

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R P.833-7
(2012/02)

التوهين الناتج عن الغطاء النباتي

السلسلة P
انتشار الموجات الراديوية



تمهيد

يصطلط 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 والسياسية 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 تقنيين للاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهربائية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار 1 ITU-R. وتعد الاستثمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لت分成 بين البراءات أو للتصریح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en> حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلسلة توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني <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 تحديد الراديوى للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة	M
انتشار الموجات الراديوية	P
علم الفلك الراديوى	RA
أنظمة الاستشعار عن بعد	RS
الخدمة الثابتة الساتلية	S
التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية	SA
تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة	SF
إدارة الطيف	SM
التحميم الساتلي للأخبار	SNG
إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت	TF
المفردات والمواضيع ذات الصلة	V

ملاحظة: ثمت الموافقة على النسخة الإنكليزية لهذه التوصية الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار 1 ITU-R.

النشر الإلكتروني
جنيف، 2012

التوصية 7- P.833 ITU-R

التوهين الناتج عن الغطاء النباتي

(المسألة 202/3 ITU-R)

(1992-1994-1999-2001-2003-2005-2007-2012)

مجال التطبيق

تعرض هذه التوصية عدة نماذج لتمكين القارئ من تقييم أثر الغطاء النباتي على إشارات الموجات الراديوية. وُتعرض النماذج المطبقة على طائفة متنوعة من الأغطية النباتية بالنسبة لأنماط مختلفة لمهندسة المسير مناسبة لحساب توهين الإشارات المارة عبر الغطاء النباتي. وتتضمن التوصية كذلك بيانات مقيسة لдинاميات خبو الغطاء النباتي، وخصائص التأثير الزمني للانتشار.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تتضع في اعتبارها

(أ) أن الغطاء النباتي يمكن أن يسبب توهيناً مهماً في عدة تطبيقات عملية،

توصي

1 باستعمال معطيات الملحق 1 لتقييم التوهين الناجم عن الغطاء النباتي بين 30 MHz و 60 GHz.

الملاحق 1

المقدمة

1

يمكن أن يكون التوهين الناتج عن الغطاء النباتي مهماً في بعض الحالات بالنسبة لأنظمة الأرض والوصلات أرض-فضاء. لكن التنوع الكبير للظروف وأنماط أوراق الأشجار يجعل من الصعب وضع طريقة للتنبؤ قابلة للتعميم. وثمة افتقار أيضاً إلى المعطيات التجريبية المجمعة بشكل ملائم.

تنطبق النماذج الموصوفة في الفقرات التالية على بعض مدیات التردد وعلى أنماط مختلفة لمهندسة المسير.

الإعاقة بسبب منطقة مشجرة

2

1.2 مسیر للأرض مع مطراف في منطقة مشجرة

في حالة مسیر راديوی للأرض مع مطراف واحد يقع في منطقة مشجرة أو في منطقة يغطيها الغطاء النباتي بشكل كثيف، يمكن تحديد الخسارة الإضافية الناتجة عن الغطاء النباتي بعملتين:

- معدل التوهين الخاص (dB/m) الناتج أساساً عن تشتت الطاقة على المسير الراديوى، كما يمكن قياسه على مسیر قصير جداً

- التوهين الإضافي الكلي الأقصى الناتج عن الغطاء النباتي على المسير الراديوى (dB) المحدود بتأثير ظواهر أخرى لا سيما انتشار موجة سطحية فوق الغطاء النباتي والانتشار نحو الأمام في البيئة النباتية.

في الشكل 1، يقع المرسل خارج المنطقة المشجرة، ويقع المستقبل في هذه المنطقة عند مسافة معينة، d ، بالنسبة إلى بداية هذه المنطقة. وتعبر الصيغة التالية عن التوهين الإضافي A_{ev} الناتج عن وجود الغطاء النباتي:

$$(1) \quad A_{ev} = A_m [1 - \exp (- d \gamma / A_m)]$$

حيث:

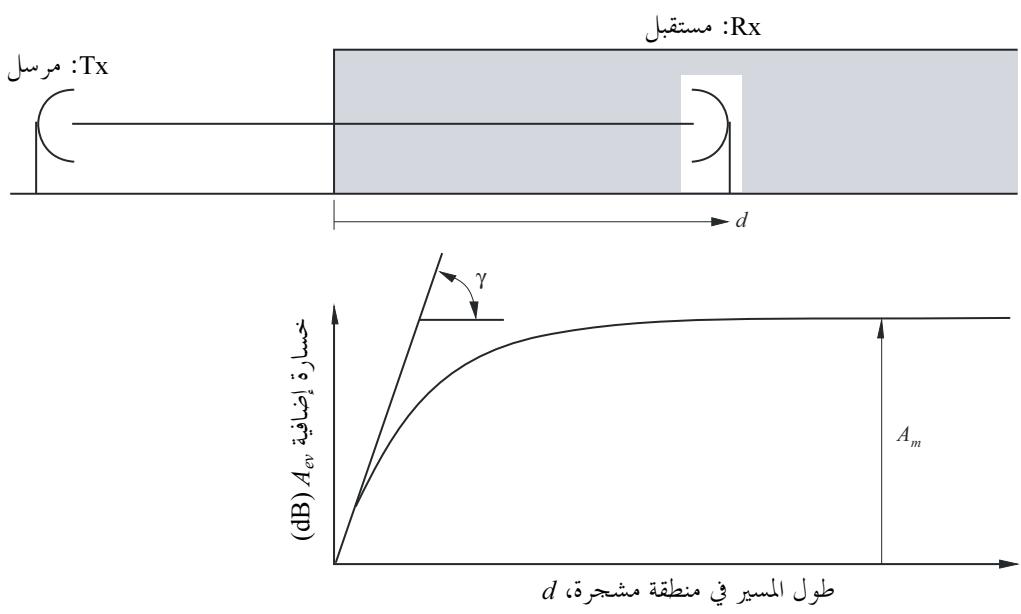
d : طول المسير داخل المنطقة المشجرة (m);

γ : توهين خاص لمسيرات قصيرة جداً في البيئة النباتية (dB/m);

A_m : توهين أقصى لمطراف في غطاء نباتي ذي نط وعمق مميزين (dB).

