

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R P.528-4
(2019/08)

طريقة تنبؤ بالانتشار من أجل الخدمات المتنقلة للطيران
وخدمات الملاحة الراديوية العاملة في نطاقات الموجات
المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF)
والموجات السنتمترية (SHF)

السلسلة P

انتشار الموجات الراديوية

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.

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

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

العنوان	السلسلة
البث الساتلي	BO
التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية	BR
الخدمة الإذاعية (الصوتية)	BS
الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)	BT
الخدمة الثابتة	F
الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي 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، 2020

© ITU 2020

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

التوصية ITU-R P.528-4*

طريقة تنبؤ بالانتشار من أجل الخدمات المتنقلة للطيران وخدمات الملاحة الراديوية العاملة
في نطاقات الموجات المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF)
والموجات السنتمترية (SHF)
(المسألة ITU-R 203/3)

(1978-1982-1986-2012-2019)

مجال التطبيق

تحتوي هذه التوصية على طريقة للتنبؤ بخسارة الإرسال الأساسية في مدى التردد 125 MHz-15,5 GHz لخدمات الطيران والخدمات الساتلية. وهي تقدم طريقة خطوة بخطوة لحساب خسارة الإرسال الأساسية. ولا تلزم بيانات لهذه الطريقة سوى المسافة بين الهوائيات ومرتفعات الهوائيات فوق متوسط مستوى سطح البحر والتردد، والنسبة المئوية من الوقت.

كما تعطي هذه التوصية أيضاً الحسابات لنسبة الحماية المتوقعة أو نسبة تجاوز الإشارة المطلوبة إلى غير المطلوبة في جهاز الاستقبال لمدة لا تقل عن 95% من الوقت، $R(0,95)$. ويتطلب هذا الحساب البيانات الإضافية التالية للإشارات المطلوبة وغير المطلوبة على حد سواء: القدرة المرسل، وكسب هوائي الإرسال، وكسب هوائي الاستقبال.

إن جمعية الاتصالات الراديوية بالاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

- (أ) أن هناك احتياجاً لإرشاد المهندسين في تخطيط خدمات الراديو في نطاقات الموجات المترية والديسيمترية والسنتمترية؛
(ب) أن نموذج الانتشار الوارد في الملحق 2 مبني على قدر كبير من البيانات التجريبية (انظر الملحق 1)؛
(ج) أن خدمات الاتصال للطيران توفر غالباً وظيفة سلامة الحياة، وعليه تتطلب نمطاً من التيسر أعلى من كثير من الخدمات الأخرى؛
(د) يجب استخدام تيسرية من الوقت قدرها 0,95 للحصول على خدمة أكثر اعتمادية،

توصي

- 1 باستعمال البرمجية المتكاملة الواردة في هذه التوصية لتحديد قيم ومنحنيات خسارة الإرسال الأساسية لارتفاعات المطاريف والترددات والنسب المئوية من الوقت المحتمل أن تصادف في خدمات الطيران؛
2 أن يُنظر إلى الملاحظتين التاليتين على أنهما جزء من هذه التوصية.

الملاحظة 1 - ينبغي التشديد على أن القيم المتولدة مبنية على بيانات حاصلة أساساً لمناخ قاري معتدل.

الملاحظة 2 - تعطي الطريقة خسارة الإرسال الأساسية، أي الخسارة بين هوائيين مثاليين متناحيين خاليين من الخسارة. حيث حُفّف انعكاس السطح المتعدد المسيرات في الخطة الأرضية أو المرفق بواسطة أفعال موازنة، وإلا ينبغي أن يتضمن التحليل مخطط إشعاع رأسي اتجاهي يناسب مخطط إشعاع الهوائي.

* ترفع هذه التوصية إلى علم لجنة الدراسات 5.

الملحق 1

إعداد النموذج وتطبيقه

لقد تم تطوير طرائق التنبؤ بخسارة الإرسال بحيث تحدد خسارة الإرسال الأساسية لنسب مئوية من الوقت تتراوح بين 1% و 99% لارتفاعات الهوائيات الممكن تطبيقها على خدمات الطيران. هذه الطرائق مبنية على قدر كبير من البيانات التجريبية، وقد أجريت مقارنات موسعة بين التنبؤ والبيانات، [1979]. وعند إجراء هذه الحسابات، استخدمت أرض ملاء (معلمة التضاريس $0 = \Delta h$) بعامل نصف القطر الفعال للكرة الأرضية $k = 4/3$ (انكسارية السطح $N_s = 301$) مع تعويض الانحناء المزيد للأشعة المصاحب للنموذج حيث $k = 4/3$ عند الارتفاعات العالية. كذلك استخدمت ثوابت للاستقطاب الأفقي على الأرض الوسطية والهوائيات المتناحية وإحصائيات عن خبو القدرة على المدى الطويل للأجواء القارية المعتدلة. وبالرغم من أن هذه المعلمات يمكن اعتبارها إما معقولة أو تصف أسوأ حال للكثير من الاستخدامات، فإنه ينبغي استخدام القيم المحسوبة بجزر إذا ما اختلفت الظروف كثيراً عن تلك المفترضة.

وباستثناء المنطقة "المجاورة" للأفق الراديوي، حصل على متوسط الخسارة للإرسال الأساسي للمسيرات داخل الأفق بإضافة التوهين بسبب الامتصاص في الغلاف الجوي (ديسيل) إلى خسارة الإرسال المناظر لأحوال الفضاء الحر. أما داخل المنطقة المجاورة للأفق فقد حسبت قيم خسارة الإرسال باستخدام قواعد الهندسة الضوئية، ليدخل في الحساب تأثير التداخل بين الشعاع المباشر وشعاع منعكس من على سطح الأرض.

لم يقتصر استخدام نموذج التداخل بين شعاعين على المنطقة القريبة من الأفق فقط، حيث إن بنية الفصوص الحاصلة منه للمسيرات القصيرة تعتمد بدرجة عالية على خصائص السطح (الخشونة بالإضافة للثوابت الكهربائية) والأحوال الجوية (بتغير نصف القطر الفعال للكرة الأرضية مع الوقت) وخصائص الهوائي (الاستقطاب والتوجيه ومخطط الكسب). مثل تلك المنحنيات غالباً ما تكون مضللة أكثر مما هي مفيدة، أي أن البنية التفصيلية للفصوص تعتمد كثيراً على معلمات يصعب تحديدها بدقة كافية. مع ذلك، فقد أعطيت بنية الفصوص اعتباراً إحصائياً في حساب التغييرية.

ولأوقات التيسر غير 0,50 لا تزيد دائماً قيم خسارة الإرسال الأساسية L_b التي يولدها المستعمل مع المسافة. ويحدث هذا لأن الاختلافات في التغييرية مع المسافة يمكن أن تزيد أحياناً على اختلافات السوية الوسطية. وتحتوي التغييرية على مشاركات من خبو القدرة الوسطى الساعية والخبو على المدى الطويل ومن خبو تداخل الطور أثناء الساعة أو على المدى القصير. ويشمل الخبو القصير المدى الانعكاس السطحي وتعدد المسيرات التروبوسفيرية.

ويمكن استخدام قيم خسارة الإرسال الأساسية $L_b(0,05)$ لتقدير قيم L_b لإشارة متداخلة غير مطلوبة يتم تجاوزها خلال 95% (5%-100%) من الوقت. أما ظروف الانتشار الوسطى (50%) فيمكن تقديرها من قيم $L_b(0,50)$. أما قيم $L_b(0,95)$ فيمكن استخدامها لتقدير حد مدى الخدمة لإشارة مطلوبة، تكون الخدمة متيسرة عندها لنسبة 95% من الوقت في غياب التداخل.

ويمكن تقدير نسبة الحماية المتوقعة أو نسبة الإشارة المطلوبة إلى غير المطلوبة التي يتم تجاوزها عند المستقبل لنسبة 95% من الوقت على الأقل $R(0,95)$ كالتالي:

$$(1) \quad R(0.95) = R(0.50) + Y_R(0.95)$$

$$(2) \quad R(0.50) = [P_t + G_t + G_r - L_b(0.50)]_{Wanted} - [P_t + G_t + G_r - L_b(0.50)]_{Unwanted}$$

و:

$$(3) \quad Y_R = - \sqrt{[L_b(0.95) - L_b(0.50)]_{Wanted}^2 + [L_b(0.05) - L_b(0.50)]_{Unwanted}^2}$$

وفي المعادلة (2)، P_f هي القدرة المرسل، و G_f و G_r هما كسب الهوائيين المتناحيين للإرسال والاستقبال معبراً عنهما بالديسيبل (dB). ويمكن ضم تغييرات إضافية إلى المعادلة (3)، مثل كسب الهوائي إذا أمكن تحديد التغييرات لها. إن استمرارية الخدمة (100%) من الوقت أو الاستفادة من قنوات في آن واحد، مضمن في صياغة المقدار $R(0,95)$ الوارد أعلاه بحيث يمكن دراسة تأثير التشغيل المتقطع للمرسل على حدة.

ترد البرمجية المتكاملة لحساب قيم ومنحنيات خسارة الإرسال الأساسية في الملف المضغوط الإضافي R-REC-P.528-4-201908-P1 مع الوثائق. وإلى جانب ذلك، توجد قيم مختارة في جدول لخسارة الإرسال الأساسية في الملف المضغوط الإضافي R-REC-P.528-4-201908-P2.

الملحق 2

طريقة الخطوة بخطوة

يستخدم هذا الملحق اصطلاحات بحيث إن المتغيرات التي تصف المطراف المنخفض سُمثل بالرمز "1"، أسفل الحرف (أي أن ارتفاع المطراف المنخفض يكون h_{r1}) بينما سُمثل المتغيرات الخاصة بالمطراف المرتفع بالرمز "2"، أسفل الحرف (أي أن ارتفاع المطراف المرتفع يكون h_{r2}).

1 مقدمة

- يصف هذا الملحق طريقة خطوة بخطوة لحساب خسارة الإرسال الأساسية لمسير محدد من قبل المستعمل، يعرف بما يلي:
- ارتفاعا المطرافين h_{r1} و h_{r2} بوحدات km فوق متوسط مستوى سطح البحر، حيث $0,99 \geq h_{r1,2} \geq 0,0015$ (1,5 m إلى 20 000 m)
 - التردد، f ، بوحدات MHz، حيث $15 \text{ MHz} \geq f \geq 125$
 - النسبة المئوية من الوقت، q ، حيث $0,99 \geq q \geq 0,01$
 - مسافة المسير، d ، بوحدات km.

2 افتراضات وتعريف واصطلاحات

تفترض التوصية ITU-R P.528 القيم التالية:

N_s : انكسارية السطح بالوحدات N. تضبط على القيمة 301 وحدة

a_0 : نصف القطر الفعلي للأرض. يضبط على 6 370 km

a_e : نصف القطر الفعلي للأرض. يضبط على 8 493 km (تقابل هذه القيمة انكسارية لسطح الأرض قيمتها 301 وحدة N)

ϵ_r : ثابت العزل النسبي. يضبط على 15 (يقابل أرضاً متوسطة)

σ : الإيصالية. تضبط على S/m 0,005 (تقابل أرضاً متوسطة)

وإضافة إلى ذلك، يفترض أن يكون استقطاب هوائيات المطاريق أفقياً.

3 طريقة الخطوة خطوة

الخطوة 1: تحسب المعلمات الهندسية الخاصة بكل مطراف. ويستلزم ذلك استخدام الخطوات الواردة في الفقرة 4 لكل من المطراف المنخفض والمطراف العالي. وبعد الانتهاء من ذلك، يتم الانتقال إلى الخطوة 2. وتستخدم الفقرة 4 كالتالي:
بافتراض:

$h_{r1,2}$: الارتفاع الحقيقي للمطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر (معلمة يقوم المستعمل بإدخالها) بالكيلومتر؛
تحسب:

$d_{1,2}$: طول القوس لمسافة أفق الأرض المستوية، بالكيلومتر.

$\theta_{1,2}$: زاوية سقوط الشعاع الساقط من المطراف على مسافة أفق الأرض المستوية، بالتقويم الدائري.

$h_{1,2}$: الارتفاع المعدل للمطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر الذي سيستخدم في الحسابات اللاحقة، بالكيلومتر.

$\Delta h_{1,2}$: حد تصحيح ارتفاع المطراف، بالكيلومتر.

الخطوة 2: تحدد مسافة خط البصر القصوى، d_{ML} ، بين المطرفين.

$$(4) \quad d_{ML} = d_1 + d_2 \quad (\text{km})$$

الخطوة 3: يُمذَج انعراج الأرض المستوية خطياً في التوصية ITU-R P.528. ويتم ذلك باختيار مسافتين أبعد كثيراً من d_{ML} ، وتحسب خسارة انعراج الأرض المستوية عند هاتين المسافتين ويكون خط لانعراج الأرض المستوية يمر بهاتين النقطتين.

الخطوة 1.3: تحسب المسافتين d_3 و d_4 اللتان تبعدان كثيراً عن مسافة خط البصر القصوى، d_{ML} ، من المعادلة (4) أعلاه.

$$(5) \quad d_3 = d_{ML} + 0.5(a_e^2/f)^{1/3} \quad (\text{km})$$

$$(6) \quad d_4 = d_{ML} + 1.5(a_e^2/f)^{1/3} \quad (\text{km})$$

الخطوة 2.3: تحسب خسارتا الانعراج A_{d3} و A_{d4} عند المسافتين المقابلتين d_3 و d_4 . وسيطلب ذلك استعمال الفقرة 6 مرتين - مرة لكل مسافة مسير، $d_{3,4}$. وبعد الحساب يتم الانتقال إلى الخطوة 3.3. وتستخدم الطريقة الوارد في الفقرة 6 كالتالي:
حيث:

$d_{3,4}$: مسافة المسير المعنية، d_0 ، حسب المطلوب للفقرة 10، بالكيلومتر

$d_{1,2}$: طول القوسين إلى مسافة أفق الأرض المستوية للمطرفين، h_1 و h_2 ، بالكيلومتر على نحو ما تحدد في الخطوة 1 أعلاه.

f : التردد، بوحدات MHz.

تحسب:

$A_{d3,4}$: خسارة انعراج الأرض المستوية، A_d ، بوحدات dB، المقابلة للمسافة $d_{3,4}$.

