

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R P.528-5
(2021/09)

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

السلسلة P

انتشار الموجات الراديوية

تمهيد

يوظف 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 لمدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها. ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية ووظائفه 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، 2022

© ITU 2022

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.528-5،**

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

(2021-2019-2012-1986-1982-1978)

مجال التطبيق

تحتوي هذه التوصية على طريقة للتنبؤ بخسارة الإرسال الأساسية في مدى التردد 100 MHz-30 GHz لخدمات الطيران. 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، والاستقطاب، 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(95). ويتطلب هذا الحساب البيانات الإضافية التالية للإشارات المطلوبة وغير المطلوبة على حد سواء: القدرة المرسلة، 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 المتريية 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 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 أُنقال موازنة، وإلا ينبغي أن يتضمن التحليل مخطط إشعاع رأسي اتجاهي يناسب مخطط إشعاع الهوائي.

* ترفع هذه التوصية إلى علم لجنة الدراسات 5.

** أجرت لجنة الدراسات 3 تعديلات صياغية على هذه التوصية في 2022 طبقاً للقرار ITU-R 1.

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. وعند إجراء هذه الحسابات، استخدمت أرض ملساء (معلمة التضاريس $0 = \Delta h$) بمتوسط جو مرجعي عالمي سنوي. ويعتمد النموذج الجوي على التقسيم الطبقي الأفقي الأسي للجو يجري من خلاله تتبع الشعاع لحساب انحناء الأشعة بسبب التغيرات في الانكسارية. وكذلك استخدمت ثوابت للاستقطاب الأفقي على الأرض الوسطية والهوائيات المتناحية وإحصائيات عن خبو القدرة على المدى الطويل للأجواء القارية المعتدلة. وبالرغم من أن هذه المعلمة يمكن اعتبارها إما معقولة أو تصف أسوأ حال للكثير من الاستخدامات، فإنه ينبغي استخدام القيم المحسوبة بحذر 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 الفعلي للكرة الأرضية مع الوقت) وخصائص الهوائي (الاستقطاب والتوجيه ومخطط الكسب). مثل تلك المنحنيات غالباً ما تكون مضللة أكثر مما هي مفيدة، لأن البنية التفصيلية للفصوص تعتمد كثيراً على معلمة يصعب تحديدها بدقة كافية. مع ذلك، فقد أعطيت بنية الفصوص اعتباراً إحصائياً في حساب التغيرية.

ولأوقات التيسر غير 50% لا تزيد دائماً قيم خسارة الإرسال الأساسية L_b التي يولدها المستعمل مع المسافة. ويحدث هذا لأن الاختلافات في التغيرية مع المسافة يمكن أن تزيد أحياناً على اختلافات السوية الوسطية. وتحتوي التغيرية 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. وتستند إحصاءات خبو القدرة طويل الأجل إلى كمية كبيرة من البيانات التجريبية المجمعة على فترات ممتدة من المرات في مختلف المواقع والأشكال الهندسية للوصلات.

ويمكن استخدام قيم خسارة الإرسال الأساسية $L_b(5)$ 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 $L_b(50)$. أما قيم $L_b(95)$ 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 $R(95)$ كالتالي:

$$(1) \quad R(95) = R(50) + Y_R(95)$$

$$(2) \quad R(50) = [P_t + G_t + G_r - L_b(50)]_{Wanted} - [P_t + G_t + G_r - L_b(50)]_{Unwanted}$$

و:

$$(3) \quad Y_R = -\sqrt{[L_b(95) - L_b(50)]_{Wanted}^2 + [L_b(5) - L_b(50)]_{Unwanted}^2}$$

وفي المعادلة (2)، P_t هي القدرة المرسل، و G_t و G_r هما كسبا الهوائيين المتناحين للإرسال والاستقبال معبراً عنهما بالديسيل (dB).

ويمكن ضم تغييرات إضافية إلى المعادلة (3)، لمثل كسب الهوائي إذا أمكن تحديد التغييرات لها. إن استمرارية الخدمة (100%) من الوقت أو الاستفادة من قنوات في آن واحد، مضمن في صياغة المقدار $R(95)$ 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.528-5-202109-I!!ZIP](#) مع الوثائق. وإلى جانب ذلك، توجد قيم مختارة في جدول لخسارة الإرسال الأساسية في الملف المضغوط الإضافي.

الملحق 2

طريقة الخطوة بخطوة

يستخدم هذا الملحق اصطلاحات بحيث إن المتغيرات التي تصف المطراف المنخفض سُمِّت بالرمز "1" أسفل الحرف (أي أن علو المطراف المنخفض يكون h_{r1}) بينما سُمِّت المتغيرات الخاصة بالمطراف المرتفع بالرمز "2" أسفل الحرف (أي أن علو المطراف المرتفع يكون h_{r2}). بالإضافة إلى ذلك، تدل الحروف الأساسية لبعض المتغيرات على مراجعها:

- d ، مسافة الدائرة العظمى مقيسة على طول سطح الأرض؛
- r ، الطول الذي يقطعه الشعاع بين نقطتين في الفضاء؛
- h ، علو مقيس فوق متوسط مستوى سطح البحر؛
- z ، نصف قطر مقيس من مركز الأرض.

ولأغراض هذه التوصية، يشير متوسط نصف قطر الأرض ومتوسط مستوى سطح البحر إلى نفس السطح المرجعي.

1 مقدمة

يصف هذا الملحق طريقة خطوة بخطوة لحساب خسارة الإرسال الأساسية لمسير محدد من قبل المستعمل، يعرف بما يلي:

- علوا المطرافين h_{r1} و h_{r2} بالكيلومتر فوق متوسط مستوى سطح البحر، حيث $0.0015 \leq h_{r1,2} \leq 20$ (m 1,5) إلى (m 20 000)
- التردد، f ، بوحدة MHz، حيث $100 \geq f \geq 30\ 000$ MHz
- النسبة المتقوية من الوقت، p ، حيث $99 \geq p \geq 1$
- مسافة الدائرة العظمى، d ، بين مطرافين، بالكيلومتر
- رمز يشير إما إلى استقطاب خطي أفقي أو رأسي، T_{pol} .

وفي بعض سيناريوهات الطيران، تُعرف الأشكال الهندسية للوصلة بواسطة زاوية ارتفاع المطراف المنخفض إلى المطراف المرتفع (بدلاً من مسافة الدائرة العظمى بين المطرافين). وبالتالي، من المفيد تقديم المجموعة التالية من المعادلات للتحويل من زاوية الارتفاع في الفضاء الطلق θ_{elev} إلى مسافة الدائرة العظمى d ، لتسهيل استخدام هذه التوصية.

$$(4) \quad \phi = \arcsin\left(\frac{6371+h_{r1}}{6371+h_{r2}} \cos \theta_{elev}\right) \quad (\text{rad})$$

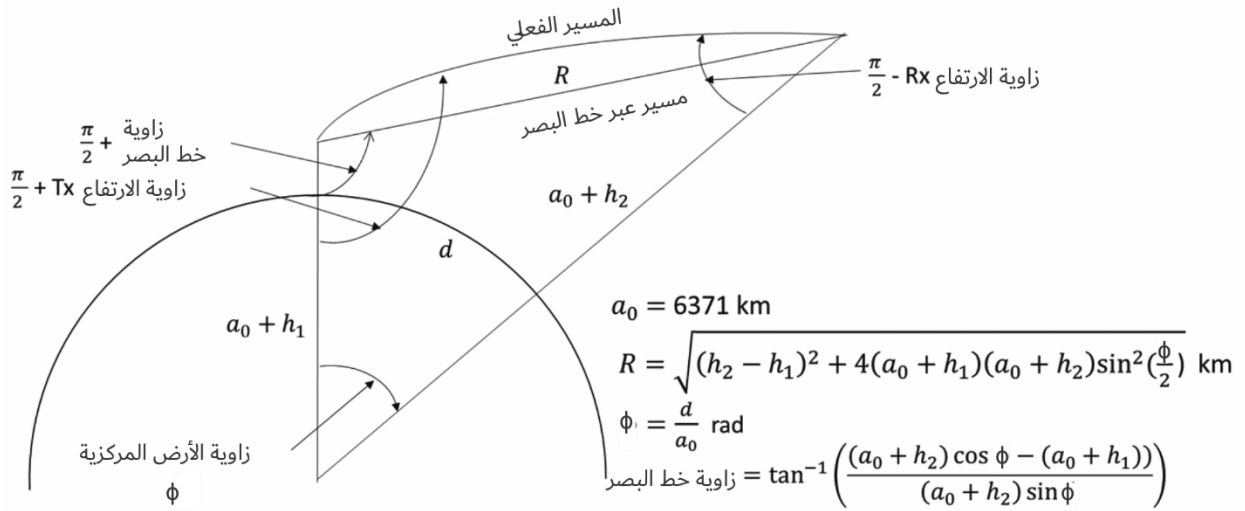
$$(5) \quad \theta_{ca} = \frac{\pi}{2} - \theta_{elev} - \phi \quad (\text{rad})$$

$$(6) \quad d = 6371\theta_{ca} \quad (\text{km})$$

ويبين الشكل 1 العلاقة بين مختلف المعلمات المستخدمة في هذه التوصية.

الشكل 1

العلاقة بين مختلف المعلمات في وصلة جو-أرض



P.0528-01

علماً بأن مؤثرات انحناء الأشعة على المسير الفعلي قد ضُخمت لأغراض الإيضاح.