الشكل 1

مسير راديوى توضيحي في منطقة مشجرة



0833-01

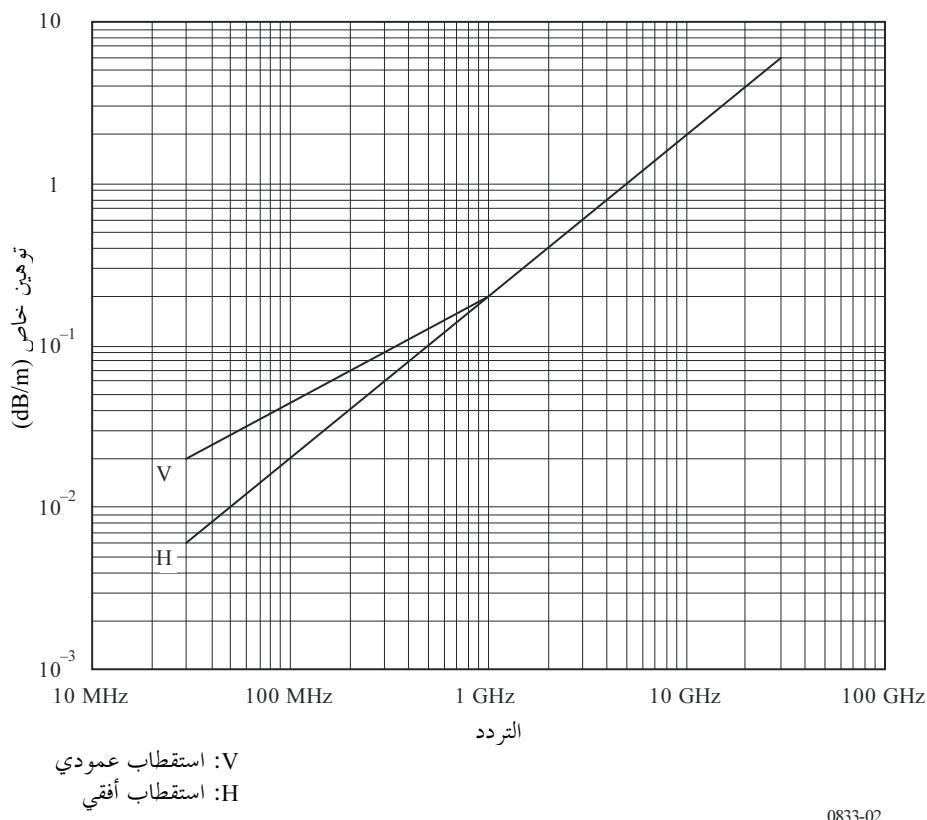
وتجدر باللحظة أن التوهين الإضافي A_{ev} يضاف إلى جميع الآليات الأخرى وليس فقط للتوهين في الفضاء الحر. وهكذا إذا افترض أن التشكيلة الهندسية للمسير الراديوى في الشكل 1 تستبعد خلوص فريبل على نحو كامل، فإن A_{ev} قد يضاف إلى التوهين في الفضاء الحر والخسارة بالانزياح. وإذا غرر ذلك، فإذا كان التردد مرتفعاً بشكل كافٍ بحيث يصبح الامتصاص الغازى كبيراً، يضاف A_{ev} إلى الامتصاص الغازى.

وتجدر باللحظة أيضاً أن A_m يعادل التوهين الناتج عن الإشارات المشوша التي يتعرض لها مطراف بسبب التغطية الأرضية. وتعتمد قيمة التوهين الخاص الناتج عن الغطاء النباتي γ dB/m، على الأصناف النباتية وكثافتها. ويعطي الشكل 2 القيم التقريرية لهذا التوهين بدالة التردد.

ويعطي الشكل 2 القيم النمطية للتواهين الخاص المستخلصة من مختلف القياسات التي أجريت في مدى التردد المترافق بين 30 MHz و 30 GHz تقريباً في المنطقة المشجرة. وتحت حوالي 1 GHz، يلاحظ أن الإشارات ذات الاستقطاب العمودي تميل إلى الانخفاض بشكل متزايد عن الإشارات ذات الاستقطاب الأفقي، ويعزى ذلك إلى الانتشار بسبب جذوع الأشجار.

الشكل 2

التوهين الخاصل الناجم عن منطقة مشجرة



وتجدر الإشارة إلى أن التوهين الناتج عن الغطاء النباتي يكون شديد التغير بسبب الطبيعة غير المنتظمة للبيئة والتنوع الكبير للأصناف والكثافة والمحتوى المائي، الملحوظ على المستوى العملي. والقيم الواردة في الشكل 2 ليست سوى قيم نظرية فقط.

وعند ترددات تبلغ حوالي 1 GHz، يbedo التوهين الخاص الناتج عن الأشجار المورقة أكثر بحوالي 20% (dB/m) مما هو عليه بالنسبة للأشجار غير المورقة. ويمكن كذلك أن يتواتر التوهين بسبب تحرك الأوراق بسبب الرياح على سبيل المثال.

ويعتمد التوہین الأقصى A_m ، المحدود بانتشار الموجة السطحية على أصناف الغطاء النباتي وكثافته وكذلك على مخطط إشعاع هوائي المطراف الموجود ضمن الغطاء النباتي، والمسافة العمودية بين الهوائي وقمة التغطية النباتية.

أُجريت القياسات في المدى الترددى 200-105 MHz في غطاء نباتي صنوبرى-غير مورق مختلط (غابة مختلطة) بالقرب من سان بطرسبرغ (روسيا) على مسيرات تتراوح في الطول من بعض مئات من الأمتار إلى 7 km مع أنواع مختلفة من الأشجار متوسط أطوالها 16 m. وتبين أن هذا يتفق في المتوسط مع المعادلة (1) مع قيم ثابتة للتوهين المحدد والتوهين الأقصى على النحو المبين في الجدول 1.