الخطوة 3.3: يرسم خط انعراج الأرض المستوية من المسافتين d_3 و d_4 ، وخسارة الانعراج الخاصة بهما، A_{d4} ، A_{d3} ، بحساب الميل، M_d ، والقاطع A_{d0} .

$$(7) \quad M_d = (A_{d4} - A_{d3}) / (d_4 - d_3) \quad (\text{dB/km})$$

$$(8) \quad A_{d0} = A_{d4} - M_d d_4 \quad (\text{dB})$$

الخطوة 4.3: تحسب خسارة الانعراج عند المسافة d_{ML} والمسافة d_d ، بالكيلومتر، والتي يعطي عندها خط الانعراج قيمة خسارة متنبأ بها تساوي 0 dB.

$$(9) \quad A_{dML} = M_d d_{ML} + A_{d0} \quad (\text{dB/km})$$

$$(10) \quad d_d = -(A_{d0} / M_d) \quad (\text{km})$$

الخطوة 4: يحدد ما إذا كان مسير الانتشار في منطقة خط البصر أو عابراً للأفق بالنسبة للمسافة المطلوبة d . فإذا كانت $d < d_{ML}$ ؛ فإن المسير يكون في منطقة خط البصر ويتم الانتقال إلى الخطوة 5. وخلاف ذلك، يكون المسير عابراً للأفق ويتم الانتقال إلى الخطوة 6. الخطوة 5: يتم الرجوع إلى الفقرة 5 من أجل حسابات منطقة خط البصر.

الخطوة 6: في منطقة المسير العابر للأفق ($d \geq d_{ML}$)، فإنه مع زيادة المسافة، يبدأ مسير الانتشار بانعراج الأرض المستوية وينتقل إلى الانتشار التروبوسفيري. وفيزيائياً، يتعين أن تكون نماذج انعراج الأرض المستوية والانتقال إلى الانتشار التروبوسفيري متسقة عند نقطة الانتقال. ويستوجب الاتساق الفيزيائي عدم وجود انقطاع (عدم استمرارية) عند نقطة الانتقال. وتضمن العملية المتكررة التالية أن الانتقال بين النموذجين يحدث بدون انقطاع.

الخطوة 1.6: دعنا نفترض أن المسافتين d' و d'' هما المسافتان المتكررتان للاختبار وتكون قيمتها الابتدائية:

$$(11) \quad d' = d_{ML} + 3 \quad (\text{km})$$

$$(12) \quad d'' = d_{ML} + 2 \quad (\text{km})$$

الخطوة 2.6: تحسب خسارة الانتشار التروبوسفيري $A_s^{d'}$ و $A_s^{d''}$ عند المسافتين d' و d'' على التوالي. تستخدم الفقرة 7 كالتالي: بحيث تكون:

d : تمثل مسافة المسير المطلوبة d' و d'' ، بالكيلومتر.

$d_{1,2}$: طول القوس إلى مسافة أفق الأرض المستوية للمطاريغن بالكيلومتر.

f : التردد بوحدة MHz.

$h_{1,2}$: الارتفاع المعدل للمطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر المستخدم في الحسابات اللاحقة، بالكيلومتر.

وتحسب:

$A_s^{d'}, d''$: خسارة الانتشار التروبوسفيري، A_s ، بوحدة dB.

الخطوة 3.6: يحسب الميل، M_s ، للخط الذي يضم نقطتي الانتشار التروبوسفيري ($d', A_s^{d'}$) و ($d'', A_s^{d''}$) من الخطوة 2.6. وهذا الخط متماس تقريباً مع خسارة الانتشار التروبوسفيري عند المسافة d' :

$$(13) \quad M_s = \frac{A_s^{d'} - A_s^{d''}}{d' - d''} \quad (\text{dB/km})$$

الخطوة 4.6: قارن بين الميل M_s وميل خط الانعراج، M_d ، من المعادلة (7). فإذا كان $M_s > M_d$ ، تزداد المسافتان d' و d'' بمقدار 1 km وتم العودة إلى الخطوة 2.6 لمواصلة التكرار. وخلاف ذلك، يتم الانتقال إلى الخطوة 5.6.

الخطوة 5.6: عندما تكون $M_s \leq M_d$ ، فإن المسافة d' تمثل المسافة التقريبية بحيث تكون:

الحالة 1: يتوقع أن تكون فيها خسارة انعراج الأرض المستوية أقل من الخسارة الناتجة عن الانتثار التروبوسفيري مع ضمان أن يقطع نموذج الانعراج نموذج الانتثار التروبوسفيري عند مسافة أكبر من أو تساوي d' تقريباً. وخسارة الانتثار في المنطقة العابرة للأفق تكون متسقة فيزيائياً.

الحالة 2: يوازي خط الانعراج المماس لنموذج الانتثار التروبوسفيري. وبالتالي، قد لا تكون خسارة الانتثار في المنطقة العابرة للأفق متسقة فيزيائياً، أي هناك احتمال لوجود عدم استمرارية. ولتحديد أي من الحالتين أعلاه هي الحقيقة، تحسب خسارة الانعراج عن المسافة d'' .

$$(14) \quad A_d^{d''} = M_d d'' + A_{d0} \quad (\text{dB})$$

إذا كانت $A_s^{d''} \geq A_d^{d''}$ ، تكون الحالة 1 في الخطوة 5.6 هي الحقيقة وتنتقل الحسابات إلى الخطوة 7. وخلاف ذلك، ينبغي ضبط ميل خط الانعراج على نقطة التماس d' ، بما يضمن الاتساق الفيزيائي. ويجرى الضبط إحدى نهايتي خط الانعراج عند النقطة (d_{ML}, A_{dML}) والنهاية الأخرى عند $(d'', A_s^{d''})$ ، ثم يعاد حساب خط انعراج الأرض المستوية الجديد.

$$(15) \quad M_d = \frac{A_s^{d''} - A_{dML}}{d'' - d_{ML}} \quad (\text{dB/km})$$

$$(16) \quad A_{d0} = A_s^{d'} - M_d d' \quad (\text{dB})$$

وعند هذه النقطة، تكون المنطقة العابرة للأفق متسقة فيزيائياً. ويتم الانتقال إلى الخطوة 7.

الخطوة 7: تحسب A_T ، الخسارة غير المحتملة بخسارة الفضاء الحر والامتصاص الجوي. وتحدد هذه الخسارة استناداً إلى نماذج الانعراج والانتثار التروبوسفيري، بما في ذلك التعديلات التي أجريت في الخطوة 6.

الخطوة 1.7: تحسب خسارة انعراج الأرض المستوية المتنبأ بها، A_d ، لمسافة المسير d .

$$(17) \quad A_d = M_d d + A_{d0} \quad (\text{dB})$$

الخطوة 2.7: تحسب خسارة الانتثار التروبوسفيري، A_s ، لمسافة المسير d . وتستعمل الفقرة 7 كالتالي:

حيث:

d : مسافة المسير المعنية، بالكيلومتر.

$d_{1,2}$: طول القوس لمسافة أفق الأرض المستوية للمطرفين، بالكيلومتر.

f : التردد بوحدات MHz.

$h_{1,2}$: الارتفاع المعدل للمطرف فوق متوسط مستوى سطح البحر المستخدم في الحسابات اللاحقة، للكيلومتر.

تحسب:

A_s : خسارة الانتثار التروبوسفيري بوحدات dB.

h_v : ارتفاع الحجم المشترك، بالكيلومتر.

d_s : مسافة الانتثار، بالكيلومتر.

d_z : نصف مسافة الانتثار، بالكيلومتر.

θ_A : زاوية العبور

الخطوة 3.7: تختار قيمة الخسارة تبعاً لما يلي:

إذا كانت $d < d'$ (حيث تنشأ d' من التكرار النهائي في الخطوة 6)، فإنه:

$$(18) \quad A_T = A_d \quad (\text{dB})$$

وخلاف ذلك، فتبعاً لأي من الحالتين 1 أو 2 هي الحالة الحقيقية في الخطوة 5.6:

$$(19) \quad A_T = \begin{cases} \text{Min}(A_d, A_s), & \text{Case 1 is TRUE} \\ A_s, & \text{Case 2 is TRUE} \end{cases} \quad (\text{dB})$$

الخطوة 8: تحسب خسارة الفضاء الحر، A_{fs} ، بوحدات dB للمسير:

$$(20) \quad r_{1,2} = [h_{r1,2}^2 + 4(a_0 + h_{r1,2}) * a_0 \sin^2(0.5 d_{1,2}/a_0)]^{0.5} \quad (\text{km})$$

$$(21) \quad r_{fs} = r_1 + r_2 + d_s \quad (\text{km})$$

$$(22) \quad A_{fs} = -32.45 - 20 \log_{10} f - 20 \log_{10} r_{fs} \quad (\text{dB})$$

الخطوة 9: تحسب خسارة الامتصاص الجوي، A_a ، لمسير عابر للأفق باستخدام الفقرة 13. ويتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 10. وتستخدم الطريقة الواردة في الفقرة 13 كالتالي:

حيث:

$h_{1,2}$: ارتفاعا المطرافين، بالكيلومتر

$d_{1,2}$: مسافتنا الأفق للمطرافين، بالكيلومتر

$\theta_{1,2}$: الزاوية الأولية للشعاع التماسي للمطراف، بالتقويم الدائري

f : التردد، بوحدات MHz

h_v : ارتفاع الحجم المشترك، بالكيلومتر، من الخطوة 2.7

θ_A : زاوية العبور، من الخطوة 2.7

d_z : نصف مسافة الانتثار، بالكيلومتر من الخطوة 2.7

تحسب:

A_a : خسارة الامتصاص الجوي، بوحدات dB

الخطوة 10: تحسب خسارة التغيرات طويل الأجل $Y_{total}(q)$ لوحدة التقسيم الزمني q . وتستخدم الفقرة 10، ثم يتم الانتقال إلى الخطوة 11.

حيث:

$h_{r1,2}$: الارتفاعان الفعالان للمطرافين، بالكيلومتر

d : مسافة المسير المعنية، بالكيلومتر

f : التردد، بوحدات MHz

q : النسبة المثوية للوقت

تحسب:

$Y(q)$: خسارة التغيرات طويل الأجل، بوحدات dB.

الخطوة 11: تحسب خسارة الإرسال الأساسية، A ، بوحدات dB.

$$(23) \quad A = A_{fs} + A_a + A_T + Y(q) \quad (\text{dB})$$

وهنا، ينتهي الإجراء خطوة خطوة للمعلومات المحددة كمدخلات من المستعمل.

4 هندسة المطاريف

تحسب في هذا القسم المعلمات الهندسية التالية المرتبطة بأي مطراف.

حيث:

h_r : الارتفاع الحقيقي للمطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر

تحسب:

d : طول القوس لمسافة أفق الأرض المستوية، بالكيلومتر

θ : زاوية السقوط للشعاع من المطراف إلى أفق الأرض المستوية، بالتقويم الدائري

h : الارتفاع المعدل للمطراف فوق متوسطة مستوى سطح البحر المستخدم في الحسابات اللاحقة، بالكيلومتر

Δh : حد تصحيح ارتفاع المطراف، بالكيلومتر

وكما تحدد سابقاً، فإن نصف القطر الفعلي للأرض، a_e ، يساوي 8 493 km.

الخطوة 1: يستخدم تتبع الشعاع، على النحو المحدد في الفقرة 5، لتحديد ما يلي:

حيث:

h_r : الارتفاع الحقيقي للمطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر (من البيانات التي يدخلها المستعمل)، بالكيلومتر

N_s : انكسارية السطح بقيمة 301 وحدة N

تحسب:

d_r : مسافة القوس الحقيقية (الأفق الحقيقي للأرض المستوية)، بالكيلومتر

θ_r : زاوية سقوط الشعاع على المطراف، بالتقويم الدائري

الخطوة 2: بحسب الارتفاع الفعلي للمطراف، h_e ، بالكيلومتر، باستخدام تقريب صغير للزاوية، إذا استدعى الأمر.

$$(24) \quad \phi = \frac{d_r}{a_e} \quad (\text{rad})$$

$$(25) \quad h_e = \begin{cases} d_r^2 / 2a_e, & \phi \leq 0.1 \\ \frac{a_e}{\cos \phi} - a_e, & \phi > 0.1 \end{cases} \quad (\text{km})$$

الخطوة 3: عندما يكون الارتفاع الفعلي، h_e ، أكبر من الارتفاع الحقيقي h_r ، فإن تأثير انحناء الشعاع يمكن الإفراط في تقديره. وبالتالي، تتم مقارنة الارتفاع h_e بالارتفاع h_r لتحديد قيم h و d و θ التي يتعين استخدامها لتحديد المعلمات الهندسية للمطراف.

$$(26) \quad h = \begin{cases} h_e, & h_e \leq h_r \\ h_r, & h_e > h_r \end{cases} \quad (\text{km})$$

$$(27) \quad d = \begin{cases} d_r, & h_e \leq h_r \\ \sqrt{2a_e h_r}, & h_e > h_r \end{cases} \quad (\text{km})$$

$$(28) \quad \theta = \theta_r \quad (\text{rad})$$

الخطوة 4: يحسب حد تصحيح ارتفاع المطراف، Δh .

$$(29) \quad \Delta h = h_r - h \quad (\text{km})$$

الخطوة 5: إذا كانت $\Delta h = 0$ km، تجرى التعديلات التالية على كل من θ و d :

$$(30) \quad \theta = \sqrt{2h_r / a_e} \quad (\text{rad})$$

$$(31) \quad d = \sqrt{2h_r a_e} \quad (\text{km})$$

وهنا ينتهي القسم الخاص بحساب هندسة المطاريف

5 تتبع الشعاع

تنحني الموجات الراديوية التي تسافر في الغلاف الجوي نتيجة للتغيرات في الانكسارية الجوية. وفي النماذج الأرضية التقليدية، يراعى ذلك عادة من أجل استخدام طريقة المعيار "4/3 Earth"، التي تنمذج الانكسارية الجوية الحيطية وهي تقريب صالح للمسيرات القريبة من السطح. ومع ذلك، يعد التدرج الجوي الفعلي أسياً في طبعه ومن شأن استخدام نموذج خطي في مسيرات الانتشار من الجو إلى الأرض أن يتسبب في أخطاء كبيرة.

