المئوية p من الوقت وفي p_L % من المواقع	
27	..... المرفق 1 للملحق 1 - تحليل المظهر الجانبي للمسير	
27	..... مقدمة	1
27	..... رسم المظهر الجانبي للمسير	2
29	..... طول المسير	3
30	..... تصنيف المسيرات	4

30	..... اشتقاق المعلمات من المظهر الجانبي لمسير	5
31	..... زاوية ارتفاع الأفق فوق الأفق المحلي لهوائي الإرسال، θ_t	1.5
31	..... مسافة أفق الهوائي المرسل، d_{lt}	2.5
31	..... زاوية ارتفاع أفق الهوائي فوق الأفق المحلي المستقبل، θ_r	3.5
31	..... مسافة أفق الهوائي المستقبل، d_{lr}	4.5
31	..... المسافة الزاوية θ (mrad)	5.5
32	..... نموذج "الأرض الممهدة" وارتفاعات الهوائي الفعالة	6.5
35	..... المرفق 2 للملحق 1 - تقريب لدالة التوزيع العادي التراكمي التكميلي العكسي	
36	..... المرفق 3 للملحق 1 - طريقة بديلة لحساب خسارة الانعراج في الأرض الكروية، L_{bulbs}	

1 مقدمة

يوصى باستخدام طريقة التنبؤ بالانتشار الموصوفة في هذا الملحق من أجل التقييم المفصل لمستويات الإشارة المناسبة للاستعمال فيما يتعلق بخدمات الأرض من نقطة-إلى-منطقة في مدى الترددات من 30 MHz إلى 6 000 MHz. وتتنبأ هذه الطريقة بمستوى الإشارة (أي شدة المجال الكهربائي) المتجاوز خلال نسبة مئوية معينة من الوقت p % لسنة متوسطة ضمن المدى $(1\% \leq p \leq 50\%)$ ، وفي نسبة مئوية معينة من المواقع، p_L %، ضمن المدى $(1\% \leq p_L \leq 99\%)$. ومن ثم يمكن استعمال هذه الطريقة للتنبؤ بمنطقة الخدمة وتيسرها على حد سواء لمستوى إشارة (التغطية) مرغوب (مرغوبة)، وبالانخفاضات في منطقة الخدمة هذه وتيسرها بفعل الإشارات (التداخل) في نفس القناة أو في القناة المجاورة.

ونموذج انتشار هذه الطريقة تناظري بمعنى أنه يعامل كلا المطرفين الراديوين على قدم المساواة. فمن منظور النموذج، لا يهم أي من المطرفين هو المرسل وأيهما هو المستقبل. لكن تسهياً لوصف النموذج، يُستعمل مصطلحا "المرسل" و"المستقبل" للدلالة على المطرفين عند بدء ونهاية المسير الراديو على التوالي.

توصف الطريقة، بدايةً، من خلال حساب خسارة الإرسال الأساسية (dB) التي لا يتم تجاوزها خلال وقت p % بالنسبة إلى قيمة متوسطة للمواقع. ثم تحدد خصائص عنصر تغير الموقع إحصائياً بالنسبة لمواقع المستقبل بالإضافة إلى عنصر خسارة الدخول إلى المباني من التوصية ITU-R P.2040. بعدئذ، يتم القيام بإجراء التحويل إلى شدة مجال كهربائي بالوحدة (dB(μ V/m)) بالنسبة إلى قدرة مشعة فعالة قدرها 1 kW.

وهذه الطريقة معدة، بالدرجة الأولى، من أجل الاستعمال مع أنظمة تستعمل هوائيات ذات كسب منخفض. بيد أن التغير في الدقة عند استعمال هوائيات ذات كسب عالٍ لا يؤثر إلا في عنصر الانتثار التروبوسفيري من مجمل الطريقة، ويكون التغير في التنبؤات طفيفاً. فمثلاً، حتى في حالة هوائيين كسبهما 40 dBi على طرفي الوصلة، لا يزيد التقدير المفرط لإشارات الانتثار التروبوسفيري عن 1 dB.

وتناسب هذه الطريقة التنبؤات في أنظمة الاتصالات الراديوية التي تستخدم دارات أرضية تتراوح أطوال مسيراتها بين 0,25 km ونحو 3 000 km مسافةً، على أن يكون كلا المطرفين على ارتفاع يقرب من 3 km فوق الأرض. ولا تلائم هذه الطريقة تنبؤات الانتشار على دارات راديوية جو-أرض أو فضاء-أرض.

وطريقة التنبؤ بالانتشار الواردة في هذا الملحق هي طريقة خاصة بمسار محدد. وتتألف التنبؤات من نقطة-إلى-منطقة التي تستعمل هذه الطريقة من سلسلة من العديد من تنبؤات من نقطة-إلى-نقطة (P-P) (أي من نقطة مرسل إلى نقاط مستقبل متعددة) موزعة بانتظام عبر مناطق خدمة افتراضية. وينبغي أن يكون عدد النقاط كبيراً بما يكفي لضمان أن تكون القيم المتوقعة لخسارة الإرسال الأساسية أو قيم شدة المجال المتحصل عليها عبارة عن تقديرات معقولة للقيم المتوسطة، بالنسبة للمواقع، للمقادير المقابلة للمناطق الأساسية التي تمثلها.

وعليه، تُفترض قدرة مستعملي هذه التوصية على توصيف المظاهر الجانبية المفصلة لتضاريس الأرض (أي الارتفاعات فوق متوسط مستوى البحر) كدوال في المسافة على امتداد مسيرات الدائرة العظمى (أي المنحنيات الجيوديسية) بين الأجهزة المطرفية، بالنسبة للعديد من مواقع هذه الأجهزة (نقاط المستقبل) المختلفة. وبالنسبة لمعظم التطبيقات العملية لهذه الطريقة على التغطية من نقطة-إلى-منطقة وعلى تنبؤات التداخل، يقتضي هذا الافتراض وجود قاعدة بيانات رقمية لارتفاع تضاريس الأرض مرجعها إلى إحداثيات العرض والطول بالنسبة لبيان جيوديسي متسق يمكن استخراج المظاهر الجانبية لتضاريس الأرض منه بوسائل آلية. وفي حال عدم تيسر هذه المظاهر الجانبية المفصلة لتضاريس الأرض، ينبغي الرجوع إلى التوصية ITU-R P.1546 بدلاً من هذه التوصية من أجل الحصول على هذه التنبؤات.

وبالنظر لما تقدم، يتم تحديد خصائص عنصر خسارة التغير في الموقع لهذه التوصية وعنصر الدخول إلى المباني للتوصية ITU-R P.2040 عبر إحصائيات التوزيعات اللوغاريتمية العادية بالنسبة لمواقع المستقبل. وعلى الرغم من أن عملية التحديد الإحصائي للخصائص هذه للانتشار من نقطة-إلى-منطقة قد ينتج عنها مشكلة وهي أن النموذج الإجمالي يكون لا تناظرياً (أي غير تبادلي)، ينبغي على مستعملي هذه التوصية أن يلحظوا أن التغير في الموقع يمكن تطبيقه، من حيث المبدأ، على أي من طرفي المسير (بمعنى أي من المطرفين)، أو حتى على كليهما (أي

على المرسل والمستقبل معاً). بيد أنه لا يوجد ما يدعو لتصحيح التغير في الموقع إلا في الحالات التي يُجهل فيها الموقع الدقيق لمطراف معيّن ويلزم تمثيل إحصائي للمواقع المحتملة لذلك المطراف. ولا يرجح حدوث حالات عديدة يُطبق فيها ذلك على موقع المرسل على نحو ذي مغزى. أما إذا عُلم موقعاً هذين المطرافين بدقة، واستُعمل هذا الإجراء بأسلوب من نقطة-إلى-نقطة، فلا تُطبّق هذه التوصية إلا بقيمة $p_L = 50\%$.

ويصير الأمر نفسه بالنسبة لخسارة الدخول إلى المباني. غير أن الأمر يكون أكثر تعقيداً بقليل مما عليه الحال بالنسبة للتغير في الموقع نظراً لأن متوسط تصحيح خسارة الدخول ليس صفرًا. ففي طرف المرسل، يتعيّن على المستعملين إضافة خسارة الدخول إلى المباني إلى خسارة الإرسال الأساسية إذا كان المرسل داخل مبنى. غير أنه يجب على المستعملين أن يتنبهوا إلى أن قيم الخسارة المتوسطة قد تكون مضللة إذا لم يقع المرسل في موقع "متوسط".

2 عناصر النموذج لطريقة التنبؤ بالانتشار

تأخذ طريقة التنبؤ بالانتشار هذه عناصر النموذج التالية في الحسبان:

- خط البصر (LoS)؛
- الانعراج (الذي يلتف حول الأرض الملساء والتضاريس الأرضية غير المنتظمة وحالات المسير الفرعي)؛
- الانتشار التروبوسفيري؛
- الانتشار غير المنتظم (الانتشار التروبوسفيري الموجه والانعكاس والانكسار على الطبقات)؛
- التغير في الموقع؛
- خسارة الدخول إلى المباني (من التوصية ITU-R P.2040).

3 معلمات الدخل

1.3 بيانات الدخل الأساسية

يصف الجدول 1 بيانات الدخل الأساسية التي تعرّف المطاريف الراديوية والتردد والنسبة المئوية من الوقت والمواقع التي تستلزم تنبؤاً بشأها. يتم إدراج خطي العرض والطول للمحطتين كمدخلين أساسيين من منطلق أنهما لازمان للحصول على المظهر الجانبي لمسير. ويتعيّن الحصول على معلمات الأرصاد الجوية الراديوية لموقع واحد مصاحب للمسير الراديوي، فيما ينبغي انتقاء مركز المسير بالنسبة لمسير طويل. ومن المناسب الحصول على معلمات الأرصاد الجوية الراديوية لموقع المرسل عند التنبؤ بمنطقة تغطيته.

الجدول 1

بيانات الدخل الأساسية

المعلمة	الوحدات	الحد الأدنى	الحد الأقصى	الوصف
f	GHz	0,03	6,0	التردد (GHz)
p	%	1,0	50,0	النسبة المئوية لسنة متوسطة التي يتم فيها تجاوز مستوى الإشارة المحسوبة
p_L	%	1	99	النسبة المئوية للمواقع التي يتم فيها تجاوز مستوى الإشارة المحسوبة
ϕ_b, ϕ_r	درجات	80-	80+	خط عرض المرسل، المستقبل
ψ_b, ψ_r	درجات	180,0-	180,0	خط طول المرسل، المستقبل (موجب = شرق غرينتش)
h_{bg}, h_{rg}	m	1	3 000	ارتفاع مركز الهوائي فوق مستوى الأرض
الاستقطاب				استقطاب الإشارة، رأسي أم أفقي مثلاً
w_s	m	1	100	عرض الشارع. ينبغي استخدام القيمة 27 ما لم تتوفر قيم محلية محددة.

الاستقطاب في الجدول 1 ليس بمعلمة لها قيمة عددية. وتتعلق المعلومات المستعملة في الفقرة 3.3.4 بالمعادلات (29a) و(29b) و(30).

2.3 المظهر الجانبي للمسير الراديوي

تتطلب المظاهر الجانبية للمسير المستخدمة في الطريقة الموصوفة أدناه بيانات خاصة بالمسیر لفئات ارتفاعات التضاريس وبالإضافة إلى ذلك إما فئات الجلبة الخاصة بالمسیر (تغطية الأرض) أو ارتفاعات السطح الخاصة بالمسیر على طول المسیر. ويشار إلى ارتفاعات التضاريس للدلالة على الأرض الجرداء لتمييزها عن ارتفاعات السطح التي تشمل الهياكل الطبيعية أو التي من صنع الإنسان فوق التضاريس.

ويلزم المظهر الجانبي لتضاريس الأرض للمسیر الراديوي من أجل تطبيق طريقة التنبؤ بالانتشار. وهو يتألف مبدئياً من ثلاث مصفوفات لكل منها نفس عدد القيم n ، كما يلي:

(1a) d_i : المسافة من المرسل لنقطة المظهر الجانبي ذات الترتيب i (km)

(1b) h_i : ارتفاع التضاريس لنقطة المظهر الجانبي ذات الترتيب i فوق مستوى البحر (m)

(1c) g_i : ارتفاع السطح لنقطة المظهر الجانبي ذات الترتيب i فوق مستوى البحر (m)

حيث:

$i = (1, 2, 3 \dots n)$ = دليل نقطة المظهر الجانبي

n : عدد نقاط المظهر الجانبي.

ولا ينبغي إضافة ارتفاع الجلبة إلى ارتفاعات التضاريس عند المرسل والمستقبل. وبالتالي، g_1 هو ارتفاع التضاريس عند المرسل بالأمتار فوق مستوى سطح البحر و g_n هو ارتفاع التضاريس عند المستقبل بالأمتار فوق مستوى سطح البحر.

يتعين وجود نقطة مظهر جانبي وسيطة واحدة على الأقل بين المرسل والمستقبل. وبالتالي يجب أن تحقق n الشرط $n \geq 3$. وهذا العدد القليل من النقاط لا يناسب إلا المسيرات القصيرة الأقصر من 1 km.

لاحظ أن نقطة المظهر الجانبي الأولى تكون عند المرسل. إذاً، d_1 تساوي صفرًا و h_1 هو ارتفاع الأرض عند المرسل بالأمتار فوق مستوى البحر. وبالمثل تكون نقطة المظهر الجانبي n عند المستقبل. وعلى ذلك تكون d_n هي طول المسير بالكيلومتر و h_n هو ارتفاع الأرض عند المستقبل فوق مستوى سطح البحر بالأمتار.