الجدول 1

التردد (MHz) والاستقطاب					المعلمة
2117,5 Slant	1852,2 Slant	949,0 Slant	466,475 Slant	105,9 Horizontal	MHz
0,34	0,30	0,17	0,12	0,04	(dB/m) γ
34,1	29,0	26,5	18,0	9,4	(dB) A_m

والعلاقة بين A_m (dB) والتردد للشكل تمثل في الصيغة التالية:

$$(2) \quad A_m = A_1 f^\alpha$$

حيث f هو التردد (MHz) المحسوب من خلال تجرب متنوعة:

- قياسات في مدى التردد 800-900 MHz 1 200-900 MHz أجريت في منتزه تغطيه أشجار استوائية في ريو دي جانيرو (البرازيل)
حيث يبلغ متوسط ارتفاع الأشجار 15 m وأدت هذه القياسات إلى قيمتين: $A_1 = 0,18$ dB و $\alpha = 0,752$. وبلغ ارتفاع هوائي الاستقبال 2,4 m.

- قياسات في مدى التردد 2 200-900 MHz 2 200-900 MHz أجريت في غابة قرية من مولوز (فرنسا) على مسارات يتغير طولها من بعض مئات الأمتار إلى 6 km في بيئة تغطيها أنواعاً متنوعة من الأشجار يبلغ متوسط ارتفاعها 15 m، وقد أدت هذه القياسات إلى قيمتين: $A_1 = 1,15$ dB و $\alpha = 0,43$. وكان هوائي الاستقبال في المنطقة المشجرة عبارة عن هوائي أحادي القطب $\lambda/4$ مركب على مركبة عند ارتفاع يبلغ 1,6 m، وكان هوائي الإرسال عبارة عن هوائي ثنائي الأقطاب $\lambda/2$ عند ارتفاع يبلغ 25 m. وبلغ الانحراف المعياري للقياسات 8,7 dB. وقد لوحظت تغيرات موسمية تبلغ 2 dB عند 900 MHz و 8,5 dB عند 200 MHz.

- أجريت القياسات في المدى التردد 2 117,5-105,9 MHz في منطقة غابات بعظام نباتي صنوبر-غbir مورق (غابة مختلطة) في سان بطرسبرغ (روسيا) مع ارتفاع للأشجار يتراوح من 12 إلى 16 m ومتوسط المسافة بين الأشجار من 2 إلى 3 m تقريباً، وهو ما يقابل كثافة مقدارها 10-20 شجرة/100 متر مربع حيث أعطت قيمة للمعامل $A_1 = 1,37$ dB و $\alpha = 0,42$. واستقبال الإشارة، استعمل هوائي ثنائي الأقطاب بربع طول الموجة على ارتفاع 1,5 M فوق سطح الأرض. وكانت المسافة بين هوائي المستقبل والمرسل من 0,4 إلى 7 km واختيرت مسارات القياس بحيث يكون هناك خط بصر بين هذين الهوائيين دون أي عوائق خلاف المنطقة المشجرة الجاري قياسها. وأجريت مراحل مختلفة للتجربة في ظروف جوية مشابهة طقس جاف وسرعة الرياح من 0 إلى 7 m/s.

2.2 المسيرات الساتلية الدائرية

مسير راديوسي تمثيلي في منطقة مشجرة.

يقع المرسل والمستقبل في الشكل 3 خارج المنطقة المشجرة. والمعلمات ذات الصلة كالتالي:

- طول مسیر الغطاء النباتي، d ;

- متوسط ارتفاع الأشجار، h ;

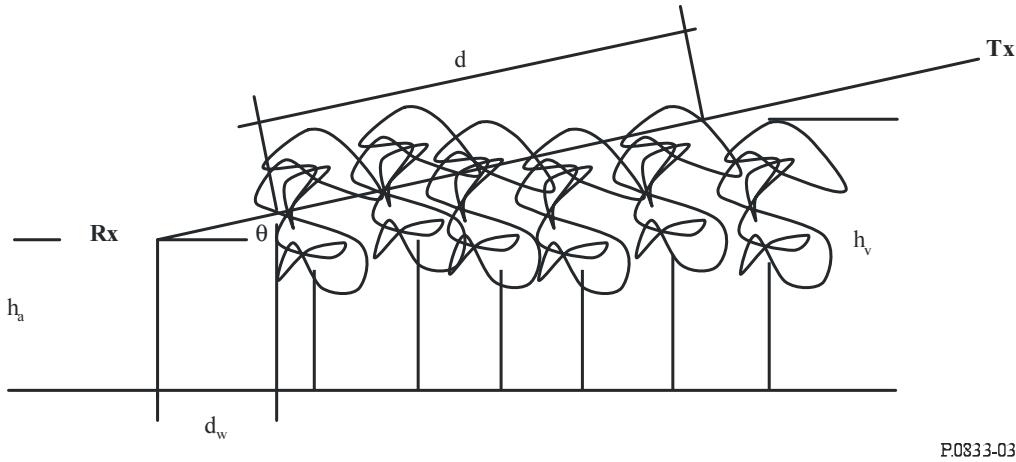
- ارتفاع هوائي المستقبل فوق سطح الأرض، h_a ;

- زاوية ارتفاع المسير الراديوسي، θ ;

- المسافة بين الهوائي والمنطقة المشجرة على جانبي الطريق، d_w .

الشكل 3

مسار راديو تثيلي في منطقة مشجرة بطول مسار للغطاء النباتي، d ، ومتسط ارتفاع الأشجار، h_v ، وارتفاع هوائي المستقبل فوق سطح الأرض، h_a ، وزاوية ارتفاع المسار الراديو، θ ، والمسافة بين الهوائي والمنطقة المشجرة على جانبي الطريق، d_w



P.0833-03

ولوصف خسارة التوهين، L ، عبر الانتشار على مسیر مورق أفقی و دائري، يقترح النموذج التالي:

$$(3) \quad L(\text{dB}) = A f^B d^C (\theta + E)^G$$

حيث:

 f : التردد (MHz); d : عمق الغطاء النباتي (m); θ : زاوية الارتفاع (بالدرجات);و G و C و B و E و A معلمات مستخرجة تجريبياً.