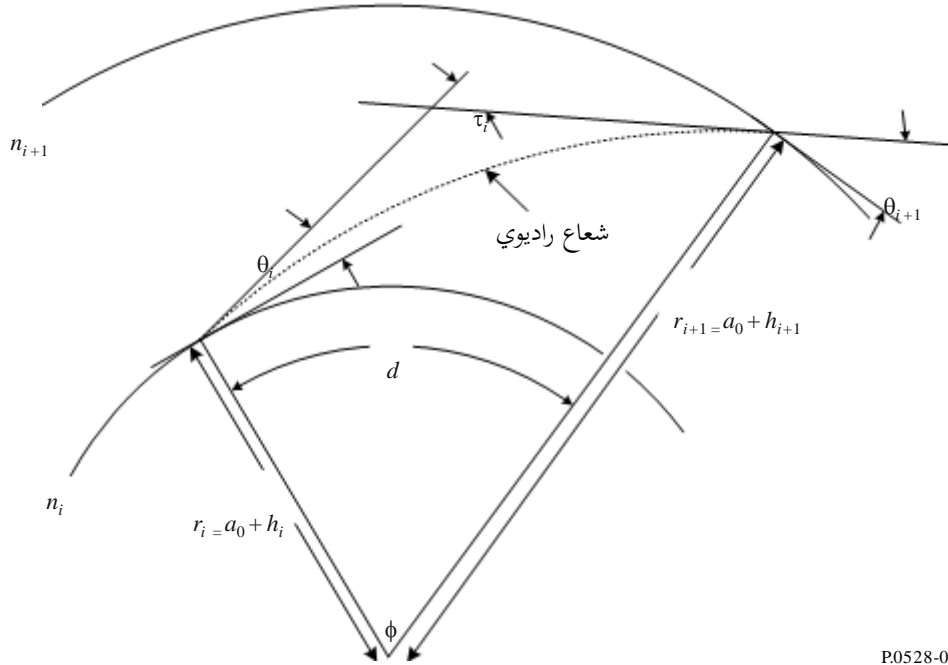
وتستخدم التوصية ITU-R P.528 تقنيات تتبع الأشعة لحساب مسير شعاع عبر الغلاف الجوي. وينمذج الغلاف الجوي كمجموعة من الطبقات الجوية متحدة المركز مع انخفاض أسي في الانكسارية. وتطبق استخدامات قانون Snell في بيئة كروية، على النحو المبين في المعادلة (32)، بعد ذلك لتتبع الشعاع.

$$(32) \quad n_i r_i \cos \theta_i = n_{i+1} r_{i+1} \cos \theta_{i+1}$$

ويعرض الشكل 1 الهندسة العامة لشعاع يمر عبر طبقة وحيدة من الغلاف الجوي.

الشكل 1

هندسة تتبع شعاع عبر طبقة من الغلاف الجوي



P0528-01

بالنسبة للنموذج الجوي، تستخدم التوصية ITU-R P.528 الغلاف الجوي المرجعي المكون من 25 طبقة المبين في الجدول 1. والأشعة فوق 475 km يفترض أن تسافر خطوط مستقيمة.

الجدول 1

تفاصيل الطبقات المرجعية للغلاف الجوي البالغ عددها 25 طبقة

الارتفاع (AGL)، h_i	الطبقة، i	الارتفاع (AGL)، h_i	الطبقة، i	الارتفاع (AGL)، h_i	الطبقة، i
km 50,00	18	km 1,00	9	km 0	0
km 70,00	19	km 1,524	10	km 0,01	1
km 90,00	20	km 2,00	11	km 0,02	2
km 110,00	21	km 3,048	12	km 0,05	3
km 225,00	22	km 5,00	13	km 0,10	4
km 350,00	23	km 7,00	14	km 0,20	5
km 475,00	24	km 10,00	15	km 0,305	6
		km 20,00	16	km 0,50	7
		km 30,48	17	km 0,70	8

وحيث:

h_r : الارتفاع الحقيقي للمطرف فوق مستوى سطح الأرض، بالكيلومتر

N_s : انكسارية السطح، بالوحدات N

تُحسب:

d_r : طول القوس لمسافة أفق الأرض المستوية، بالكيلومتر

θ_r : زاوية سقوط الشعاع التماسي عند المطرف، بالتقويم الدائري

وكما تحدد سابقاً، يبلغ نصف القطر الفعلي للأرض، a_0 ، من القيمة 6 370 km.

الخطوة 1: يحسب عامل التغير، ΔN :

$$(33) \quad \Delta N = -7.32 e^{0.005577 N_s}$$

الخطوة 2: يحسب المقدار الثابت، C_e :

$$(34) \quad C_e = \log \left(\frac{N_s}{N_s + \Delta N} \right)$$

الخطوة 3: تتبع الشعاع عبر الغلاف الجوي عملية متكررة، تبدأ عند سطح الأرض وتتبع صعوداً عبر كل طبقة جوية إلى أن يتم الوصول إلى ارتفاع المطرف ويتم تكرار الخطوات الفرعية التالية إلى أن يتم تتبع الشعاع حتى الارتفاع h_r . ويشير استخدام الرمز i و $i+1$ إلى الحدان السفلي والعلوي للطبقة الجوية للتكرار الحالي، على التوالي، كما هو موضح في الشكل 1. وبالنسبة للتكرار الأول ($i=0$)، يفترض أن $\theta_0 = 0$ بالتقويم الدائري (وهو ما يمثل شعاع تماسي).

الخطوة 1.3: تحسب الانكسارية، $N_{i,i+1}$ ، ودليل الانكسار، $n_{i,i+1}$ ، والشعاع من مركز الأرض، $r_{i,i+1}$ ، للطبقة الجوية الحالية:

$$(35) \quad r_{i,i+1} = a_0 + h_{i,i+1} \quad (\text{km})$$

$$(36) \quad N_{i,i+1} = N_s * \exp(-C_e h_{i,i+1}) \quad (\text{N-Units})$$

$$(37) \quad n_{i,i+1} = 1 + (N_{i,i+1} * 10^{-6})$$

الخطوة 2.3: إذا كان $h_{i+1} > h_r$ ، المقابل للمطرف الموجود داخل الطبقة الجوية الحالية، تلحق معلمات تكرار الطبقة الحالية بارتفاع المطرف ويتم حساب الانكسارية ودليل الانكسار مجدداً:

$$(38) \quad r_{i+1} = a_0 + h_r \quad (\text{km})$$

$$(39) \quad N_{i+1} = N_s * \exp(-C_e h_r) \quad (\text{N-Units})$$

$$(40) \quad n_{i+1} = 1 + (N_{i+1} * 10^{-6})$$

الخطوة 3.3: تحسب زاوية خروج الشعاع، θ_{i+1} :

$$(41) \quad \theta_{i+1} = \cos^{-1} \left(\frac{r_i n_i}{r_{i+1} n_{i+1}} \cos \theta_i \right) \quad (\text{rad})$$

الخطوة 4.3: تحسب مساهمة انحناء الطبقة الجوية، τ_i :

$$(42) \quad A_i = \frac{\log n_{i+1} - \log n_i}{\log r_{i+1} - \log r_i}$$

$$(43) \quad \tau_i = (\theta_{i+1} - \theta_i) \left(\frac{-A_i}{A_{i+1}} \right) \quad (\text{rad})$$

الخطوة 5.3: تكرر الخطوة 3 للطبقة الجوية التالية إلى أن (أ) يتم الوصول إلى ارتفاع المطراف أو (ب) يهرب الشعاع خارج الغلاف الجوي، أي يعمل إلى ارتفاع يساوي 475 km.

الخطوة 4: إذا وصل الشعاع إلى ارتفاع 475 km ولم يصل بعد إلى ارتفاع المطراف h_r ، تحسب زاوية السقوط، بتطبيق تكرار أخير لقانون Snell، على أساس أن $n_{i+1} = 1$ و $r_i = a_0 + 475 \text{ km}$ و $r_{i+1} = a_0 + h_r \text{ km}$. وخلاف ذلك، يتم الانتقال إلى الخطوة 5.

$$(44) \quad \theta_{i+1} = \cos^{-1} \left(\frac{(a_0 + 475) n_i}{a_0 + h_r} \cos \theta_i \right) \quad (\text{rad})$$

الخطوة 5: والأُن وبعد تتبع الشعاع من سطح الأرض حتى المطراف، تكون زاوية السقوط، θ_r كالتالي:

$$(45) \quad \theta_r = \theta_{i+1} \quad (\text{rad})$$

الخطوة 6: زاوية الانحناء الكلي، τ ، عبارة عن مجموع مساهمات انحناء كل طبقة يتم تتبعها:

$$(46) \quad \tau = \sum_i \tau_i \quad (\text{rad})$$

الخطوة 7: تحسب مسافة القوس عبر سطح الأرض الذي يقطعه الشعاع باستخدام الزاوية المركزية ϕ .

$$(47) \quad \phi = \theta_r + \tau \quad (\text{rad})$$

$$(48) \quad d_r = \phi a_0 \quad (\text{km})$$

وبهذه الخطوة ينتهي القسم الخاص بتتبع الشعاع.

6 منطقة خط البصر

وصف هذا القسم مجموعة خطوات حساب خسارة الانتشار لمسير على لخط البصر. وحيث:

d_{ML} : مسافة خط البصر القصوى، بالكيلومتر

d_a : المسافة، بالكيلومتر

$h_{1,2}$: ارتفاعا المطرافين، بالكيلومتر

$d_{1,2}$: مسافتنا خط الأفق للمطرافين، بالكيلومتر

f : التردد، بوحدات MHz

A_{dML} : خسارة الانعراج عن المسافة d_{ML} ، بوحدات dB

q : النسبة المثقوية من الوقت المعنية

d : مسافة المسير المعنية

تحسب:

A : خسارة الإرسال الأساسية، بوحدات dB

K : قيمة تستخدم في حسابات التغير اللاحقة

الخطوة 1: سحب طول الموجة، λ .

$$(49) \quad \lambda = 0.2997925/f$$

الخطوة 2: لا يوجد في الحسابات الخاصة بحساب الخسارة في منطقة خط البصر حل لمعادلة معلقة، وبالتالي يلزم إجراء تكرارات متعددة من أجل الاقتراب من النتيجة السليمة. وللمساعدة في هذه العملية، من المفيد إنشاء جدول من التتابعات $(\psi, \Delta r, d)$ ، يمكن الرجوع إليه طوال هذا القسم كوسيلة للاستكمال الداخلي. وفي هذا الجدول، ψ هي زاوية انعكاس الشعاع غير المباشر بالتقويم الدائري، و Δr هي الاختلاف في طول الشعاع بين الشعاع المباشر والشعاع غير المباشر، و d هي مسافة المسير بين المطرافين. وتوفر الخطوات الفرعية التالية نقاط مفيدة لتوضيح هذا الجدول المرجعي.

الخطوة 1.2: يضاف التابع إلى الجدول، وهو ما يمثل أقصى مدى لمنطقة خط البصر.

الخطوة 2.2: تضاف مجموعة من التتابعات تستند إلى أجزاء طول الموجة λ . نفترض أن \mathbb{R} هي مجموعة القيم الثابتة $\{0,06, 0,1, \frac{1}{9}, \frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}\}$. ولكل قيمة ثابتة r لا تنتمي إلى \mathbb{R} ، تحسب الزاوية ψ :

$$(50) \quad \psi = \sin^{-1}((\lambda r)/(2h_{e1})) \quad (\text{rad})$$

ثم تستخدم طريقة المثلثات البصرية للشعاع المشروحة في القسم 7 لتحديد القيمة Δr والقيمة d لزاوية الانعكاس ψ . ويضاف هذا التابع $(\psi, \Delta r, d)$ إلى الجدول. ويتم الانتقال إلى الخطوة 3.2 بعد حساب جميع التتابعات العشرة وإضافتها إلى الجدول. ويستخدم القسم 7 كالتالي:

حيث:

ψ : زاوية انعكاس الشعاع، بالتقويم الدائري؛

$h_{r1,2}$: الارتفاعان الفعالان للمطرافين، بالكيلومتر؛

$\Delta h_{1,2}$: حدا تصحيح ارتفاعي المطرافين بالكيلومتر؛

تحسب:

Δr : مسافة طول الشعاع بين الشعاع المباشر والشعاع غير المباشر، بالكيلومتر؛

d : المسافة بين المطرافين المقابلة لزاوية الانعكاس ψ ، بالكيلومتر.

الخطوة 3.2: تضاف مجموعة أخرى من التتابعات التي تستند أيضاً إلى أجزاء من طول الموجه λ . وباستخدام نفس المجموعة \mathbb{R} المحددة في الخطوة 2.2، تحسب الزاوية ψ لكل قيمة ثابتة r تنتمي إلى \mathbb{R} :

$$(51) \quad \psi = \sin^{-1}((\lambda r)/(2d_1)) \quad (\text{rad})$$

ثم تستخدم طريقة المثلثات البصرية للشعاع المشروحة في القسم 7 لتحديد القيمة Δr والقيمة d لزاوية الانعكاس ψ . ويضاف هذا التابع $(\psi, \Delta r, d)$ إلى الجدول. ويتم الانتقال إلى الخطوة 4.2 بعد حساب جميع التتابعات العشرة وإضافتها إلى الجدول. ويستخدم القسم 7 كالتالي:

حيث:

ψ : زاوية انعكاس الشعاع، بالتقويم الدائري

$h_{r1,2}$: الارتفاعان الفعالان للمطرافين، بالكيلومتر

$\Delta h_{1,2}$: حدا تصحيح ارتفاعي المطرافين بالكيلومتر
تحسب:

Δr : مسافة طول الشعاع بين الشعاع المباشر والشعاع غير المباشر، بالكيلومتر
 d : المسافة بين المطرافين المقابلة لزاوية الانعكاس ψ ، بالكيلومتر

الخطوة 4.2: تكون مجموعة من التتابعات على أساس المجموعة التالية S ، من زوايا الانعكاس ψ . وبافتراض قيمة s تنتمي إلى المجموعة S ، الزاوية ψ ، بالتقويم الدائري،

$$(52) \quad \psi = s \frac{\pi}{180} \quad (\text{rad})$$

ثم تستخدم طريقة المعلمات البصرية للشعاع المشروحة في القسم 7 لتحديد القيمة Δr والقيمة d لزاوية الانعكاس ψ . ويضاف هذا التابع $(\psi, \Delta r, d)$ إلى الجدول. ويتم الانتقال إلى الخطوة 5.2 بعد الانتهاء من جميع التتابعات البالغ عددها 24 وإضافتها إلى الجدول. ويستخدم القسم 7 كالتالي:
حيث:

ψ : زاوية انعكاس الشعاع، بالتقويم الدائري.
 $h_{r1,2}$: الارتفاعان الفعالان للمطرافين، بالكيلومتر
 $\Delta h_{1,2}$: حدا تصحيح ارتفاعي المطرافين بالكيلومتر
تحسب:

Δr : مسافة طول الشعاع بين الشعاع المباشر والشعاع غير المباشر، بالكيلومتر
 d : المسافة بين المطرافين المقابلة لزاوية الانعكاس ψ ، بالكيلومتر

الخطوة 5.2: يضاف التابع الأخير $(\frac{\pi}{2}, 2h_1, 0)$ إلى الجدول.

الخطوة 3: يستعمل الجدول المنشأ من أجل الاستكمال الداخلي وتحديد المسافة $d_{\lambda/2}$ ، وهي المسافة المقابلة للمسافة التي تكون فيها القيمة Δr مساوية للقيمة $\lambda/2$. وهذه هي المسافة الدنيا التي تراعي فيها التوصية ITU-R P.528 تأثيرات التداخل الضار عبر نموذج من شعاعين.

الخطوة 4: تحدد الزاوية ψ_{limit} ، زاوية الانعكاس المقابلة للمسافة $d_{\lambda/2}$ باستخدام الجدول المنشأ والاستكمال الداخلي مجدداً.

الخطوة 5: يستخدم الجدول المنشأ لتحديد المسافة $d_{\lambda/6}$ ، المسافة التي يساوي فيها الفارق في طولي المسيرين بين الموجة المباشرة والموجة المنعكسة $\lambda/6$ من الأمتار.