لا تعطى أي مسافة محددة بين نقاط المظهر الجانبي. وبافتراض أن المظاهر الجانبية تُستخرج من مجموعات البيانات المتعلقة بارتفاع التضاريس الرقمي والغطاء الأرضي (الجلبة)، فإن التباعد المناسب سيتشابه نمطياً مع تباعد نقاط المصدر في مجموعات البيانات بدقة متماثلة فيما بينها. وليس مطلوباً تساوي تباعد نقاط المظهر الجانبي، ولكن من المستحسن أن يكون التباعد هو نفسه تقريباً بالنسبة إلى المظهر الجانبي كله.

ويمكن استخدام طريقتين لحساب المظهر الجانبي لاشتقاق ارتفاع السطح g_i ، وهما موضحتان في الأقسام التالية. فتستخدم الأولى بيانات الغطاء الأرضي لتحديد ارتفاع الجلبة التمثيلي الذي تمكن إضافته إلى ارتفاعات التضاريس، وتستخدم الثانية بيانات ارتفاع السطح، حيث تتضمن الارتفاعات الجلبة دون تمييز صريح بين التضاريس والجلبة.

1.2.3 بيانات التضاريس والغطاء الأرضي

تتضمن هذه الطريقة:

- إنشاء ملف للمظهر الجانبي للتضاريس باستخدام الارتفاعات الفعلية للتضاريس؛

- على أساس فئات الجلبة، إضافة الارتفاعات التمثيلية للجلبة إلى ملف المظهر الجانبي للتضاريس.

وإذا استخدمت هذه الطريقة لحساب خسارة الانعراج باستخدام المظهر الجانبي للتضاريس بدون الجلبة، فسيكون تقدير خسارة الانعراج أقل من قيمتها في البيئات ذات الجلبة، مقارنةً بالتمثيل المشترك للتضاريس والجلبة. وأعدت وأجيزت هذه الطريقة إزاء بيانات التضاريس الرقمية، من خلال دمج بيانات التضاريس الرقمية مع فئات الجلبة التمثيلية الإحصائية بدلاً من الاستعمال المباشر لبيانات

ارتفاع السطح، حيث تشمل الارتفاعات الجلبة بدون تمييز واضح بين التضاريس والجلبة. ومن المهم ملاحظة أن تقدير خسارة الانعراج قد يكون مبالغاً فيه إذا تضمنت ارتفاعات التضاريس، h_i ، هيكل طبيعية أو من صنع الإنسان فوق التضاريس. وإذا توفرت بيانات دقيقة عن ارتفاع السطح يمكن الحصول على تقدير محسن للخسارة المتعلقة بالانتشار. باستخدام طريقة حساب المظهر الجانبي الموسع في الفقرة 2.2.3، أو يمكن استكشاف تقنيات أخرى مثل تتبع الأشعة الثلاثية الأبعاد، تشمل تأثير الانعراج حول المباني.

وفي هذه الطريقة، يجري تقريب المظهر الجانبي لارتفاع السطح باستخدام ارتفاعات التضاريس مع إضافة ارتفاعات الجلبة التمثيلية بناء على فئات الجلبة في كل نقطة من نقاط المظهر الجانبي.

وتعطي ارتفاعات السطح، g_i ، بواسطة:

$$(1d) \quad g_i = \begin{cases} h_i + \text{representative clutter height of } i\text{-th profile point (m)} & \text{for } i = 2, \dots, n - 1 \\ h_1 & \text{for } i = 1 \\ h_n & \text{for } i = n \end{cases}$$

وعند استخدام هذه الطريقة، يجب ألا يقل تباعد المظاهر الجانبية عن 30 متراً.

ويتعلق "ارتفاع الجلبة التمثيلي" المشار إليه في المعادلة (1c) بمعلومات الارتفاع الإحصائية المرتبطة بتصنيف الغطاء الأرضي كالنباتات والمباني أي قيمة ارتفاع وحيدة مخصصة لكل غطاء أرضي/صنف الجلبة. وإضافة ارتفاعات الجلبة التمثيلية إلى المظهر الجانبي تستند إلى افتراض أن الارتفاعات h_i تمثل سطح الأرض الأجرد. وإذا كان المسير الراديوي يمر فوق مناطق حرجية أو حضرية حيث يحدث انعراج أو انسداد في مسيرات فرعية، يزداد الارتفاع الفعلي للمظهر الجانبي لأن الإشارات الراديوية ستعبر فوق الجلبة. وبالتالي يمكن الحصول على تمثيل أنسب للمظهر الجانبي عن طريق إضافة ارتفاعات لاحتساب الجلبة.

ولا تكون الإضافة المناسبة مادية بالضرورة، مثل ارتفاعات الأسطح في حالة المباني. وحيث توجد فجوات بين كائنات الجلبة، كما تراها موجة راديوية، يمكن لبعض الطاقة أن تعبر من خلالها بدلاً من فوقها. وفي هذه الحالة يُتوقع للجلبة أن تزيد من الخسارة جراء الانعراج، ولكن ليس بنسبة تصل إلى رفع المظهر الجانبي إلى ارتفاع الجلبة الفيزيائية.

وهذا ينطبق بشكل خاص على المناطق الحضرية ذات المباني الشاهقة. وتميل فئات المناطق مثل "الحضرية الكثيفة" أو "المناطق الحضرية ذات المباني الشاهقة" لأن تكون مرتبطة بارتفاعات مباني بواقع 30 متراً أو أكثر. ولكن تتخلل بعض مناطق المباني الشاهقة فسخ واسعة فيما بينها، ويمكن أن تتسع لمسيرات منخفضة الخسارة تمر خلالها بدلاً من فوق الأسطح. وقد تكون القيم الأصغر للارتفاعات التمثيلية بدلاً من ارتفاعات الجلبة المادية مناسبة في هذه الحالات.

وعلى الطرف الآخر، حتى في المناطق التي تصنف على أنها "مفتوحة" أو "ريفية" فمن غير المألوف أن تكون الأرض جرداء تماماً، أي خالية من أي شيء يمكن أن يضيف إلى خسائر الانتشار. وبالتالي، فإن إسناد قيم صغيرة لارتفاع الجلبة التمثيلي لارتفاعات الجلبة التمثيلية، بدلاً من الصفر، قد يكون مناسباً في كثير من الحالات.

وبالتالي، فإن ارتفاع الجلبة التمثيلي لا يتوقف فقط على الارتفاع المادي النمطي للأشياء المسببة للجلبة وإنما أيضاً على التباعد الأفقي لهذه الأشياء والفجوات بينها. وليس هناك معيار متعارف عليه بشأن ما تمثله فئة جلبة، "الحضرية" مثلاً، من الناحية المادية في مختلف البلدان. وينبغي استعمال معلومات ارتفاع الجلبة التمثيلية استناداً إلى إحصائيات ارتفاع الجلبة المحلية أو مصادر أخرى، متى توفرت، ويقترح الجدول 2 قيمة افتراضية لارتفاعات الجلبة التمثيلية، يمكن استخدامها في حالة عدم وجود معلومات محددة بشأن المنطقة/البلد.

الجدول 2

القيم الافتراضية لارتفاعات الجلبة التمثيلية

الارتفاع التمثيلي للجلبة (m)	فئة الجلبة
أضف إلى معادلة المظهر الجانبي (1c) بالنسبة إلى $i = 2$ إلى $1 - n$	
0	مياه/بحر
0	منطقة ريفية/مفتوحة
10	ضواحي
15	حضرية/أشجار/غابة
20	حضرية كثيفة

2.2.3 بيانات التضاريس والسطح

في هذه الطريقة، يُستخرج المظهر الجانبي لارتفاع السطح مباشرة من بيانات ارتفاع السطح.

وتعطي ارتفاعات السطح، g_i ، بواسطة:

$$(1e) \quad g_i = \begin{cases} \text{surface height of } i\text{-th profile point above sea level (m)} & \text{for } i = 2, \dots, n - 1 \\ h_1 & \text{for } i = 1 \\ h_n & \text{for } i = n \end{cases}$$

علماً بأن بيانات ارتفاع السطح ينبغي استخدامها باستبانة مماثلة لتباعد المظهر الجانبي، وعند استخدام هذه الطريقة، قد يؤدي التباعد الذي يقل عن 10 أمتار إلى المبالغة في تقدير خسارة الإرسال الأساسية لأن البيانات ستصف العقبات الفردية. وقد أظهرت الاختبارات المكثفة أن استخدام تباعد المظهر الجانبي الذي يزيد عن 50 متراً لا يعطي أي فائدة إضافية قياساً بالطريقة الموصوفة في الفقرة 1.2.3.

3.3 المناطق المناخية الراديوية

يرد في الجدول 3 وصف لمعلومات لازمة بشأن ماهية أطوال المسيرات في المناطق المناخية الراديوية.

لأغراض مرجعية، قد تود الإدارة استخدام الألفة الساحلية على النحو الوارد في الخارطة العالمية الرقمية للاتحاد الدولي للاتصالات (IDWM) المتاحة من مكتب الاتصالات الراديوية (BR): <https://www.itu.int/pub/R-SOFT-IDWM>. فإذا كانت جميع النقاط على المسير على مسافة لا تقل عن 50 km من البحر أو المساحات الأخرى الكبيرة من الماء، لا تُطبق إلا فئة المنطقة الداخلية البرية.

وإذا ما حُزنت معلومات المنطقة في نقاط متتالية على طول المسير الراديوي، ينبغي افتراض أن التغيرات تحدث في منتصف المسافة بين نقاط ذات شفرات منطقة مختلفة.

الجدول 3

المناطق المناخية الراديوية

التعريف	الشفرة	نمط المنطقة
الأراضي الساحلية أو المناطق الشاطئية، أي الأراضي المجاورة للبحر حتى ارتفاع 100 m بالنسبة إلى متوسط مستوى البحر أو الماء، لكنها محددة بمسافة 50 km من أقرب منطقة بحرية، ويمكن استعمال قيمة تقريبية إذا لم تتوفر بيانات دقيقة تتعلق بالارتفاع البالغ 100 m	A1	ساحلية
كل الأراضي غير المناطق الساحلية والشواطئ المعرفة "بالأراضي الساحلية" أعلاه	A2	داخلية برية
البحار والمحيطات والمساحات الأخرى الكبيرة من الماء (أي التي تغطي دائرة قطرها 100 km، على الأقل).	B	بحرية

4.3 مسافات المطراف من الساحل

أما إذا كان المسير عابراً للمنطقة B، فتلزم معلمتان إضافيتان $(d_{cr}$ و d_{ct})، تعطيان مسافة المرسل والمستقبل من الساحل (km)، على التوالي، باتجاه المطراف الآخر. وتكون هذه المسافة صفرًا إذا كان المطراف على ظهر سفينة أو منصة بحرية.

5.3 معلمات الأرصاد الجوية الراديوية الأساسية

يتطلب إجراء التنبؤ معلمتين من الأرصاد الجوية الراديوية لوصف قابلية التغير في الانكسارية الجوية.

- ΔN (وحدات -km/N)، هو متوسط معدل التفاوت للانكسارية الراديوية في الكيلومتر الأدنى من الجو الذي يوفر البيانات التي يمكن استناداً إليها حساب نصف قطر الأرض الفعال المناسب لتحليل المظهر الجانبي للمسير والانعراج بالعوائق. ويلاحظ أن ΔN في هذا الإجراء تكون كمية موجبة.
- N_0 (وحدات -N)، هي الانكسارية على مستوى سطح البحر وتستعمل فقط في نموذج الانتشار التروبوسفيري كمقياس للتغير في آليات الانتشار التروبوسفيري.

إذا لم تتوفر قياسات محلية، يمكن الحصول على هذه المقادير من الخرائط الموجودة في النواتج الرقمية التكميلية المقدمة مع هذه التوصية. وترد الخرائط في الملفين DN50.txt و N050.txt، على التوالي. وترد البيانات من 0° إلى 360° في خط الطول ومن +90° إلى -90° في خط العرض، باستثناء 1,5° في الخطين. وتستعمل البيانات بالاقتران مع ملفي البيانات المصاحبة LAT و LON، اللذين يتضمنان خطوط العرض وخطوط الطول، على التوالي، للنقاط المناظرة (النقاط الشبكية) في الملفين DN50.txt و N050.txt. وبالنسبة إلى أي موقع يختلف عن النقاط الشبكية، يمكن اشتقاق المعلمة عند الموقع المطلوب بإجراء استكمال داخلي ثنائي الخطية على القيم عند أقرب أربع نقاط شبكية، كما هو موضح في التوصية ITU-R P.1144.

الجدول 4

نواتج رقمية تكميلية

خط الطول			خط العرض			المنشأ	اسم الملف
المباعدة (بالدرجات)	إلى (بالدرجات)	إلى (بالدرجات)	المباعدة (بالدرجات)	إلى (بالدرجات)	من (بالدرجات)		
1,5	360	0	1,5	90-	90	P.453	DN50.txt
1,5	360	0	1,5	90-	90	P.453	N050.txt
1,5	360	0	1,5	90-	90	P.453	LAT.txt
1,5	360	0	1,5	90-	90	P.453	LON.txt

اشتقت هذه الخرائط الرقمية من تحليل مجموعة بيانات عملية لمجموعات سابقة من المسبارات الراديوية لمدة عشر سنوات (1983-1992).

ترد هذه الخرائط الرقمية في الملف المضغوط [R-REC-P.1812-7-202308-I!!ZIP-E.zip](#).