المعلمة A تناسب القياسات التي جرت في منطقة مشجرة بأشجار الصنوبر في النمسا حيث أعطيت:

$$(4) \quad L(\text{dB}) = 0.25 f^{0.39} d^{0.25} \theta^{0.05}$$

عائق وحيد ناتج عن الغطاء النباتي

3

عند 1 GHz أو أقل

لا تتطبق المعادلة (1) على مسیر راديو يعرض سبليه عائق نباتي وحيد حيث يكون المطرافان خارج التغطية النباتية كما هو الحال بالنسبة إلى مسیر يعبر أوراق شجرة وحيدة. وعند الموجات المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF)، حيث تكون قيم التوهين الخاص منخفضة نسبياً، ولا سيما عندما لا يشمل الغطاء النباتي سوى جزء صغير نسبياً من المسیر الراديو، يمكن تثيل هذه الحالة بصورة تقريرية بواسطة نموذج يستند إلى التوهين الخاص والحدود القصوى للتوهين الكلي الإضافي:

$$(5) \quad A_{et} = d \gamma$$

حيث:

d : طول المسير ضمن المنطقة البابتية (m);

γ : توهين خاص لمسيرات قصيرة جداً في البيئة البابتية (dB/m);

$A_{et} \geq$ أدنى توهين إضافي لمسيرات أخرى (dB).

والقييد المتعلق بقيمة قصوى A_{et} ضروري نظراً إلى أنه عندما يكون التوهين الخاص مرتفعاً بشكل كافٍ، سوف يوجد مسیر بتهين أدنى يحيط بالغطاء النباتي. ويمكن حساب القيمة التقريرية للتهين الأدنى لمسيرات أخرى بافتراض أن الكثافة البابتية التي تكونها الأشجار تشكل شاشة انعراج رقيقة محدودة الأبعاد، باستعمال الطريقة الواردة في التوصية ITU-R P.526.

ويجدر التأكيد على أن المعادلة (5) إلى جانب الحدود القصوى للقيمة A_{et} المرتبطة بها، تمثل قيمة تقريرية فقط. وهي تمثل بوجه عام إلى المبالغة في تقييم زيادة التوهين الناتج عن الغطاء النباتي. وهي وبالتالي مفيدة جداً لإجراء تقييمات تقريرية للتهين الإضافي عند تخطيط خدمة مطلوبة. وفي حالة استعمالها من أجل إشارة غير مطلوبة، يمكن أن تؤدي إلى تحفيض كبير في قيمة التداخلات الناتجة.

2.3 فوق GHz 1

من أجل تقييم الحال الكلي، تحسب أولاً مكونات الانتشار الناتج عن الغطاء النباتي بسبب الانعكاس المنعرج عند الأرض ثم تجمع.

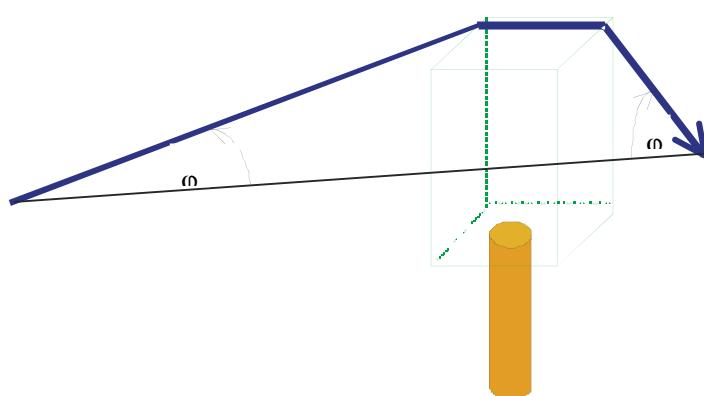
تتكون المكونات المنعرجة من المكونات فوق قمة الغطاء النباتي وتلك التي تحيط به. وتحسب هذه المكونات والمكونات المنعرجة عند الأرض باستعمال التوصيات الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية. وتحسب المكونات الكلية أو المنتشرة باستعمال نموذج يستند إلى نظرية نقل الطاقة الإشعاعي (RET).

1.2.3 حساب المكونة المنعرجة عند القمة

إن الخسارة بالانعراج L_{top} التي يتعرض لها مسیر الإشارة المنعرج عبر الغطاء النباتي يمكن اعتبارها كانعراج على حد السكين مزدوج منعزل للشكل الهندسي المحدد في الشكل 4.

الشكل 4

مكونات منعرجة عبر قمة الغطاء النباتي



P.0833-04

ويحسب ذلك كالتالي:

$$(6) \quad L_{top} = L_{top_diff} + G_{Tx}(\varphi) + G_{Rx}(\varphi)$$

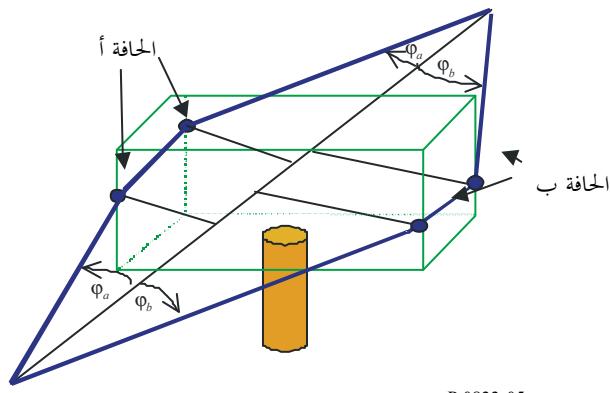
حيث $G_{Tx}(\varphi)$ هي الخسائر بسبب زوايا الموجة المنعرجة المغادرة لهوائي الإرسال والواردة لهوائي الاستقبال على التوالي. L_{top_diff} هي الخسارة الكلية بالانعراج التي تحسب باستعمال التوصية ITU-R P.526 للجانبين المزدوجين المعزولين.

2.2.3 حساب المكونة المنعرجة عند الجانب

إن الخسارة بالانعراج L_{sidea} والخسارة بالانعراج L_{sideb} , التي تتعرض لها الإشارة المنعرجة بسبب الغطاء النباتي، يمكن اعتبارهما أيضاً كانعراج على حد السكين مزدوج منعزل للشكل الهندسي المحدد في الشكل 5.