الخطوة 6: تحسب المسافة d_0 بالكيلومتر.

إذا كانت $d \geq d_a$ أو $d_a \geq d_{ML}$

$$(53) \quad d_o = \begin{cases} d_1, & d > d_{\lambda/6} \text{ or } d_{\lambda/6} > d_{ML} \\ d_{\lambda/6}, & \text{else} \end{cases} \quad (\text{km})$$

وخلاف ذلك، إذا كانت $d_{\lambda/6} < d_{ML}$ و $d_a < d_{\lambda/6}$

$$(54) \quad d_o = \begin{cases} d_{\lambda/6}, & d_a < d_{\lambda/6} \text{ and } d_{\lambda/6} < d_{ML} \\ d_a, & \text{else} \end{cases} \quad (\text{km})$$

الخطوة 7: والقيمة الحالية للمسافة d_0 يمكن أن تكون تقريباً غير دقيق لبعض المسيرات. وتوليفها، تحول المسافة بشكل تكراري إلى زاوية انعكاس ψ باستخدام الجدول وتحسب الملمات البصرية للشعاع على النحو المحدد في القسم 7. وإذا كانت المسافة له الناتجة عن القسم 7 تزيد عن أو تساوي المسافة الأصلية d_0 ، أو إذا أدت زيادة المسافة بمقدار متر واحد إلى أن تتجاوز المسافة d_{ML} ، تستخدم المسافة الناتجة عن الملمات البصرية للشعاع كقيمة للمسافة d_0 . وخلاف ذلك تتم زيادة المسافة بمقدار متر واحد وتعاد طريقة حساب الملمات البصرية للشعاع.

الخطوة 8: تحسب خسارة خط البصر عند المسافة d_0 . ويستخدم الجدول للحصول زاوية الانعكاس ψ_{d_0} المقابلة. ويستخدم بعد ذلك القسم 7 لحساب الملمات البصرية للشعاع للزاوية ψ_{d_0} . وفي نهاية المطاف يستخدم القسم 8 لتحديد الخسارة، A_{d_0} .

الخطوة 9: تحول المسافة المطلوبة d إلى زاوية انعكاسها المقابلة ψ باستخدام الجدول. وبعد ذلك، تطبق حسابات الملمات البصرية للشعاع الخاصة بالقسم 7. وفي معظم الحالات، تختلف المسافة الناتجة عن حسابات الملمات البصرية للشعاع عن المسافة المطلوبة d . وهذا أحد مصادر الخطأ في النتيجة النهائية. وللحد من هذا الخطأ، يطبق تعديل طفيف على الزاوية ψ . وأي زيادة في الزاوية ψ ينتج عنها نقص في المسافة الناتجة عن حسابات الملمات البصرية للشعاع والمسافة المطلوبة ضمن مدى الخطأ المقبول. وعموماً، تعتبر القيمة $\epsilon \approx 1$ كافية لجميع الحالات. يفترض أن المسافة الناتجة النهائية عن حسابات الملمات البصرية للشعاع تسمى d_{ro} .

الخطوة 10: يستخدم القسم 8 لحساب خسارة خط البصر. ويتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 11. ويستخدم القسم 8 كالتالي:

حيث:

ψ : زاوية انعكاس الشعاع، بالتقويم الدائري

$h_{r1,2}$: الارتفاعان الفعليان للمطرفين، بالكيلومتر

$\Delta h_{1,2}$: حدا تصحيح ارتفاعي المطرفين بالكيلومتر

تحسب:

Δr : مسافة طول الشعاع بين الشعاع المباشر والشعاع غير المباشر، بالكيلومتر

d : المسافة بين المطرفين المقابلة لزاوية الانعكاس ψ ، بالكيلومتر

الخطوة 11: تحسب خسارة الامتصاص الجوي للمسير. ويختلف السمك الفعلي لطبقة الامتصاص للأكسجين عن بخار الماء. فبالنسبة للأكسجين، يبلغ السمك الفعلي لطبقة الامتصاص T_{e0} القيمة 3,25 km. وبالنسبة لبخار الماء، تبلغ هذه القيمة، T_{ow} ، المقدار 1,36 km.

الخطوة 1.11: يحسب الطولان الفعليان للشعاعين عبر طبقتي امتصاص الأكسجين وبخار الماء للمسير باستخدام الخطوات الموضحة في القسم 8. ويتطلب ذلك تطبيق القسم 8 مرتين. مرة من أجل طبقة امتصاص الأكسجين ومرة من أجل طبقة امتصاص بخار الماء. ويتم بعد ذلك الانتقال إلى الفترة 2.11. ويستخدم القسم 8 كالتالي:

حيث:

z_1 : شعاع النقطة الدنيا، بالكيلومتر

z_2 : شعاع النقطة العليا، بالكيلومتر

a_a : نصف القطر الفعلي للأرض، بالكيلومتر. يضبط على 8 493 km

r_0 : مسافة القوس بين النقطتين، بالكيلومتر، من المعادلة (74)

θ_{h1} : زاوية انطلاق الشعاع، بالتقويم الدائري، من المعادلة (77)

$T_{e0,ew}$: سمك طبقة الامتصاص، T_e ، بالكيلومتر حيث $T_e = T_{e0} = 3,25$ km للأكسجين

و $T_e = T_{ew} = 1,36$ km لبخار الماء

يحسب:

$r_{eo,ew}$: الطول الفعلي للشعاع، r_e ، بالكيلومتر. طول الشعاع عبر طبقة امتصاص الأوكسجين، r_{eo} ، المقابل للسمك $T_e = T_{eo} = 3,25$ km وطول الشعاع عبر طبقة امتصاص بخار الماء، r_{ew} ، المقابل للسمك $T_e = T_{ew} = 1,36$ km

الخطوة 2.11: يحدد معدلا الامتصاص الجوي لكل من الأوكسجين، γ_{oo} ، وبخار الماء γ_{ow} ، بالوحدات dB/Km باستخدام القسم 14، ويتم بعد ذلك الانتقال إلى الخطوة 3.11. ويستخدم القسم 14 كالتالي:

حيث:

f : التردد، بالوحدات MHz.

يحسب:

γ_{oo} : معدل امتصاص الأوكسجين، بالوحدات dB/km

γ_{ow} : معدل امتصاص بخار الماء، بالوحدات dB/km

الخطوة 3.11: تحسب الخسارة الكلية للامتصاص الجوي، A_a ، باستخدام معدلي الامتصاص γ_{ow} و γ_{oo} من الخطوة 2.11 والطولين الفعليين للشعاعين r_{ew} و r_{eo} من المعادلة (153).

$$(55) \quad A_a = \gamma_{oo}r_{eo} + \gamma_{ow}r_{ew} \quad (\text{dB})$$

الخطوة 12: تحسب خسارة الفضاء الحر، A_{fs} ، بالوحدات dB.

الخطوة 1.12: تحسب الزاوية θ_{fs} .

$$(56) \quad \theta_{fs} = a_a(\theta_1 + \theta_2)/a_0 \quad (\text{rad})$$

الخطوة 2.12: يحسب الشعاعان، $z_{1,2}$ ، بالكيلومتر

$$(57) \quad z_{1,2} = a_0 + h_{1,2} \quad (\text{km})$$

الخطوة 3.12: يحسب طول الشعاع، r_{fs} ، بالكيلومتر

$$(58) \quad r_{fs} = \max\left(\left[(z_2 - z_1)^2 + 4z_1z_2 \sin^2(0.5 \theta_{fs})\right]^{0.5}, z_2 - z_1\right) \quad (\text{km})$$

الخطوة 4.12: تحسب الخسارة الكلية في الفضاء الحر، A_{fs} ، بالوحدات dB.

$$(59) \quad L_{bf} = -32.45 - 20 \log_{10} f \quad (\text{dB})$$

$$(60) \quad A_{fs} = L_{bf} - 20 \log_{10} r_{fs} \quad (\text{dB})$$

الخطوة 13: تحسب مساهمة التغير في الخسارة الكلية. ويستخدم القسم 16 لحساب Y_{total} . ويتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 14. ويستخدم القسم 16 كالتالي:

حيث:

$h_{r1,2}$: الطولان الفعليان للمطرفين، بالكيلومتر

d : مسافة المسير المطلوبة، بالكيلومتر

f : التردد، بالوحدات MHz

q : النسبة المثوية للوقت.

تحسب:

$Y(q)$: خسارة التغير طويل الأجل، بوحدات dB.

الخطوة 14: تحسب خسارة الإرسال الأساسية

$$(61) \quad A = A_{fS} + A_a + A_{LOS} + Y(q) \quad (\text{dB})$$

وهذه هي نهاية هذا القسم.

7 الملاحظات البصرية لشعاع خط البصر

يوضح هذا القسم كيفية حساب ملاحظات المسير الهندسية لمطرفين ضمن مسافة خط البصر لكل منهما باستخدام الملاحظات البصرية للشعاع.

والمدخلات في هذا القسم هي:

ψ : زاوية انعكاس الشعاع، بالتقويم الدائري

$h_{r1,2}$: الارتفاعان الفعليان للمطرفين، بالكيلومتر

$\Delta h_{1,2}$: حد تصحيح ارتفاعي المطرفين، بالكيلومتر.

ومخرجات هذا القسم هي:

Δr : مسافة طول الشعاع بين الشعاع المباشر والشعاع غير المباشر، بالكيلومتر

d : المسافة بين المطرفين المقابلة لزاوية الانعكاس ψ ، بالكيلومتر

الخطوة 1: بحسب نصف قطر الأرض المعدل، a_a :

$$(62) \quad z = (a_0/a_e) - 1$$

$$(63) \quad k_a = 1/(1 + \cos \psi)$$

$$(64) \quad a_a = a_0 k_a \quad (\text{km})$$

الخطوة 2: بحسب حدا تصحيح ارتفاعي المطرفين المعدلين من الأرض، $\Delta h_{a1,2}$.

$$(65) \quad \Delta h_{a1,2} = \Delta h_{1,2} (a_a - a_0)/(a_e - a_0) \quad (\text{km})$$

الخطوة 3: بحسب الارتفاعان، $H_{1,2}$.

$$(66) \quad H_{1,2} = h_{r1,2} - \Delta h_{a1,2} \quad (\text{km})$$

الخطوة 4: تحسب الملاحظات الهندسية للمطرفين، $z_{1,2}$ و $\theta_{1,2}$ و $D_{1,2}$ و $H'_{1,2}$.

$$(67) \quad z_{1,2} = a_a + H_{1,2} \quad (\text{km})$$

$$(68) \quad \theta_{1,2} = \cos^{-1}(a_a \cos \psi / z_{1,2}) - \psi \quad (\text{rad})$$

$$(69) \quad D_{1,2} = z_{1,2} \sin \theta_{1,2} \quad (\text{km})$$

$$(70) \quad H'_{1,2} = \begin{cases} H_{1,2}, & \psi > 1.56 \\ D_{1,2} \tan \psi, & \psi \leq 1.56 \end{cases} \quad (\text{km})$$

الخطوة 5: تحسب Δz ، الفارق في شعاعي المطرفين.

$$(71) \quad \Delta z = |z_1 - z_2| \quad (\text{km})$$

الخطوة 6: تحسب مسافة المسيرين المطرفين المقابلة لزاوية الانعكاس ψ .

$$(72) \quad d = \max(a_a(\theta_1 + \theta_2), 0) \quad (\text{km})$$

الخطوة 7: بعد حساب الملاحظات الهندسية، يحدد طول الشعاع المباشر، r_0 والشعاع غير المباشر، r_{12} .

$$(73) \quad \alpha = \tan^{-1}((H'_2 - H'_1)/(D_1 + D_2)) \quad (\text{rad})$$

$$(74) \quad r_0 = (D_1 + D_2)/\cos \alpha \quad (\text{km})$$

$$(75) \quad r_{12} = (D_1 + D_2)/\cos \psi \quad (\text{km})$$

الخطوة 8: يحسب الفارق في الطول بين الشعاعين.

$$(76) \quad \Delta r = 4 H'_1 H'_2 / (r_0 + r_{12}) \quad (\text{km})$$

الخطوة 9: تحسب الزاويتان $\theta_{h1,2}$.

$$(77) \quad \theta_{h1} = \alpha - \theta_1 \quad (\text{rad})$$

$$(78) \quad \theta_{h2} = -(\alpha + \theta_2) \quad (\text{rad})$$

وبذلك ينتهي هذا القسم.

8 حسابات خسارة خط البصر

يوضح هذا القسم كيفية إجراء حسابات الخسارة لمسير على خط البصر.

حيث:

d : المسافة المطلوبة المسير، بالكيلومتر

ψ : زاوية انعكاس الشعاع، بالتقويم الدائري

d_0 : مسافة المسير التي تبدأ عندها تأثير الانعراج على منطقة خط البصر، بالكيلومتر

f : التردد، بالوحدات MHz

تحسب:

A_{LOS} : خسارة خط البصر، بوحدات dB

الخطوة 1: إذا كانت مسافة المسير d أكبر من d_0 ، فإن المسير يقع ضمن منطقة خلط انعراج خط البصر، وتحدد الخسارة A_{LOS} باستخدام المعادلة (79). وخلاف ذلك، تكون $d \leq d_0$ ، ويتم الانتقال إلى الخطوة 2.

$$(79) \quad A_{LOS} = ((d - d_0)(A_{dML} - A_{d0}) / (d_{ML} - d_0)) + A_{d0} \quad (\text{dB})$$

الخطوة 2: إذا كانت زاوية الانعكاس $\psi < \psi_{limit}$ ، تحدد الخسارة A_{LOS} بالمقدار 0 dB وتم العودة، حيث أن التوصية ITU-R P.528 لم تتناول نموذج الشعاعين داخل هذه المنطقة. وخلاف ذلك تكون $\psi \geq \psi_{limit}$ ، ويتم الانتقال إلى الخطوة 3.

الخطوة 3: طول المسير d ، على أساس أن التوصية ITU-R P.528 تستخدم نموذج الشعاعين يسبب طول الموجه، λ .

$$(80) \quad \lambda = 0.2997925/f$$

الخطوة 4: يحسب معاملا الانعكاس المركبان R_g و ϕ_g باستخدام القسم 9.