6.3 حالة الانتشار التروبوسفيري الموجه

يتم التحديد الكمي للدرجة التي تتعزز إليها مستويات الإشارة بفعل الانتشار غير المنتظم، لا سيما الانتشار التروبوسفيري الموجه، بالمعلمة β_0 (%). وهي النسبة المئوية من الوقت التي يتوقع في أثنائها وفي المائة متر الأولى من الطبقة المنخفضة من الجو، أن تتجاوز معدلات التفاوت للانكسارية $N-100$ وحدات/km. وتُحسب قيمة β_0 كما يلي.

احسب المعلمة μ_1 ، التي تعتمد على الدرجة التي يعبر فيها المسير الأرض (في الداخل/أو على الساحل) والمياه:

$$(2) \quad \mu_1 = \left(10^{\frac{-d_{lm}}{16-6,6\tau}} + 10^{-5(0,496+0,354\tau)} \right)^{0,2}$$

حيث يحد قيمة μ_1 المتباينة ($\mu_1 \leq 1$)،

و

$$(3) \quad \tau = 1 - \exp(-0,000412 d_{lm}^{2,41})$$

d_{lm} : أطول جزء بري مستمر (في الداخل وعلى الساحل) من مسير الدائرة العظمى (km)

d_{lm} : أطول جزء بري مستمر داخل الأراضي من مسير الدائرة العظمى (km).

ويعرّف الجدول 3 المناطق المناخية الراديوية التي يجب استعمالها للحصول على d_{lm} و d_{lm} . فإن كانت جميع النقاط على المسير على مسافة لا تقل عن 50 km من البحر أو المساحات الأخرى الكبيرة من الماء، لا تُطبق إلا فئة المنطقة الداخلية البرية وبالتالي فإن d_{lm} و d_{lm} يساويان طول المسير، d .

احسب المعلمة μ_4 ، التي تعتمد على μ_1 وخط العرض لمركز المسير بالدرجات:

$$(4) \quad \begin{aligned} \mu_4 &= \mu_1^{(-0,935+0,0176|\varphi|)} & \text{for } |\varphi| \leq 70^\circ \\ \mu_4 &= \mu_1^{0,3} & \text{for } |\varphi| > 70^\circ \end{aligned}$$

حيث:

φ : خط عرض منتصف المسير (درجات).

احسب β_0 :

$$(5) \quad \beta_0 = \begin{cases} 10^{-0,015|\varphi|+1,67} \mu_1 \mu_4 & \% & \text{for } |\varphi| \leq 70^\circ \\ 4.17 \mu_1 \mu_4 & \% & \text{for } |\varphi| > 70^\circ \end{cases}$$

7.3 نصف قطر الأرض الفعّال

يحدد عامل نصف قطر الأرض الفعّال المتوسط k_{50} للمسير بواسطة المعادلة التالية:

$$(6) \quad k_{50} = \frac{157}{157 - \Delta N}$$

يمكن الحصول على قيمة متوسط معدل التفاوت لقابلية في الانكسارية الراديوية، ΔN ، من الخريطة الرقمية التكميلية DN50.txt باستعمال خطي العرض والطول لمركز المسير كممثل للمسير برمته.

ويمكن أن تحدد القيمة المتوسطة لنصف قطر الأرض الفعّال a_e بواسطة المعادلة التالية:

$$(7a) \quad a_e = k_{50} a \quad \text{km}$$

بينما يُحدد نصف قطر الأرض الفعّال الذي يتم تجاوزه لمدة β_0 ، a_β ، بواسطة المعادلة التالية:

$$(7b) \quad a_\beta = k_\beta a \quad \text{km}$$

حيث $k_\beta = 3,0$ هي قيمة تقديرية لعامل نصف قطر الأرض الفعّال الذي يتم تجاوزه لمدة β_0 .
ويحدد نصف قطر فعلي عام للأرض حيث $a_e = a_p$ لمدة 50% من الوقت و $a_\beta = a_p$ لمدة β_0 % من الوقت.

8.3 المعلومات التي يتم الحصول عليها من تحليل المظهر الجانبي للمسير

يجب الحصول على القيم الخاصة بعدد من المعلومات المتعلقة بالمسير والضرورية لإجراء الحسابات والواردة في الجدول 5 بواسطة تحليل أولي للمظهر الجانبي للمسير مبني على قيمة a_e التي يتم الحصول عليها من المعادلة (7a). ويقدم المرفق 1 من هذا الملحق معلومات حول اشتقاق المظهر الجانبي للمسير وبنائه وتحليله.

4 إجراء التنبؤ

1.4 نظرة عامة

تتناول هذه الفقرة بالوصف إجراء التنبؤ بكامله. أولاً، تُقيّم خسارة الإرسال الأساسية، L_b (dB)، التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية السنوية من الوقت المطلوب، p %، وفي 50% من المواقع حسب الوصف في الفقرات 2.4-6.4 (أي خسائر الإرسال الأساسية الناجمة عن الانتشار في خط البصر (LoS) والانتشار بالانعراج والانتشار بالانتشار التروبوسفيري والانتشار التروبوسفيري الموجه والانعكاس على الطبقات وتجميع لآليات الانتشار هذه للتنبؤ بخسارة الإرسال الأساسية، على التوالي). أما في الفقرتين 7.4-8.4، فيرد وصف لطرائق لتضمين تأثيرات التغيير في الموقع وخسارة الدخول إلى المباني. وفي النهاية تقدم الفقرة 10.4 صيغاً تعزو خسارة الإرسال الأساسية إلى شدة المجال (dB μ V/m) بالنسبة إلى 1 Kw من القدرة المشعة الفعّالة.

الجدول 5

قيم معلومات مستخلصة من تحليل المظهر الجانبي للمسير

المعلمة	الوصف
d	مسافة مسير الدائرة العظمى (km)
d_{lr} , d_{lb}	المسافة بين هوائيين الإرسال والاستقبال والأفق المقابل لهما (km)
θ_b , θ_r	زاويتا ارتفاع الأفق عند الإرسال والاستقبال (mrad)
θ	المسافة الزاوية للمسير (mrad)
h_{ts} , h_{rs}	ارتفاع مركز الهوائي فوق المستوى المتوسط للبحر (m)
h_{tc} , h_{rc}	h_{rs} و h_{ts} على التوالي
h_{te} , h_{re}	الارتفاع الفعّال للهوائي فوق الأرض (m) لنموذج الانتشار الموجه/ الانعكاس على الطبقات وعلى النحو المحدد في المرفق 1 بالملحق 1
d_b	الطول الإجمالي لأجزاء المسير فوق الماء (km)
ω	جزء المسير الكلي فوق الماء: $\omega = d_b / d$ حيث d هي مسافة الدائرة العظمى (km) المحسوبة باستخدام المعادلة (73). بالنسبة للمسيرات البرية بكاملها: $\omega = 0$.

2.4 الانتشار في خط البصر (بما في ذلك التأثيرات قصيرة الأجل)

ينبغي تقييم كل ما يلي بالنسبة إلى مسيرات خط البصر والمسيرات عبر الأفق. تُحدد خسارة الإرسال الأساسية الناجمة عن الانتشار في الفضاء الحر بالمعادلة:

$$(8) \quad L_{bfs} = 92.4 + 20 \log f + 20 \log(d_{fs}) \text{ dB}$$

حيث:

f : التردد (GHz)

d_{fs} : المسافة بين هوائي الإرسال والاستقبال (km)

$$(8a) \quad d_{fs} = \sqrt{d^2 + \left(\frac{h_{ts} - h_{rs}}{1000}\right)^2}$$

d : مسافة مسير الدائرة العظمى (km)

h_{ts} : ارتفاع هوائي الإرسال فوق سطح البحر (masl)

h_{rs} : ارتفاع هوائي الاستقبال فوق سطح البحر (masl).

وتعطي تصحيحات تأثيرات المسيرات المتعددة والتركيز في النسبتين المئويتين للوقت p و β_0 ، على التوالي، بالمعادلتين:

$$(9a) \quad E_{sp} = 2.6 \left[1 - \exp\left(-\frac{d_{lt} + d_{lr}}{10}\right) \right] \log\left(\frac{p}{50}\right) \text{ dB}$$

$$(9b) \quad E_{s\beta} = 2.6 \left[1 - \exp\left(-\frac{d_{lt} + d_{lr}}{10}\right) \right] \log\left(\frac{\beta_0}{50}\right) \text{ dB}$$

احسب خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية $p\%$ من الوقت والتي تعود إلى الانتشار في خط البصر (بصرف النظر عما إذا كان المسير في خط البصر فعلياً أم لا)، والتي تعطى بالمعادلة التالية:

$$(10) \quad L_{b0p} = L_{bfs} + E_{sp} \text{ dB}$$

واحسب خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية $\beta_0\%$ من الوقت والتي تعود إلى الانتشار في خط البصر (بصرف النظر عما إذا كان المسير في خط البصر فعلياً أم لا)، والتي تعطى بالمعادلة التالية:

$$(11) \quad L_{b0\beta} = L_{bfs} + E_{s\beta} \text{ dB}$$

3.4 الانتشار بالانعراج

تُحسب خسارة الانعراج عن طريق الجمع بين طريقة تعتمد على بناء بولينغتون (Bullington) وانعراج الأرض الكروية. وجزء بولينغتون من هذه الطريقة هو توسيع لبناء بولينغتون الأساسي للسيطرة على الانتقال بين ظروف الفضاء الحر والظروف التي تتخللها العوائق. ويستخدم هذا الجزء من الطريقة مرتين: للمظهر الجانبي الفعلي للمسير، وللمظهر الجانبي الأملس عديم الارتفاعات ذي ارتفاعات الهوائي المعدلة التي يشار إليها بارتفاعات الهوائي الفعالة. وتستخدم أيضاً ارتفاعات الهوائي الفعالة نفسها لحساب خسارة الانعراج في الأرض الكروية. ويتم الحصول على النتيجة النهائية بجمع ثلاث خسائر تحسب على النحو الوارد أعلاه. وفي المسير الأملس تماماً، تكون خسارة الانعراج النهائية هي خرج نموذج الأرض الكروية.

وتقدم هذه الطريقة تقديراً لخسارة الانعراج لجميع أنماط المسيرات سواء كانت عبر البحر أم البر أم عبر الأراضي الساحلية وسواء كان المسير أملساً أم وعراً وسواء كان على خط البصر أم عابراً للأفق.

تُستعمل طريقة الانعراج هذه عادةً لمتوسط نصف قطر الأرض الفعّال. وعند الحاجة إلى تنبؤ إجمالي بالنسبة إلى $(p = 50\%)$ ، تنتفي الحاجة إلى حساب آخر للانعراج.

وفي الحالة العامة عندما يكون $(p < 50\%)$ ، يجب إجراء حساب الانعراج كرتة ثانية لعامل نصف قطر الأرض الفعّال المساوي 3. ويوفر هذا الحساب الثاني تقديراً لخسارة الانعراج التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية $\beta_0\%$ من الوقت، حيث يتم الحصول على β_0 بالمعادلة (5). وبعد ذلك، تُحسب خسارة الانعراج التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية $p\%$ من الوقت، بالنسبة إلى $(1\% \leq p \leq 50\%)$ ، باستعمال عملية التحديد أو الاستكمال الداخلي الموضحة في الفقرة 5.3.4.

وتلجأ الطريقة أعلاه لعملية تقريب لخسارة انعراج حد سكين واحدة كدالة لمعلمة دون أبعاد، v ، وتُعطى كما يلي:

$$(12) \quad J(v) = 6.9 + 20 \log \left(\sqrt{(v-0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right)$$

يلاحظ أن $(J(-0,78) \approx 0)$ ، وهذا يُعرّف الحد الأقل الذي ينبغي استعمال هذا التقريب عنده. هذا وتُضبط $J(v)$ بقيمة الصفر لكل $(v \leq -0,78)$.

ويوضّح حساب الانعراج الكلي في الفقرات الفرعية على النحو التالي:

تصف الفقرة 1.3.4 جزء بولينغتن من طريقة الانعراج. وهو يُستخدم مرتين لكل حساب انعراج من أجل قيمة فعّالة معينة لنصف قطر الأرض. وفي المرة الثانية يتم تعديل ارتفاعات الهوائي وتصفّر جميع ارتفاعات المظهر الجانبي.

وتصف الفقرة 2.3.4 جزء الأرض الكروية من نموذج الانعراج. وهو يُستخدم مع ارتفاعات الهوائي نفسها المستخدمة في المرة الثانية من جزء بولينغتن في الفقرة 1.3.4.

وتصف الفقرة 3.3.4 كيف تستخدم الطريقتين المذكورتين في الفقرتين 1.3.4 و 2.3.4 معاً لإجراء العملية الحسابية الكاملة للانعراج من أجل قيمة فعّالة معينة لنصف قطر الأرض. ونظراً للطريقة التي يُستخدم فيها جزءا بولينغتن والأرض الكروية، بات الحساب الكامل يُعرف بنموذج "دلّتا بولينغتن".

وتصف الفقرة 4.3.4 الحساب الكامل لخسارة الانعراج غير المتجاوزة خلال نسبة مئوية معينة $p\%$ من الوقت.