الشكل 5

المكونات المنعرجة حول الغطاء النباتي



P.0833-05

تحسب الخسائر باستعمال المعادلتين (7) و(8).

$$(7) \quad L_{sidea} = L_{diff_sidea} + G_{Tx}(\varphi_a) + G_{Rx}(\varphi_a)$$

و

$$(8) \quad L_{sideb} = L_{diff_sideb} + G_{Tx}(\varphi_b) + G_{Rx}(\varphi_b)$$

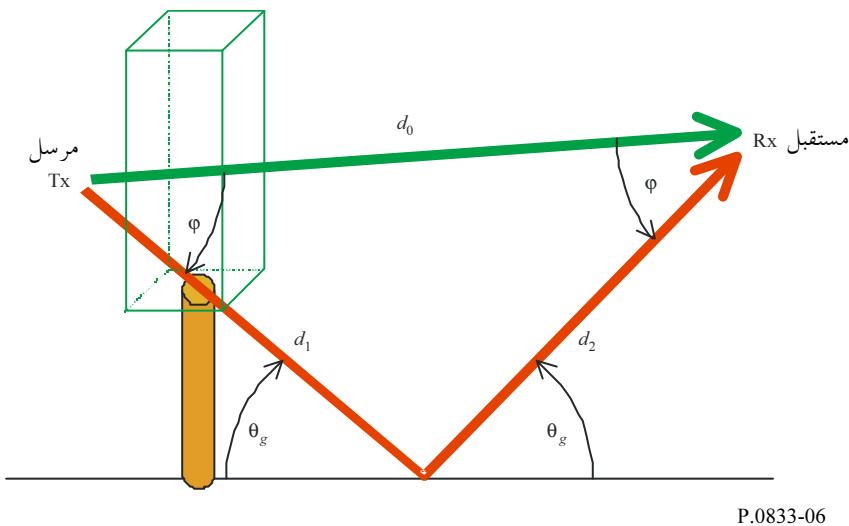
حيث $G_{Tx}(\varphi_{a,b})$ هي الخسائر بسبب زوايا الموجة المنعرجة المغادرة لهوائي الإرسال والواردة لهوائي الاستقبال من أجل الجانبين (أ) و(ب) على التوالي. إن الخسارة بالانعراج L_{diff_sidea} والخسارة بالانعراج L_{diff_sideb} , هي الخسارة الكلية بالانعراج التي تحسب باستعمال التوصية ITU-R P.526 للجانبين المزدوجين المعزولين.

3.2.3 حساب المكونة المعكسة على الأرض

يفترض أن المسير قصير بشكل كاف بحيث أن الموجة المنعكسة على الأرض يمكن نمذجتها بالشكل الهندسي الموضح في الشكل 6.

الشكل 5

المكونة المنعكسة على الأرض



لحساب الخسارة التي تتعرض لها الموجة المنعكسة على الأرض عند المستقبل، يمكن حساب معامل الانعكاس R_0 للإشارة المنعكسة على الأرض بواسطة زاوية ورود معينة θ_g . وهذه طريقة عادلة يرد وصفها في التوصية ITU-R P.1238. ويمكن الحصول على قيم السماحية والإيصالية من التوصية ITU-R P.527.

تعطى الخسارة التي تتعرض لها الموجة المنعكسة على الأرض، L_{ground} بالصيغة التالية:

$$(9) \quad L_{ground} = 20 \log_{10} \left(\frac{d_1 + d_2}{d_0} \right) - 20 \log_{10}(R_0) + G_{Tx}(\phi) + G_{Rx}(\phi)$$

حيث $G_{Tx}(\phi)$ و $G_{Rx}(\phi)$ هي الخسائر بسبب زوايا الموجة المنعكسة المغادرة لهوائي الإرسال والواردة لهوائي الاستقبال على التوالي.

4.2.3 حساب المكونة "الكلية" أو المتشرة

ولكي يتسمى التوصل إلى تنبؤات دقيقة بالتوهين الإضافي الناتج عن الغطاء النباتي، يتعين على المستعمل إدخال المعلمات التالية في المعادلة RET (المعادلة (10)):

α : معدل القدرة المتشرة الأمامية بالنسبة إلى القدرة الكلية المتشرة؛

β : فتحة الحزمة لدالة الطور (بالدرجات)؛

σ : الامتصاص المركب ومعامل الانتشار؛

W : البياض الانعكاسي؛

$\Delta\gamma_R$: فتحة الحزمة لهوائي الاستقبال (بالدرجات)؛

d : المسافة إلى الغطاء النباتي (m).

نظراً إلى معلمات الدخل؛ والتعدد (GHz)، وحجم الورقة النمطي للغطاء النباتي التي ينبغي نمذجتها، ودليل مساحة الأوراق (LAI) لأصناف الأشجار، يمكن الحصول على أقرب قيمة للمعلمات α و β و W و S_k من جدول المعلمات RET (الجدار 3-6)، وفي حالة عدم تيسير هذه المعلمات، يجب افتراض أقرب قيمة من الأصناف الواردة في الجداول.

وبالتالي تستعمل هذه المعلمات بالاقتران مع التردد $\Delta\gamma_{3\text{dB}}$ وفتحة الحزمة بعدها 3 dB لهوائي الاستقبال، في النموذج RET.

ويعطى التوهين بسبب الانتشار في الغطاء النباتي، L_{scat} بالصيغة التالية:

$$(10) \quad L_{scat} = -10 \log_{10} \left(e^{-\tau} + \frac{\Delta\gamma_R^2}{4} \cdot \{ [e^{-\hat{\tau}} - e^{-\tau}] \cdot \bar{q}_M + e^{-\tau} \cdot \sum_{m=1}^M \frac{1}{m!} (\alpha W \tau)^m [\bar{q}_m - \bar{q}_M] \} \right) + \frac{\Delta\gamma_R^2}{2} \cdot \{ -e^{-\hat{\tau}} \cdot \frac{1}{P_N} + \sum_{k=\frac{N+1}{2}}^N [A_k e^{\frac{-\hat{\tau}}{s_k}} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\mu_N}{s_k}}] \}$$

حيث:

$$\Delta\gamma_R = 0.6 \cdot \Delta\gamma_{3\text{dB}}$$

m : لن يتغير ترتيب التعبير الأول I_1 بشكل كبير من أجل $m > 10$ (وبالتالي إن $M = 10$ في معظم الحالات);

$$\tau = (\sigma_a + \sigma_s) \cdot z$$

$$\bar{q}_m = \frac{4}{\Delta\gamma_R^2 + m\beta_S^2}$$

$$\beta_S = 0.6 \cdot \beta$$

$$(11) \quad \mu_n = -\cos\left(\frac{n\pi}{N}\right)$$

$$P_n = \sin^2\left(\frac{\pi}{2N}\right)$$

$$\hat{\tau} = (1 - \alpha W)\tau$$

تحدد معاملات التوهين S_k بالمعادلة المميزة:

$$\frac{\hat{W}}{2} \cdot \sum_{n=0}^N \frac{P_n}{1 - \frac{\mu_n}{s}} = 1$$

$$P_n = \sin\left(\frac{\pi}{N}\right) \sin\left(\frac{n\pi}{N}\right)$$

(12)

