

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R P.2108-1
(2021/09)

التنبؤ بالخسارة الناجمة عن الجلبة

السلسلة P
انتشار الموجات الراديوية



تمهيد

يُضطلع 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، 2022

التوصية ITU-R P.2108-1

التنبؤ بالخسارة الناجمة عن الجلبة

(2021-2017)

مجال التطبيق

توفر هذه التوصية طرائق لتقدير الخسارة الناجمة عن الجلبة عند الترددات الواقعة بين 30 MHz و 100 GHz.

مصطلحات أساسية

جلبة، توهين، تدرع، للأرض، أرض-فضاء، للطيران

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

(أ) أن الضرورة يمكن أن تقتضي، عند تخطيط نظام وتقدير التداخل، احتساب التوهين الذي تتعرض له الموجات الراديوية عند مرورها فوق المباني أو بينها؛

(ب) أن صياغة حساب مفصل لحالة عامة يمكن أن تصعب عندما يمكن أن تكون محطة للأرض مدرعة بالمباني، وأن الخسائر الناجمة عن الجلبة يجب أن تؤخذ في الاعتبار حسب سيناريو النشر؛

(ج) أن بيئة الجلبة في المسير الراديوي ستتغير عندما تكون محطات الأرض في حالة الحركة،

وإذ تدرك

(أ) أن التوصية ITU-R P.1411 تحتوي على بيانات ونماذج للنظام الراديوي قصير المدى، ولا سيما في بيئة حضرية تتراوح تردداتها بين 300 MHz و 100 GHz؛

(ب) أن التوصية ITU-R P.2040 تحتوي على صيغ أساسية للانعكاس عن مواد البناء ولاختراقها، وتمثيل منسق للخصائص الكهربائية لمواد البناء فوق 100 MHz تقريباً؛

(ج) أن التوصية ITU-R P.452 تضم طريقة تنبؤ لتقييم التداخل بين المحطات على سطح الأرض عند ترددات من 0,1 GHz تقريباً إلى 50 GHz، آخذة في الحسبان آليتي التداخل في الجو الصافي والتداخل بالانتشار في الماء الجوي؛

(د) أن التوصية ITU-R P.1812 تصف طريقة تنبؤ بانتشار تناسب خدمات الأرض من نقطة-إلى-منطقة في المدى الترددي من 30 MHz إلى 6 000 MHz؛

(هـ) أن التوصية ITU-R P.833 تعرض عدة نماذج لتمكين المستخدم من تقييم أثر الغطاء النباتي على إشارات موجات راديوية تتراوح تردداتها بين 30 MHz و 60 GHz؛

(و) أن التوصية ITU-R P.2109 تقدم نموذجاً إحصائياً للخسارة الناجمة عن دخول المباني للترددات بين 80 MHz و 100 GHz تقريباً،

توصي

بأن تستخدم المواد الواردة في الملحق 1 لتقدير الخسارة الناجمة عن الجلبة.

الملحق 1

نموذج الخسارة الناجمة عن الجلبة وصف أسلوب الحساب

1 المقدمة

تصف هذه التوصية مجموعة من النماذج يمكن استعمالها لتقدير الخسارة الناجمة عن الجلبة في عدد من البيئات المختلفة. ويمكن استخدام هذه النماذج كتصحيح طرفي لمسافات طويلة أو لنماذج فوق السطح. وتعرف هذه التوصية فئات بيئات الجلبة وتقدم أساليب لتقدير خسارة المسير بين السطح ومطراف ضمن الجلبة. وتستخدم النماذج الإحصائية عندما لا يُعرف المسير الراديوي معرفة دقيقة، مثل عرض الشوارع، وارتفاعات المباني، وعمق الغطاء النباتي.

1.1 تعريفا الجلبة والخسارة الناجمة عن الجلبة

يُرد وصف "جلبة" هنا في سياق السلسلة P من توصيات قطاع الاتصالات الراديوية.