1.3.4 جزء بولينغتن من حساب الانعراج

في المعادلات التالية، تحسب المنحدرات بوحدة m/km نسبة إلى خط الأساس الواصل لمستوى سطح البحر عند المرسل بمستوى سطح البحر عند المستقبل. وتكون المسافة والارتفاع للنقطة ذات الترتيب i في المظهر الجانبي d_i و g_i m فوق مستوى سطح البحر على التوالي، ويتخذ المتحول i قيمة تتراوح بين 1 و n حيث n هو عدد نقاط المظهر الجانبي والطول الكامل للمسير هو d km . وتسهيلاً للعمل، يشار إلى المطرفين في بداية ونهاية المظهر الجانبي كمرسل ومستقبل بارتفاعين بالأمتار فوق مستوى سطح البحر h_{rs} و h_{rc} على التوالي. ويعطي انحناء الأرض الفعّال، $(C_e km^{-1})$ ، بالكسر $1/a_p$ حيث a_p هو نصف قطر الأرض الفعّال بالكيلومترات. ويمثل طول الموجة بالأمتار بالرمز λ . ترد القيم التي يتعين استخدامها لحساب a_p في الفقرة 5.3.4.

يُيجاد النقطة الوسيطة في المظهر الجانبي ذات أعلى ميل للخط من المرسل إلى النقطة.

$$(13) \quad S_{tim} = \max \left[\frac{g_i + 500 C_e d_i (d - d_i) - h_{tc}}{d_i} \right] \quad m/km$$

حيث يتخذ مؤشر المظهر الجانبي i قيمة تتراوح بين 2 و $n-1$.

ويُحسب ميل الخط من المرسل إلى المستقبل بافتراض مسير على خط البصر:

$$(14) \quad S_{tr} = \frac{h_{rc} - h_{tc}}{d} \quad m/km$$

ويجب الآن أن تؤخذ حالتان بعين الاعتبار.

الحالة 1: مسير الانعراج على خط البصر

في حال ($S_{tim} < S_{tr}$)، يكون مسير الانعراج على خط البصر.

إيجاد النقطة الوسيطة في المظهر الجانبي ذات أعلى معلمة انعراج v :

$$(15) \quad v_{\max} = \max \left\{ \left[g_i + 500 C_e d_i (d - d_i) - \frac{h_{tc}(d - d_i) + h_{rc} d_i}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002 d}{\lambda d_i (d - d_i)}} \right\}$$

حيث يتخذ مؤشر المظهر الجانبي i قيمة تتراوح بين 2 و $n-1$.

وفي هذه الحالة، تعطى خسارة حد السكين لنقطة بولينغتن كما يلي:

$$(16) \quad L_{uc} = J(v_{\max}) \quad \text{dB}$$

حيث تعطى الدالة J بالمعادلة (12) من أجل v_b أكبر من -0,78، وتكون صفرًا خلاف ذلك.

الحالة 2: المسير عبر الأفق

في حال ($S_{tim} \geq S_{tr}$)، يكون المسير عبر الأفق.

إيجاد النقطة الوسيطة في المظهر الجانبي ذات أعلى ميل للخط من المستقبل إلى النقطة.

$$(17) \quad S_{rim} = \max \left[\frac{g_i + 500 C_e d_i (d - d_i) - h_{rc}}{d - d_i} \right] \quad \text{m/km}$$

حيث يتخذ مؤشر المظهر الجانبي i قيمة تتراوح بين 2 و $n-1$.

تُحسب مسافة نقطة بولينغتن من المرسل:

$$(18) \quad d_{bp} = \frac{h_{rc} - h_{tc} + S_{rim} d}{S_{tim} + S_{rim}} \quad \text{km}$$

وتُحسب معلمة الانعراج، v_b ، لنقطة بولينغتن:

$$(19) \quad v_b = \left[h_{tc} + S_{tim} d_{bp} - \frac{h_{tc}(d - d_{bp}) + h_{rc} d_{bp}}{d} \right] \sqrt{\frac{0,002 d}{\lambda d_{bp} (d - d_{bp})}}$$

وفي هذه الحالة، تعطى خسارة حد السكين لنقطة بولينغتن كما يلي:

$$(20) \quad L_{uc} = J(v_b) \quad \text{dB}$$

ومن أجل الخسارة L_{uc} المحسوبة باستخدام إحدى المعادلتين (16) أو (20)، تعطى خسارة انعراج بولينغتن في المسير كما يلي:

$$(21) \quad L_{bull} = L_{uc} + \left[1 - \exp\left(\frac{-L_{uc}}{6}\right) \right] (10 + 0,02 d) \quad \text{dB}$$

2.3.4 خسارة الانعراج في الأرض الكروية

تُحسب خسارة الانعراج، L_{dsph} ، في الأرض الكروية لارتفاعي الهوائي h_{resph} و h_{tesph} (m) الفعالين، على النحو التالي.

تُحسب المسافة الهامشية على خط البصر لمسير أملس:

$$(22) \quad d_{los} = \sqrt{2a_p} \left(\sqrt{0,001h_{tesph}} + \sqrt{0,001h_{resph}} \right) \quad \text{km}$$

وترد القيم التي يتعين استخدامها من أجل a_p في الفقرة 5.3.4. ويحدّد ارتفاعا الهوائي الفعليين h_{resph} و h_{tesph} في المعادلتين (38a) و (38b). في حال ($d \geq d_{los}$)، تُحسب خسارة الانعراج باستخدام الطريقة المذكورة في الفقرة 3.3.4 من أجل ($a_{dft} = a_p$) للحصول على L_{dft} وتساوى الخسارتان L_{dft} و L_{dsph} . ولا ضرورة لمزيد من حساب الانعراج في الأرض الكروية.

وبخلاف ذلك، يُستمر على النحو التالي:

يُحسب أصغر خلوص ارتفاع بين المسير المنحني على الأرض والشعاع بين الهوائيين، h_{se} ، المعطى بما يلي:

$$(23) \quad h_{se} = \frac{\left(h_{tesph} - 500 \frac{d_{se1}^2}{a_p} \right) d_{se2} + \left(h_{resph} - 500 \frac{d_{se2}^2}{a_p} \right) d_{se1}}{d} \quad \text{m}$$

حيث:

$$(24a) \quad d_{se1} = \frac{d}{2} (1 + b) \quad \text{km}$$

$$(24b) \quad d_{se2} = d - d_{se1} \quad \text{km}$$

$$(24c) \quad b = 2 \sqrt{\frac{m_c + 1}{3m_c}} \cos \left\{ \frac{\pi}{3} + \frac{1}{3} \arccos \left(\frac{3c}{2} \sqrt{\frac{3m_c}{(m_c + 1)^3}} \right) \right\}$$

حيث تنتج دالة قوس جيب التمام زاوية بالراديان

$$(24d) \quad c = \frac{h_{tesph} - h_{resph}}{h_{tesph} + h_{resph}}$$

$$(24e) \quad m_c = \frac{250d^2}{a_p (h_{tesph} + h_{resph})}$$

يُحسب الخلوص المطلوب عند انعدام خسارة الانعراج، h_{req} ، ويعطى بما يلي:

$$(25) \quad h_{req} = 17.456 \sqrt{\frac{d_{se1} d_{se2} \lambda}{d}} \quad \text{m}$$

في حال ($h_{se} > h_{req}$) تنعدم خسارة الانعراج في الأرض الكروية L_{dsph} . ولا ضرورة لمزيد من حساب الانعراج في الأرض الكروية.

وبخلاف ذلك، يُستمر على النحو التالي:

يُحسب نصف قطر الأرض الفعّال المعدل، a_{em} ، مما يعطي خط بصر هامشي على مسافة d تعطى بما يلي:

$$(26) \quad a_{em} = 500 \left(\frac{d}{\sqrt{h_{tesph}} + \sqrt{h_{resph}}} \right)^2 \quad \text{km}$$

تُستخدم الطريقة المذكورة في الفقرة 3.3.4 من أجل ($a_{dft} = a_{em}$) للحصول على الخسارة L_{dft} .

فإذا كانت الخسارة L_{dft} سالبة، تنعدم خسارة الانعراج في الأرض الكروية L_{dsph} . ولا ضرورة لمزيد من حساب الانعراج في الأرض الكروية.

وبخلاف ذلك، يُستمر على النحو التالي:

تُحسب خسارة الانعراج في الأرض الكروية بالاستكمال الداخلي:

$$(27) \quad L_{dsph} = \left[1 - \frac{h_{se}}{h_{req}} \right] L_{dft} \quad \text{dB}$$

3.3.4 جزء الحد الأول من خسارة الانعراج في الأرض الكروية

تعطي هذه الفقرة الفرعية طريقة لحساب الانعراج في الأرض الكروية باستخدام الحد الأول فقط من السلاسل المتبقية. وهي تشكل جزءاً من طريقة الانعراج الكلي الموضحة في الفقرة 2.3.4 أعلاه لتعطي الحد الأول من خسارة الانعراج L_{dft} ، من أجل قيمة معينة لنصف قطر الأرض الفعّال a_{dft} . وترد قيمة a_{dft} التي يتعين استخدامها في الفقرة 2.3.4.

وتحدّد الخصائص الكهربائية للتضاريس النمطية على البر بالسماحية النسبية $\epsilon_r = 22,0$ والإيصالية النوعية $\sigma = 0,003 \text{ S/m}$ وتُحسب الخسارة L_{dft} باستخدام المعادلات (29) حتى (36) وتدعى النتيجة $L_{dftland}$.

وتحدّد الخصائص الكهربائية للتضاريس النمطية في البحر بالسماحية النسبية $\epsilon_r = 80,0$ والإيصالية النوعية $\sigma = 5,0 \text{ S/m}$ وتُحسب الخسارة L_{dft} باستخدام المعادلات (29) حتى (36) وتدعى النتيجة L_{dftsea} .

ويعطى الآن الحد الأول لخسارة الانعراج في الأرض الكروية بما يلي:

$$(28) \quad L_{dft} = \omega L_{dftsea} + (1 - \omega) L_{dftland} \quad \text{dB}$$

حيث ω هو شطر المسير فوق البحر.

بدء الحساب الذي يتعين القيام به مرتين، على النحو الموضح أعلاه:

العامل المقيس لسماحية السطح في الاستقطاب الأفقي والرأسي:

$$(29a) \quad K_H = 0036 (a_{dftf})^{-1/3} \left[(\epsilon_r - 1)^2 + \left(\frac{18\sigma}{f} \right)^2 \right]^{-1/4} \quad (\text{أفقي})$$

و

$$(29b) \quad K_V = K_H \left[\epsilon_r^2 + \left(\frac{18\sigma}{f} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{رأسي})$$

إذا تضمن متجه الاستقبال المكونتين الأفقية والرأسية، كأن يكون دائرياً أو مائلاً مثلاً، يفكك إلى مكونتين أفقية ورأسية، وتحسب كل منهما على حدة وتجمع النتيجة بجمع متجهي لاتساع المجال. ولن تكون عملية التفكيك هذه ضرورية في الحالة العملية لأنه يمكن فوق 300 MHz استعمال قيمة قدرها 1 من أجل β_{dft} في المعادلة (30).

وتُحسب معلمة الاستقطاب الأرضية:

$$(30) \quad \beta_{dft} = \frac{1 + 1.6K^2 + 0.67K^4}{1 + 4.5K^2 + 1.53K^4}$$

حيث K هو K_H أو K_V وفقاً للاستقطاب.

المسافة المقيّسة:

$$(31) \quad X = 21.88 \beta_{dft} \left(\frac{f}{a_{dft}^2} \right)^{1/3} d$$

والارتفاعان المقيّسان للمرسل والمستقبل:

$$(32a) \quad Y_t = 0.9575 \beta_{dft} \left(\frac{f^2}{a_{dft}} \right)^{1/3} h_{tesph}$$

$$(32b) \quad Y_r = 0.9575 \beta_{dft} \left(\frac{f^2}{a_{dft}} \right)^{1/3} h_{resph}$$

ويُحسب حد المسافة كما يلي:

$$(33) \quad F_X = \begin{cases} 11 + 10 \log(X) - 17.6X & \text{for } X \geq 1.6 \\ -20 \log(X) - 5.6488 X^{1.425} & \text{for } X < 1.6 \end{cases}$$

وتحدّد دالة الارتفاع المقيّس بما يلي:

$$(34) \quad G(Y) = \begin{cases} 17.6(B-1.1)^{0.5} - 5 \log(B-1.1) - 8 & \text{for } B > 2 \\ 20 \log(B+0.1B^3) & \text{otherwise} \end{cases}$$

حيث:

$$(35) \quad B = \beta_{dft} Y$$

وتُحدّ الدالة $G(Y)$ بحيث أن $G(Y) \geq 2 + 20 \log K$.

ويعطى الآن الحد الأول لخسارة الانعراج في الأرض الكروية بما يلي:

$$(36) \quad L_{dft} = -F_X - G(Y_t) - G(Y_r) \quad \text{dB}$$

4.3.4 نموذج "دلنا بولينغتن" لخسارة الانعراج الكاملة

تُستخدم الطريقة المذكورة في الفقرة 1.3.4 للارتفاعات (g_i) في المظهر الجانبي للمسير وارتفاعات الهوائي (h_{tc}, h_{rc}) . وتحدّد خسارة انعراج بولينغتن الناتجة في المسير الفعلي بالمساواة $L_{bull} = L_{bulla}$ على النحو المعطى في المعادلة (21).

ويقدم المرفق 3 بهذا الملحق طريقة بديلة لحساب قيمة L_{bulls} دون استخدام طريقة تحليل المظهر الجانبي للتضاريس.