حيث N عدد صحيح فردي اختيار كحل وسط لحساب الوقت. وسوف تزيد قيم N الكبيرة من حساب الوقت إلى حد بعيد. وقد تم تحديد قيم معقولة مثل $N \leq 21$. وسوف يكون الجانب الأيسر للمعادلة (10) مساوياً لـ 1 فيما يتعلق بقيمة S التي تمثل جذور هذه المعادلة. وسوف تؤدي إلى $N+1$ من الجذور التي ينطبق عليها ما يلي:

$$S_{0, \dots, \frac{N}{2}} = -S_{N, \dots, \frac{N+1}{2}}$$

وتحدد عوامل الاتساع A_k بنظام معادلات خطية على النحو التالي:

$$(13) \quad \sum_{k=\frac{N+1}{2}}^N \frac{A_k}{1 - \frac{\mu_n}{s_k}} = \frac{\delta_n}{P_N} \quad \text{for } n = \frac{N+1}{2}, \dots, N$$

حيث:

$$\mu_n = -\cos\left(\frac{n\pi}{N}\right)$$

$$n \neq N \quad \text{من أجل } \delta_n = 0$$

و

$$n = N \quad \text{من أجل } \delta_n = 1$$

5.2.3 تجميع المكونات الفردية

تعطى الخسارة الكلية L_{total} , التي تخضع لها إشارة تنتشر عبر الأشجار بتجمیع تعابير الخسارة التالية:

$$(14) \quad L_{total} = -10 \log_{10} \left\{ 10^{\left(\frac{-L_{sidea}}{10} \right)} + 10^{\left(\frac{-L_{sideb}}{10} \right)} + 10^{\left(\frac{-L_{top}}{10} \right)} + 10^{\left(\frac{-L_{ground}}{10} \right)} + 10^{\left(\frac{-L_{scat}}{10} \right)} \right\}$$

الجدول 2

معلومات الغطاء النباتي

Sycamore maple	Sycamore maple	Common lime	Common lime	London plane	London plane	Silver maple	Silver maple	Horse chestnut	
غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة	مورقة	
0,483	1,631		1,475		1,93		1,691		دليل مساحة الأوراق
	0,15		0,100		0,250		0,15	0,300	حجم الأوراق (m)

Dawn-redwood	Plane tree, American	Himalayan cedar	Korean pine	Trident maple	Cherry, Japanese	Ginkgo	
مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة	مورقة	
				1,95	1,45	2,08	دليل مساحة الأوراق
0,035 × 0,078	0,22 × 0,16	0,001 × 0,046	0,001 × 0,1	0,07 × 0,085	0,05 × 0,08	0,1 × 0,055	حجم الأوراق (m)

- Cherry, Japanese: Prunus serrulata var. spontanea
 Common lime: Tilia x. Europaea
 Dawn redwood: Metasequoia glyptostroboides
 Ginkgo: Ginkgo biloba
 Horse chestnut: Aesculus hippocastanum L
 Himalayan cedar: Cedrus deodara
 London plane: Platanus hispanica muenchh
 Korean pine: Pinus kraicensis
 Plane tree, American: Platanus occidentalis
 Silver maple: Acer saccharinum L
 Sycamore maple: Acer pseudoplatanus L
 Trident maple: Acer buergerianum

الجدول 3

توافق قيم α مع التردد/الأصناف

Sycamore maple	Sycamore maple	Common lime	Common lime	London plane	London plane	Silver maple	Silver maple	Horse chestnut	التردد (GHz)
غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة	مورقة	
0,95		0,95	0,9	0,9	0,95	0,9	0,95	0,9	1,3
0,95		0,95			0,95	0,95		0,75	2
					0,5	0,95			2,2
0,95		0,95	0,95	0,95	0,7		0,9	0,85	11
					0,95				37
	0,9				0,25		0,8		61,5

Dawn-redwood	Plane tree, American	Himalayan cedar	Korean pine	Trident maple	Cherry, Japanese	Ginkgo	التردد (GHz)
مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	
0,93	0,95	0,48	0,7	0,95	0,95	0,90	1,5
0,82	0,74	0,74	0,82	0,95	0,93	0,90	2,5
0,85	0,85	0,92	0,74	0,95	0,90	0,30	3,5
0,89	0,75	0,91	0,72	0,9	0,90	0,40	4,5
0,82	0,70	0,96	0,73	0,9	0,95	0,40	5,5
0,21	0,71	0,27	0,23	0,25	0,16	0,20	12,5

ملاحظة: حجم الأوراق مقدر بالمتر.

الجدول 4

توافق قيم β مع التردد/الأصناف

Sycamore maple	Sycamore maple	Common lime	Common lime	London plane	London plane	Silver maple	Silver maple	Horse chestnut	التردد (GHZ)
غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة	مورقة	
70		50	76	16	42	43	14	21	1,3
62		60			49	31		80	2
					13	25			2,2
44		48	78	19	100		58	69	11
					18				37
	59				2		48		61,5

Dawn-redwood	Plane tree, American	Himalayan cedar	Korean pine	Trident maple	Cherry, Japanese	Ginkgo	التردد (GHz)
مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	
44	61	51,5	70	18,47	57,30	28,65	1,5
71	23	77,5	55	45,34	57,30	36,89	2,5
65	105	103	72	13,43	114,59	57,30	3,5
34	65	94	71	57,30	114,59	28,65	4,5
77	77	100	75	114,59	229,18	28,65	5,5
2,57	2,36	3,54	4,37	4,25	3,38	3,58	12,5

ملاحظة: حجم الأوراق مقدر بالملتر.