2 افتراضات وتعريفات واصطلاحات

تفترض التوصية ITU-R P.528 القيم التالية:

a_0 : نصف القطر المتوسط للأرض. يضبط على 6 371 km

a_e : نصف القطر الفعلي للأرض. يضبط على 9 257 km

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

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

3 طريقة الخطوة خطوة

الخطوة 1-3: تحسب المعلمات 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 2-3. وتستخدم الفقرة 4 كالتالي:

بافتراض:

$h_{r1,2}$: علو المطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

f : التردد بوحدة MHz؛

تحسب:

$d_{r1,2}$: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛

$\theta_{r1,2}$: زاوية ورود شعاع المماس من أفق الأرض المستوية للمطرف، بالتقويم الدائري؛

$h_{e1,2}$: العلو الفعلي للمطرف، بالكيلومتر؛

$\Delta h_{1,2}$: حد تصحيح علو المطرف، بالكيلومتر؛

$A_{a1,2}$: خسارة الامتصاص الجوي الوسطى للشعاع من المطرف إلى أفق الأرض المستوية لديه، بوحدة dB؛

$r_{1,2}$: طول مسير الشعاع من المطرف إلى أفق الأرض المستوية لديه، بالكيلومتر.

الخطوة 2-3: تحدد مسافة خط البصر القصوى، d_{ML} ، بين المطرفين.

$$(7) \quad d_{ML} = d_{r1} + d_{r2} \quad (\text{km})$$

الخطوة 3-3: يتم نمذجة انعراج الأرض المستوية خطياً في هذه التوصية. 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 1.3-3: تحسب المسافتين d_3 و d_4 اللتان تبعدان كثيراً عن مسافة خط البصر القصوى، d_{ML} ، من المعادلة (7).

$$(8) \quad d_3 = d_{ML} + 0.5(a_e^2/f)^{1/3} \quad (\text{km})$$

$$(9) \quad d_4 = d_{ML} + 1.5(a_e^2/f)^{1/3} \quad (\text{km})$$

الخطوة 2.3-3: تحسب خسارتا الانعراج A_{d3} و A_{d4} عند المسافتين المقابلتين d_3 و d_4 . وسيطلب ذلك استعمال الفقرة 10 مرتين - مرة لكل مسافة، $d_{3,4}$. وبعد الحساب يتم الانتقال إلى الخطوة 3.3-3. وتستخدم الطريقة الواردة في الفقرة 10 كالتالي: حيث:

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

$d_{r1,2}$: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطرفين، h_1 و h_2 ، بالكيلومتر على نحو ما تحدد في الخطوة 1-3 أعلاه؛

f : التردد، بوحدة MHz؛

T_{pol} : معلمة تشير إما إلى استقطاب خطي أفقي أو رأسي؛

تحسب:

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

الخطوة 3.3-3: يرسم خط انعراج الأرض المستوية من المسافتين d_3 و d_4 ، وخسارة الانعراج الخاصة بهما، A_{d3} ، A_{d4} ، بحساب الميل، M_d ، والقاطع A_{d0} .

$$(10) \quad M_d = (A_{d4} - A_{d3}) / (d_4 - d_3) \quad (\text{dB/km})$$

$$(11) \quad A_{d0} = A_{d4} - M_d d_4 \quad (\text{dB})$$

الخطوة 4.3-3: تحسب خسارة الانعراج عند المسافة d_{ML} والمسافة d_{ML} .

$$(12) \quad A_{dML} = M_d d_{ML} + A_{d0} \quad (\text{dB/km})$$

الخطوة 5.3-3: تحسب المسافة d_d ، والتي يعطي عندها نموذج الانعراج قمية خسارة متنبأ بها تساوي 0 dB.

$$(13) \quad d_d = -(A_{d0} / M_d) \quad (\text{km})$$

الخطوة 4-3: 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 5-3. وخلاف ذلك، يكون المسير عابراً للأفق ويتم الانتقال إلى الخطوات من 6-3 إلى 12-3.

الخطوة 5-3: يتم الرجوع إلى الفقرة 6 من أجل حسابات منطقة خط البصر.

الخطوة 3-6: 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. وبما أن نموذج الانتشار التروبوسفيري غير خطي، تضمن العملية المتكررة التالية أن الانتقال بين النموذجين يحدث بدون انقطاع.

الخطوة 3-1.6: دعنا نفترض أن المسافتين d' و d'' هما المسافتان المتكررتان للاختبار وتكون قيمتها الابتدائية:

$$(14) \quad d' = d_{ML} + 3 \quad (\text{km})$$

$$(15) \quad d'' = d_{ML} + 2 \quad (\text{km})$$

الخطوة 3-2.6: تحسب خسارة الانتشار التروبوسفيري A'_s و A''_s عند المسافتين d' و d'' على التوالي. ويتطلب ذلك استعمال الخطوات المعروضة في الفقرة 11 لكلتا المسافتين d' و d'' . وتستخدم الفقرة 11 كالتالي:
بحيث تكون:

d : تمثل المسافة المطلوبة d' و d'' ، بالكيلومتر؛

$d_{r1,2}$: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛

f : التردد بوحدات MHz؛

$h_{e1,2}$: العلو الفعلي للمطراف، بالكيلومتر.

وتحسب:

A_s : خسارة الانتشار التروبوسفيري المقابلة للمسافتين d' و d'' بوحدات dB.

الخطوة 3-3.6: يحسب الميل، M_s ، للخط الذي يضم نقطتي الانتشار التروبوسفيري (d', A'_s) و (d'', A''_s) من الخطوة 3-2.6. وهذا الخط متماس تقريباً مع نموذج الانتشار التروبوسفيري عند المسافة d' .

$$(16) \quad M_s = \frac{A'_s - A''_s}{d' - d''} \quad (\text{dB/km})$$

الخطوة 3-4.6: قارن بين الميل M_s وميل خط الانعراج، M_d ، من المعادلة (10). فإذا كان $M_s > M_d$ ، تزداد المسافتان d' و d'' بمقدار 1 km وتم العودة إلى الخطوة 3-2.6 لمواصلة التكرار. وخلاف ذلك، يتم الانتقال إلى الخطوة 3-5.6.

الخطوة 3-5.6: لا تصلح نتائج نموذج الانتشار التروبوسفيري إذا كانت أقل من 20 dB. وإذا كانت خسارة A'_s أو A''_s أقل من 20 dB، تزداد كلتا المسافتين d' و d'' بمقدار 1 km وبالعودة إلى الخطوة 3-2.6 يتواصل التكرار. عدا ذلك، يُنتقل إلى الخطوة 3-6.6.

الخطوة 3-6.6: عندما تكون $M_s \leq M_d$ ، فإن المسافة d' تمثل المسافة التقريبية بحيث تكون:

الحالة 1: ضمان أن يقطع نموذج الانعراج نموذج الانتشار التروبوسفيري عند مسافة أكبر من أو تساوي d' تقريباً بفعل سلوك النموذج الفرعي. وخسارة الانتشار في المنطقة العابرة للأفق تكون متسقة فيزيائياً.

الحالة 2: يوازي خط الانعراج المماس لنموذج الانتشار التروبوسفيري. وبالتالي، قد لا تكون خسارة الانتشار 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'' .

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

إذا كانت $A''_s \geq A''_d$ ، تكون الحالة 1 في الخطوة 3-6.6 هي الحقيقة وتنتقل الحسابات إلى الخطوة 3-7. وخلاف ذلك، يلزم ضبط ميل خط الانعراج على نقطة التماس d' ، بما يضمن الاتساق الفيزيائي لنموذج الانتشار عبر الأفق. ويجرى الضبط

إحدى نهايتي خط الانعراج عند النقطة $(d_{ML}, A_{d_{ML}})$ والنهاية الأخرى عند (d'', A_s'') ، ثم يعاد حساب خط انعراج الأرض المستوية الجديد.

$$(18) \quad M_d = \frac{A_s'' - A_{d_{ML}}}{d'' - d_{ML}} \quad (\text{dB/km})$$

$$(19) \quad A_{d0} = A_s' - M_d d' \quad (\text{dB})$$

وعند هذه النقطة، تكون المنطقة العابرة للأفق متسقة فيزيائياً. ويتم الانتقال إلى الخطوة 3-7.

الخطوة 3-7: 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 3-6.

الخطوة 3-1.7: تحسب خسارة انعراج الأرض المستوية المنتبأ بها، A_d ، لمسافة المسير d .

$$(20) \quad A_d = M_d d + A_{d0} \quad (\text{dB})$$

الخطوة 3-2.7: تحسب خسارة الانتثار التروبوسفيري، A_s ، لمسافة المسير d . وتستعمل الفقرة 7 كالتالي:

حيث:

d : مسافة الدائرة العظمى، d ، بين مطرافين، بالكيلومتر؛

$d_{r1,2}$: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛

f : التردد بوحدات MHz؛

$h_{e1,2}$: العلو الفعلي للمطراف، بالكيلومتر؛

تحسب:

A_s : خسارة الانتثار التروبوسفيري بوحدات dB؛

h_v : علو الحجم المشترك، بالكيلومتر؛

θ_s : زاوية الانتثار، بالتقويم الدائري.

الخطوة 3-3.7: تختار قيمة الخسارة تبعاً لما يلي:

إذا كانت $d < d'$ (حيث تنشأ d' من التكرار النهائي في الخطوة 3-6)، فإنه:

$$(21) \quad A_T = A_d \quad (\text{dB})$$

وإلا ذلك، فتبعاً لأي من الحالتين 1 أو 2 هي الحالة الحقيقية في الخطوة 3-6.6:

$$(22) \quad A_T = \begin{cases} \text{Min}(A_d, A_s), & \text{Case 1 is TRUE} \\ A_s, & \text{Case 2 is TRUE} \end{cases} \quad (\text{dB})$$

الخطوة 3-8: يُستخدم تتبع الشعاع، على النحو المعرف في الفقرة 5، لتحديد ما يلي:

حيث:

h_v : علو الحجم المشترك، بالكيلومتر، من الخطوة 3-2.7؛

f : التردد بوحدات MHz؛

تحسب:

A_{av} : خسارة الامتصاص الجوي الوسطى لمسير الشعاع من الأفق إلى الحجم المشترك، بوحدة dB؛

r_v : طول مسير الشعاع من الأفق إلى الحجم المشترك، بالكيلومتر.