الخطوة 5: عامل التباعد D_v ، يأخذ في الاعتبار أن الانعكاس من سطح منحني مستوى للأرض يكون أقل كفاءة من الأرض غير المنحنية. ويحسب عامل التباعد للمسير.

$$(81) \quad D_v = \left[1 + \frac{2R_r(1 + \sin^2 \psi)}{a_a \sin \psi} + \left(\frac{2R_r}{a_a} \right)^2 \right]^{-1/2}$$

الخطوة 6: عامل طول الشعاع، F_r ، يأخذ في الاعتبار العوامل الهندسية التي يكون فيها الشعاع المباشر أكبر بكثير (وأقصر) من الشعاع غير المباشر، بحيث يقابل الوضع الذي يكون فيه المطرفان عاليين وقريبين من بعضهما في حالة وجودهما على طاقرتين. يحسب العامل F_r :

$$(82) \quad F_r = \min(r_0/r_{12}, 1)$$

الخطوة 7: بحسب معاملات الانعكاس الفعليان R_{Tg} و ϕ_{Tg} .

$$(83) \quad R_{Tg} = R_g D_v F_r$$

$$(84) \quad \phi_{Tg} = (2 \pi \Delta r / \lambda) + \phi_g$$

الخطوة 8: تحسب الخسارة، A_{LOS} .

$$(85) \quad R = R_{Tg} \cos \phi_{Tg} - R_{Tg} \sin \phi_{Tg}$$

$$(86) \quad W_{RL} = \min(|1 + R|, 1)$$

$$(87) \quad W_{R0} = W_{RL}^2$$

$$(88) \quad A_{LOS} = 10 \log_{10} W_{R0}$$

وهنا ينتهي هذا القسم.

9 معاملات الانعكاس الأرضي

يوضح هذا القسم الخطوات المتبعة لحساب معاملات الانعكاس الأرضي.

حيث:

ψ : زاوية الانعكاس، بالتقويم الدائري

f : التردد، بوحدات MHz.

بحسب:

R_g : الجزء الحقيقي من معامل الانعكاس

ϕ_g : الجزء التخيلي من معامل الانعكاس.

وباستخدام الافتراضات المذكورة أفقاً للخواص الكهربائية للأرض، $\sigma = 0,005S/m$ و $\epsilon_r = 15$ (تقابل مجموعة متوسطة).

الخطوة 1: تحسب القيم التالية،

$$(89) \quad X = 18\,000 \sigma / f$$

$$(90) \quad Y = \epsilon_r - \cos^2 \psi$$

$$(91) \quad T = [Y^2 + X^2]^{0.5} + Y$$

$$(92) \quad P = (0.5T)^{0.5}$$

$$(93) \quad Q = X/2P$$

$$(94) \quad B = 1/(P^2 + Q^2)$$

$$(95) \quad A = 2P/(P^2 + Q^2)$$

الخطوة 2: بحسب الجزآن الحقيقي والتخيلي لمعامل الانعكاس.

$$(96) \quad R_g = \left[\frac{(1 + B \sin^2 \psi) - A \sin \psi}{(1 + B \sin^2 \psi) + A \sin \psi} \right]^{0.5}$$

$$(97) \quad \phi_g = \tan^{-1}(-Q, \sin \psi - P) - \tan^{-1}(Q, \sin \psi + P)$$

وهنا ينتهي هذا القسم.

10 انعراج الأرض المستوية

يوضح هذا القسم الخطوات المتبعة في حساب خسارة انعراج الأرض المستوية عند مسافة محددة داخل منطقة الانعراج. ويفترض النموذج "أرضاً متوسطة" بإبصالية تساوي S/m 0,005 وقيمة ثابت العزل النسبي تساوي 15. وتفترض قيمة لعامل نصف قطر الأرض الفعلي، k ، تساوي 4/3 (تقابل انكسارية للسطح، N_s ، تساوي 300 وحدة N). ويفترض الاستقطاب الأفقي.

حيث:

d_0 : مسافة المسير المطلوبة، بالكيلومتر

$d_{1,2}$: مسافة خط الأفق للمطرفين، بالكيلومتر

f : التردد، بوحدة MHz

تحسب:

A_d : خسارة انعراج الأرض المستوية، بوحدة dB.

ويحسب انعراج الأرض المستوية باستخدام المعادلة (98):

$$(98) \quad A_d = G(x_0) - F(x_1) - F(x_2) - 20 \quad (\text{dB})$$

الخطوة 1: تحسب المسافات المقيسة

$$(99) \quad x_{0,1,2} = 1.607f^{1/3}d_{0,1,2} \quad (\text{km})$$

الخطوة 2: يحسب الحد الذي يعتمد على المسافة لجميع المسافات المقيسة الثلاث.

$$(100) \quad G(x_{0,1,2}) = 0.05751x_{0,1,2} - 10 \log_{10} x_{0,1,2} \quad (\text{dB})$$

الخطوة 3: يحسب الحد $y_{1,2}$.

$$(101) \quad y_{1,2} = 40 \log_{10} x_{1,2} - 117 \quad (\text{dB})$$

الخطوة 4: تحسب دالتا الارتفاعين.

إذا كانت $x_{1,2} \geq 2000 \text{ km}$:

$$(102) \quad F(x_{1,2}) = G(x_{1,2}) \quad (\text{dB})$$

وإذا كانت $200 < x_{1,2} < 2000 \text{ km}$:

$$(103) \quad W_{1,2} = 0.0134x_{1,2}e^{(-0.005x_{1,2})}$$

$$(104) \quad F(x_{1,2}) = W_{1,2}y_{1,2} + (1 - W_{1,2})G(x_{1,2}) \quad (\text{dB})$$

وإذا كانت، $x \leq 200$.

$$(105) \quad F(x_{1,2}) = y_{1,2} \quad (\text{dB})$$

الخطوة 5: بعد حساب الدالتين $G(x_0)$ و $F(x_{1,2})$ ، تستخدم المعادلة (98) أعلاه لحساب خسارة انعراج الأرض المستوية. وهذه هي نهاية هذا القسم.

11 الانتثار التروبوسفيري

يوضح هذا القسم الخطوات المتبعة في حساب الانتثار التروبوسفيري عند مسافة معينة. ويجرى حساب خسارة الانتثار التروبوسفيري باستخدام تقنيات رياضية تنظر في مسيرات الأشعة المنحنية التي تحيط بالحجم المشترك للمطرفين. ويفترض عامل نصف قطر الأرض k الذي يساوي $4/3$ (انكسارية السطح $N_s = 301$ وحدة N). ويحسب الانتثار التروبوسفيري باستخدام المعادلة (106) والموضحة أدناه).

$$(106) \quad A_s = S_e + S_V + 10 \log_{10}(\kappa \theta_s^3 / \ell) \quad (\text{dB})$$

حيث:

$d_{1,2}$: طول القوس عبر سطح الأرض المستوية، بالكيلومتر

$h_{1,2}$: ارتفاعاً المطرفين، بالكيلومتر

f : التردد، بوحدات MHz

d : مسافة المسير المطلوبة، بالكيلومتر

تحسب:

A_s : خسارة الانتثار التروبوسفيري، بوحدات dB.

الخطوة 1: تحسب مسافة الانتثار، d_s ، بالكيلومتر.

$$(107) \quad d_s = d - d_1 - d_2 \quad (\text{km})$$

الخطوة 2: إذا كانت $d_s = 0$ ، لا يوجد حجم مشترك في هندسة المسير وبالتالي، لا يدعم الانتثار عبر الانتثار التروبوسفيري. تضبط النتائج أدناه وتتم العودة إلى القسم 7. وإذا كانت $d_s > 0$ ، ثم مواصلة الحساب بالخطوة 3.

$$(108) \quad A_s = 0 \quad (\text{dB})$$

$$(109) \quad h_v = 0 \quad (\text{km})$$

$$(110) \quad d_z = 0 \quad (\text{km})$$

$$(111) \quad \theta_s = 0 \quad (\text{rad})$$

$$(112) \quad \theta_A = 0 \quad (\text{rad})$$

الخطوة 3: مسافة قوس الأرض المستوية من كل شعاع مماس للمطرف إلى مركز الحجم المشترك، d_z :

$$(113) \quad d_z = 0.5d_s \quad (\text{km})$$

الخطوة 4: تحسب معاملات التدرج الجوي:

$$(114) \quad A_m = 1/a_0$$

$$(115) \quad dN = A_m - 1/a_e$$

$$(116) \quad \gamma_e = N_s \times 10^{-6} / dN$$

الخطوة 5: تستخدم المعادلات التالية لتحديد المعلمات الهندسية المرتبطة بالانتثار التروبوسفيري، بما في ذلك ارتفاع حجم المشترك، h_v ، بالكيلومتر، وميل لحل شعاع من الشعاعين عند زاوية العبور، θ_A ، بالتقويم الدائري.

$$(117) \quad z_a = \frac{1}{2a_e} \left(\frac{d_z}{2} \right)^2 \quad (\text{km})$$

$$(118) \quad z_b = \frac{1}{2a_e} (d_z)^2 \quad (\text{km})$$

$$(119) \quad Q_o = A_m - dN$$

$$(120) \quad Q_{a,b} = A_m - dN * e^{-Z_{a,b}/\gamma_e}$$

$$(121) \quad Z_a = (7Q_o + 6Q_a - Q_b) \frac{d_z^2}{96} \quad (\text{km})$$

$$(122) \quad Z_b = (Q_o + 2Q_a) \frac{d_z^2}{6} \quad (\text{km})$$

$$(123) \quad Q_{A,B} = A_m - dN * e^{-Z_{a,b}/\gamma_e}$$

$$(124) \quad h_v = (Q_o + 2Q_A) \frac{d_z^2}{6} \quad (\text{km})$$

$$(125) \quad \theta_A = (Q_o + 4Q_A + Q_B) \frac{d_z}{6} \quad (\text{rad})$$

$$(126) \quad \theta_s = 2 \theta_A \quad (\text{rad})$$

الخطوة 6: يحسب حد حجم الانتثار، S_e .

$$(127) \quad \epsilon_1 = (5.67 \times 10^{-6})N_s^2 - 0.00232N_s + 0.031$$

$$(128) \quad \epsilon_2 = 0.0002N_s^2 - 0.06N_s + 6.6$$

$$(129) \quad \gamma = 0.1424 \left(1 + \frac{\epsilon_1}{\exp[(h_v/4)^6]}\right)$$

$$(130) \quad S_e = 83.1 - \frac{\epsilon_2}{1+0.07716h_v^2} + 20 \log_{10}[(0.1424/\gamma)^2 e^{\gamma h_v}] \quad (\text{dB})$$

الخطوة 7: يحسب حد حجم الانتثار، S_v .

$$(131) \quad X_{A1,2} = h_{1,2}^2 + 4(a_e + h_{1,2})a_e \sin^2\left(\frac{d_{1,2}}{2a_e}\right)$$

$$(132) \quad \ell_{1,2} = \sqrt{X_{A1,2}} + d_z \quad (\text{km})$$

$$(133) \quad \ell = \ell_1 + \ell_2 \quad (\text{km})$$

$$(134) \quad s = \frac{\ell_1 - \ell_2}{\ell}$$

$$(135) \quad \eta = \gamma \theta_s \ell / 2$$

$$(136) \quad \kappa = f / 0.0477$$

$$(137) \quad \rho_{1,2} = 2 \kappa \theta_s h_{1,2} \quad (\text{km})$$

$$(138) \quad S_v = 10 \log_{10} \left(\frac{(A\eta^2 + B_S \eta) q_1 q_2}{\rho_1^2 \rho_2^2} + C_S \right) \quad (\text{dB})$$

حيث:

$$(139) \quad X_{v1} = (1 + s)^2 \eta$$

$$(140) \quad X_{v2} = (1 - s)^2 \eta$$

$$(141) \quad q_1 = X_{v1}^2 + \rho_1^2$$

$$(142) \quad q_2 = X_{v2}^2 + \rho_2^2$$

$$(143) \quad A = (1 - s^2)^2$$

$$(144) \quad B_S = 6 + 8s^2 + (8(1 - s)X_{v1}^2 \rho_1^2) / q_1^2 + (8(1 + s)X_{v2}^2 \rho_2^2) / q_2^2 + 2(1 - s^2)(1 + 2X_{v1}^2 / q_1)(1 + 2X_{v2}^2 / q_2)$$

$$(145) \quad C_S = 12 \left(\frac{\rho_1 + \sqrt{2}}{\rho_1} \right)^2 \left(\frac{\rho_2 + \sqrt{2}}{\rho_2} \right)^2 \left(\frac{\rho_1 + \rho_2}{\rho_1 + \rho_2 + 2\sqrt{2}} \right)$$

الخطوة 8: تحسب خسارة الانتثار التروبوسفيري باستخدام المعادلة (106).

وهذه هي نهاية هذا القسم.

12 طول الشعاع الفعلي

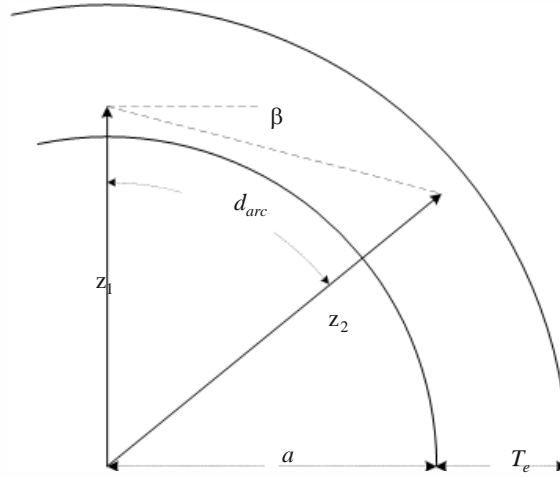
يوضح هذا القسم الخطوات المتبعة لتحديد الطول الفعلي للشعاع لاستخدامه في حسابات الامتصاص الجوي. ويستخدم هذا القسم نموذجاً هندسياً تقع فيه طبقة الامتصاص فوق سطح الأرض ويحدد بسمك فعال وتجري بعد ذلك الحسابات الهندسية لتحديد طول الشعاع الفعلي، جزء مسير الشعاع الذي يقع داخل طبقة الامتصاص.