الجدول 5

توافق قيم البياض الانعكاسي مع التردد/الأصناف

Sycamore maple	Sycamore maple	Common lime	Common lime	London plane	London plane	Silver maple	Silver maple	Horse chestnut	التردد (GHZ)
غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة	مورقة	
0,85		0,95	0,95	0,95	0,95	0,25	0,95	0,25	1,3
0,95		0,95			0,95	0,95		0,55	2
					0,45	0,95			2,2
0,95		0,95	0,75	0,95	0,95		0,95	0,95	11
					0,95				37
	0,90				0,50		0,80		61,5

Dawn-redwood	Plane tree, American	Himalayan cedar	Korean pine	Trident maple	Cherry, Japanese	Ginkgo	التردد (GHz)
مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	
0,98	0,88	0,43	0,78	0,96	0,95	0,95	1,5
0,97	0,71	0,71	0,92	0,95	0,95	0,92	2,5
0,93	0,84	0,87	0,71	0,95	0,95	0,10	3,5
0,99	0,95	0,92	0,87	0,95	0,30	0,83	4,5
0,94	0,96	0,97	0,75	0,95	0,90	0,90	5,5
0,99	0,25	0,98	0,98	0,94	0,90	0,97	12,5

ملاحظة: حجم الأوراق مقدر بالمتر.

الجدول 6

توافق قيم σ مع التردد/الأصناف

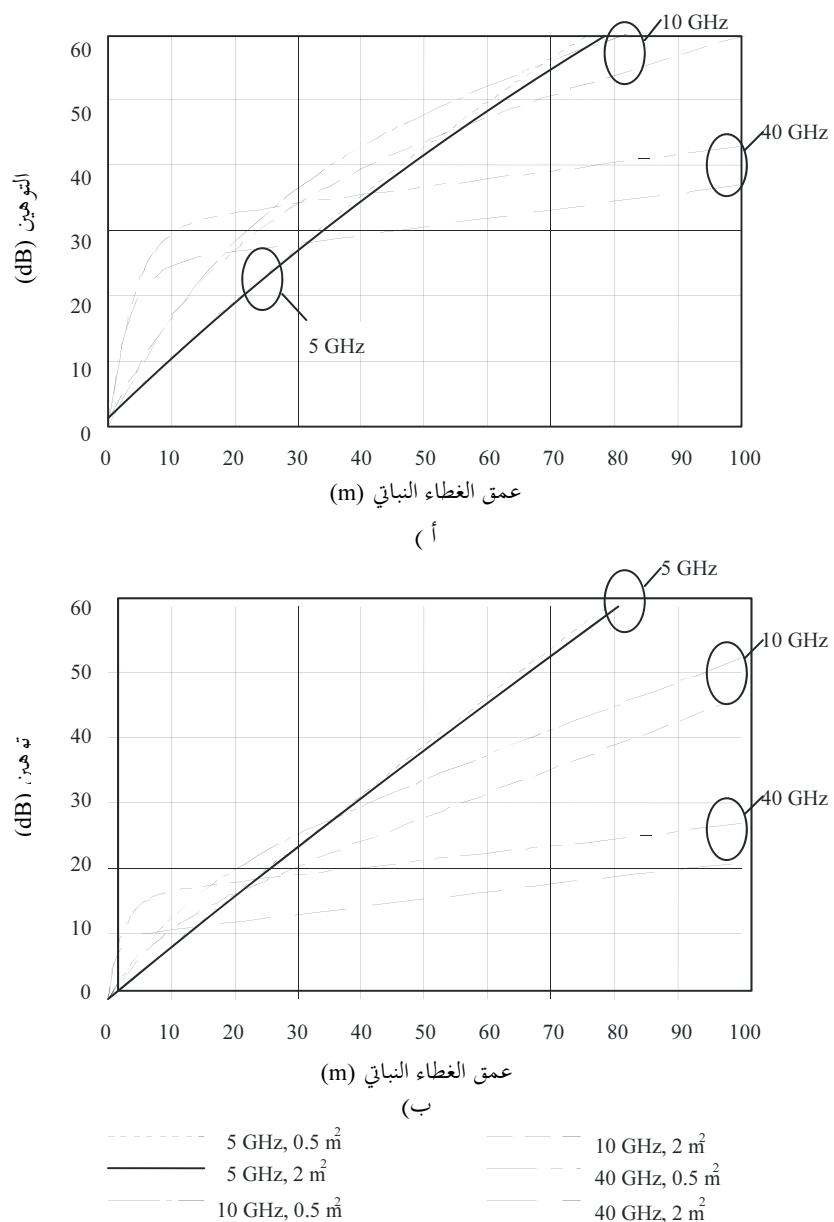
Sycamore maple	Sycamore maple	Common lime	Common lime	London plane	London plane	Silver maple	Silver maple	Horse chestnut	التردد (GHz)
غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة	مورقة	
0,36		0,591	0,22	0,221	0,147	0,139	0,241	0,772	1,3
0,249		0,692			0,203	0,176		0,091	2
					0,244	0,377			2,2
0,179		0,757	0,56	0,459	0,750		0,321	0,124	11
					0,441				37
	0,647				0,498		0,567		61,5

Dawn-redwood	Plane tree, American	Himalayan cedar	Korean pine	Trident maple	Cherry, Japanese	Ginkgo	التردد (GHz)
مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	
0,261	0,49	0,271	0,215	0,47	0,30	0,40	1,5
0,350	0,486	0,402	0,617	0,73	0,49	1,10	2,5
0,370	0,513	0,603	0,334	0,73	0,21	0,30	3,5
0,266	0,691	0,540	0,545	0,27	0,20	0,46	4,5
0,200	0,558	0,502	0,310	0,31	0,24	0,48	5,5
0,440	0,170	0,900	0,500	0,47	0,18	0,74	12,5

ملاحظة: حجم الأوراق مقدر بالمتر.

الشكل 7

توهين خاص بمنطقة الإضاءة بقدار $0,5 \text{ m}^2$ و 2 m^2 ،
 أ) أشجار مورقة،
 ب) أشجار غير مورقة



* تبين المحننات زيادة الخسارة الناجمة عن وجود كتلة نباتية سوف تخترقها الإشارة العابرة. وفي حالات عملية، تتعرض الإشارة العابرة خارج هذه الكتلة إلى توهين ناجم عن الانتشار عبر الغطاء النباتي وإلى الانعراج على حد سواء. وبالتالي سوف تحد آلية الانتشار المهيمنة من التوهين.