الخطوة 9-3: يحسب إجمالي خسارة الامتصاص الجوي الوسطي، A_a ، بوحدة dB، للمسير باستعمال النتائج من الخطوة 1-3 والخطوة 8-3:

$$(23) \quad A_a = A_{a1} + A_{a2} + 2A_{av} \quad (\text{dB})$$

الخطوة 10-3: تحسب الخسارة في الفضاء الطلق، A_{fs} ، بوحدة dB، للمسير:

$$(24) \quad r_{fs} = r_1 + r_2 + 2r_v \quad (\text{km})$$

$$(25) \quad A_{fs} = 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} r_{fs} + 32.45 \quad (\text{dB})$$

الخطوة 11-3: تحسب خسارة التغيرات طويل الأجل $Y(p)$ للنسبة المئوية p . وتستخدم الفقرة 12، ثم يتم الانتقال إلى الخطوة 3-12.

حيث:

$h_{r1,2}$: علوا المطرافين فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

d : مسافة مسار الدائرة العظمى، d ، بين مطرافين، بالكيلومتر؛

f : التردد، بوحدة MHz؛

p : النسبة المئوية للوقت؛

A_T : الخسارة من الخطوة 3-3.7، بوحدة dB؛

θ_s : زاوية الانتثار من الخطوة 3-2.7، بالتقويم الدائري؛

تحسب:

$Y(p)$: خسارة التغيرات طويل الأجل، $Y_{total}(p)$ ، بوحدة dB.

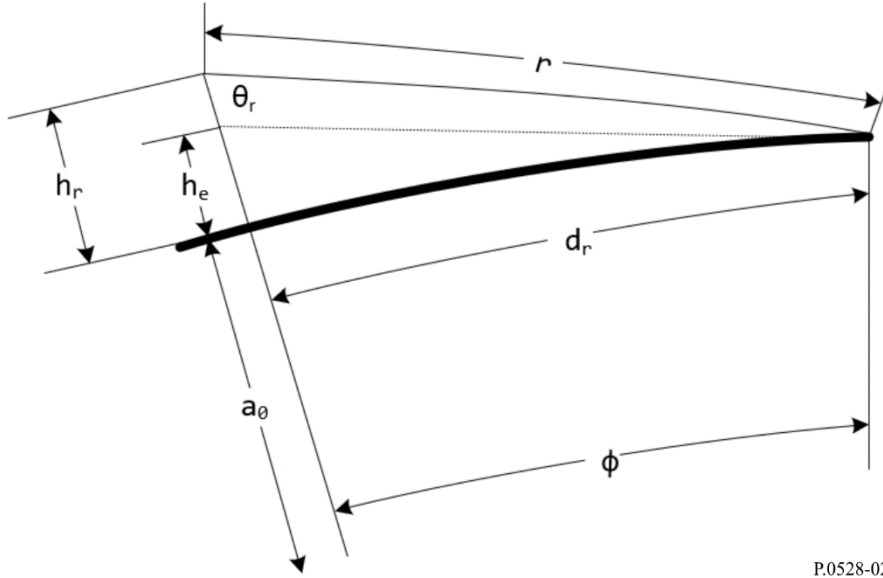
الخطوة 12-3: تحسب خسارة الإرسال الأساسية، L_b ، بوحدة dB.

$$(26) \quad L_b = A_{fs} + A_a + A_T + Y(p) \quad (\text{dB})$$

وهنا، ينتهي الإجراء خطوة خطوة في مسير عبر الأفق للمعلومات المحددة كمدخلات من المستعمل.

الشكل 2

الشكل الهندسي للمطاريف



تحسب في هذا القسم المعلومات التالية المرتبطة بأي مطاريف، على النحو الظاهر في الشكل 2.
حيث:

h_r : علو المطاريف فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

f : التردد، بوحدة MHz؛

تحسب:

d_r : مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطاريف، بالكيلومتر؛

θ_r : زاوية ورود شعاع المماس من أفق الأرض المستوية للمطاريف، بالتقويم الدائري؛

h_e : العلو الفعلي للمطاريف، بالكيلومتر؛

Δh : حد تصحيح علو المطاريف، بالكيلومتر؛

A_a : خسارة الامتصاص الجوي الوسطي للشعاع من المطاريف إلى أفق الأرض المستوية لديه، بوحدة dB؛

r : طول مسير الشعاع من المطاريف إلى أفق الأرض المستوية لديه، بالكيلومتر.

الخطوة 1-4: يستخدم تتبع الشعاع، على النحو المحدد في الفقرة 5، لتحديد ما يلي:

حيث:

h_r : علو المطاريف فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

f : التردد، بوحدة MHz؛

تحسب:

- d_r : مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛
 θ_r : زاوية ورود شعاع المماس من أفق الأرض المستوية للمطراف، بالتقويم الدائري؛
 A_a : خسارة الامتصاص الجوي الوسطي للشعاع من المطراف إلى أفق الأرض المستوية لديه، بوحدة dB؛
 r : طول مسير الشعاع من المطراف إلى أفق الأرض المستوية لديه، بالكيلومتر.

الخطوة 2-4: يحسب العلو الفعلي للمطراف، h_e ، بالكيلومتر.

$$(27) \quad \phi = d_r/a_e \quad (\text{rad})$$

$$(28) \quad h_e = \frac{a_e}{\cos \phi} - a_e \quad (\text{km})$$

الخطوة 3-4: يحسب حد تصحيح علو المطراف، Δh .

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

وهنا ينتهي القسم الخاص بحساب معلمات المطاريف.

5 تتبع الشعاع

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

وتستخدم هذه التوصية تقنيات تتبع الأشعة معرّفة في الملحق 1 بالتوصية ITU R P.676-12 لحساب مسير شعاع عبر الغلاف الجوي. والغلاف الجوي هو متوسط الغلاف الجوي المرجعي العالمي السنوي المعرّف في التوصية ITU-R P.835-6.

وحيث:

h_r : علو المطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

f : التردد، بوحدة MHz؛

تحسب:

- d_r : مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛
 θ_r : زاوية ورود شعاع المماس من أفق الأرض المستوية للمطراف، بالتقويم الدائري؛
 A_a : خسارة الامتصاص الجوي الوسطي للشعاع من المطراف إلى أفق الأرض المستوية لديه، بوحدة dB؛
 r : طول مسير الشعاع من المطراف إلى أفق الأرض المستوية لديه، بالكيلومتر (أسند إليه الرمز a في التوصية ITU-R P.676-12)؛

τ : زاوية الانحناء لمسير الشعاع (يرمز إليها باعتبارها الانحناء في التوصية ITU-R P.676-12).

الخطوة 1-5: باستعمال الملحق 1 بالتوصية ITU R P.676-12، يُتبع شعاع المماس ($\beta = \pi/2$) من سطح الأرض إلى علو المطراف، h_r .

وأثناء عملية تتبع الشعاع، تحسب زاوية الانحناء الكلية للشعاع τ (المشار إليها باعتبارها الانحناء في التوصية ITU-R P.676-12) والامتصاص الجوي لمسير الشعاع، A_a ، وطول مسير الشعاع، r (المشار إليه بالرمز a في التوصية ITU-R P.676-12).

الخطوة 2-5: تحسب زاوية الورد، θ_r ، للشعاع عند المطراف وتنتج الخطوة 1-5 زاوية نهائية، α_i ، بالنسبة إلى السمات.

$$(30) \quad \theta_r = \frac{\pi}{2} - \alpha_i \quad (\text{rad})$$

الخطوة 3-5: تحسب مسافة الدائرة العظمى عبر سطح الأرض بين المطراف وأفق الأرض المستوية لديه باستخدام الزاوية المركزية ϕ .

$$(31) \quad \phi = \theta_r + \tau \quad (\text{rad})$$

$$(32) \quad d_r = \phi a_0 \quad (\text{km})$$

وبهذه الخطوة ينتهي القسم الخاص بتتبع الشعاع.

6 منطقة خط البصر

يصف هذا القسم خطوات حساب خسارة الانتشار لمسير على خط البصر.

وحيث:

d_{ML} : مسافة خط البصر القسوى، بالكيلومتر، من المعادلة (7)؛

d_d : المسافة التي يعطي عندها نموذج الانعراج قيمة خسارة متنبأ بها تساوي 0 dB، بالكيلومتر، من المعادلة (13)؛

$h_{e1,2}$: علو المطاريف الفعلي، بالكيلومتر؛

$d_{r1,2}$: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛

f : التردد، بوحدات MHz؛

A_{dML} : خسارة الانعراج عن المسافة d_{ML} ، بوحدات dB، من المعادلة (12)؛

p : النسبة المئوية من الوقت؛

d : مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين، بالكيلومتر؛

تحسب:

L_b : خسارة الإرسال الأساسية، بوحدات dB؛

K : قيمة تستخدم في حسابات التغيرات اللاحقة.

الخطوة 1-6: تحسب طول الموجة، λ .

$$(33) \quad \lambda = 0.2997925/f \quad (\text{km})$$

الخطوة 2-6: تحدد الزاوية ψ_{limit} ، وهي الزاوية العاكسة المقابلة للمسافة التي تتحقق عندها معادلة $\Delta r = \lambda/2$ ، حيث Δr هو الفرق في طول الشعاع بين الشعاع المباشر والشعاع غير المباشر. لتحديد الزاوية ψ_{limit} ، يطبق أسلوب بصريات الأشعة الوارد وصفه في الفقرة 7 بطريقة تكرارية لإجراء بحث اثيني عن قيمة الزاوية ψ_{limit} . ونحدد قيمة الزاوية ψ_{limit} استناداً إلى العلاقة القائمة على أن الزيادة في الزاوية ψ تنتج زيادة في Δr ، وتُستعمل الفقرة 7 على النحو التالي:

بوجود المعطيات التالية:

ψ : زاوية انعكاس الشعاع، بالتقويم الدائري؛

$h_{r1,2}$: علوا المطرافين فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

$\Delta h_{1,2}$: حدود تصحيح علو المطراف، بالكيلومتر؛

تحسب:

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

d : مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين المقابلة لزاوية انعكاس ψ ، بالكيلومتر.