وتوجد ثلاثة افتراضات هندسية، كما هو مبين في الشكل 2:

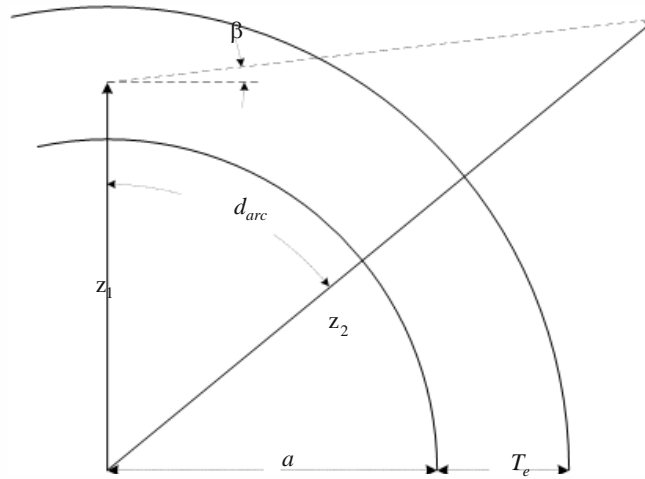
- 1 السيناريو 1: تقع كل من النقطتين الطرفيتين داخل طبقة الامتصاص
- 2 السيناريو 2: تقع نقطة طرفية داخل طبقة الامتصاص والأخرى فوقها
- 3 السيناريو 3: تقع كل من النقطتين الطرفيتين فوق طبقة الامتصاص، بالرغم من أن مسير الشعاع قد يستمر في قطع طبقة الامتصاص

الشكل 2

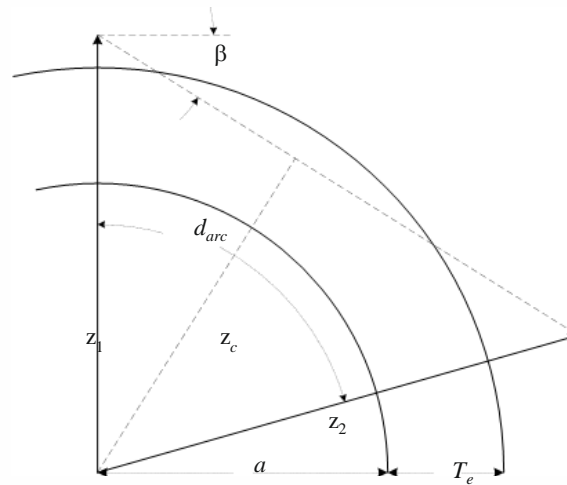
الافتراضات الهندسية الثلاثة لتحديد طول الشعاع الفعلي نسبة إلى طبقة امتصاص



(السيناريو 1)



(السيناريو 2)



(السيناريو 3)

حيث:

$z_{1,2}$: الشعاعان، بالكيلومتر

a : نصف قطر الأرض، بالكيلومتر. يعتمد نصف القطر على نوع المسير

d_{arc} : طول القوس بين الشعاعين عبر سطح الأرض، بالكيلومتر

β : زاوية انطلاق الشعاع، نسبة إلى مماس سطح الأرض، بالتقويم الدائري

T_e : السمك الفعلي بطبقة الامتصاص، بالكيلومتر

يحسب:

r_e : طول الشعاع الفعلي، بالكيلومتر.

الخطوة 1: تحسب الزاوية α والشعاع z_T .

$$(146) \quad \alpha = (\pi/2) + \beta \quad (\text{rad})$$

$$(147) \quad z_T = a + T_e \quad (\text{km})$$

الخطوة 2: لا بد من تحديد الافتراض الهندسي الصحيح طبقاً للمعلومات المقدمة. فإذا كان $z_e \leq z_T$ ، فإن النقطتين الطرفيتين تقعان داخل طبقة الامتصاص وهو ما يقود إلى السيناريو 1 في الشكل 2. ويحسب الطول r_e باستخدام المعادلة (148) ثم العودة إلى الخطوات. وخلاف ذلك نواصل إلى الخطوة 3.

$$(148) \quad r_e = d_{arc} \quad (\text{km})$$

الخطوة 3: إذا كان $z_T < z_1$ ، فإن المطرافين يقعان فوق طبقة الامتصاص وهو ما يقودنا إلى السيناريو 3 في الشكل 2 وبالتالي نستمر في هذه الخطوة. وخلاف ذلك، يتم الانتقال إلى الخطوة 4.

ولتحديد ما إذا كان مسير الشعاع يتقاطع مع طبقة الامتصاص، يحسب الشعاع الخاص به z_c ، أو في نقطة طوال مسير الشعاع. وتستخدم المعادلة (150) بعد ذلك لتحديد القيمة السليمة للطول r_e .

$$(149) \quad z_c = z_1 \sin \alpha \quad (\text{km})$$

$$(150) \quad r_e = \begin{cases} 0, & z_T \leq z_c \\ 2 z_T \sin(\cos^{-1}(z_c/z_T)), & \text{else} \end{cases} \quad (\text{km})$$

الخطوة 4: يحدد الافتراض الهندسي بحيث يكون السيناريو 2 في الشكل 2، بحيث يقع المطراف المنخفض داخل طبقة الامتصاص والمطراف المرتفع فوقها. وتستخدم المعادلات التالية لتحديد جزء مسير الشعاع الذي يقع داخل طبقة الامتصاص.

$$(151) \quad A_q = \sin^{-1}(z_1 \sin(\alpha)/z_T) \quad (\text{rad})$$

$$(152) \quad A_e = \pi - \alpha - A_q \quad (\text{rad})$$

$$(153) \quad r_e = \begin{cases} z_T - z_1, & A_e = 0 \\ (z_1 \sin A_e)/\sin A_q, & A_e \neq 0 \end{cases} \quad (\text{km})$$

وهنا تنتهي هذا القسم.

13 خسارة الامتصاص الجوي للمسيرات العابرة للأفق

يوضح هذا القسم الخطوات المتبعة لحساب الخسارة الناجمة عن الامتصاص الجوي لمسيرات عبارة للأفق.
حيث:

$h_{1,2}$: ارتفاعا المطرافين، بالكيلومتر

$d_{1,2}$: مسافتنا خط الأفق، بالكيلو متر

f : التردد، بوحدة MHz

h_v : ارتفاع الحجم المشترك، بالكيلومتر

θ_A : زاوية العبور عند الحجم المشترك، بالتقويم الدائري

تحسب:

A_a : خسارة الامتصاص الجوي، بوحدة dB

الخطوة 1: تحسب الأشعة z_1 و z_2 و z_v من مركز الأرض إلى المطراف المنخفض والمطراف المرتفع والحجم المشترك، على التوالي.

$$(154) \quad z_1 = h_1 + a_e \quad (\text{km})$$

$$(155) \quad z_2 = h_2 + a_e \quad (\text{km})$$

$$(156) \quad z_v = h_v + a_e \quad (\text{km})$$

الخطوة 2: يتم التركيز على جزء المسير من المطراف المنخفض إلى الحجم المشترك، مع ملاحظة أن ارتفاع الحجم المشترك يمكن أن يقع فوق أو تحت ارتفاع المطراف المنخفض أو لحساب طول الشعاع الفعلي لهذا الجزء من المسير، تحدد المعلمة z_{high1} و z_{low1} و β_1 بحيث تتفق المعلمة الهندسية مع الطريقة التي تظهر بها حسابات طول الشعاع الفعلي.

$$(157) \quad z_{low1} = \begin{cases} z_v, & z_v < z_1 \\ z_1, & z_v \geq z_1 \end{cases} \quad (\text{km})$$

$$(158) \quad z_{high1} = \begin{cases} z_1, & z_v < z_1 \\ z_v, & z_v \geq z_1 \end{cases} \quad (\text{km})$$

$$(159) \quad \beta_1 = \begin{cases} -\tan^{-1} \theta_A, & z_v < z_1 \\ -\theta_1, & z_v \geq z_1 \end{cases} \quad (\text{rad})$$

الخطوة 3: الآن، يتم التركيز على جزء المسير من الحجم المشترك إلى المطراف المرتفع، مع ملاحظة أن ارتفاع الحجم المشترك يمكن أن يقع فوق أو تحت ارتفاع المطراف المرتفع. ولحساب طول الشعاع الفعلي لهذا الجزء من المسير، تحدد المعلمة z_{high2} و z_{low2} و β_2 بحيث تتفق المعلمة الهندسية مع الطريقة التي تظهر بها حسابات طول الشعاع الفعلي.

$$(160) \quad z_{low2} = \begin{cases} z_v, & z_v < z_2 \\ z_2, & z_v \geq z_2 \end{cases} \quad (\text{km})$$

$$(161) \quad z_{high2} = \begin{cases} z_2, & z_v < z_2 \\ z_v, & z_v \geq z_2 \end{cases} \quad (\text{km})$$

$$(162) \quad \beta_2 = \begin{cases} -\tan^{-1} \theta_A, & z_v < z_2 \\ -\theta_2, & z_v \geq z_2 \end{cases} \quad (\text{rad})$$

الخطوة 4: تحسب مسافتنا القوس لكل جزء من جزئي المسير أعلاه.

$$(163a) \quad d_{arc1} = d_1 + d_z \quad (\text{km})$$

$$(163b) \quad d_{arc2} = d_2 + d_z \quad (\text{km})$$

الخطوة 5: يختلف السمك الفعلي لطبقة الامتصاص للأكسجين عن بخار الماء. فبالنسبة للأكسجين، يبلغ السمك الفعلي لطبقة الامتصاص، T_{eo} ، القيمة 3,25 km. وبالنسبة لبخار الماء تبلغ هذه القيمة، T_{ow} ، المقدار 1,36 km. ويحسب طول الشعاعين الفعليين عبر طبقتي امتصاص الأكسجين وبخار الماء للجزء الأول من المسير (من المطراف المنخفض إلى الحجم المشترك) باستخدام الخطوات الموضحة أن القسم 8. ويتطلب ذلك تطبيق القسم 8 مرتين: واحدة لطبقة امتصاص الأكسجين والثانية لطبقة امتصاص بخار الماء. ثم يتم الانتقال إلى الخطوة 6. ويستخدم القسم 8 كالتالي:

حيث:

$$Z_{low1}: \text{شعاع النقطة المنخفضة، بالكيلومتر، من المعادلة (157)}$$

$$Z_{high1}: \text{شعاع النقطة المرتفعة، بالكيلومتر، من المعادلة (158)}$$

$$a_e: \text{نصف القطر الفعلي للأرض، بالكيلومتر، يحدد بالقيمة 8 493 km}$$

$$d_{arc1}: \text{مسافة القوس بين النقطتين، بالكيلومتر، من المعادلة (163a)}$$

$$\beta_1: \text{زاوية انطلاق الشعاع، بالتقويم الدائري، من المعادلة (159)}$$

$$T_{eo,ew}: \text{سمك طبقة الامتصاص، } T_e, \text{ بالكيلومتر، حيث } T_e = T_{eo} = 3,25 \text{ km لطبقة امتصاص الأكسجين}$$

$$\text{و } T_e = T_{ew} = 1,36 \text{ km لطبقة امتصاص بخار الماء}$$

يحسب:

$$r_{eo1,ew1}: \text{طول الشعاع الفعلي، } r_e, \text{ بالكيلومتر. طول الشعاع عبر طبقة امتصاص الأكسجين، } r_{eo}, \text{ المقابل للسمك } T_e = T_{eo} = 3,25 \text{ km}$$

$$\text{وطول الشعاع عبر طبقة امتصاص بخار الماء، } r_{ew}, \text{ المقابل للسمك } T_e = T_{ew} = 1,36 \text{ km}$$

الخطوة 6: ويحسب طول الشعاعين الفعليين عبر طبقتي امتصاص الأكسجين وبخار الماء للجزء الثاني من المسير (من ارتفاع الحجم المشترك إلى المطراف المرتفع)، بنفس الطريقة المتبعة في الخطوة 5 ولكن مع استخدام المعلمات الهندسية الخاصة بجزء المسير من الحجم المشترك إلى المطراف المرتفع. ويتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 7. ويستخدم القسم 8 كالتالي:

حيث:

$$Z_{low1}: \text{شعاع النقطة المنخفضة، بالكيلومتر، من المعادلة (160)}$$

$$Z_{high1}: \text{شعاع النقطة المرتفعة، بالكيلومتر، من المعادلة (161)}$$

$$a_e: \text{نصف القطر الفعلي للأرض، بالكيلومتر، يحدد بالقيمة 8 493 km}$$

$$d_{arc1}: \text{مسافة القوس بين النقطتين، بالكيلومتر، من المعادلة (163b)}$$

$$\beta_1: \text{زاوية انطلاق الشعاع، بالتقويم الدائري، من المعادلة (162)}$$

$$T_{eo,ew}: \text{سمك طبقة الامتصاص، } T_e, \text{ بالكيلومتر، حيث } T_e = T_{eo} = 3,25 \text{ km لطبقة امتصاص الأكسجين}$$

$$\text{و } T_e = T_{ew} = 1,36 \text{ km لطبقة امتصاص بخار الماء}$$

يحسب:

$$r_{eo1,ew1}: \text{طول الشعاع الفعلي، } r_e, \text{ بالكيلومتر. طول الشعاع عبر طبقة امتصاص الأكسجين، } r_{eo}, \text{ المقابل للسمك } T_e = T_{eo} = 3,25 \text{ km}$$

$$\text{وطول الشعاع عبر طبقة امتصاص بخار الماء، } r_{ew}, \text{ المقابل للسمك } T_e = T_{ew} = 1,36 \text{ km}$$

الخطوة 7: يحسب طول الشعاعين الفعليين الكليين لطبقة امتصاص الأكسجين، r_{eo} ، ولطبقة امتصاص بخار الماء، r_{ew} ، بالكيلومتر.

$$(164a) \quad r_{eo} = r_{eo1} + r_{eo2} \quad (\text{km})$$

$$(164b) \quad r_{ew} = r_{ew1} + r_{ew2} \quad (\text{km})$$

الخطوة 8: يحدد معدلا الامتصاص الجوي للأكسجين، γ_{oo} ، ولبخار الماء، γ_{ow} ، بالوحدات dB/km باستخدام القسم 14. ويتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 9. ويستخدم القسم 14 كالتالي:

حيث:

f : التردد، بالوحدات MHz

يحسب:

γ_{oo} : معدل امتصاص الأكسجين، بالوحدات dB/km

γ_{ow} : معدل امتصاص بخار الماء، بالوحدات dB/km.

الخطوة 9: تحسب الخسارة الكلية للامتصاص الجوي، A_a ، باستخدام معدلي الامتصاص γ_{ow} و γ_{oo} من الخطوة 8 وطولي الشعاعين الفعليين r_{ow} و r_{eo} من المعادلة (164).

$$(165) \quad A_a = \gamma_{oo}r_{eo} + \gamma_{ow}r_{ew} \quad (\text{dB})$$

وبهذه الخطوة ينتهي حساب الامتصاص الجوي للمسيرات العابرة للأرض.

14 معدلات الامتصاص الجوي

يوضح هذا القسم الخطوات المتبعة لتحديد معدل امتصاص الأكسجين، γ_{oo} ، وبخار الماء، γ_{ow} ، بالوحدات dB/km.

حيث:

f : التردد، بالوحدات MHz

يحسب:

γ_{oo} : معدل امتصاص الأكسجين، بالوحدات dB/km

γ_{ow} : معدل امتصاص بخار الماء، بالوحدات dB/km.

الجدول 2

بيانات عن معدلات الامتصاص مقابل التردد

γ_{ow} (dB/km)	γ_{oo} (dB/km)	f (MHz)	γ_{ow} (dB/km)	γ_{oo} (dB/km)	f (MHz)	γ_{ow} (dB/km)	γ_{oo} (dB/km)	f (MHz)
0,0001 7	0,010	4 000	0	0,002 5	550	0	0,000 19	100
0,003 4	0,011	4 900	0	0,003	700	0	0,000 42	150
0,002 1	0,014	8 300	0	0,004 2	1 000	0	0,000 70	205
0,009	0,015	10 200	0	0,005	1 520	0	0,000 96	300
0,025	0,017	15 000	0	0,007	2 000	0	0,001 3	325
0,045	0,018	17 000	0	0,008 8	3 000	0	0,001 5	350
			0,000 1	0,009 2	3 400	0	0,001 8	400

الخطوة 1: تستعمل القيم الواردة في الجدول 2 من أجل الاستكمال الداخلي للمعدلين γ_{ow} و γ_{oo} . ليتم اختيار التردد f' و f'' من الجدول بحيث تتحقق العلاقة $f' < f < f''$. وبالمثل $\gamma'_{oo} < \gamma_{oo} < \gamma''_{oo}$ و $\gamma'_{ow} < \gamma_{ow} < \gamma''_{ow}$.