وتُستخدم الطريقة المذكورة في الفقرة 1.3.4 لمرة ثانية، مع تصفير جميع ارتفاعات المظهر الجانبي، g_i ، وتعديل ارتفاعات الهوائي، كما يلي:

$$(37a) \quad h'_{tc} = h_{tc} - h_{std} \quad \text{m}$$

$$(37b) \quad h'_{rc} = h_{rc} - h_{std} \quad \text{m}$$

حيث يعطى ارتفاعاً الأرض الملساء عند المرسل والمستقبل h_{std} و h_{srd} في الفقرة 2.6.5 من المرفق 1 بهذا الملحق. وتحدّد خسارة الانعراج بطريقة بولينغتن لهذا المسير الأملس، $L_{bull} = L_{bulls}$ ، على النحو المعطى بالمعادلة (21).

وتُستخدم الطريقة المذكورة في الفقرة 2.3.4 لحساب خسارة الانعراج في الأرض الكروية، L_{dsph} ، من أجل طول المسير الفعلي d km ومع ما يلي:

$$(38a) \quad h_{tesph} = h'_{tc} \quad \text{m}$$

$$(38b) \quad h_{resph} = h'_{rc} \quad \text{m}$$

وتعطى الآن خسارة الانعراج في مسير عام بما يلي:

$$(39) \quad L_d = L_{bulla} + \max\{L_{dsph} - L_{bulls}, 0\} \quad \text{dB}$$

5.3.4 خسارة الانعراج غير المتجاوزة خلال النسبة المئوية p من الوقت

تُستخدم الطريقة المذكورة في الفقرة 4.3.4 لحساب خسارة الانعراج L_d في متوسط نصف قُطر الأرض الفعّال، $a_p = a_e$ ، كما يعطى بالمعادلة (7a). ويحدّد متوسط خسارة الانعراج بالمساواة $L_d = L_{d50}$.

وفي حال $p = 50\%$ ، تعطى خسارة الانعراج غير المتجاوزة خلال نسبة مئوية معينة p من الوقت، L_{dp} ، بالخسارة L_{d50} ،

وفي حال ($p < 50\%$)، فإن خسارة الانعراج غير المتجاوزة خلال النسبة p من الوقت، L_{dp} ، تحسب على النحو التالي.

تُستخدم الطريقة المذكورة في الفقرة 4.3.4 لحساب خسارة الانعراج، L_d غير المتجاوزة خلال نسبة مئوية معينة $\beta_0\%$ من الوقت $a_p = a_\beta$ ، من أجل نصف قُطر الأرض الفعّال، كما تعطى بالمعادلة (7b). وتحدّد خسارة الانعراج خلال نسبة مئوية معينة $\beta_0\%$ من الوقت بالمساواة $L_d = L_{d\beta}$.

ويتحكم في تطبيق القيمتين المحتملتين لعامل نصف قُطر الأرض الفعّال عامل استكمال داخلي F_i يستند إلى توزيع لوغاريتمي عادي لخسارة الانعراج على مدى ($\beta_0\% \leq p \leq 50\%$)، ويتم الحصول عليه بالمعادلات:

$$(40) \quad F_i = \begin{cases} 0 & \text{if } p = 50\% \\ \frac{I(p/100)}{I(\beta_0/100)} & \text{if } \beta_0\% < p < 50\% \\ 1 & \text{if } 1\% \leq p \leq \beta_0\% \end{cases}$$

حيث $I(x)$ هو مقلوب التوزيع الطبيعي التراكمي التكميلي بدلالة الاحتمال x . ويرد في المرفق 2 بهذا الملحق في بقية التوصية تقريب لدالة $I(x)$ يمكن استعماله بامّاش ثقة عندما تكون ($x \leq 0,5$).

أما خسارة الانعراج، L_{dp} ، التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p من الوقت فهي تُعطى هنا بالمعادلة:

$$(41) \quad L_{dp} = L_{d50} + (L_{d\beta} - L_{d50})F_i \quad \text{dB}$$

ويُحدّد العامل F_i بالمعادلة (40)، تبعاً لقيم p و β_0 .

ويتم الحصول على متوسط خسارة الإرسال الأساسية المصاحبة للانعراج، L_{bd50} ، بالمعادلة:

$$(42) \quad L_{bd50} = L_{bfs} + L_{d50} \quad \text{dB}$$

حيث يتم الحصول على L_{bfs} بالمعادلة (8).

ويتم الحصول على خسارة الإرسال الأساسية المصاحبة للانعراج والتي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p من الوقت بالمعادلة:

$$(43) \quad L_{bd} = L_{b0p} + L_{dp} \quad \text{dB}$$

حيث يتم الحصول على L_{b0p} بالمعادلة (10).

4.4 الانتشار بالتناثر التروبوسفيري

يوصى بإجراء الخطوة بخطوة التالي لتقدير خسارة الإرسال الأساسية الناجمة عن الانتثار التروبوسفيري $L_{bs}(p)$ الذي لا يتجاوز خلال النسب المئوية من الوقت p . ويتطلب الإجراء معلمات الوصلة لطول مسير الدائرة العظمى d (km) والتردد f (MHz) وكسب هوائي الإرسال G_t (dBi) وكسب هوائي الاستقبال G_r (dBi) وزاوية ارتفاع الأفق θ_t (mrad) عند المرسل، وزاوية ارتفاع الأفق θ_r (mrad) عند المستقبل.

الخطوة 1: الحصول على متوسط الانكسارية السنوية لسطح سطح البحر N_0 ومعدل انحسار الانكسارية الراديوية ΔN للحجم المشترك للوصلة المعنية باستخدام الخرائط الرقمية المقابلة (انظر الملحق 1، الفقرة 5.3). ويمكن الحصول على الإحداثيات المقابلة على سطح الأرض لحجم مشترك وفقاً للطريقة الواردة في الفقرة 9.3 من التوصية ITU-R p.2001.

الخطوة 2: حساب زاوية التناثر θ (المسافة الزاوية) بوحدة mrad باستعمال المعادلة (82). والحد من قيمة θ بحيث $\theta \geq 10^{-6}$.

الخطوة 3: تقدير خسارة الاقتران من الفتحة إلى الوسط L_c من المعادلة التالية:

$$(44) \quad L_c = 0.07 \exp[0.055(G_t + G_r)] \quad \text{dB}$$

حيث G_t و G_r هما كسبا الهوائي.

الخطوة 4: تقدير خسارة الإرسال الأساسية المرتبطة بالانتثار التروبوسفيري $L_{bs}(p)$ الذي لا يتجاوز خلال النسب المئوية من الوقت p من المعادلة:

$$(44a) \quad L_{bs}(p) = F + 22 \log_{10} f + 35 \log_{10} \theta + 17 \log_{10} d + L_c - Y_p \quad \text{dB}$$

حيث:

$$(44b) \quad F = 0.18 \cdot N_0 \cdot \exp(-h_s/h_b) - 0.23\Delta N \quad \text{dB}$$

$$(44c) \quad Y_p = \begin{cases} 0.035N_0 \exp(-h_0/h_b) \cdot (-\log_{10}(p/50))^{0.67} & p < 50 \\ -0.035N_0 \exp(-h_0/h_b) \cdot (-\log_{10}[(100-p)/50])^{0.67} & p \geq 50 \end{cases}$$

$$(45) \quad h_0 = \frac{h_{ts}}{1000} + \frac{d \sin \beta}{\sin(\theta/1000)} \left[\frac{d \sin \beta}{2a_e \sin(\theta/1000)} + \sin(\theta_t/1000) \right]$$

$$(45a) \quad \beta = \frac{d}{2a_e} + \frac{\theta_r}{1000} + \frac{h_{rs}-h_{ts}}{1000d}$$

مع:

d : مسافة مسير الدائرة العظمى (km)

a_e : متوسط نصف قطر الأرض الفعال (km)

h_{ts} : علو هوائي الإرسال فوق متوسط مستوى سطح البحر (m)

h_{rs} : علو هوائي الاستقبال فوق متوسط مستوى سطح البحر (m)

h_s : علو التضاريس فوق متوسط مستوى سطح البحر في الموقع الجغرافي للحجم المشترك (km)

h_b : مقايسة العلو (km) التي يمكن تحديدها إحصائياً لظروف المناخ المختلفة. لغرض مرجعي، يمكن تعريف

المتوسط العام لعلو المقياس بالعلو 7,35 km

لتجنب نقص تقدير خسارة الانتثار التروبوسفيري للمسيرات القصيرة، يجد من الخسارة L_{bs} بحيث

$$(45b) \quad L_{bs} \geq L_{bfs} \quad \text{dB}$$

حيث تعرف خسارة الإرسال الأساسية الناجمة عن الانتثار في الفضاء الحر L_{bs} في المعادلة (8).

5.4 الانتشار الناتج عن الانتشار التروبوسفيري الموجه/الانعكاس على الطبقات

يتم الحصول على خسارة الإرسال الأساسية L_{ba} (dB)، المصاحبة للانتشار التروبوسفيري الموجه والانعكاس على الطبقات، والتي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p من الوقت، بالمعادلة:

$$(46) \quad L_{ba} = A_f + A_d(p) \quad \text{dB}$$

حيث:

A_f : إجمالي خسائر الاقتران الثابتة بين الهوائيات وبنية الانتشار غير المنتظم في الجو:

$$(47) \quad A_f = 102,45 + 20 \log(f) + 20 \log(d_{lt} + d_{lr}) + A_{lf} + A_{st} + A_{sr} + A_{ct} + A_{cr} \quad \text{dB}$$

A_{lf} : تصحيح عملي لمراعاة زيادة التوهين بزيادة طول الموجة في الانتشار التروبوسفيري الموجه

$$(47a) \quad A_{lf}(f) = \begin{cases} 45,375 - 137,0f + 92,5f^2 & \text{dB for } f < 0,5 \text{GHz} \\ 0 & \text{dB for } f \geq 0,5 \text{GHz} \end{cases}$$

A_{sr}, A_{st} : خسارتنا الانعراج العائد إلى تأثير حجب الموقع للمحطة المرسله والمحطة المستقبلية، على التوالي:

$$(48) \quad A_{st, sr} = \begin{cases} 20 \log\left(1 + 0,361\theta''_{t,r} (fd_{lt,lr})^{1/2}\right) + 0,264\theta''_{t,r} f^{1/3} & \text{dB for } \theta''_{t,r} > 0 \text{ mrad} \\ 0 & \text{dB for } \theta''_{t,r} \leq 0 \text{ mrad} \end{cases}$$

حيث:

$$(48a) \quad \theta''_{t,r} = \theta_{t,r} - 0,1 d_{lt,lr} \quad \text{mrad}$$

A_{cr}, A_{ct} : قيمتا تصحيح الاقتران بالانتشار التروبوسفيري الموجه على السطح فوق البحر للمحطة المرسله والمحطة المستقبلية، على التوالي:

$$(49) \quad A_{ct, cr} = \begin{cases} -3 \exp(-0,25d_{ct,cr}^2) \left\{1 + \tanh[0,07(50 - h_{ts,rs})]\right\} & \text{dB for } \omega \geq 0,75 \\ -3 \exp(-0,25d_{ct,cr}^2) \left\{1 + \tanh[0,07(50 - h_{ts,rs})]\right\} & \text{dB for } d_{ct,cr} \leq d_{lt,lr} \\ & \text{dB for } d_{ct,cr} \leq 5 \text{km} \\ 0 & \text{dB for all other conditions} \end{cases}$$

ومن المفيد الإشارة إلى المجموعة المحدودة من الشروط التي تكون فيها المعادلة (49) ضرورية.

$A_d(p)$: الخسائر بدلالة النسبة المئوية من الوقت والمسافة الزاوية داخل آلية الانتشار غير المنتظم:

$$(50) \quad A_d(p) = \gamma_d \theta' + A(p) \quad \text{dB}$$

حيث:

γ_d : التوهين النوعي:

$$(51) \quad \gamma_d = 5 \cdot 10^{-5} a_e f^{1/3} \quad \text{dB/mrad}$$

θ' : المسافة الزاوية ومصححة وفقاً للحاجة (من خلال المعادلة (48a)) من أجل إتاحة تطبيق نموذج تأثير حجب الموقع في المعادلة (46):

$$(52) \quad \theta' = \frac{10^3 d}{a_e} + \theta'_t + \theta'_r \quad \text{mrad}$$

$$(52a) \quad \theta'_{t,r} = \begin{cases} \theta_{t,r} & \text{for } \theta_{t,r} \leq 0.1 d_{lt,lr} \quad \text{mrad} \\ 0.1 d_{lt,lr} & \text{for } \theta_{t,r} > 0.1 d_{lt,lr} \quad \text{mrad} \end{cases}$$

$A(p)$: التغير في النسبة المئوية من الوقت (توزيع تراكمي):

$$(53) \quad A(p) = -12 + (1,2 + 3,7 \cdot 10^{-3} d) \log \left(\frac{p}{\beta} \right) + 12 \left(\frac{p}{\beta} \right)^\Gamma \quad \text{dB}$$

$$(53a) \quad \Gamma = \frac{1.076}{(2.0058 - \log \beta)^{1.012}} \exp \left[- \left(9.51 - 4.8 \log \beta + 0.198 (\log \beta)^2 \right) \cdot 10^{-6} d^{1.13} \right]$$

$$(54) \quad \beta = \beta_0 \mu_2 \mu_3 \quad \%$$

μ_2 : التصحيح بالنسبة إلى هندسة المسير:

$$(55) \quad \mu_2 = \left(\frac{500}{a_e} \frac{d^2}{(\sqrt{h_{te}} + \sqrt{h_{re}})^2} \right)^\alpha$$

ويجب ألا تتجاوز قيمة μ_2 مقدار 1:

$$(55a) \quad \alpha = -0.6 - \tau d^{3.1} \varepsilon \cdot 10^{-9}$$

حيث:

$$\varepsilon: 3,5$$

τ : محددة في المعادلة (3)، ويجب ألا تقل قيمة α عن -3,4

μ_3 : تصحيح عدم الانتظام في التضاريس الأرضية:

$$(56) \quad \mu_3 = \begin{cases} 1 & \text{for } h_m \leq 10 \text{ m} \\ \exp \left[-4.6 \cdot 10^{-5} (h_m - 10) (43 + 6 d_I) \right] & \text{for } h_m > 10 \text{ m} \end{cases}$$

و:

$$(56a) \quad d_I = \min (d - d_{lt} - d_{lr}, 40) \quad \text{km}$$

ويرد تعريف المصطلحات الأخرى في الجدولين 1 و 2 وفي المرفق 1 لهذا الملحق.