الخطوة 3-6: تحديد المسافة $d_{\lambda/6}$ وهي المسافة التي يكون فيها الفرق في أطوال المسير بين الموجة المباشرة والموجة المنعكسة $\lambda/6$ بالأمتار، وكما في الخطوة 2-6، تحدّد هذه المسافة بتطبيق أسلوب بصريات الأشعة، الموصوف في الفقرة 7، بطريقة متكررة لإجراء بحث اثني عن الزاوية ψ وتستخدم الفقرة 7 على النحو التالي:

بوجود المعطيات التالية:

ψ : زاوية انعكاس الشعاع، بالتقويم الدائري؛

$h_{r1,2}$: علوا المطرافين فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

$\Delta h_{1,2}$: حدود تصحيح علو المطراف، بالكيلومتر؛

تحسب:

$d_{\lambda/6}$: مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين المقابلة لزاوية انعكاس ψ ، بالكيلومتر.

الخطوة 4-6: تحسب المسافة d_0 بالكيلومتر.

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

$$(34) \quad d_o = \begin{cases} d_1, & d > d_{\lambda/6} \text{ or } d_{\lambda/6} > d_{ML} \\ d_{\lambda/6}, & \text{else} \end{cases} \quad (\text{km})$$

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

$$(35) \quad d_o = \begin{cases} d_{\lambda/6}, & d_a < d_{\lambda/6} \text{ and } d_{\lambda/6} < d_{ML} \\ d_a, & \text{else} \end{cases} \quad (\text{km})$$

الخطوة 5-6: والقيمة الحالية للمسافة d_0 يمكن أن تكون تقريباً غير دقيقة لبعض المسيرات. ولتوليفها، تحول المسافة بشكل تكراري إلى زاوية انعكاس ψ باستخدام الخطوة 3-6 وتحسب المعلمات 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 المعلمات البصرية للشعاع كقيمة للمسافة d_0 . وخلاف ذلك تتم زيادة المسافة بمقدار متر واحد وتعاد طريقة حساب المعلمات البصرية للشعاع.

الخطوة 6-6: تحسب خسارة خط البصر عند المسافة d_0 . تطبق أولاً القسم 7 تارة أخرى لتحديد قيمة زاوية الانعكاس ψ_{d_0} . ويستخدم بعد ذلك القسم 8 لتحديد الخسارة، A_{d_0} .

الخطوة 7-6: تحول المسافة المطلوبة d إلى زاوية انعكاسها المقابلة ψ بتطبيق القسم 7 بطريقة متكررة. ويفترض أن المسافة الناتجة النهائية عن حسابات المعلمات البصرية للشعاع تسمى d_{r0} .

الخطوة 8-6: يستخدم القسمان 7 و 8 لحساب خسارة خط البصر. ويتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 6-11. ويستخدم القسمان 7 و 8 كالتالي:

بوجود المعطيات التالية:

ψ : زاوية انعكاس الشعاع، بالتقويم الدائري؛

$h_{r1,2}$: العُلوان الفعليان للمطرافين فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

$\Delta h_{1,2}$: حدود تصحيح علو المطراف، بالكيلومتر؛

تحسب:

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

d : مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين المقابلة لزاوية انعكاس ψ ، بالكيلومتر.

الخطوة 9-6: تحسب خسارة الامتصاص الجوي الوسطى، A_a ، للمسير بتطبيق الملحق 1 بالتوصية ITU-R P.676. ويُتبع الشعاع الممتد من المطراف المنخفض إلى المطراف العالي باستعمال θ_{h1} بوصفها زاوية الارتفاع (علماً بأن مرجعية الزاوية θ_{h1} هي المستوى الأفقي للمطراف، في حين أن مرجعيتها في التوصية ITU-R P.676 هي السمات). وتؤخذ الزاوية θ_{h1} من المعادلة (53) المحسوبة خلال الخطوة 8-6. وأثناء تتبع الشعاع أيضاً، يحسب أيضاً الطول الإجمالي للشعاع، r_{LOS} ، بالكيلومتر.

الخطوة 10-6: تحسب الخسارة في الفضاء الطلق، A_{fs} ، بوحدة dB.

$$(36) \quad A_{fs} = 20 \log_{10} r_{LOS} + 20 \log_{10} f + 32.45 \quad (\text{dB})$$

الخطوة 11-6: تحسب مساهمة التغير في الخسارة الكلية، ويُستخدم القسم 13 لحساب الخسارة Y_{total} ، ثم تُتبع الخطوة 12-6، على النحو التالي:

بوجود المعطيات التالية:

$h_{r1,2}$: العُلوان الفعليان للمطرافين فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

d : مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين، بالكيلومتر؛

f : التردد، بوحدة MHz؛

p : النسبة المئوية من الوقت؛

تحسب:

$Y(p)$: خسارة التغير طويل الأجل، بوحدة dB.

الخطوة 12-6: تحسب خسارة الإرسال الأساسية.

$$(37) \quad A = A_{fs} + A_a + A_{LOS} + Y(p) \quad (\text{dB})$$

الخطوة 13-6: تمثل الإحصاءات المرتبطة بالتغير في التوصية ITU-R P.528 التغيرات المتوقعة في مستوى الإشارة بمرور الوقت. ويمكن التعامل مع هذه الإحصاءات باعتبارها مستقلة عن الإحصاءات المتعلقة بالخسارة الناجمة عن الجلبة على النحو الموضح في التوصية ITU-R P.2108. ولذلك، إذا وقع طرف واحد من الوصلة ضمن الجلبة الاصطناعية، على النحو الموضح والمطلوب في التوصية ITU-R P.2108، يمكن الجمع بين أسلوب الخسارة الناجمة عن الجلبة وما يقابلها من التوزيع الإحصائي لخسارة الإشارة الموضح في الفقرة 3.3 من التوصية ITU-R P.2108 وبين النتائج الإحصائية للتوصية ITU-R P.528.

وإذا كانت الخسائر الناتجة عن الجلبة مرغوبة، تحسب قيمة L_{ces} على النحو الموضح في الفقرة 3.3 من التوصية ITU-R P.2108 باستخدام قيمة الزاوية θ_{h1} (من المعادلة (53)) كزاوية الارتفاع، ويمكن عندئذ إضافة الخسارة L_{ces} الناتجة إلى نتيجة المعادلة (37). وهنا، ينتهي الإجراء خطوة خطوة للمعلومات المحددة كمدخلات من المستعمل في مسير خط البصر.

7 المعلومات البصرية لشعاع خط البصر

يوضح هذا القسم كيفية حساب معلومات المسير الهندسية لمطرافين ضمن مسافة خط البصر لكل منهما باستخدام المعلومات البصرية للشعاع والمدخلات في هذا القسم هي:

ψ : زاوية انعكاس الشعاع، بالتقويم الدائري؛

$h_{r1,2}$: علوا المطرافين فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

$\Delta h_{1,2}$: حد تصحيح علو المطراف، بالكيلومتر؛

ومخرجات هذا القسم هي:

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

d : مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين المقابلة لزاوية الانعكاس ψ ، بالكيلومتر.

الخطوة 1-7: بحسب نصف قطر الأرض المعدل، a_a :

$$(38) \quad z = (a_0/a_e) - 1$$

$$(39) \quad k_a = 1/(1 + z \cos \psi)$$

$$(40) \quad a_a = a_0 k_a \quad (\text{km})$$

الخطوة 2-7: بحسب حد تصحيح علو المطراف المعدل من الأرض، $\Delta h_{a1,2}$.

$$(41) \quad \Delta h_{a1,2} = \Delta h_{1,2} (a_a - a_0)/(a_e - a_0) \quad (\text{km})$$

الخطوة 3-7: بحسب العلو، $H_{1,2}$.

$$(42) \quad H_{1,2} = h_{r1,2} - \Delta h_{a1,2} \quad (\text{km})$$

الخطوة 4-7: تحسب المعلمات الهندسية للمطرافين، $H'_{1,2}$ و $D_{1,2}$ و $\theta_{1,2}$ و $z_{1,2}$.

$$(43) \quad z_{1,2} = a_a + H_{1,2} \quad (\text{km})$$

$$(44) \quad \theta_{1,2} = \arccos(a_a \cos \psi / z_{1,2}) - \psi \quad (\text{rad})$$

$$(45) \quad D_{1,2} = z_{1,2} \sin \theta_{1,2} \quad (\text{km})$$

$$(46) \quad H'_{1,2} = \begin{cases} H_{1,2}, & \psi > 1.56 \\ D_{1,2} \tan \psi, & \psi \leq 1.56 \end{cases} \quad (\text{km})$$

الخطوة 5-7: تحسب Δz ، الفارق في شعاعي المطرافين.

$$(47) \quad \Delta z = |z_1 - z_2| \quad (\text{km})$$

الخطوة 6-7: تحسب مسافة المسيرين المطرافين المقابلة لزاوية الانعكاس ψ .

$$(48) \quad d = \max(a_a(\theta_1 + \theta_2), 0) \quad (\text{km})$$

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

$$(49) \quad \alpha = \arctan((H'_2 - H'_1)/(D_1 + D_2)) \quad (\text{rad})$$

$$(50) \quad r_0 = \max(\Delta z, (D_1 + D_2)/\cos \alpha) \quad (\text{km})$$

$$(51) \quad r_{12} = (D_1 + D_2)/\cos \psi \quad (\text{km})$$

الخطوة 8-7: بحسب الفارق في الطول بين الشعاعين.

$$(52) \quad \Delta r = 4 H'_1 H'_2 / (r_0 + r_{12}) \quad (\text{km})$$

الخطوة 9-7: تحسب الزاويتان $\theta_{h1,2}$.

$$(53) \quad \theta_{h1} = \alpha - \theta_1 \quad (\text{rad})$$

$$(54) \quad \theta_{h2} = -(\alpha + \theta_2) \quad (\text{rad})$$

وبذلك ينتهي هذا القسم.