الخطوة 2: يحسب عامل تدرج الاستكمال الداخلي، R .

$$(166) \quad R = \frac{\log_{10}(f) - \log_{10}(f')}{\log_{10}(f'') - \log_{10}(f')}$$

الخطوة 3: يجرى الاستكمال الداخلي للقيمة γ_{oo} .

$$(167) \quad X = R(\log_{10}(\gamma''_{oo}) - \log_{10}(\gamma'_{oo})) + \log_{10}(\gamma'_{oo})$$

$$(168) \quad \gamma_{oo} = 10^X \quad (\text{dB/km})$$

الخطوة 4: يجرى الاستكمال الداخلي للقيمة γ_{ow} . يرجى العلم أن القيم الثلاث عشرة الأولى من المعدل γ_{ow} في الجدول 2 تساوي 0 dB/km. لذا، ينبغي توخي الحذر عند إجراء الاستكمال الداخلي. فإذا كانت $f < 3400$ ،

فإن المعدل $0\gamma_{ow} = 0 \text{ dB/km}$ وخلاف ذلك:

$$(169) \quad Y = R(\log_{10}(\gamma''_{ow}) - \log_{10}(\gamma'_{ow})) + \log_{10}(\gamma'_{ow})$$

$$(170) \quad \gamma_{ow} = 10^Y \quad (\text{dB/km})$$

وبذلك ينتهي هذا القسم.

15 التغيرات الإجمالية للمسيرات العابرة للأفق

يحدد هذا القسم الطريقة التي تحسب بها المساهمة الإجمالية للتغيرات في خسارة الإرسال الأساسية المتوسطة لمسير عابر للأفق. حيث:

$h_{r1,2}$: ارتفاعا المطرافين الحقيقيان، بالكيلومتر

q : النسبة المئوية من الوقت المطلوبة. متغير خاص بدخل النموذج

f : التردد، بالوحدات MHz

d : مسافة المسير المطلوبة، بالكيلومتر

A_T : الخسارة المتنبأ بها الناجمة عن الانعراج أو الانتثار التروبوسفيري، بوحدات dB

θ_s : زاوية الانتثار، بالتقويم الدائري

تحسب:

$Y_{total}(q)$: خسارة التغيرات الإجمالية، بوحدات dB.

الخطوة 1: تحسب مساهمة التغيرات طول الأجل للنسبة المئوية من الوقت q ، باستخدام القسم 17. ويتم بعد ذلك الانتقال إلى الخطوة 2. ويستخدم القسم 17 كالتالي:

حيث:

$h_{r1,2}$: ارتفاعا المطرافين الحقيقيان، بالكيلومتر

d : مسافة المسير المطلوبة، بالكيلومتر

f : التردد، بالوحدات MHz

q : النسبة المئوية من الوقت المطلوبة

$f_{\theta h}$: تضبط على القيمة 1

A_T : الخسارة المتنبأ بها الناجمة عن الانعراج أو الانتثار التروبوسفيري، بوحدات dB

تحسب:

$$Y_e(q) : \text{خسارة التغيرات طويل الأجل، بوحدات dB.}$$

الخطوة 2: لكي يتم الجمع بشكل سليم بين تأثير كل من التغيرات طويل الأجل والمسيرات التروبوسفيرية المتعددة، وكل منهما في صورة توزيع، يلزم وجود القيمة المتوسطة لتوزيع التغيرات طويل الأجل. وتحسب مساهمة التغيرات طويل الأجل لنسبة مئوية من الوقت تساوي 0,50 باستخدام القسم 17. ثم يتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 3. وتستخدم القسم 17 كالتالي:

حيث:

$$h_{r1,2} : \text{ارتفاعا المطرافين الحقيقيان، بالكيلومتر}$$

$$d : \text{مسافة المسير المطلوبة، بالكيلومتر}$$

$$f : \text{التردد، بالوحدات MHz}$$

$$0,50 : \text{النسبة المئوية المتوسطة من الوقت (} q = 0,50 \text{)}$$

$$f_{\theta h} : \text{تضبط على القيمة } f_{\theta h} = 1$$

$$A_T : \text{الخسارة المنتبأ بها الناجمة عن الانعراج أو الانتثار التروبوسفيري، بوحدات dB}$$

تحسب:

$$Y_e(0,50) : \text{خسارة التغيرات طويل الأجل، بوحدات dB.}$$

الخطوة 3: لنقل تأثيرات المسيرات التروبوسفيرية المتعددة بسلاسة من منطقة خط البصر إلى المنطقة العابرة للأفق، ينبغي تحديد قيمة K التي تتحدد من عندها المسيرات التروبوسفيرية المتعددة عند نقطة الانتقال من منطقة خط البصر والمنطقة خارج خط البصر. وتحسب خسارة خط البصر، كما هو موضح في القسم 6. ثم يتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 4. ويستخدم القسم 6 كالتالي:

حيث:

$$d_{ML} : \text{مسافة خط البصر القصوى، بالكيلومتر}$$

$$d_d : \text{المسافة، بالكيلومتر}$$

$$h_{1,2} : \text{ارتفاعا المطرافين، بالكيلومتر}$$

$$d_{1,2} : \text{مسافتا خط الأفق، بالكيلومتر}$$

$$f : \text{التردد، بوحدات MHz.}$$

$$A_{dML} : \text{خسارة الانعراج عند المسافة } d_{ML} \text{، بوحدات dB}$$

$$q : \text{النسبة المئوية من الوقت المطلوبة}$$

$$d : \text{مسافة المسير المطلوبة}$$

تحسب:

$$A : \text{خسارة الإرسال الأساسية، بوحدات dB}$$

$$K : \text{قيمة تستخدم في حسابات التغيرات اللاحقة.}$$

الخطوة 4: تحسب القيمة K_t التي تستخدم لتحديد تأثيرات المسيرات التروبوسفيرية المتعددة. نفترض أن $\theta_{1,5} = 0,02617993878$ بالتقويم الدائري (1,5 درجة).

$$(171) \quad K_t = \begin{cases} 20, & \theta_s \geq \theta_{1,5} \\ K_{LOS}, & \theta_s \leq 0 \\ (\theta_s(20 - K_{LOS})/\theta_{1,5}) + K_{LOS}, & 0 < \theta_s < \theta_{1,5} \end{cases}$$

الخطوة 5: تحسب مساهمة المسيرات التروبوسفيرية المتعددة للنسبة المئوية من الوقت q باستخدام القسم 18. ثم يتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 6. ويستخدم القسم 18 كالتالي:

حيث:

K_t : القيمة K

q : النسبة المئوية من الوقت المطلوبة

تحسب:

$Y_{\pi}(q)$: مساهمة المسيرات التروبوسفيرية المتعددة عند النسبة المئوية من الوقت q ، بوحدة dB.

الخطوة 6: الجمع بين تأثير كل من التغيرات طويل الأجل والمسيرات التروبوسفيرية المتعددة للحصول على مساهمة التغيرات الإجمالي، $Y_{total}(q)$ ، باستخدام القيم التي تم حسابها من قبل $Y_e(q)$ و $Y_e(0,50)$ و $Y_{\pi}(q)$ والقيمة المتوسطة للمسيرات المتعددة التروبوسفيرية تكون $0 = Y_{\pi}(0,50)$.

$$(172) \quad Y_{total}(0.50) = Y_e(0.50) + Y_{\pi}(0.50)$$

$$(173) \quad Y = [(Y_e(q) - Y_e(0.50))^2 + (Y_{\pi}(q) - Y_{\pi}(0.50))^2]^{0.5}$$

$$(174) \quad Y_{total} = \begin{cases} Y_{total}(0.50) + Y, & q < 0.50 \\ Y_{total}(0.50) - Y, & q \geq 0.50 \end{cases} \quad (\text{dB})$$

وبذلك ينتهي هذا القسم.

16 التغيرات الإجمالي لمسيرات خط البصر

يحدد هذه القسم كيفية حساب مساهمة التغيرات في خسارة الإرسال الأساسية المتوسطة.

حيث:

$h_{r1,2}$: ارتفاعا المطرافين الحقيقيان، بالكيلومتر

q : متغير خاص بدخل النموذج

f : التردد، بالوحدات MHz

d : مسافة المسير المطلوبة، بالكيلومتر

A_T : الخسارة المتنبأ بها، بوحدة dB

θ_s : زاوية الانتثار، بالتقويم الدائري

$f_{\theta h}$: قيمة دخل

تحسب:

$Y_{total}(q)$: خسارة التغيرات الإجمالي، بوحدة dB.

الخطوة 1: تحسب القيمة $f_{\theta h}$ باستخدام القيمة θ_{h1} من حسابات المعلومات البصرية للشعاع التي أجريت قبل ذلك.

$$(175) \quad f_{\theta h} = \begin{cases} 1, & \theta_{h1} \leq 0 \\ 0, & \theta_{h1} \geq 0 \\ \max(0.5 - 0.31831 \tan^{-1}(20 \log_{10}(32 \theta_{h1})), 0), & \text{else} \end{cases}$$

الخطوة 2: تحسب مساهمة التغيرات طويل الأجل للنسبة المئوية من الوقت، q ، باستخدام القسم 17. ويتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 3. ويستخدم القسم 17 كالتالي:

حيث:

$h_{r1,2}$: ارتفاعا المطرافين الحقيقيان، بالكيلومتر

d : متغير خاص بدخل النموذج، بالكيلومتر

f : التردد، بالوحدات MHz

q : النسبة المئوية من الوقت المطلوبة

$f_{\theta h}$: قيمة دخل لهذا القسم

A_T : الخسارة المتنبأ بها، بوحدات dB

تحسب:

$Y_e(q)$: خسارة التغيرات طويل الأجل، بوحدات dB.

الخطوة 3: لكي يتم الجمع بشكل سليم بين تأثير كل من التغيرات طويل الأجل والمسيرات التروبوسفيرية المتعددة، وكل منهما في صورة توزيع، يلزم وجود القيمة المتوسطة لتوزيع التغيرات طويل الأجل. وتحسب مساهمة التغيرات طويل الأجل لنسبة مئوية من الوقت تساوي 0,50 باستخدام القسم 17. ثم يتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 3. وتستخدم القسم 17 كالتالي:

حيث:

$h_{r1,2}$: ارتفاعا المطرافين الحقيقيان، بالكيلومتر

d : مسافة المسير المطلوبة، بالكيلومتر

f : التردد بالوحدات MHz.

0,50: النسبة المئوية المتوسطة من الوقت ($q = 0,50$)

$f_{\theta h}$: تضبط على القيمة $f_{\theta h} = 1$

A_T : الخسارة المتنبأ بها الناجمة عن الانعراج أو الانتثار التروبوسفيري، بوحدات dB.

تحسب:

$Y_e(0,50)$: خسارة التغيرات طويل الأجل، بوحدات dB.

الخطوة 4: تحسب القيمة التالية للمتغير K_{LOS} ، المستخدمة في تحديد تأثيرات المسيرات التروبوسفيرية المتعددة، على النحو التالي:

$$(176) \quad F_{AY} = \begin{cases} 1, & A_Y \leq 0 \\ 0.1, & A_Y \geq 9 \\ (1.1 + 0.9 \cos(\pi A_Y / 9)) / 2, & \text{else} \end{cases}$$

$$(177) \quad F_{\Delta r} = \begin{cases} 1, & \Delta r \geq \lambda / 2 \\ 0.1, & \Delta r \leq \lambda / 6 \\ 0.5 [1.1 - 0.9 \cos((3\pi / \lambda) (\Delta r - \lambda / 6))], & \text{else} \end{cases}$$

$$(178) \quad R_s = R_{Ts} F_{\Delta r} F_{AY}$$

إذا كان r_{ew} ، مسير الشعاع الفعلي عبر طبقة امتصاص بخار الماء يساوي 0 km، فإن $W_a = 0,0001$. وخلاف ذلك، تحسب قيمة $Y_{\pi}(0,99)$ ، كالتالي:

$$(179) \quad Y_{\pi}(0,99) = 10 \log_{10}(f r_{ew}^3) - 84.26 \quad (\text{dB})$$

ثم يستخدم الجدول 7 للاستكمال الدخلي بقيمة K المقابلة لقيمة $Y_{\pi}(0.99)$ وتستخدم قيمة K تلك في حساب W_a كالتالي:

$$(180) \quad W_a = 10^{0.1K}$$

وبعد حساب W_a ، يستكمل حساب K_{LOS} ، كالتالي:

$$(181) \quad W_R = R_S^2 + 0.01^2$$

$$(182) \quad W = W_R + W_a$$

$$(183) \quad K_{LOS} = \begin{cases} 0, & W \leq 0 \\ 10 \log_{10} W, & W > 0 \end{cases}$$

الخطوة 5: تحسب مساهمة المسيرات التروبوسفيرية المتعددة للنسبة المئوية من الوقت q ، باستخدام القسم 18. ويتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 6. ويستخدم القسم 18 كالتالي:

حيث:

K_{LOS} : قيمة تضبط على القيمة K_T

q : النسبة المئوية من الوقت المطلوبة

تحسب:

$Y_{\pi}(q)$: مساهمة المسيرات التروبو سفيرية المتعددة عند النسبة المئوية من الوقت q ، بوحدات dB

الخطوة 6: يتم الجمع بين تأثير كل من التغيرات طويل الأجل والمسيرات التروبوسفيرية المتعددة للحصول على مساهمة التغيرات الإجمالي، $Y_{total}(q)$ ، باستخدام القيم المحسوبة من قبل $Y_e(q)$ و $Y_e(0,50)$ و $Y_{\pi}(q)$ و $Y_{\pi}(0,50)$. والقيمة المتوسطة للمسيرات التروبوسفيرية المتعددة تكون $0 = Y_{\pi}(0,50)$.

$$(184) \quad Y_{total}(0.50) = Y_e(0.50) + Y_{\pi}(0.50)$$

$$(185) \quad Y = [(Y_e(q) - Y_e(0.50))^2 + (Y_{\pi}(q) - Y_{\pi}(0.50))^2]^{0.5}$$

$$(186) \quad Y_{total} = \begin{cases} Y_{total}(0.50) + Y, & q < 0.50 \\ Y_{total}(0.50) - Y, & q \geq 0.50 \end{cases} \quad (\text{dB})$$

وتنهي هذه الخطوة هذا القسم.