6.4 خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p من الوقت وفي 50% من المواقع

ينبغي تطبيق الإجراء التالي على نتائج الحسابات السالفة بالنسبة لكل المسيرات كي تُحسب خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p من الوقت وفي 50% من المواقع. ولتحتاشي عدم الاستمرارية غير المعقولة فيما يُتنبأ به من خسائر

إرسال أساسية افتراضية، يجب خلط نماذج الانتشار السالفة معاً للحصول على قيم معدلة لخسائر الإرسال الأساسية بغية تحقيق تنبؤ إجمالي من أجل النسبة المئوية $p\%$ من الوقت وفي 50% من المواقع.

يحسب عامل الاستكمال الداخلي، F_j ، لأخذ المسافة الزاوية للمسير في الحساب:

$$(57) \quad F_j = 1,0 - 0,5 \left[1,0 + \tanh \left(3,0 \xi \frac{(\theta - \Theta)}{\Theta} \right) \right]$$

حيث:

Θ : معلمة ثابتة تحدد المدى الزاوي للخلط المصاحب؛ وتأخذ القيمة $0,3 \text{ mrad}$

ξ : معلمة ثابتة تحدد ميل الخلط في نهاية المدى؛ وتأخذ القيمة $0,8$

θ : المسافة الزاوية للمسير (mrad)، التي يرد تعريفها في الجدول 7.

يحسب عامل الاستكمال الداخلي، F_k ، لأخذ مسافة الدائرة العظمى للمسير في الحساب:

$$(58) \quad F_k = 1,0 - 0,5 \left[1,0 + \tanh \left(3,0 \kappa \frac{(d - d_{sw})}{d_{sw}} \right) \right]$$

حيث:

d : طول مسير الدائرة العظمى (km) المحدد في الجدول 3

d_{sw} : معلمة ثابتة تحدد مدى المسافة للخلط المصاحب؛ وتأخذ القيمة 20

κ : معلمة ثابتة تحدد ميل الخلط في نهايتي المدى؛ وتأخذ القيمة $0,5$.

تحسب خسارة الإرسال الأساسية الدنيا الافتراضية، L_{minb0p} (dB)، المصاحبة لانتشار خط البصر وانعراج المسير الفرعي فوق البحر:

$$(59) \quad L_{minb0p} = \begin{cases} L_{b0p} + (1 - \omega)L_{dp} & \text{for } p < \beta_0 \quad \text{dB} \\ L_{bd50} + (L_{b0\beta} + (1 - \omega)L_{dp} - L_{bd50})F_i & \text{for } p \geq \beta_0 \quad \text{dB} \end{cases}$$

حيث:

L_{b0p} : خسارة الإرسال الأساسية الافتراضية في خط البصر التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية $p\%$ من الوقت، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (10)

$L_{b0\beta}$: خسارة الإرسال الأساسية الافتراضية في خط البصر التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية $\beta_0\%$ من الوقت، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (11)

L_{dp} : خسارة الانعراج التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية $p\%$ من الوقت، المعطاة بالمعادلة (41)

L_{bd50} : متوسط خسارة الإرسال الأساسية المصاحبة للانعراج، المعطى بالمعادلة (42)

F_i : عامل الاستكمال الداخلي للانعراج، ويتم الحصول عليه بالمعادلة (40).

تحسب خسارة الإرسال الأساسية الدنيا الافتراضية، L_{minbap} (dB)، المصاحبة لانتشار خط البصر وتعزيزات الإشارة عبر الأفق:

$$(60) \quad L_{minbap} = \eta \ln \left[\exp \left(\frac{L_{ba}}{\eta} \right) + \exp \left(\frac{L_{b0p}}{\eta} \right) \right] \quad \text{dB}$$

حيث:

L_{ba} : خسارة الإرسال الأساسية في الانتشار التروبوسفيري الموجه والانعكاس على الطبقات التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p من الوقت، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (46)

L_{b0} : خسارة الإرسال الأساسية في خط البصر الافتراضي التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p من الوقت، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (10)

$$\eta = 2,5$$

تحسب خسارة الإرسال الأساسية الافتراضية، L_{bda} (dB)، المصاحبة للانعراج وتعزيزات خط البصر أو الانتشار التروبوسفيري الموجه والانعكاس على الطبقات:

$$(61) \quad L_{bda} = \begin{cases} L_{bd} & \text{for } L_{minbap} > L_{bd} \\ L_{minbap} + (L_{bd} - L_{minbap})F_k & \text{for } L_{minbap} \leq L_{bd} \end{cases} \quad \text{dB}$$

حيث:

L_{bd} : خسارة الإرسال الأساسية المصاحبة للانعراج التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p من الوقت من المعادلة (43)

L_{minbap} : خسارة الإرسال الأساسية الدنيا الافتراضية المصاحبة لانتشار خط البصر وتعزيزات الإشارة عبر الأفق من المعادلة (60)

F_k : عامل الاستكمال الداخلي، الذي يتم الحصول عليه بالمعادلة (58)، وفق قيمة مسافة الدائرة العظمى للمسير، d .

تحسب خسارة الإرسال الأساسية المعدلة، L_{bam} (dB)، التي تأخذ في الحسبان الانعراج، وتعزيزات خط البصر أو الانتشار التروبوسفيري الموجه والانعكاس على الطبقات:

$$(62) \quad L_{bam} = L_{bda} + (L_{minb0p} - L_{bda})F_j \quad \text{dB}$$

حيث:

L_{bda} : خسارة الإرسال الأساسية الافتراضية المصاحبة للانعراج وتعزيزات خط البصر أو الانتشار التروبوسفيري الموجه والانعكاس على الطبقات، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (61)

L_{minb0p} : خسارة الإرسال الأساسية الدنيا الافتراضية المصاحبة لانتشار خط البصر وانعراج المسير الفرعي فوق البحر، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (59)

F_j : عامل الاستكمال الداخلي الذي يتم الحصول عليه بالمعادلة (57)، وفق قيمة المسافة الزاوية للمسير، θ .

تحسب خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p من الوقت وفي 50% من المواقع، L_{bc} (dB)، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة:

$$(63) \quad L_{bc} = -5 \log(10^{-0.2L_{bs}} + 10^{-0.2L_{bam}}) \quad \text{dB}$$

حيث:

L_{bs} : خسارة الإرسال الأساسية نتيجة الانتشار التروبوسفيري والتي لا يتم تجاوزها أثناء أية نسبة مئوية من الوقت p ، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (44)

L_{bam} : خسارة الإرسال الأساسية المعدلة التي تأخذ في الحسبان الانعراج، وتعزيزات خط البصر أو الانتشار التروبوسفيري الموجه والانعكاس على الطبقات، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (62).

7.4 تغيير الخسارة حسب الموقع

في هذه التوصية، وبصفة عامة، يشير مفهوم التغيير في الموقع إلى الإحصائيات المكانية الخاصة بتغيرات الغطاء الأرضي المحلي. وهو ما يمثل نتيجة مفيدة بالنسبة إلى المقاييس التي تفوق بكثير تغيرات الغطاء الأرضي، والتي لا تمثل تغيرات المسير بالنسبة إليها أي أهمية. وبما أن التغيير في الموقع يُعرّف على نحو يستبعد تغيرات المسيرات المتعددة، فإنه لا يعتمد على عرض نطاق النظام.

وسيكون من الضروري أيضاً، فيما يتعلق بتخطيط الأنظمة الراديوية، أن تؤخذ تأثيرات المسيرات المتعددة في الحسبان. وسيختلف تأثير هذه الآثار باختلاف الأنظمة وبالتالي يتوقف على عرض النطاق والتشكيل ومخطط التشفير. وتقدم التوصية ITU-R P.1406 إرشادات بشأن نمذجة هذه التأثيرات.

ويبين التحليل المكثف للبيانات أن توزيع شدة المجال المتوسطة المحلية الناجمة عن تغيرات الغطاء الأرضي هو توزيع لوغاريتمي عادي تقريباً. وتعتمد قيم الانحراف المعياري على درجة استبانة التنبؤ وعلى التردد، وقد أظهرت الدراسات التجريبية حدوث انتشار. ويمكن الحصول على القيم التمثيلية للعبء المئوية الخمسين (50) لتوزيع الانحراف المعياري للتغير حسب الموقع بواسطة المعادلة التالية:

$$(64) \quad \sigma_L = (0.024f + 0.52)w_a^{0.28} \quad \text{dB}$$

حيث:

f : التردد المطلوب (GHz)

w_a : درجة استبانة التنبؤ (m).

ودرجة استبانة التنبؤ هي عرض المساحة المربعة التي يسري عليها التغير. ويمكن لمواقع النسب المئوية، p_L %، أن تتغير بين 1% و 99% ولا يصلح هذا النموذج لمواقع نسب مئوية تقل عن 1% أو تزيد عن 99%.

وتعد القيم الواردة في الجدول 6 ملائمة للتخطيط لخدمات التلفزيون الرقمي للأرض (DTT). وقد تبين أنها مساوية للعبء المئوية 93^{rd} لدالة التوزيع التراكمي لقياس هوائي بارتفاع أعلى الأسطح في منطقة تبلغ مساحتها 100×100 m.

الجدول 6

قيم الانحراف المعياري للتغير في الموقع المستعملة في بعض حالات التخطيط

الانحراف المعياري (dB)			
MHz 2 000	MHz 600	MHz 100	
5,5	5,5	5,5	الخدمة الإذاعية، التلفزيون الرقمي للأرض (DTT)

وعند وضع المستقبل/المتنقل على الأرض وخارج المباني بينما يكون ارتفاعه فوق الأرض أكبر من أو يساوي ارتفاع الجلبة التمثيلية، فمن المعقول، مع ازدياد الارتفاع، توقع التناقص المطرد للتغير في الموقع إلى حد التلاشي في نقطة ما. وفي هذه التوصية، يمكن الحصول على تغاير ارتفاع التغيير في الموقع، $u(h)$ ، بالعلاقات التالية:

$$(65) \quad \begin{aligned} u(h) &= 1 & \text{for } 0 \leq h < R \\ u(h) &= 1 - \frac{(h-R)}{10} & \text{for } R \leq h < R+10 \\ u(h) &= 0 & \text{for } R+10 \leq h \end{aligned}$$

حيث R (m) هو ارتفاع الجلبة التمثيلية في موقع المستقبل/المتنقل. لذا، بالنسبة إلى مستقبل/متنقل موجود خارج المباني، فإن الانحراف المعياري للتغير في الموقع، σ_L ، الذي يتم الحصول عليه بالمعادلة (64) أو من الجدول 6، ينبغي ضربه في دالة تغير الارتفاع، $u(h)$ ، التي يتم الحصول عليها (65)، وذلك عند حساب قيم خسارة الإرسال الأساسية لقيم p_L % المختلفة عن 50%.

8.4 خسارة الدخول إلى المباني

يمكن الاطلاع على التعاريف والنماذج النظرية والإحالات إلى النتائج التجريبية المتعلقة بخسارة الدخول إلى المباني في التوصية ITU-R P.2040.

أما تغيّر شدة المجال بالنسبة إلى الاستقبال داخل المباني فهو حصيلة دمج التغيّر خارج المباني، σ_L ، والتغيّر الناجم عن توهين البناء، σ_{be} (انظر التوصية ITU-R P.2040). ولا يوجد على الأرجح ارتباط بين هذين التغيّرين. ومن ثم يمكن حساب الانحراف المعياري بالنسبة إلى الاستقبال داخل المباني σ_i بأخذ الجذر التربيعي لمجموع مربعي الانحرافين المعياريين الفرديين.

$$(66) \quad \sigma_i = \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_{be}^2} \quad \text{dB}$$

حيث σ_L ، الانحراف المعياري للتغير في الموقع على النحو المتحصل عليه بالمعادلة (64) أو من الجدول 6.

9.4 خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها للنسبة المئوية p % من الوقت وفي p_L % من المواقع

لحساب مواقع النسبة المئوية المرغوبة، يتم الحصول على متوسط الخسارة، L_{loc} ، والانحراف المعياري، σ_{loc} ، من المعادلات التالية:

$$(67a) \quad L_{loc} = 0 \quad \text{(خارج المباني)} \quad \text{dB}$$

$$(67b) \quad L_{loc} = L_{be} \quad \text{(داخل المباني)} \quad \text{dB}$$

و:

$$(68a) \quad \sigma_{loc} = u(h) \sigma_L \quad \text{(خارج المباني)} \quad \text{dB}$$

$$(68b) \quad \sigma_{loc} = \sigma_i \quad \text{(داخل المباني)} \quad \text{dB}$$

حيث يرد متوسط خسارة الدخول إلى المباني، L_{be} ، في التوصية ITU-R P.2040، ويتم الحصول على دالة الارتفاع، $u(h)$ ، بالمعادلة (65) والانحرافان المعياريان، σ_L و σ_i ، يتم الحصول عليهما بالمعادلة (64) (أو الجدول 6) وبالمعادلة (66)، على التوالي.