تشير الجلبة إلى كائنات، مثل المباني أو الغطاء النباتي، تقع على سطح الأرض ولكن ليس إلى التضاريس الفعلية. ويمكن أن يكون للجلبة حول مرسل/مستقبل راديوي تأثير كبير على الانتشار الكلي. وعادة ما تكون الجلبة الأقرب إلى المطراف ذات أكبر تأثير على الانتشار، ولكن المسافة الفعلية ستعتمد على طبيعة الجلبة والمعلمات الراديوية.

وتعتبر نماذج الخسارة الناجمة عن الجلبة في هذه التوصية ذات طابع إحصائي. وكتصحيح طرفي لنموذج انتشار عبر مسير طويل، تعرف "الخسارة الناجمة عن الجلبة" بأنها الفرق في خسارة الإرسال أو خسارة الإرسال الأساسية¹ بوجود أو بدون وجود جلبة مطراف في أي من طرفي المسير، ويكون جميع تفاصيل المسير الأخرى هي نفسها. وتأخذ نماذج الانتشار عبر المسيرات القصيرة في الاعتبار تأثير الجلبة على طول كامل المسير.

2 اختيار النموذج

ينبغي اختيار النموذج المناسب استناداً إلى التردد والبيئة المحيطة بالمطراف ونمط المسير، ويرد في الجدول 1 موجز للنماذج.

¹ يُرد تعريفا "خسارة الإرسال" و"خسارة الإرسال الأساسية" في التوصية ITU-R P.341.

الجدول 1

ملخص النماذج

الوصف	مدى الترددات (GHz)	المرجع	بيئة المطراف
تصحيح الخسارة الطرفية الذي يتعين إضافته إلى خسارة الإرسال الأساسية المحسوبة من/إلى علو الجلبة ذي الصفة التمثيلية المستخدم. ويمكن تطبيقه على كلا طريقي الإرسال والاستقبال من المسير.	3 – 0,03	الفقرة 1.3	المطراف تحت علو الجلبة ذي الصفة التمثيلية
نموذج إحصائي يمكن تطبيقه على نمذجة توزيع الخسارة الناجمة عن الجلبة في البيئات الحضرية وشبه الحضرية. ويمكن تطبيق هذا التصحيح على طريقي المسير.	67 – 0,5	الفقرة 2.3	مطراف للأرض ضمن الجلبة
توزيع إحصائي للخسارة الناجمة عن الجلبة التي لم تتجاوز في النسبة المئوية من المواقع ضمن زوايا ارتفاع تتراوح بين 0 و 90 درجة.	100 – 10	الفقرة 3.3	مطراف واحد ضمن الجلبة والآخر هو ساتل أو طائرة أو منصة أخرى فوق سطح الأرض.

3 نماذج الخسارة الناجمة عن الجلبة

يرد وصف عدد من الأساليب في الأقسام التالية. وفي كل قسم، يرد وصف للنموذج وتطبيقه المناسب، ومعلومات الدخل المطلوبة وأسلوب الحساب.

1.3 نموذج تصحيح كسب العلو في المطراف

يعطي هذا الأسلوب متوسط الخسائر الناجمة عن أكتاف المطراف المختلفة. وتشمل الآليات الممكنة الخسارة جراء العوائق، والانعكاسات بفعل الأشياء المسببة للجلبة على علو تمثيلي، والانتشار والانعكاس من الأرض والأشياء الأصغر المسببة للجلبة. وعند استخدام تطبيق حاسوبي حيث يُستخرج المظهر الجانبي للتضاريس من نموذج رقمي للتضاريس، وتحدد فئة الجلبة البيئة المحيطة بالمطراف، يصعب من الناحية العملية تحديد الآليات الفردية: ففي فئات الغابات والمناطق الحضرية، يفترض أن الآلية السائدة هي الانعراج فوق الجلبة، وفي الفئات الأخرى، يُفترض أن الانعكاس أو الانتشار هما السائدان.

وتحسب خسارة إضافية، A_{fl} ، يمكن أن تضاف إلى خسارة الإرسال الأساسية لمسير محسوب فوق الجلبة، ولذلك ينبغي حساب خسارة الإرسال الأساسية من/إلى علو الجلبة ذي الصفة التمثيلية المستخدمة. ويمكن تطبيق هذا النموذج على طريقي الإرسال والاستقبال للمسير.