17 التغيرات طويل الأجل

يوضح هذا القسم الخطوات المتبعة لحساب التوزيع الإحصائي للتغيرات طويل الأجل للنسبة المئوية المطلوبة من الوقت، q . ويستخدم التغيرات طويل الأجل مسافة فعلية مقيسة، d_e ، على نصف قطر فعلي للأرض يبلغ 9 000 km (يقابل $N_s = 329$ وحدة N). ويعتمد هذا القسم على معلمات إحصائية تستند إلى بيانات قياس تجريبية طويلة الأجل.

حيث:

$h_{1,2}$: ارتفاعا المطرافين، بالكيلومتر

q : النسبة المئوية من الوقت المطلوبة. متغير خاص بدخل النموذج

f : التردد، بالوحدات MHz

d : مسافة المسير المطلوبة، بالكيلومتر

$f_{\theta h}$: معلمة حسبت من قبل

A_T : الخسارة المتنبأ بها الناجمة عن نموذج خط البصر أو نموذج الانعراج أو نموذج الانتشار التروبوسفيري (حسبت

من قبل)، بوحدات dB

تحسب:

$Y_e(q)$: خسارة التغير طويل الأجل، بوحدات dB.

ملاحظة: دالة مقلوب التوزيع العادي التراكمي التكميلي، $Q^{-1}(q)$ ، تستخدم في عدة مواضع في هذا القسم. وترد في التوصية ITU-R P.1057 تقنية لتقريب قيمتها لطريقة الخطوة خطوة هذه.

الخطوة 1: تحسب مسافتنا أفق الأرض المستوية عبر تتبع الشعاع لكل مطراف. يُفترض تحديد خط الأفق الخاص بكل مطراف بالمتغير $d_{Lq1,2}$. ويستخدم القسم 4 كالتالي:

حيث:

$h_{1,2}$: ارتفاعا المطرفين، بالكيلومتر

N_s : انكسارية السطح وتبلغ 329 وحدة N

تحسب:

$d_{Lq1,2}$: مسافة القوس (أفق الأرض المستوية)، بالكيلومتر.

الخطوة 2: تحسب المسافة d_e ، المسافة الفعلية بين المطرفين بالكيلومتر.

$$(187) \quad d_{qs} = 60(100/f)^{1/3} \quad (\text{km})$$

$$(188) \quad d_{Lq} = d_{Lq1} + d_{Lq2} \quad (\text{km})$$

$$(189) \quad d_q = d_{Lq} + d_{qs} \quad (\text{km})$$

$$(190) \quad d_e = \begin{cases} (130 d)/d_q, & d \leq d_q \\ 130 + d - d_q, & d > d_q \end{cases} \quad (\text{km})$$

الخطوة 3: يحسب $g_{0,9}$ و $g_{0,1}$.

$$(191) \quad g_{0,1} = \begin{cases} 0.21 \sin(5.22 \log_{10}(f/200)) + 1.28, & f \leq 1600 \\ 1.05, & f > 1600 \end{cases}$$

$$(192) \quad g_{0,9} = f(x) = \begin{cases} 0.18 \sin(5.22 \log_{10}(f/200)) + 1.23, & f \leq 1600 \\ 1.05, & f > 1600 \end{cases}$$

الخطوة 4: تحسب $V(0,5)$ و $Y_0(0,1)$ و $Y_0(0,9)$ باستخدام المعادلات أدناه والقيم الأخوذة من الجدول 3.

الجدول 3

قيم لحساب معادلات التغير طويل الأجل

$Y_0(0,9)$	$Y_0(0,1)$	$V(0,5)$	
2,93e-4	5,25e-4	1,59e-5	c_1
3,75e-8	1,57e-6	1,56e-11	c_2
1,02e-7	4,70e-7	2,77e-8	c_3
2,00	1,97	2,32	n_1
2,88	2,31	4,08	n_2
3,15	2,90	3,25	n_3
3,2	5,4	0,0	f_∞
8,2	10,0	3,9	f_m

$$(193) \quad f_2 = f_\infty + (f_m - f_\infty) \exp(-c_2 d_e^{n_2})$$

$$(194) \quad \left. \begin{matrix} V(0.5) \\ Y_0(0.1) \\ Y_0(0.9) \end{matrix} \right\} = [c_1 d_e^{n_1} - f_2] \exp(-c_3 d_e^{n_3}) + f_2 \quad (\text{dB})$$

الخطوة 5: تحسب $Y_e(q)$ ، التغيرات المرتبط بخصو القدرة طويل الأجل (ساعة بساعة)، استناداً إلى النسبة المئوية من الوقت المطلوبة، q .
إذا كانت $q = 0,50$ ، فإن:

$$(195) \quad Y_q = V(0.5) \quad (\text{dB})$$

وإذا كانت $q > 0,50$ ، فإن:

$$(196) \quad z_{0.9} = Q^{-1}(0.9)$$

$$(197) \quad z_q = Q^{-1}(q)$$

$$(198) \quad c_q = z_q / z_{0.9}$$

$$(199) \quad Y = c_q (-Y_0(0.9) * g_{0.9}) \quad (\text{dB})$$

$$(200) \quad Y_q = Y + V(0.5) \quad (\text{dB})$$

وإذا كانت $q < 0,50$ ، تتخذ خطوات إضافية. وإذا كانت $q \geq 0,10$ ، فإن:

$$(201) \quad z_{0.1} = Q^{-1}(0.1)$$

$$(202) \quad z_q = Q^{-1}(q)$$

$$(203) \quad c_q = z_q / z_{0.1}$$

$$(204) \quad (\text{dB}) Y = c_q (Y_0(0.1) * g_{0.1})$$

$$(205) \quad (\text{dB}) Y_q = Y + V(0.5)$$

وخلاف ذلك، أي $0,01 \leq q < 0,10$ ، تستخدم قيم الجدول 4 من أجل الاستكمال الداخلي الخطي للمتغير c_q من المتغير q . وتطبق بعد ذلك المعادلتان (204) و(205) للحصول على Y_q .

الجدول 4

قيم الاحتمال المنخفض للمتغير c_q

c_q	q
1,000 0	0,10
1,326 5	0,05
1,716 6	0,02
1,950 7	0,01

الخطوة 6: تحسب $Y_{0,10}$ ، التغيرات المرتبط بخصو القدرة طويل الأجل (كل ساعة) للقيمة $q = 0,10$.

$$(206) \quad Y_{0.10} = (Y_0(0.1) * g_{0.1}) + V(0.5) \quad (\text{dB})$$

الخطوة 7: تحسب $Y_{el}(q)$ و $Y_{el}(0.1)$.

$$(207) \quad Y_{el}(q) = f_{\theta h} Y_q \quad (\text{dB})$$

$$(208) \quad Y_{el}(0.1) = f_{\theta h} Y_{0.10} \quad (\text{dB})$$

الخطوة 8: تحسب A_Y ، التي تستخدم لمنع القيم المتاحة لقدرة الإشارة من تجاوز المستويات المتوقعة للانتشار في الفضاء الحر بمقادير غير واقعية عندما يكون التغير حول القيمة المتوسطة كبيراً وقريباً من مستوياته في الفضاء الحر.

$$(209) \quad A_{YI} = Y_{eI}(0.1) - A_T - 3 \quad (\text{dB})$$

$$(210) \quad A_Y = \max(A_{YI}, 0) \quad (\text{dB})$$

الخطوة 9: إذا كانت $q \geq 0,10$ ، تحسب خسارة التغير الإجمالي، وهو ما ينهي هذا القسم. وخلاف ذلك، يتم الانتقال إلى الخطوة 10 ومواصلة الحسابات.

$$(211) \quad Y_e(q) = Y_{eI}(q) - A_Y \quad (\text{dB})$$

الخطوة 10: لقيم النسبة المئوية من الوقت الأقل من 10% ($q < 0,10$)، قد يلزم تطبيق تصحيح إضافي. وتحسب قيمة Y_{temp} .

$$(212) \quad Y_{temp} = Y_{eI}(q) - A_Y - A_T \quad (\text{dB})$$

الخطوة 11: يستخدم الجدول 5 لإجراء الاستكمال الداخلي الخطي للمتغير c_{Yq} من المتغير q .

الجدول 5

قيم تصحيح الاحتمال المنخفض

c_{Yq}	q
0,00	0,10
3,70-	0,05
4,50-	0,02
5,00-	0,01

الخطوة 12: تحسب خسارة التغير الإجمالي.

$$(213) \quad Y_e(q) = \begin{cases} -c_{Yq} + A_T, & Y_{temp} > -c_{Yq} \\ Y_{temp} + A_T, & \text{else} \end{cases}$$

وبذلك ينتهي قسم التغير طويل الأجل.

18 المسيرات التروبوسفيرية المتعددة

يشرح هذا القسم كيفية حساب مساهمة المسيرات التروبوسفيرية المتعددة في التغير الإجمالي.

حيث:

K : معلمة دخل

q : النسبة المئوية من الوقت المطلوبة

تحسب:

$Y_{\pi}(q)$: التغير للنسبة q ، بوحدات dB.

ويستخدم هذا القسم بيانات جدولية لتوزيع ناكاجامي-رايس. ويعرض الجدول 6 البيانات للنسبة $q < 0,50$ بينما يعرض الجدول 7

البيانات للنسبة $q > 0,50$. بالنسبة لجميع القيم التي تكون فيها النسبة $q > 0,50$ ، فإن التغير $Y_{\pi}(q) = 0 \text{ dB}$.

الجدول 6

قيم النسب المتوية المنخفضة من الوقت من أجل توزيع ناكاغامي-رايس

$Y_{\pi}(0, 40)$	$Y_{\pi}(0, 30)$	$Y_{\pi}(0, 20)$	$Y_{\pi}(0, 15)$	$Y_{\pi}(0, 10)$	$Y_{\pi}(0, 05)$	$Y_{\pi}(0, 02)$	$Y_{\pi}(0, 01)$	K
0,0155-	0,0321-	0,0516-	0,0634-	0,1784-	0,1004-	0,1252-	0,1417-	40-
0,0852-	0,1764-	0,2855-	0,3487-	0,4312-	0,5496-	0,6811-	0,7676-	25-
0,1484-	0,3076-	0,5003-	0,6072-	0,7508-	0,9524-	1,1738-	1,3184-	20-
0,1878-	0,3888-	0,6240-	0,7609-	0,9332-	1,1846-	1,4508-	1,6264-	18-
0,2335-	0,4835-	0,7760-	0,9441-	1,1558-	1,4573-	1,7847-	1,9963-	16-
0,2893-	0,5989-	0,9613-	1,1664-	1,4247-	1,7896-	2,1829-	2,4355-	14-
0,3565-	0,7381-	1,1846-	1,4329-	1,7455-	2,1831-	2,6507-	2,9491-	12-
0,4363-	0,9032-	1,4495-	1,7471-	2,1218-	2,6408-	3,1902-	3,5384-	10-
0,5287-	1,0945-	1,7566-	2,1091-	2,5528-	3,1602-	3,7975-	4,1980-	8-
0,6324-	1,3092-	2,1011-	2,5127-	3,0307-	3,7313-	4,4591-	4,9132-	6-
0,7434-	1,5390-	2,4699-	2,9421-	3,5366-	4,3315-	5,1494-	5,6559-	4-
0,7434-	1,5390-	2,8363-	3,3234-	3,9366-	4,9219-	5,8252-	6,3811-	2-
0,9505-	1,9678-	3,1580-	3,7425-	4,4782-	5,4449-	6,8861-	7,0246-	0
1,0211-	2,1139-	3,3926-	4,0196-	4,8088-	5,8423-	6,8861-	7,5228-	2
1,0630-	2,2007-	3,5218-	4,1879-	5,0137-	6,0956-	7,1873-	7,8525-	4
1,0845-	2,2451-	3,6032-	4,2762-	5,1233-	6,2354-	7,3588-	8,1435-	6
1,1011-	2,2795-	3,6584-	4,3470-	5,2137-	6,3565-	7,5154-	8,2238-	20

الجدول 7

قيم النسب المتوية المرتفعة من الوقت من أجل توزيع ناكاغامي-رايس

$Y_{\pi}(0, 99)$	$Y_{\pi}(0, 98)$	$Y_{\pi}(0, 95)$	$Y_{\pi}(0, 90)$	$Y_{\pi}(0, 85)$	$Y_{\pi}(0, 80)$	$Y_{\pi}(0, 70)$	$Y_{\pi}(0, 60)$	K
0,1440	0,1270	0,1016	0,0790	0,0639	0,0518	0,0323	0,0156	40-
0,8421	0,7391	0,5868	0,4538	0,3670	0,2953	0,1857	0,0897	25-
1,5544	1,3572	1,0696	0,8218	0,6646	0,5309	0,3363	0,1624	20-
2,0014	1,7416	1,3660	1,0453	0,8373	0,6722	0,4188	0,2023	18-
2,5931	2,2463	1,7506	1,3326	1,0647	0,8519	0,5308	0,2564	16-
3,3872	2,9156	2,2526	1,7028	1,3558	1,0802	0,6730	0,3251	14-
4,4715	3,8143	2,9119	2,1808	1,7289	1,3698	0,8535	0,4123	12-
5,9833	5,0372	3,7820	2,7975	2,2053	1,7348	1,0809	0,5221	10-
8,1418	6,7171	4,9287	3,5861	2,3535	2,1887	1,3638	0,6587	8-
11,0972	8,9732	6,4059	4,5714	3,5494	2,7374	1,7057	0,8239	6-
14,2546	11,5185	8,1216	5,7101	4,4009	3,3610	2,0942	1,0115	4-
16,4258	13,4690	9,6278	6,7874	4,6052	3,9770	2,0942	1,1969	2-
18,0527	14,5401	10,5553	7,5267	5,8105	4,4471	2,7709	1,3384	0
18,0527	15,0271	11,0005	8,0074	6,1724	4,7145	2,9376	1,4189	2
18,3573	15,2273	11,1876	8,0732	6,2705	4,8385	3,0149	1,4563	4
18,3361	15,3046	11,2606	8,1386	6,9508	6,0071	3,7430	1,8080	6
18,3864	15,3541	11,3076	8,1814	6,3652	4,9224	3,0672	1,4815	20

الخطوة 1: يجرى باستخدام الجدولية 6 و7 الاستكمال الداخلي الخطي من أجل تحديد التغير $Y_{\pi}(q)$ للقيم المطلوبة لكل من K و q . يرجى العلم بأن $Y_{\pi}(0) = 0$.
وبذلك ينتهي هذا القسم.

الملحق 3

النتائج التجريبية

أجريت اختبارات انتشار عند التردد 930 MHz لمسيرات من الجو إلى الأرض في اليابان في نوفمبر 1982 وأبريل ويونيو 1983. وطبقاً لنتائج الاختبارات فإن خسارات الانتشار داخل مسيرات خط البصر اتفقت بصورة جيدة مع القيم في الفضاء الحر. وقد كانت مسافة خط البصر كما تم حسابها مع المعطيات المقيسة على ارتفاع 10 000 m، أقصر من المسافة المعتبرة في منحنيات الملحق 3 (قيد الانتظار).