8 حسابات خسارة خط البصر

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

حيث:

d : المسافة المطلوبة للمسير، بالكيلومتر؛

ψ : زاوية انعكاس الشعاع، بالتقويم الدائري؛

d_0 : مسافة المسير التي تبدأ عندها تأثير الانعراج على منطقة خط البصر، بالكيلومتر (من الخطوة 5-6)؛

f : التردد، بالوحدات MHz؛

تُحسب:

A_{LOS} : خسارة خط البصر، بوحدات dB.

الخطوة 1-8: إذا كانت مسافة المسير d أكبر من d_0 ، فإن المسير يقع ضمن منطقة خلط انعراج خط البصر، وتحدد الخسارة A_{LOS} باستخدام المعادلة (55) ويُستكمل هذا القسم. وخلاف ذلك، تكون $d \leq d_0$ ، ويتم الانتقال إلى الخطوة 2-8.

$$(55) \quad A_{LOS} = ((d - d_0)(A_{dML} - A_{d0}) / (d_{ML} - d_0)) + A_{d0} \quad (\text{dB})$$

الخطوة 2-8: تُستعمل زاوية الانعكاس ψ_{limit} من الخطوة 2-6، وإذا كانت زاوية الانعكاس $\psi > \psi_{limit}$ ، تُحدد الخسارة A_{LOS} بالمقدار 0 dB ويُستكمل هذا القسم حيث إن التوصية ITU-R P.528 لم تتناول نموذج الشعاعين داخل هذه المنطقة. وخلاف ذلك تكون $\psi \leq \psi_{limit}$ ، ويتم الانتقال إلى الخطوة 3-8.

الخطوة 3-8: طول المسير d ، على أساس أن التوصية ITU-R P.528 تستخدم نموذج الشعاعين بحسب طول الموجه، λ .

$$(56) \quad \lambda = 0.2997925 / f \quad (\text{dB})$$

الخطوة 4-8: بحسب معاملات الانعكاس المركبان R_g و ϕ_g باستخدام القسم 9.

الخطوة 5-8: عامل التباعد D_v ، يأخذ في الاعتبار أن الانعكاس من سطح منحني مستوى للأرض يكون أقل كفاءة من الأرض غير المنحنية. وبحسب عامل التباعد للمسير، باستعمال $D_{1,2}$ من المعادلة (45).

$$(57) \quad r_{1,2} = D_{1,2} / \cos \psi \quad (\text{km})$$

$$(58) \quad R_r = (r_1 r_2) / r_{1,2} \quad (\text{km})$$

$$(59) \quad D_v = \left[1 + \frac{2R_r(1 + \sin^2 \psi)}{a_a \sin \psi} + \left(\frac{2R_r}{a_a} \right)^2 \right]^{-1/2}$$

الخطوة 6-8: عامل طول الشعاع، F_r ، يأخذ في الاعتبار العوامل الهندسية التي يكون فيها الشعاع المباشر ذا مطال أكبر بكثير (ومسافة أقصر) من الشعاع غير المباشر، بحيث يقابل الوضع الذي يكون فيه المطرفان عاليين وقريبين من بعضهما في حالة وجودهما على طائرتين. بحسب العامل F_r مع r_{12} من المعادلة (51).

$$(60) \quad F_r = \min(r_0 / r_{12}, 1)$$

الخطوة 7-8: بحسب معاملات الانعكاس الفعليان R_{Tg} و ϕ_{Tg} .

$$(61) \quad R_{Tg} = R_g D_v F_r$$

$$(62) \quad \phi_{Tg} = (2 \pi \Delta r / \lambda) + \phi_g$$

الخطوة 8-8: تُحسب الخسارة، A_{LOS} .

$$(63) \quad R = R_{Tg} \cos \phi_{Tg} - R_{Tg} \sin \phi_{Tg}$$

$$(64) \quad W_{RL} = \min(|1 + R|, 1)$$

$$(65) \quad W_{R0} = W_{RL}^2$$

$$(66) \quad A_{LOS} = 10 \log_{10} W_{R0}$$

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؛

T_{pol} : رمز يشير إما إلى استقطاب خطي أفقي أو رأسي؛

يحسب:

R_g : الجزء الحقيقي من معامل الانعكاس؛

ϕ_g : الجزء التخيلي من معامل الانعكاس.

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

الخطوة 1-9: تحسب القيم التالية،

$$(67) \quad X = 18\,000 \sigma / f$$

$$(68) \quad Y = \epsilon_r - \cos^2 \psi$$

$$(69) \quad T = [Y^2 + X^2]^{0.5} + Y$$

$$(70) \quad P = (0.5T)^{0.5}$$

$$(71) \quad Q = X/2P$$

الخطوة 2-9: تحسب B و A استناداً إلى معلمة الاستقطاب، T_{pol} ،

$$(72) \quad B = \begin{cases} 1/(P^2 + Q^2), & \text{horizontal} \\ (\epsilon^2 + X^2)/(P^2 + Q^2), & \text{vertical} \end{cases}$$

$$(73) \quad A = \begin{cases} 2P/(P^2 + Q^2), & \text{horizontal} \\ (2(P\epsilon + QX))/(P^2 + Q^2), & \text{vertical} \end{cases}$$

الخطوة 3-9: يحسب الجزآن الحقيقي والتخيلي لمعامل الانعكاس.

$$(74) \quad R_g = \left[\frac{(1 + B \sin^2 \psi) - A \sin \psi}{(1 + B \sin^2 \psi) + A \sin \psi} \right]^{0.5}$$

$$(75) \quad \alpha = \begin{cases} \arctan 2(-Q, \sin \psi - P), & \text{horizontal} \\ \arctan 2((\epsilon \sin \psi) - Q, \epsilon \sin \psi - P), & \text{vertical} \end{cases}$$

$$(76) \quad \beta = \begin{cases} \arctan 2(Q, \sin \psi + P), & \text{horizontal} \\ \arctan 2((X \sin \psi) + Q, \epsilon \sin \psi + P), & \text{vertical} \end{cases}$$

$$(77) \quad \phi_g = \alpha - \beta$$

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" بإيصالية تساوي 0,005 S/m (σ) وقيمة لثابت العزل النسبي تساوي 15 (ϵ_r).

حيث:

d_0 : مسافة المسير المطلوبة، بالكيلومتر؛

$d_{r1,2}$: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطرف، بالكيلومتر؛

f : التردد، بوحدة MHz؛

T_{pol} : رمز يشير إما إلى استقطاب خطي أفقي أو رأسي؛

تحسب:

A_d : خسارة انعراج الأرض المستوية، بوحدة dB.

و يحسب انعراج الأرض المستوية باستخدام المعادلة (78):

$$(78) \quad A_d = G(x_0) - F(x_1) - F(x_2) - 20 \quad (\text{dB})$$

الخطوة 1-10: يحسب الحد K ، وفقاً لمعلمة الاستقطاب، T_{pol} .

$$(79) \quad s = 18\,000 \sigma / f$$

$$(80) \quad K = \begin{cases} 0.01778 f^{-1/3} [(\epsilon_r - 1)^2 + s^2]^{-1/4}, & \text{horizontal} \\ 0.01778 f^{-1/3} \left[\frac{\epsilon_r^2 + s^2}{\sqrt{(\epsilon_r - 1)^2 + s^2}} \right]^{1/2}, & \text{vertical} \end{cases}$$

الخطوة 2-10: تحسب المسافات المقیسة.

$$(81) \quad x_{0,1,2} = (1.607 - K) f^{1/3} d_{0,1,2} \quad (\text{km})$$

الخطوة 3-10: يحسب الحد الذي يعتمد على المسافة لجميع المسافات المقیسة الثلاث.

$$(82) \quad G(x_{0,1,2}) = 0.05751 x_{0,1,2} - 10 \log_{10} x_{0,1,2} \quad (\text{dB})$$

الخطوة 4-10: يحسب الحد $y_{1,2}$.

$$(83) \quad y_{1,2} = 40 \log_{10} x_{1,2} - 117 \quad (\text{dB})$$

الخطوة 5-10: تحسب دالتا العلوين.

إذا كانت $x_{1,2} \geq 2\,000 \text{ km}$:

$$(84) \quad F(x_{1,2}) = G(x_{1,2}) \quad (\text{dB})$$

وإذا كانت $200 < x_{1,2} < 2\,000 \text{ km}$:

$$(85) \quad W_{1,2} = 0.0134 x_{1,2} e^{(-0.005 x_{1,2})}$$

$$(86) \quad F(x_{1,2}) = W_{1,2} y_{1,2} + (1 - W_{1,2}) G(x_{1,2}) \quad (\text{dB})$$

وإذا كانت، $x \leq 200$.

$$(87) \quad x_t = 450 / -(\log_{10} K)^3 \quad (\text{km})$$

$$(88) \quad F(x_{1,2}) = \begin{cases} \{ y_{1,2}, \text{abs}(y_{1,2}) < 117 \\ -117, \text{Else} \end{cases}, x_{1,2} \geq x_t \quad (\text{dB}) \\ 20 \log K - 15 + (0.000025 x_{1,2}^2 / K), x_{1,2} \leq x_t$$

الخطوة 6-10: بعد حساب الدالتين $G(x_0)$ و $F(x_{1,2})$ ، تستخدم المعادلة (78) 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. ويحسب الانتثار التروبوسفيري باستخدام المعادلة (89) والموضحة أدناه.

$$(89) \quad A_s = S_e + S_v + 10 \log_{10}(\kappa \theta_s^3 / \ell) \quad (\text{dB})$$

حيث:

$d_{r1,2}$: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطرف، بالكيلومتر؛

$h_{e1,2}$: علوا المطرفين الفعليين، بالكيلومتر؛

f : التردد، بوحدة MHz؛

d : مسافة المسير المطلوبة، بالكيلومتر؛

تحسب:

A_s : خسارة الانتثار التروبوسفيري، بوحدة dB؛

h_v : علو الحجم المشترك، بالكيلومتر؛

θ_s : زاوية الانتثار، بالتقويم الدائري.