مدى الترددات: من 0,03 إلى 3 GHz

1.1.3 معلومات الدخل

ترد معلومات الدخل في الجدول 2.

الجدول 2

معلومات دخل نموذج تصحيح كسب العلو في المطراف

القيمة المبدئية	الرمز	الدخل
-	f	التردد (GHz)
-	h	علو الهوائي (m)
27	w_s	عرض الشارع (m)
انظر الجدول 3	R	علو الجلبة ذو الصفة التمثيلية (m)
-	-	نمط الجلبة

يُستخدم نمط الجلبة لتحديد أسلوب حساب A_h على النحو المبين في الجدول 3.

الجدول 3

المعلومات المبدئية بشأن علو الجلبة ذي الصفة التمثيلية، R
(حيثما لا تتوفر المعلومات المحلية)

أسلوب حساب A_h	R (m)	نمط الجلبة
المعادلة (2b)	10	مياه/بحر
المعادلة (2b)	10	مفتوح/ريفي
المعادلة (2a)	10	منطقة ضواحي
المعادلة (2a)	15	منطقة حضرية/أشجار/غابات
المعادلة (2a)	20	منطقة حضرية كثيفة

2.1.3 وصف النموذج

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

$$(1) \quad J(v) = 6,9 + 20 \log \left(\sqrt{(v - 0,1)^2 + 1} + v - 0,1 \right)$$

وتجدر الإشارة إلى أن $J(-0,78) \approx 0$ ، وهذا يعرّف الحد الأدنى الذي ينبغي استعمال هذا التقريب عنده. وتوضع الدالة $J(v)$ إلى صفر عندما تكون $v \geq -0,78$.

وعند يقع هوائي المرسل أو المستقبل أسفل الارتفاع R الممثل للغطاء الأرضي المحيط بالمرسل أو المستقبل، فإن تقدير الخسارة الإضافية، A_h ، يُحسب كما يلي. وينبغي استعمال علو الجلبة ذات الصفة التمثيلية استناداً إلى معلومات دقيقة عن علو الجلبة حيثما تكون متاحة، ولكن إذا لم تكن متاحة ترد هذه المعلومات في الجدول 3. ويكون أسلوب نمذجة الخسائر في المرسل والمستقبل متطابقاً.

فإذا كان $h \geq R$ فإن $A_h = 0$

وإذا كان $h < R$ ، فإن A_h يمكن أن تتخذ إحدى صيغتين، تبعاً لنمط الجلبة (انظر الجدول 3):

$$(2a) \quad A_h = J(v) - 6,03 \quad \text{dB}$$

أو:

$$(2b) \quad A_h = -K_{h2} \log(h/R) \quad \text{dB}$$

وتُحسب الدالة $J(v)$ بواسطة المعادلة (1).

ويتم الحصول على الحدين v و K_{h2} بالمعادلات:

$$(2c) \quad v = K_{nu} \sqrt{h_{dif} \theta_{clut}}$$

$$(2d) \quad h_{dif} = R - h \quad \text{m}$$

$$(2e) \quad \theta_{clut} = \tan^{-1} \left(\frac{h_{dif}}{w_s} \right) \quad \text{degrees}$$

$$(2f) \quad K_{h2} = 21,8 + 6,2 \log(f)$$

$$(2g) \quad K_{nu} = 0,342 \sqrt{f}$$

حيث:

f : التردد (GHz)

w_s : تتعلق بعرض الشارع (بالأمتار). وينبغي استعمال القيمة 27 ما لم تتوفر معلومات محلية محددة.

وتمثل صيغة المعادلة (2a) خسارة انعراج فريزل (Fresnel) عبر عائق، وتُطبق على فئات الجلبة من قبيل جلبة المباني. وتكون الجلبة في منطقة حضرية، على وجه الخصوص، من هذا النمط.

وتمثل المعادلة (2b) دالة كسب الارتفاع الناجم عن القرب من الأرض في مواقع أكثر انفتاحاً. وحيثما يحدث انعكاس مرآوي عن الأرض يدل ذلك نمطياً على أن تغيرات الإشارة تقع تحت أول ذروة لتداخل شعاعين. وحيثما لا يحدث انعكاس مرآوي يدل ذلك نمطياً على أن التغيرات تحت الارتفاع R تعود إلى تظليل أجسام وحالات عدم انتظام طفيفة.