ويتم الحصول على خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها للنسبة المئوية p % من الوقت وفي p_L % من المواقع، L_b (dB)، بالمعادلة:

$$(69) \quad L_b = \max \left[L_{b0p}, L_{bc} + L_{loc} - I \left(\frac{p_L}{100} \right) \sigma_{loc} \right] \quad \text{dB}$$

حيث:

L_{b0p} : خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها للنسبة المئوية p % من الوقت وفي 50% من المواقع والمصاحبة لخط البصر مع تعزيزات قصيرة الأجل، ويمكن الحصول عليها بالمعادلة (10)

L_{bc} : خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها للنسبة المئوية p % من الوقت وفي 50% من المواقع، بما فيها تأثيرات خسائر جلبة المطراف، ويمكن الحصول عليها بالمعادلة (63)

L_{loc} : متوسط قيمة خسارة الموقع الذي يتم الحصول عليه بالمعادلة (67a) و(67b)

$I(x)$: توزيع طبيعي تراكمي تكميلي عكسي كدالة في الاحتمال، x . ويرد في المرفق 2 لهذا الملحق تقريب للدالة $I(x)$ يمكن استعماله عندما تكون $(0,000001 \leq x \leq 0,999999)$

σ_{loc} : انحراف معياري مركّب (أي خسارة الدخول إلى المباني والتغيّر في الموقع)، ويمكن الحصول عليها بالمعادلة (68a) و(68b).

ويمكن لمواقع النسبة المئوية، $p_L\%$ ، أن تتغيّر بين 1% و99%. ولا يصلح هذا النموذج لمواقع نسب مئوية تقل عن 1% أو تزيد عن 99%.

10.4 شدة المجال التي يتم تجاوزها للنسبة المئوية $p\%$ من الوقت وفي $p_L\%$ من المواقع

يمكن حساب شدة المجال المقیّسة إلى قدرة مشعة فعّالة مقدارها 1 kW والتي يتم تجاوزها للنسبة المئوية $p\%$ من الوقت، وفي $p_L\%$ E_p من المواقع، باستخدام المعادلة:

$$E_p = 199.36 + 20 \log(f) - L_b \quad \text{dB}(\mu\text{V}/\text{m}) \quad (70)$$

حيث:

L_b : خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها للنسبة المئوية $p\%$ من الوقت وفي $p_L\%$ من المواقع، والمحسوبة بالمعادلة (69)

f : التردد المطلوب (GHz).

المرفق 1

للملحق 1

تحليل المظهر الجانبي للمسير

1 مقدمة

يتطلب تحليل المظهر الجانبي للمسير وجود مظهر جانبي لارتفاعات التضاريس الأرضية على طول المسير فوق متوسط مستوى البحر. ويقدم الجدول 7 المعلومات الواجب اشتقاقها من تحليل المظهر الجانبي للمسير لأغراض نماذج الانتشار.

2 رسم المظهر الجانبي للمسير

استناداً إلى الإحداثيات الجغرافية للمحطة المرسلية (ψ_r, ρ_r) والمحطة المستقبلية (ψ_r, ρ_r) ينبغي أن تشتق ارتفاعات التضاريس الأرضية (فوق متوسط مستوى البحر) على طول مسير الدائرة العظمى من قاعدة بيانات طبوغرافية أو من خرائط كفاية كبيرة مناسبة. ويقدر الإمكان من الناحية العملية، ينبغي أن تجسّد استبانة المسافة للمظهر الجانبي المعالم الهامة للتضاريس الأرضية. وعادةً تكون الزيادة في المسافة من 30 m إلى 1 km مناسبة. كما يصح عموماً استعمال زيادات أطول للمسافة من أجل المسيرات الأطول. وينبغي للمظهر الجانبي أن يحتوي على ارتفاع الأرض عند موقعي المحطة المرسلية والمحطة المستقبلية باعتبارهما نقطتي البداية والنهاية. وتأخذ المعادلات التالية انحناء الأرض في الحسبان وفق الضرورة استناداً إلى قيمة a_e في المعادلة (7a).

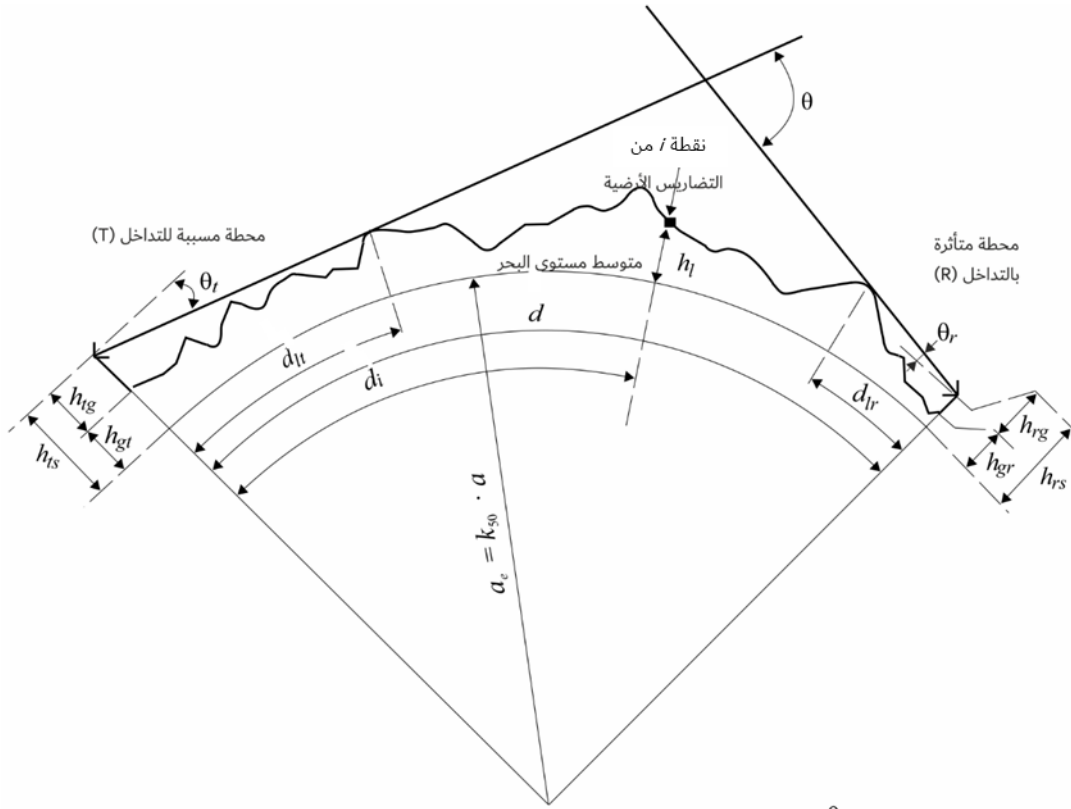
ورغم أنه من المفضل استعمال نقاط مظهر جانبي منتظمة التباعد، فمن الممكن استعمال هذه الطريقة مع نقاط مظهر جانبي غير منتظمة التباعد. وقد يكون ذلك مفيداً عندما يستخلص المظهر الجانبي من خريطة رقمية ذات مناسيب لارتفاعات التضاريس

الأرضية. إلا أنه تجدر الإشارة إلى أن التوصية قد أعدت استناداً إلى اختبارات تستعمل نقاط مظهر جانبي منتظمة التباعد ولا تتوفر أي معلومات عن تأثير النقاط غير منتظمة التباعد على الدقة.

وتعتبر، لأغراض هذه التوصية، نقطة المظهر الجانبي للمسير في محطة الإرسال النقطة 1، بينما تعتبر النقطة في المحطة المستقبلية النقطة n . وبهذا يتشكل المظهر الجانبي للمسير من n نقطة. ويعطي الشكل 1 مثلاً للمظهر الجانبي للمسير عبر ارتفاعات التضاريس الأرضية فوق متوسط مستوى البحر مبيناً الملعلمات المختلفة المتعلقة بالتضاريس الأرضية الفعلية.

الشكل 1

مثال للمظهر الجانبي لمسير (عبر الأفق)



P.1812-01

ويحدد الجدول 7 الملعلمات المستعملة أو المشتقة أثناء تحليل المظهر الجانبي للمسير.

الجدول 7

تعريف معالم المظهر الجانبي للمسير

المعلمة	الوصف
a	متوسط نصف قطر الأرض المادي (km 6 371)
a_e	نصف قطر الأرض الفعّال (km)
d	مسافة مسير الدائرة العظمى (km)
d_i	مسافة الدائرة العظمى للنقطة i للمظهر الجانبي من المرسل
d_{ii}	الزيادة التدريجية في المسافة المستعملة في معطيات المظهر الجانبي للمسير المنتظم (km) (أي بتباعدات متساوية)
f	التردد (GHz)
λ	طول الموجة (m)
h_{ts}	ارتفاع هوائي المرسل (m) فوق متوسط مستوى البحر (amsl)
h_{rs}	ارتفاع هوائي المستقبل (m) (amsl)
θ_t	بالنسبة للمسير عبر الأفق، زاوية ارتفاع الأفق فوق خط الأفق المحلي (mrad) مقاسة من الهوائي المرسل. وبالنسبة لمسير خط البصر، ينبغي أن تكون هذه الزاوية زاوية ارتفاع الهوائي المستقبل
θ_r	بالنسبة للمسير عبر الأفق، زاوية ارتفاع الأفق فوق خط الأفق المحلي (mrad) مقاسة من الهوائي المستقبل. وبالنسبة لمسير خط البصر، ينبغي أن تكون هذه الزاوية زاوية ارتفاع الهوائي المرسل
θ	المسافة الزاوية للمسير (mrad)
h_{st}	ارتفاع "الأرض الممهدة" فوق متوسط مستوى البحر (amsl) عند موقع المحطة المرسل (m)
h_{sr}	ارتفاع "الأرض الممهدة" فوق متوسط مستوى البحر (amsl) عند موقع المحطة المستقبل (m)
h_i	ارتفاع النقطة من الرتبة i في التضاريس الأرضية فوق متوسط مستوى البحر (m) h_t : الارتفاع الأرضي للمرسل h_n : الارتفاع الأرضي للمستقبل
h_m	وعورة التضاريس الأرضية (m)
h_{te}	الارتفاع الفعّال للهوائي المرسل (m)
h_{re}	الارتفاع الفعّال للهوائي المستقبل (m)

3 طول المسير

يمكن الحصول على طول المسير باستعمال هندسة الدائرة العظمى (استناداً إلى متوسط نصف قطر الأرض المادي، a) من الإحداثيات الجغرافية للمحطتين المرسل (ψ_r, ϕ_r) والمستقبل (ψ_t, ϕ_t). ويمكن بدلاً من ذلك تحديد طول المسير من المظهر الجانبي للمسير. وفي الحالات العامة، يمكن الحصول على طول المسير، d (km)، من بيانات المظهر الجانبي للمسير:

$$(71) \quad d = d_n \quad \text{km}$$

وبالنسبة إلى بيانات المظهر الجانبي لمسير منتظم التباعد، تصح العلاقة التالية أيضاً:

$$(72) \quad d_i = (i-1)d_{ii} \quad \text{km}$$

بالنسبة إلى $i = 1, \dots, n$ ، حيث d_{ii} هي الزيادة التدرجية في مسافة المسير (km).

4 تصنيف المسيرات

يجب ألا يصنف المسير تبعاً لكونه على خط البصر أو عابراً للأفق إلا للأغراض تحديد المسافتين d_{ir} و d_{ii} وزاويتي الارتفاع θ_i و θ_r ، انظر أدناه. يجب أن يستعمل المظهر الجانبي (LOS) للمسير لتصنيف المسير فيما لو كان في خط البصر أو عبر الأفق استناداً إلى نصف قطر الأرض الفعّال a_e ، الذي يمكن الحصول عليه بالمعادلة (7a).

ويكون المسير عبر الأفق إذا كانت زاوية ارتفاع الأفق المادي من ناحية الهوائي المرسل (بالنسبة إلى خط الأفق المحلي) أكبر من الزاوية المرئية من جهة الهوائي المستقبل (أيضاً بالنسبة إلى خط الأفق المحلي المرسل).

ويكون الاختبار الخاص بشروط المسير عبر الأفق على النحو التالي:

$$(73) \quad \theta_{max} > \theta_{td} \quad \text{mrad}$$

حيث:

$$(74) \quad \theta_{max} = \max_{i=2}^{n-1} (\theta_i) \quad \text{mrad}$$

θ_i : زاوية الارتفاع بالنسبة إلى النقطة i في التضاريس الأرضية

$$(75) \quad \theta_i = 1000 \arctan \left(\frac{h_i - h_{ts}}{10^3 d_i} - \frac{d_i}{2 a_e} \right) \quad \text{mrad}$$

حيث:

h_i : ارتفاع النقطة i في التضاريس الأرضية (m) فوق متوسط مستوى البحر

h_{ts} : ارتفاع الهوائي المرسل (m) فوق متوسط مستوى البحر

d_i : المسافة بين المرسل والنقطة i في التضاريس الأرضية (km)

$$(76) \quad \theta_{td} = 1000 \arctan \left(\frac{h_{rs} - h_{ts}}{10^3 d} - \frac{d}{2 a_e} \right) \quad \text{mrad}$$

حيث:

h_{rs} : ارتفاع الهوائي المستقبل (m) فوق متوسط مستوى البحر

d : المسافة الكلية لمسير الدائرة العظمى (km)

a_e : متوسط نصف قطر الأرض الفعّال المناسب للمسير (المعادلة (7a)).