الخطوة 1-11: تحسب مسافة الانتثار، d_s ، بالكيلومتر.

$$(90) \quad d_s = d - d_{r1} - d_{r2} \quad (\text{km})$$

الخطوة 2-11: إذا كانت $d_s = 0$ ، لا يوجد حجم مشترك في هندسة المسير وبالتالي، لا يدعم الانتثار عبر الانتثار التروبوسفيري. تضبط النتائج أدناه ويُنتقل إلى الخطوة 3-3.7 في القسم 3. وإذا كانت $d_s > 0$ ، ثم مواصلة الحساب بالخطوة 3-11.

$$(91) \quad A_s = 0 \quad (\text{dB})$$

$$(92) \quad h_v = 0 \quad (\text{km})$$

$$(93) \quad \theta_s = 0 \quad (\text{rad})$$

الخطوة 3-11: مسافة قوس الأرض المستوية من كل شعاع مماس للمطرف إلى مركز الحجم المشترك، d_z :

$$(94) \quad d_z = 0.5d_s \quad (\text{km})$$

الخطوة 4-11: تحسب معلمات التدرج الجوي:

$$(95) \quad A_m = 1/a_0$$

$$(96) \quad dN = A_m - 1/a_e$$

$$(97) \quad \Gamma_e = N_s \times 10^{-6} / dN$$

الخطوة 5-11: تستخدم المعادلات التالية لتحديد المعلمات الهندسية المرتبطة بالانتشار التروبوسفيري، بما في ذلك علو حجم المشترك، h_v ، بالكيلومتر، وميل لحل شعاع من الشعاعين عند زاوية العبور، θ_A ، بالتقويم الدائري.

$$(98) \quad z_a = \frac{1}{2a_e} \left(\frac{d_z}{2} \right)^2 \quad (\text{km})$$

$$(99) \quad z_b = \frac{1}{2a_e} (d_z)^2 \quad (\text{km})$$

$$(100) \quad Q_o = A_m - dN$$

$$(101) \quad Q_{a,b} = A_m - dN * e^{-z_{a,b}/\gamma_e}$$

$$(102) \quad z'_a = (7Q_o + 6Q_a - Q_b) \frac{d_z^2}{96} \quad (\text{km})$$

$$(103) \quad z'_b = (Q_o + 2Q_a) \frac{d_z^2}{6} \quad (\text{km})$$

$$(104) \quad Q_{A,B} = A_m - dN * e^{-z'_{a,b}/\gamma_e}$$

$$(105) \quad h_v = (Q_o + 2Q_A) \frac{d_z^2}{6} \quad (\text{km})$$

$$(106) \quad \theta_A = (Q_o + 4Q_A + Q_B) \frac{d_z}{6} \quad (\text{rad})$$

$$(107) \quad \theta_s = 2 \theta_A \quad (\text{rad})$$

الخطوة 6-11: يحسب حد حجم الانتثار، S_e .

$$(108) \quad \epsilon_1 = (5.67 \times 10^{-6}) N_s^2 - 0.00232 N_s + 0.031$$

$$(109) \quad \epsilon_2 = 0.0002 N_s^2 - 0.06 N_s + 6.6$$

$$(110) \quad \gamma = 0.1424 \left(1 + \frac{\epsilon_1}{\exp[(h_v/4)^6]} \right)$$

$$(111) \quad S_e = 83.1 - \frac{\epsilon_2}{1+0.07716h_v^2} + 20 \log_{10} [(0.1424/\gamma)^2 e^{\gamma h_v}] \quad (\text{dB})$$

الخطوة 7-11: يحسب حد حجم الانتثار، S_V .

$$(112) \quad X_{A1,2} = h_{1,2}^2 + 4(a_e + h_{1,2})a_e \sin^2 \left(\frac{d_{1,2}}{2a_e} \right)$$

$$(113) \quad \ell_{1,2} = \sqrt{X_{A1,2}} + d_z \quad (\text{km})$$

$$(114) \quad \ell = \ell_1 + \ell_2 \quad (\text{km})$$

$$(115) \quad s = \frac{\ell_1 - \ell_2}{\ell}$$

$$(116) \quad \eta = \gamma \theta_s \ell / 2$$

$$(117) \quad \kappa = f / 0.0477$$

$$(118) \quad \rho_{1,2} = 2 \kappa \theta_s h_{1,2} \quad (\text{km})$$

$$(119) \quad S_V = 10 \log_{10} \left(\frac{(A\eta^2 + B_S \eta) q_1 q_2}{\rho_1^2 \rho_2^2} + C_S \right) \quad (\text{dB})$$

حيث:

$$(120) \quad X_{v1} = (1 + s)^2 \eta$$

$$(121) \quad X_{v2} = (1 - s)^2 \eta$$

$$(122) \quad q_1 = X_{v1}^2 + \rho_1^2$$

$$(123) \quad q_2 = X_{v2}^2 + \rho_2^2$$

$$(124) \quad A = (1 - s^2)^2$$

$$(125) \quad B_S = 6 + 8s^2 + (8(1 - s)X_{v1}^2\rho_1^2)/q_1^2 + (8(1 + s)X_{v2}^2\rho_2^2)/q_2^2 + 2(1 - s^2)(1 + 2X_{v1}^2/q_1)(1 + 2X_{v2}^2/q_2)$$

$$(126) \quad C_S = 12 \left(\frac{\rho_1 + \sqrt{2}}{\rho_1} \right)^2 \left(\frac{\rho_2 + \sqrt{2}}{\rho_2} \right)^2 \left(\frac{\rho_1 + \rho_2}{\rho_1 + \rho_2 + 2\sqrt{2}} \right)$$

الخطوة 8-11: تحسب خسارة الانتثار التروبوسفيري باستخدام المعادلة (89).

وهذه هي نهاية هذا القسم.

12 التغير الإجمالي للمسيرات العابرة للأفق

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

حيث:

$h_{r1,2}$: علوا المطرافين فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

p : النسبة المئوية من الوقت؛

f : التردد، بالوحدات MHz؛

d : مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين، بالكيلومتر؛

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

θ_s : زاوية الانتثار، بالتقويم الدائري؛

تحسب:

$Y_{total}(p)$: خسارة التغير الإجمالية، بوحدات dB.

الخطوة 1-12: تحسب مساهمة التغير طويل الأجل للنسبة المئوية من الوقت p ، باستخدام القسم 14. ويتم بعد ذلك الانتقال إلى الخطوة 2-12. ويستخدم القسم 14 كالتالي:

حيث:

$h_{r1,2}$: علوا المطرافين فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

d : مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين، بالكيلومتر؛

$d_{r1,2}$: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛

f : التردد، بالوحدات MHz؛

p : النسبة المئوية من الوقت؛

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

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

تحسب:

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

الخطوة 2-12: لكي يتم الجمع بشكل سليم بين تأثير كل من التغير طويل الأجل والمسيرات التروبوسفيرية المتعددة، وكل منهما في صورة توزيع، يلزم وجود القيمة المتوسطة لتوزيع التغير طويل الأجل. وتحسب مساهمة التغير طويل الأجل لنسبة مئوية من الوقت تساوي 50 باستخدام القسم 14. ثم يتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 3-12. وتستخدم القسم 14 كالتالي:

حيث:

 $h_{r1,2}$: علو المطرافين فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛ d : مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين، بالكيلومتر؛ $d_{r1,2}$: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛ f : التردد، بالوحدات MHz؛50: النسبة المئوية المتوسطة من الوقت ($p = 50$)؛ $f_{\theta h}$: تضبط على القيمة $1 = f_{\theta h}$ ؛ A_T : الخسارة المتنبأ بها الناجمة عن الانعراج أو الانتثار التروبوسفيري، بوحدات dB؛

تحسب:

 $Y_e(50)$: خسارة التغير طويل الأجل، بوحدات dB.

الخطوة 3-12: 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 4-12. ويستخدم القسم 6 كالتالي:

حيث:

 d_{ML} : مسافة خط البصر القصوى، بالكيلومتر؛

d_a : المسافة التي يعطي عندها نموذج الانعراج قيمة خسارة متنبأ بها تساوي 0 dB، بالكيلومتر، من المعادلة (13)؛

 $h_{r1,2}$: علو المطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛ $d_{r1,2}$: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛ f : التردد، بوحدات MHz؛ A_{dML} : خسارة الانعراج عند المسافة d_{ML} ، بوحدات dB؛ p : النسبة المئوية من الوقت؛ d : مسافة المسير المطلوبة؛

تحسب:

 A : خسارة الإرسال الأساسية، بوحدات dB؛ K_{LOS} : قيمة تستخدم في حسابات التغير اللاحقة.