2.3 نموذج الخسارة الناجمة عن الجلبة الإحصائي لمسيرات الأرض

يورد هذا القسم معادلات تعطي توزيعاً إحصائياً للخسارة الناجمة عن الجلبة. ويمكن تطبيق هذا النموذج لنمذجة الخسارة الناجمة عن الجلبة في المناطق الحضرية والضواحي بشرط أن تكون ارتفاعات المطاريف أقل بكثير من علو الجلبة كما هو موضح في الجدول 1. ويلاحظ أن القياسات المستخدمة في وضع هذا النموذج تستخدم ارتفاعات مطاريف تصل إلى 6 أمتار فوق سطح الأرض.

وتحسب خسارة إضافية، L_{ct} ، يمكن إضافتها إلى خسارة الإرسال أو خسارة الإرسال الأساسية. وستختلف الخسارة الناجمة عن الجلبة تبعاً لنمط الجلبة، والموقع داخل الجلبة والحركة في الجلبة. وإذا ما حُسبت خسارة الإرسال أو خسارة الإرسال الأساسية باستعمال نموذج (كما في التوصية ITU-R P.1411) يحسب بطبيعته الجلبة على كامل المسير، ينبغي عدم تطبيق الأسلوب الوارد أدناه.

مدى الترددات: من 0,5 إلى 67 GHz

الحد الأدنى لطول المسير: 0,25 km (عند تطبيق التصحيح في طرف واحد فقط من المسير)

1,0 km (للتصحيح الواجب تطبيقه على طرفي المسير)

مدى النسبة المتقوية من المواقع: $100 > p > 0$

1.2.3 معلمات الدخل

ترد معلمات الدخل في الجدول 4.

الجدول 4

نموذج الخسارة الناجمة عن الجلبة الإحصائي لمعلومات دخل مسيرات الأرض

الوحدة	الرمز	الدخل
GHz	f	التردد
km	d	المسافة
%	p	النسبة المئوية من المواقع

2.2.3 وصف النموذج

إن الخسارة الناجمة عن الجلبة التي لم تُتجاوز في النسبة المئوية من مواقع المسير من الأرض إلى الأرض، L_{ctt} محدودة بالمعادلة (6) وتعطى كما يلي:

$$(3a) \quad L_{ctt} = -5\log(10^{-0,2L_l} + 10^{-0,2L_s}) - \sigma_{cb} Q^{-1}(p/100) \quad \text{dB}$$

$$(3b) \quad \sigma_{cb} = \sqrt{(\sigma_l^2 10^{-0,2L_l} + \sigma_s^2 10^{-0,2L_s}) / (10^{-0,2L_l} + 10^{-0,2L_s})} \quad \text{dB}$$

حيث $Q^{-1}(p/100)$ هي دالة التوزيع الطبيعي التكميلي العكسي، و

$$(4a) \quad L_l = -2\log(10^{-5\log(f)-12,5} + 10^{-16,5}) \quad \text{dB}$$

$$(4b) \quad \sigma_l = 4 \quad \text{dB}$$

$$(5a) \quad L_s = 32,98 + 23,9\log(d) + 3\log(f) \quad \text{dB}$$

$$(5b) \quad \sigma_s = 6 \quad \text{dB}$$

حيث d هو طول المسير الكلي.

ويجب ألا تتجاوز الخسارة الناجمة عن الجلبة الحد القيمة القصوى، وتعطى كما يلي:

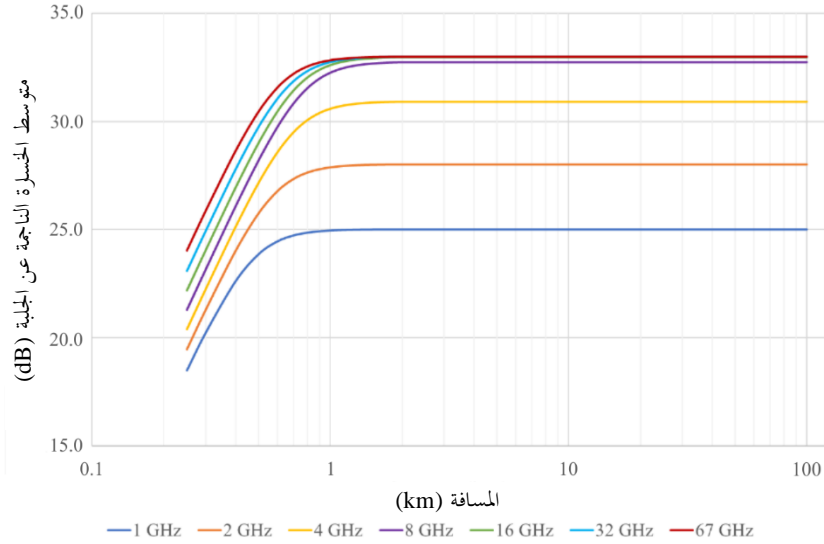
$$(6) \quad L_{ctt_{Max}} = L_{ctt_{2km}} \quad \text{dB}$$

حيث $L_{ctt_{2km}}$ هي الخسارة الناجمة عن الجلبة المحسوبة عندما تكون $d = 2 \text{ km}$

ويبين الشكل 1 متوسط الخسارة الناجمة عن الجلبة للترددات المختلفة المحسوبة بالمعادلة (3).

الشكل 1

متوسط الخسارة الناجمة عن الجلبة في مسيرات الأرض



P.2108-01

3.3 نموذج الخسارة الناجمة عن الجلبة الإحصائي في مسير أرض-فضاء ومسير للطيران

يقدم هذا القسم معادلات لحساب التوزيع الإحصائي للخسارة الناجمة عن الجلبة حيث يقع أحد طرفي مسير التداخل ضمن جلبة من صنع الإنسان، والآخر هو ساتل أو طائرة أو منصة أخرى فوق سطح الأرض. وتُحسب خسارة إضافية، L_{ces} ، يمكن أن تضاف إلى خسارة الإرسال الأساسية للمسير المحسوب. ويمكن تطبيق هذا النموذج على البيئات الحضرية وبيئات الضواحي. ويرد وصف للأسلوب المستخدم لتطوير هذا النموذج في التقرير ITU-R P.2402-0.

مدى الترددات: من 10 إلى 100 GHz

مدى زاوية الارتفاع: من 0 إلى 90 درجة

مدى المواقع المتوتية: $100 > p > 0$

1.3.3 معلمات الدخل

ترد معلمات الدخل في الجدول 5.

الجدول 5

معلمات دخل نموذج الخسارة الناجمة عن الجلبة في مسير أرض-فضاء

الوحدة	الرمز	الدخل
GHz	f	التردد
درجات	θ	زاوية الارتفاع
%	p	النسبة المتوتية من المواقع

2.3.3 وصف النموذج

تعطى الخسارة الناجمة عن الجلبة التي لم تُتجاوز في النسبة المتوقعة من مواقع المسير من الأرض إلى منصة محمولة جواً أو ساتل، L_{ces} ، كما يلي:

$$(7) \quad L_{ces} = \left\{ -K_1 \left[\ln \left(1 - \frac{p}{100} \right) \right] \cot \left[A_1 \left(1 - \frac{\theta}{90} \right) + \frac{\pi\theta}{180} \right] \right\}^{[0,5(90-\theta)/90]} - 1 - 0,6 Q^{-1}(p/100) \quad \text{dB}$$

مع

$$K_1 = 93(f^{0,175}), A_1 = 0,05$$

حيث $Q^{-1}(p/100)$ هي دالة التوزيع الطبيعي التكميلي العكسي، وزاوية الارتفاع θ هي زاوية المنصة المحمولة جواً أو الساتل كما يراها المطراف.

ويبين الشكل 2 منحنيات التوزيع التراكمي للخسارة الناجمة عن الجلبة التي لم تُتجاوز في النسبة المتوقعة من المواقع في زوايا ارتفاع متفاوتة على تردد 30 GHz.

الشكل 2

التوزيع التراكمي للخسارة الناجمة عن الجلبة التي لم تُتجاوز على تردد 30 GHz