5 اشتقاق المعلومات من المظهر الجانبي لمسير

يعرض الجدول 7 المعلومات الواجب اشتقاقها من المظهر الجانبي للمسير.

1.5 زاوية ارتفاع الأفق فوق الأفق المحلي لهوائي الإرسال، θ_t

تعطى زاوية ارتفاع الأفق لهوائي الإرسال بالنسبة إلى الأفق المحلي كما يلي:

$$(77) \quad \theta_t = \max(\theta_{max}, \theta_{td}) \quad \text{mrad}$$

وتكون θ_{max} كما هي محددة في المعادلة (74). ومن ثم، في مسير على خط البصر، تُعتبر زاوية ارتفاع الأفق للهوائي المرسل هي زاوية ارتفاع الخط الواصل إلى هوائي الاستقبال.

2.5 مسافة أفق الهوائي المرسل، d_{lt}

مسافة الأفق هي أدنى مسافة من المرسل المحسوب عندها أقصى زاوية لارتفاع أفق الهوائي من المعادلة (74).

$$(78) \quad d_{lt} = d_i \quad \text{km} \quad \text{for } \max(\theta_i)$$

وفي مسير على خط البصر، ينبغي أن يكون المؤشر i هو القيمة التي تعطي معلمة الانعراج v القصوى:

$$(78a) \quad v_{\max} = \max \left\{ \left[h_i + 500 C_e d_i (d - d_i) - \frac{h_{ts} (d - d_i) + h_{rs} d_i}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002 d}{\lambda d_i (d - d_i)}} \right\}$$

حيث يأخذ دليل المظهر الجانبي i قيمة تتراوح من 2 إلى $n-1$. و C_e هو الانحناء الفعلي للأرض كما هو معرف في الفقرة 1.3.4. بالملاحق 1.

3.5 زاوية ارتفاع أفق الهوائي فوق الأفق المحلي المستقبل، θ_r

في مسير على خط البصر، تعطى الزاوية θ_r كما يلي:

$$(79) \quad \theta_r = 1000 \arctan \left(\frac{h_{ts} - h_{rs}}{10^3 d} - \frac{d}{2a_e} \right) \quad \text{mrad}$$

وإلا تعطى الزاوية θ_r كما يلي:

$$(80) \quad \theta_r = \max_{j=2}^{n-1} (\theta_j) \quad \text{mrad}$$

$$(80a) \quad \theta_j = 1000 \arctan \left[\frac{h_j - h_{rs}}{10^3 (d - d_j)} - \frac{d - d_j}{2a_e} \right] \quad \text{mrad}$$

4.5 مسافة أفق الهوائي المستقبل، d_{lr}

مسافة الأفق هي أدنى مسافة من المستقبل تحسب عندها أقصى زاوية لارتفاع أفق الهوائي من المعادلة (80).

$$(81) \quad d_{lr} = d - d_j \quad \text{km} \quad \text{for } \max(\theta_j)$$

وفي مسير على خط البصر، تعطى الزاوية d_{lr} كما يلي:

$$(81a) \quad d_{lr} = d - d_{lt} \quad \text{km}$$

5.5 المسافة الزاوية θ (mrad)

$$(82) \quad \theta = \frac{10^3 d}{a_e} + \theta_t + \theta_r \quad \text{mrad}$$

6.5 نموذج "الأرض الممهدة" وارتفاعات الهوائي الفعالة

"السطح الأملس" هو سطح مستخلص من المظهر الجانبي لحساب ارتفاعات الهوائي الفعالة لنموذج الانعراج وكذلك لإجراء تقييم لوعورة المسير، وهما أمران يتطلبهما نموذج الانتشار بالمجرى/الانعكاس عن طبقة وتختلف تعريف ارتفاع الهوائي الفعال في هذين الغرضين. حيث يكيف القسم 1.6.5 سطح أملس للأرض مع المظهر الجانبي الذي يتحصل منه على ارتفاعي هذين السطحين عند المطرافين، h_{sr} و h_{st} .

وفي الفقرة 2.6.5، يستخدم الارتفاعان h_{sr} و h_{st} لحساب ارتفاعي السطح الأملس للأرض المعدلين عند المطرافين h_{std} و h_{srd} اللذين يستخدمان في الفقرة 4.3.4 من الملحق 1 لحساب الارتفاعات الفعلية للهوائيات لنموذج الانعراج. وطبقاً للمظهر الجانبي، قد تختلف قيمتا h_{std} و h_{srd} عن قيمتي h_{st} و h_{sr} ، على التوالي.

وفي الفقرة 3.6.5، تستعمل قيمتا الارتفاعين h_{sr} و h_{st} لحساب الارتفاعين الفعليين للهوائي h_{re} و h_{te} ومعلمة خشونة الأرض h_m اللازمة لنموذج انعكاس المجرى/الطبقة في الفقرة 5.4 من الملحق 1.

1.6.5 اشتقاق سطح الأرض الأملس

احتساب ارتفاع التضاريس الأرضية الأملس على المطرافين h_{sr} و h_{st} على النحو التالي:

$$(83) \quad v_1 = \sum_{i=2}^n (d_i - d_{i-1})(h_i + h_{i-1})$$

$$(84) \quad v_2 = \sum_{i=2}^n (d_i - d_{i-1})[h_i(2d_i + d_{i-1}) + h_{i-1}(d_i + 2d_{i-1})]$$

$$(85) \quad h_{st} = \left(\frac{2v_1 d - v_2}{d^2} \right) \quad \text{m}$$

$$(86) \quad h_{sr} = \left(\frac{v_2 - v_1 d}{d^2} \right) \quad \text{m}$$

حيث:

h_{st} : الارتفاع فوق متوسط مستوى البحر (m) لسطح الأرض الأملس عند بداية المسير أي عند المرسل

h_{sr} : الارتفاع فوق مستوى سطح البحر (m) للسطح الأملس للأرض عند نهاية المسير، أي عند المستقبل

2.6.5 ارتفاعات السطح الأملس للأرض لنموذج الانعراج

يحدد أعلى ارتفاع لعائق فوق مسير خط مستقيم من المرسل إلى المستقبل، h_{obs} ، وزاويتي الارتفاع عن الأفق α_{obr} و α_{obt} ، وكل ذلك على أساس هندسة الأرض المستوية، وفقاً لما يلي:

$$(87a) \quad h_{obs} = \max(H_i) \quad \text{m}$$

$$(87b) \quad \alpha_{obt} = \max\left(\frac{H_i}{d_i}\right) \quad \text{mrad}$$

$$(87c) \quad \alpha_{obr} = \max\left[\frac{H_i}{(d - d_i)}\right] \quad \text{mrad}$$

حيث:

$$(87d) \quad H_i = h_i - \frac{[h_{tc}(d - d_i) + h_{rc}d_i]}{d} \quad \text{m}$$

ويتخذ مؤشر المظهر الجانبي i قيمة تتراوح بين 2 و $(n-1)$.

وتُحسب القيم المؤقتة لارتفاعات السطح الأملس في طرفي الإرسال والاستقبال للمسير:
إذا كان h_{obs} أقل من الصفر أو يساويه، عندئذ:

$$(88a) \quad h_{stp} = h_{st} \quad \text{m amsl}$$

$$(88b) \quad h_{srp} = h_{sr} \quad \text{m amsl}$$

وإلا:

$$(88c) \quad h_{stp} = h_{st} - h_{obs}g_t \quad \text{m amsl.}$$

$$(88d) \quad h_{srp} = h_{sr} - h_{obs}g_r \quad \text{m amsl}$$

حيث:

$$(88e) \quad g_t = \frac{\alpha_{obt}}{(\alpha_{obt} + \alpha_{obr})}$$

$$(88f) \quad g_r = \frac{\alpha_{obr}}{(\alpha_{obt} + \alpha_{obr})}$$

وتُحسب القيم النهائية لارتفاعي السطح الأملس في طرفي الإرسال والاستقبال للمسير كما يتطلب نموذج الانعراج:
فيذا كان h_{stp} أكبر من h_1 ، عندئذ:

$$(89a) \quad h_{std} = h_1 \quad \text{m amsl}$$

وإلا:

$$(89b) \quad h_{std} = h_{stp} \quad \text{m amsl}$$

وإذا كان h_{srp} أكبر من h_n ، عندئذ:

$$(89c) \quad h_{srd} = h_n \quad \text{m amsl}$$

وإلا:

$$(89d) \quad h_{srd} = h_{srp} \quad \text{m amsl}$$

3.6.5 معلمات نموذج الانتشار التروبوسفيري الموجه/الانعكاس عن طبقة

يُحسب ارتفاعا الأرض الملساء عند المرسل والمستقبل على النحو المطلوب من أجل عامل الوعورة كما يلي:

$$(90a) \quad h_{st} = \min (h_{st}, h_1) \quad \text{m}$$

$$(90b) \quad h_{sr} = \min (h_{sr}, h_n) \quad \text{m}$$

المرفق 2 للملحق 1

تقريب لدالة التوزيع العادي التراكمي التكميلي العكسي

يكون التقريب التالي لدالة التوزيع العادي التراكمي التكميلي العكسي صحيحاً للقيمة $(0,000001 \leq x \leq 0,999999)$ ويكون أقصى مقدار للخطأ 0,00054. فإن كانت $(x < 0,000001)$ ، مما يعني ضمناً $(\beta_0 < 0,0001\%)$ ، فينبغي ضبط x بقيمة 0,000001. وتسري اعتبارات مشابهة بالنسبة إلى $(x > 0,999999)$. ويمكن الوثوق في استخدام هذا التقريب لحساب دالة الاستكمال الداخلي في المعادلات (40) و(59) و(69). بيد أنه في المعادلة الأخيرة، يجب أن تنحصر قيمة x داخل المتباينة: $(0,01 \leq x \leq 0,99)$.

ويتم الحصول على الدالة $I(x)$ كالتالي:

$$(94a) \quad I(x) = T(x) - \xi(x) \quad \text{for } 0,000001 \leq x \leq 0,5$$

وبالتناظر:

$$(94b) \quad I(x) = \xi(1-x) - T(1-x) \quad \text{for } 0,5 < x \leq 0,999999$$

حيث:

$$(95a) \quad T(x) = \sqrt{[-2 \ln(x)]}$$

$$(95b) \quad \xi(x) = \frac{[(C_2 T(x) + C_1) T(x)] + C_0}{[(D_3 T(x) + D_2) T(x) + D_1] T(x) + 1}$$

$$(95c) \quad C_0 = 2.515516698$$

$$(95d) \quad C_1 = 0.802853$$

$$(95e) \quad C_2 = 0.010328$$

$$(95f) \quad D_1 = 1.432788$$

$$(95g) \quad D_2 = 0.189269$$

$$(95h) \quad D_3 = 0.001308$$

المرفق 3 للملحق 1

طريقة بديلة لحساب خسارة الانعراج في الأرض الكروية، L_{bulls}

يقدم هذا المرفق طريقة بديلة لحساب قيمة L_{bulls} دون استخدام طريقة تحليل المظهر الجانبي للتضاريس. فإذا كانت $d_{los} > d$ (على خط البصر (LOS))، تُحسب معلمة الانعراج لأصغر خلوص ارتفاع h_{se} (المعادلة 23) بين المسير المنحني على الأرض والشعاع بين الهوائيين بمسافة d_{sel} (المعادلة 24a) على النحو التالي:

$$(96) \quad v_{\max} = -h_{se} \cdot \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_{sel}(d-d_{sel})}}$$

وتُعطى خسارة حد السكن لهذه النقطة بالمعادلة التالية:

$$(97) \quad L_{us} = J(v_{\max}) \quad \text{dB}$$

وإذا كانت $d_{los} \leq d$ (على غير خط البصر (NLOS))، يُحدّد أعلى ميل للخط من هوائي الإرسال إلى المسير المنحني على الأرض.

$$(98) \quad S_{im} = 500 C_e d - 2\sqrt{500 C_e h_{tesph}} \quad \text{m/km}$$

ثم يُحدّد أعلى ميل للخط من هوائي الاستقبال إلى المسير المنحني على الأرض.

$$(99) \quad S_{rm} = 500 C_e d - 2\sqrt{500 C_e h_{resph}} \quad \text{m/km}$$

ويُستخدم هذان الميلان لحساب نقطة بولينغتن كما يلي:

$$(100) \quad d_s = \frac{h_{resph} - h_{tesph} + S_{rm}d}{S_{im} + S_{rm}} \quad \text{km}$$

وتُحسب معلمة الانعراج v_s لنقطة بولينغتن على النحو التالي:

$$(101) \quad v_s = \left[h_{tesph} + S_{im}d_s - \frac{h_{tesph}(d-d_s) + h_{resph}d_s}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_s(d-d_s)}}$$

وتُعطى خسارة حد السكن لنقطة بولينغتن بالمعادلة التالية:

$$(102) \quad L_{us} = J(v_s) \quad \text{dB}$$

وفي حال حساب L_{us} باستخدام أي من المعادلتين (97 أو 102)، تُعطى خسارة الانعراج بطريقة بولينغتن لهذا المسير الأملس بالمعادلة التالية:

$$(103) \quad L_{bulls} = L_{us} + \left(1 - \exp\left(\frac{-L_{us}}{6}\right) \right) (10 + 0.02d)$$