الخطوة 4-12: تحسب القيمة K_t التي تستخدم لتحديد تأثيرات المسيرات التروبوسفيرية المتعددة. نفترض أن $\theta_{1,5} = 0,02617993878$ بالتقويم الدائري (1,5 درجة).

$$(127) \quad K_t = \begin{cases} 20, & \theta_s \geq \theta_{1,5} \\ K_{LOS}, & \theta_s \leq 0 \\ (\theta_s(20 - K_{LOS})/\theta_{1,5}) + K_{LOS}, & 0 < \theta_s < \theta_{1,5} \end{cases}$$

الخطوة 5-12: تحسب مساهمة المسيرات التروبوسفيرية المتعددة للنسبة المئوية من الوقت p باستخدام القسم 15. ثم يتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 6-12. ويستخدم القسم 15 كالتالي:

حيث:

$$K_t: \text{القيمة } K_{LOS}$$

$$p: \text{النسبة المئوية من الوقت}$$

تحسب:

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

الخطوة 6-12: الجمع بين تأثير كل من التغيرات طويل الأجل والمسيرات التروبوسفيرية المتعددة للحصول على مساهمة التغير الإجمالي، $Y_{total}(p)$ ، باستخدام القيم التي تم حسابها من قبل $Y_e(p)$ و $Y_e(50)$ و $Y_{\pi}(p)$ والقيمة المتوسطة للمسيرات المتعددة التروبوسفيرية تكون $Y_{\pi}(50) = 0$.

$$(128) \quad Y_{total}(50) = Y_e(50) + Y_{\pi}(50)$$

$$(129) \quad Y = [(Y_e(p) - Y_e(50))^2 + (Y_{\pi}(p) - Y_{\pi}(50))^2]^{0.5}$$

$$(130) \quad Y_{total} = \begin{cases} Y_{total}(50) + Y, & p < 50 \\ Y_{total}(50) - Y, & p \geq 50 \end{cases} \quad (\text{dB})$$

وبذلك ينتهي هذا القسم.

13 التغيرات الإجمالي لمسيرات خط البصر

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

حيث:

$$h_{r1,2}: \text{علو المطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛}$$

$$p: \text{النسبة المئوية من الوقت؛}$$

$$f: \text{التردد، بالوحدات MHz؛}$$

$$d: \text{مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين، بالكيلومتر؛}$$

$$A_{LOS}: \text{الخسارة المتنبأ بها، بوحدة dB؛}$$

$$\theta_s: \text{زاوية الانتثار، بالتقويم الدائري؛}$$

$$f_{\theta h}: \text{قيمة دخل؛}$$

تحسب:

$$Y_{total}(p): \text{خسارة التغيرات الإجمالي، بوحدة dB.}$$

الخطوة 1-13: تحسب القيمة $f_{\theta h}$ باستخدام القيمة θ_{h1} من حسابات الملاحظات البصرية للشعاع التي أجريت قبل ذلك.

$$(131) \quad f_{\theta h} = \begin{cases} 1, & \theta_{h1} \leq 0 \\ 0, & \theta_{h1} \geq 1 \\ \max(0.5 - (1/\pi) \arctan(20 \log_{10}(32 \theta_{h1})), 0), & \text{else} \end{cases}$$

الخطوة 2-13: تحسب مساهمة التغيرات طويل الأجل للنسبة المئوية من الوقت، p ، باستخدام القسم 14. ويتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 3-13. ويستخدم القسم 14 كالتالي:

حيث:

$$\begin{aligned} h_{r1,2} &: \text{علو المطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛} \\ d &: \text{مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين، بالكيلومتر؛} \\ d_{r1,2} &: \text{مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛} \\ f &: \text{التردد، بالوحدات MHz؛} \\ p &: \text{النسبة المئوية من الوقت؛} \\ f_{\theta h} &: \text{قيمة دخل لهذا القسم؛} \\ A_{LOS} &: \text{الخسارة المتنبأ بها، بوحدات dB؛} \end{aligned}$$

تحسب:

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

الخطوة 3-13: 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 50 باستخدام القسم 14. ثم يتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 4-13. وتستخدم القسم 14 كالتالي:

حيث:

$$\begin{aligned} h_{r1,2} &: \text{علو المطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛} \\ d &: \text{مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين، بالكيلومتر؛} \\ d_{r1,2} &: \text{مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛} \\ f &: \text{التردد بالوحدات MHz؛} \\ 50 &: \text{النسبة المئوية المتوسطة من الوقت (} p = 50 \text{)؛} \\ f_{\theta h} &: \text{قيمة الادخال في هذا القسم؛} \\ A_{LOS} &: \text{الخسارة المتنبأ بها، بوحدات dB؛} \end{aligned}$$

تحسب:

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

الخطوة 4-13: تحسب القيمة التالية للمتغير K_{LOS} ، المستخدمة في تحديد تأثيرات المسيرات التروبوسفيرية المتعددة، باستعمال A_Y من المعادلة (166) و R_{Tg} من المعادلة (61) على النحو التالي:

$$(132) \quad F_{AY} = \begin{cases} 1, & A_Y \leq 0 \\ 0.1, & A_Y \geq 9 \\ ((1.1 + 0.9 \cos(\pi A_Y / 9)) / 2), & \text{else} \end{cases}$$

$$(133) \quad F_{\Delta r} = \begin{cases} 1, & \Delta r \geq \lambda / 2 \\ 0.1, & \Delta r \leq \lambda / 6 \\ 0.5[1.1 - 0.9 \cos((3\pi / \lambda) (\Delta r - \lambda / 6))], & \text{else} \end{cases}$$

$$(134) \quad R_s = R_{Tg} F_{\Delta r} F_{AY}$$

وتحسب قيمة $Y_{\pi}(99)$ ، كالتالي:

$$(135) \quad Y_{\pi}(99) = 10 \log_{10}(f r_{LOS}^3) - 84.26 \quad (\text{dB})$$

حيث r_{LOS} هو مسير طول الشعاع المحسوب أثناء تتبع الشعاع بين مطرائي خط البصر.

ثم يستخدم الجدول 5 للاستكمال الداخلي بقيمة K المقابلة لقيمة $Y_{\pi}(99)$ وتستخدم قيمة K تلك في حساب W_a كالتالي:

$$(136) \quad W_a = 10^{0.1K}$$

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

$$(137) \quad W_R = R_S^2 + 0.01^2$$

$$(138) \quad W = W_R + W_a$$

$$(139) \quad K_{LOS} = \begin{cases} 0, & W \leq 0 \\ 10 \log_{10} W, & W > 0 \end{cases}$$

الخطوة 5-13: تحسب مساهمة المسيرات التروبوسفيرية المتعددة للنسبة المئوية من الوقت p ، باستخدام القسم 15. ويتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 6-13. ويستخدم القسم 15 كالتالي:

حيث:

K : قيمة تضبط على القيمة K_{LOS} ؛

p : النسبة المئوية من الوقت؛

تحسب:

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

الخطوة 6-13: يتم الجمع بين تأثير كل من التغيرات طويل الأجل والمسيرات التروبوسفيرية المتعددة للحصول على مساهمة التغير الإجمالي، $Y_{total}(p)$ ، باستخدام القيم المحسوبة من قبل $Y_e(p)$ و $Y_e(50)$ و $Y_{\pi}(p)$ و $Y_{\pi}(50)$. والقيمة المتوسطة للمسيرات التروبوسفيرية المتعددة تكون $0 = Y_{\pi}(50)$.

$$(140) \quad Y_{total}(50) = Y_e(50) + Y_{\pi}(50)$$

$$(141) \quad Y = [(Y_e(p) - Y_e(50))^2 + (Y_{\pi}(p) - Y_{\pi}(50))^2]^{0.5}$$

$$(142) \quad Y_{total} = \begin{cases} Y_{total}(50) + Y, & p < 50 \\ Y_{total}(50) - Y, & p \geq 50 \end{cases} \quad (\text{dB})$$

وتستكمل هذه الخطوة هذا القسم.

14 التغير طويل الأجل

يوضح هذا القسم الخطوات المتبعة لحساب التوزيع الإحصائي للتغير طويل الأجل للنسبة المئوية المطلوبة من الوقت، p . ويستخدم التغير طويل الأجل مسافة فعلية مقيسة، d_e ، وهي دالة لمسافات المطراف في أفق الأرض المستوية ومسافة تعتمد على التردد¹. ويعتمد هذا القسم على معلمات إحصائية تستند إلى بيانات قياس تجريبية طويلة الأجل.

¹ اعتمد الأسلوب السابق لحساب إحصاءات التغير طويل الأجل التي على أرض فعالة ذات قيمة انكسارية سطحية قدرها 329 وحدة N. وقد أظهر الاستقصاء والاختبار أن استعمال المتوسط السنوي للظروف الجوية المرجعية العالمية في هذه القياسات المحسوبة يؤدي إلى نتائج شبه متماثلة وتقدم وصفاً أقرب إلى الوصف الفيزيائي للأساليب الجاري وصفها.

حيث:

- $h_{r1,2}$: علو المطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛
 $d_{r1,2}$: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛
 p : النسبة المئوية من الوقت؛
 f : التردد، بالوحدات MHz؛
 d : مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين، بالكيلومتر؛
 $f_{\theta h}$: قيمة ثابتة أو معلمة حسب من قبل، تتوقف على نوع المسير؛
 $A_{T,LOS}$: الخسارة المتنبأ بها الناجمة عن نموذج خط البصر أو نموذج الانعراج أو نماذج فرعية للانتشار التروبوسفيري (حسبت من قبل)، بوحدات dB؛

تحسب:

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

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. وتعرف الدالة $Q^{-1}(q)$ بحيث $q = p/100$.
الخطوة 1-14: تحسب المسافة d_e ، المسافة الفعلية بين المطرافين بالكيلومتر.

$$(143) \quad d_{qs} = 65(100/f)^{1/3} \quad (\text{km})$$

$$(144) \quad d_{Lq} = d_{r1} + d_{r2} \quad (\text{km})$$

$$(145) \quad d_q = d_{Lq} + d_{qs} \quad (\text{km})$$

$$(146) \quad d_e = \begin{cases} (130 d)/d_q, & d \leq d_q \\ 130 + d - d_q, & d > d_q \end{cases} \quad (\text{km})$$

الخطوة 2-14: يحسب g_{10} و g_{90} .

$$(147) \quad g_{10} = \begin{cases} 0.21 \sin(5.22 \log_{10}(f/200)) + 1.28, & f \leq 1600 \\ 1.05, & f > 1600 \end{cases}$$

$$(148) \quad g_{90} = f(x) = \begin{cases} 0.18 \sin(5.22 \log_{10}(f/200)) + 1.23, & f \leq 1600 \\ 1.05, & f > 1600 \end{cases}$$

الخطوة 3-14: تحسب $V(50)$ و $Y_0(10)$ و $Y_0(90)$ باستخدام المعادلات أدناه والقيم المأخوذة من الجدول 1.

الجدول 1

قيم لحساب معادلات التباير طويل الأجل

$Y_0(90)$	$Y_0(10)$	$V(50)$	
2,93e-4	5,25e-4	1,59e-5	c_1
3,78e-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

$$(149) \quad f_2 = f_\infty + (f_m - f_\infty) \exp(-c_2 d_e^{n_2})$$

$$(150) \quad \left. \begin{matrix} V(50) \\ Y_0(10) \\ Y_0(90) \end{matrix} \right\} = [c_1 d_e^{n_1} - f_2] \exp(-c_3 d_e^{n_3}) + f_2 \quad (\text{dB})$$

الخطوة 4-14: تحسب $Y_e(p)$ ، التغيرات المرتبط بنحو القدرة طويل الأجل (ساعة بساعة)، استناداً إلى النسبة المئوية من الوقت المطلوبة، p .
إذا كانت $p = 50$ ، فإن:

$$(151) \quad Y_p = V(50) \quad (\text{dB})$$

وإذا كانت $p > 50$ ، فإن:

$$(152) \quad z_{90} = Q^{-1}(90/100)$$

$$(153) \quad z_p = Q^{-1}(p/100)$$

$$(154) \quad c_p = z_p / z_{90}$$

$$(155) \quad Y = c_p(-Y_0(90)g_{90}) \quad (\text{dB})$$

$$(156) \quad Y_p = Y + V(50) \quad (\text{dB})$$

وإذا كانت $p < 50$ ، تتخذ خطوات إضافية. وإذا كانت $p \geq 10$ ، فإن:

$$(157) \quad z_{10} = Q^{-1}(10/100)$$

$$(158) \quad z_p = Q^{-1}(p/100)$$

$$(159) \quad c_p = z_p / z_{10}$$

$$(160) \quad Y = c_p(Y_0(10)g_{10}) \quad (\text{dB})$$

$$(161) \quad Y_p = Y + V(50) \quad (\text{dB})$$

وخلاف ذلك، أي $1 \leq p < 10$ ، تستخدم قيم الجدول 2 من أجل الاستكمال الداخلي الخطي للمتغير c_p من المتغير p .
وتطبق بعد ذلك المعادلتان (160) و(161) للحصول على Y_p .

الجدول 2

قيم الاحتمال المنخفض للمتغير c_p

c_p	p
1,000 0	10
1,326 5	5
1,716 6	2
1,950 7	1

الخطوة 5-14: تحسب Y_{10} ، التغيرات المرتبط بنحو القدرة طويل الأجل (كل ساعة) للقيمة $p = 10$.

$$(162) \quad Y_{10} = (Y_0(10)g_{10}) + V(50) \quad (\text{dB})$$

الخطوة 6-14: تحسب $Y_{el}(p)$ و $Y_{el}(10)$.

$$(163) \quad Y_{el}(p) = f_{\theta h} Y_p \quad (\text{dB})$$

$$(164) \quad Y_{el}(10) = f_{\theta h} Y_{10} \quad (\text{dB})$$

الخطوة 7-14: 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.

$$(165) \quad A_{YI} = Y_{el}(10) - A_T - 3 \quad (\text{dB})$$

$$(166) \quad A_Y = \max(A_{YI}, 0) \quad (\text{dB})$$

الخطوة 8-14: إذا كانت $p \geq 10$ ، تحسب خسارة التغير الإجمالي، وهو ما ينهي هذا القسم. وخلاف ذلك، يتم الانتقال إلى الخطوة 9-14 ومواصلة الحسابات.

$$(167) \quad Y_e(p) = Y_{el}(p) - A_Y \quad (\text{dB})$$

الخطوة 9-14: لقيم النسبة المئوية من الوقت الأقل من 10%، قد يلزم تطبيق تصحيح إضافي. وتحسب قيمة Y_{temp} .

$$(168) \quad Y_{temp} = Y_{el}(p) - A_Y - A_{T,LOS} \quad (\text{dB})$$

الخطوة 10-14: يستخدم الجدول 3 لإجراء الاستكمال الداخلي الخطي للمتغير c_{Yp} من المتغير p .

الجدول 3

قيم تصحيح الاحتمال المنخفض

c_{Yp}	p
0,00	10
3,70-	5
4,50-	5
5,00-	1

الخطوة 11-14: تحسب خسارة التغير الإجمالي.

$$(169) \quad Y_e(p) = \begin{cases} -c_{Yp} + A_{T,LOS}, & Y_{temp} > -c_{Yp} \\ Y_{temp} + A_{T,LOS}, & \text{else} \end{cases}$$

وبذلك ينتهي قسم التغير طويل الأجل.

15 المسيرات التروبوسفيرية المتعددة

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

حيث:

K : معلمة دخل؛

p : النسبة المئوية من الوقت؛

تحسب:

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

ويستخدم هذا القسم بيانات جدولية لتوزيع ناكاغامي-رايس. ويعرض الجدول 4 البيانات للنسبة $p < 50$ بينما يعرض الجدول 5

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

الجدول 4

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

$Y_{\pi}(40)$	$Y_{\pi}(30)$	$Y_{\pi}(20)$	$Y_{\pi}(15)$	$Y_{\pi}(10)$	$Y_{\pi}(5)$	$Y_{\pi}(2)$	$Y_{\pi}(1)$	K
0,0155-	0,0321-	0,0515-	0,0634-	0,0784-	0,1004-	0,1252-	0,1417-	40-
0,0870-	0,1790-	0,2856-	0,3504-	0,4312-	0,5497-	0,6811-	0,7676-	25-
0,1537-	0,3151-	0,5003-	0,6121-	0,7508-	0,9524-	1,1738-	1,3183-	20-
0,1926-	0,3940-	0,6240-	0,7623-	0,9332-	1,1805-	1,4507-	1,6263-	18-
0,2410-	0,4916-	0,7760-	0,9462-	1,1557-	1,4573-	1,7847-	1,9963-	16-
0,3007-	0,6113-	0,9613-	1,1695-	1,4247-	1,7896-	2,1829-	2,4355-	14-
0,3737-	0,7567-	1,1846-	1,4375-	1,7455-	2,1831-	2,6507-	2,9491-	12-
0,4619-	0,9307-	1,4495-	1,7535-	2,1218-	2,6407-	3,1902-	3,5384-	10-
0,5662-	1,1345-	1,7565-	2,1180-	2,5528-	3,1602-	3,7974-	4,1980-	8-
0,6855-	1,3655-	2,1011-	2,5247-	3,0306-	3,7313-	4,4591-	4,9132-	6-
0,8154-	1,6150-	2,4699-	2,9578-	3,5366-	4,3315-	5,1494-	5,6559-	4-
0,9455-	1,8638-	2,8364-	3,3871-	4,0366-	4,9219-	5,8252-	6,3810-	2-
1,0574-	2,0804-	3,1580-	3,7652-	4,4782-	5,4449-	6,4249-	7,0247-	0
1,1347-	2,2344-	3,3927-	4,0446-	4,8090-	5,8424-	6,8862-	7,5229-	2
1,1774-	2,3227-	3,5325-	4,2145-	5,0145-	6,0963-	7,1880-	7,8532-	4
1,1975-	2,3656-	3,6032-	4,3022-	5,1234-	6,2354-	7,3588-	8,0435-	6
1,2121-	2,3979-	3,6584-	4,3726-	5,2137-	6,3565-	7,5154-	8,2238-	20

الجدول 5

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

$Y_{\pi}(99)$	$Y_{\pi}(98)$	$Y_{\pi}(95)$	$Y_{\pi}(90)$	$Y_{\pi}(85)$	$Y_{\pi}(80)$	$Y_{\pi}(70)$	$Y_{\pi}(60)$	K
0,1441	0,1271	0,1016	0,0791	0,0639	0,0518	0,0323	0,0156	40-
0,8420	0,7390	0,5868	0,4537	0,3651	0,2953	0,1828	0,0878	25-
1,5544	1,3572	1,0696	0,8218	0,6585	0,5308	0,3269	0,1564	20-
2,0014	1,7417	1,3660	1,0453	0,8355	0,6722	0,4127	0,1969	18-
2,5931	2,2463	1,7506	1,3326	1,0615	0,8519	0,5209	0,2478	16-
3,3872	2,9156	2,2526	1,7028	1,3505	1,0802	0,6573	0,3114	14-
4,4714	3,8143	2,9119	2,1808	1,7198	1,3698	0,8281	0,3903	12-
5,9833	5,0373	3,7820	2,7975	2,1898	1,7348	1,0404	0,4874	10-
8,1319	6,7171	4,9288	3,5868	2,7814	2,1887	1,2999	0,6045	8-
11,0973	8,9732	6,4060	4,5714	3,5059	2,7374	1,6078	0,7415	6-
14,2546	11,5185	8,1216	5,7101	4,3363	3,3611	1,9530	0,8935	4-
16,4251	13,4690	9,6276	6,7874	5,1450	3,9771	2,2979	1,0458	2-
17,5511	14,5401	10,5553	7,5266	5,7363	4,4471	2,5755	1,1723	0
18,0526	15,0270	11,0003	7,9073	6,0581	4,7144	2,7446	1,2535	2
18,2566	15,2265	11,1869	8,0724	6,2021	4,8377	2,8268	1,2948	4
18,3361	15,3047	11,2607	8,1388	6,2610	4,8888	2,8619	1,3130	6
18,3864	15,3541	11,3076	8,1814	6,2992	4,9224	2,8855	1,3255	20

الخطوة 1-15: يجرى باستخدام الجدولين 4 و 5 الاستكمال الداخلي الخطي من أجل تحديد التغيرات $Y_{\pi}(p)$ للقيم المطلوبة لكل من K و p . 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 المقاسة على ارتفاع 10 000 m، أقصر من المسافة المعتبرة.