4 إزالة الاستقطاب

تؤدي القياسات التي أجريت سابقاً عند 38 GHz بأن إزالة الاستقطاب من خلال الغطاء النباتي يمكن أن تكون مهمة نسبياً، أي أن الإشارة المقاطعة الاستقطاب المرسلة يمكن أن يكون لها نفس ترتيب الإشارة المتمدة الاستقطاب في الغطاء النباتي. وعلى الرغم من ذلك، ولكي يتسمى حدوث ذلك بالنسبة إلى الأعمق الكبيرة للغطاء النباتي، لا بد أن يكون التوهين عالياً جداً بحيث تكون المكونتين - متمدة الاستقطاب ومقاطعة الاستقطاب - تحت المدى الدينامي للمستقبل.

5 التأثيرات الدينامية

للحظ أنه عندما تعبّر وصلة الغطاء النباتي، يتغيّر اتساع الإشارة المستلمة بشكل سريع عندما تتحرّك النباتات. ويعزى السبب الرئيسي للحركة إلى الريح، وقد بينت القياسات عند 38 GHz و42 GHz أن هناك ترابطًا وثيقاً بين معدل تذبذب الاتساع وسرعة الرياح.

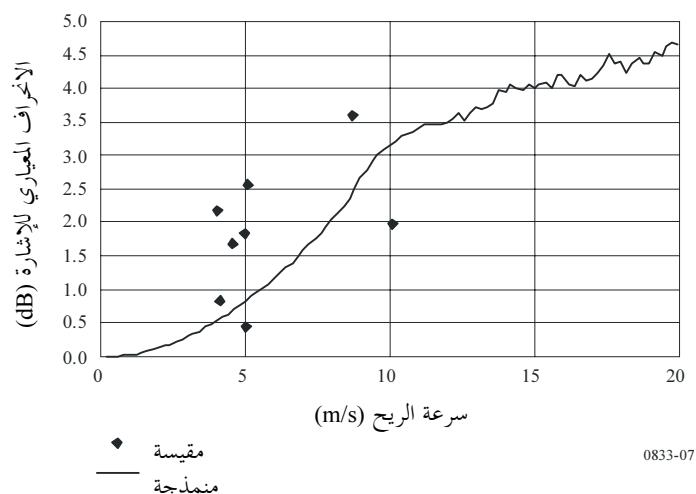
ومن الواضح عند النظر في تأثيرات الغطاء النباتي أن البيئة لن تظل جامدة على ما هي عليه. وقد تواجه عند موقع المستقبل شجرة واحدة أو أكثر على طول مسار الإشارة لا يتولد عنها متوسط توهين كافٍ لاستبقاء سوية الإشارة المستقبلة تحت هامش النظام. ومع ذلك، تبيّن أنه كلما تحرّكت الأشجار كلما تغيرت سوية الإشارة بشكل دينامي عبر مدى كبير مما يؤدّي إلى استحالة توفير خدمة معينة. وقد أجريت عدة قياسات لسوية الإشارة داخل الأشجار بدالة الوقت، وبينت هذه القياسات تخفضاً في معدل سوية الإشارة يبلغ حوالي 20 dB لكل شجرة. واتضحت تغيرات كبيرة في الإشارة مع خبو متكرر لها بتهين يبلغ 50 ms ويستغرق حوالي 10 ms.

ويلاحظ أن البنية العميقه المعروفة الملاحظة في القياسات المتسلسلة للوقت يمكن أن تنتج فقط عن تفاعل عدد من المكونات المنتشرة في الغطاء النباتي. ومن أجل محاكاة آلية الانتشار هذه، تم حساب المجال المجمع بواسطة عدد من المكونات المنتشرة الواقعة بشكل عشوائي على طول خط مماسٌ للمسار. ولكي يتسمى ضمن تغير زمني ملائم للإشارة الناتجة، تم تغيير موقع كل جهاز انتشار على نحو جيبي لمحاكاة حركة غصون الأشجار بسبب الريح. وقد تزايد تردد ومدى تغير الموقع مع زيادة سرعة الريح. وهذا النموذج مطابق للملاحظات بشكل معقول.

يعطي الشكل 8 السلسلة الزمنية المنمذجة والانحرافات المعيارية لاتساع الإشارة بالنسبة إلى سرعة الرياح المترادفة بين 0 و20 m/s بالمقارنة مع المعطيات المقيسة.

الشكل 8

الانحراف المعياري للسلالات الزمنية المقيسة
والمنمذجة بقدر 40 GHz بدالة سرعة الريح



ينمذج الانحراف المعياري σ بتقرير خطى بسيط كالتالى:

$$(13) \quad \sigma = v/4 \quad \text{dB}$$

حيث v هي سرعة الريح (m/s)

وتجدر باللحظة أنه على الرغم من أن هذا النمط من النموذج يبين اعتماداً متلازماً للتردد، فإن الاختلافات في طول المسير عبر الأشجار بسيطة، وسيبدو الخبو عبر عرض نطاق نموذجي قدره MHz 40 متظماً. ويعزى الخبو السريع إلى التغير الزمني لللوسيط.

يعرض الجدول 7 معلومات نموذجية لانحراف المعياري المتوسط للتوجهين المقىس عند 38 GHz فيما يتعلق بثلاثة أنواع للشجر في ظل ظروف هادئة ورياح قوية.

الجدول 7

динамична хвоя на кустарнице при 38 GHz

شجر الصنوبر (القطر 1,5 m)	شجر النفاح (القطر 2,8 m)	Dog-rose bush (القطر 2 m)	أنواع الشجر
7,7	17,4	8,6	خسارة متوسطة (dB)
2,2	2,8	2,0	خسارة معيارية (dB)
12,1	17,8	11,7	خسارة متوسطة (dB)
4,3	4,2	4,4	خسارة معيارية (dB)

6 خصائص التأخر الزمني للانتشار بفعل الغطاء النباتي

تتألف الإشارة المستلمة من غطاء نباتي يتتألف من مكونات متعددة المسيرات بسبب التأخر الزمني للانتشار. وتعانى إشارة الدخول من التأخر الزمني للانتشار. ويمكن أن يكون لهذا التأخر آثار هامة على الأنظمة الرقمية واسعة النطاق ولذلك من المهم أن يكون في الإمكان التنبؤ بخصائص التأخر الزمني للانتشار بسبب الانتشار عبر الغطاء النباتي.

وتستند البيانات الواردة في الجدول 8 إلى بيانات قياس التردد واسع النطاق الواردة من جمهورية كوريا. وأمكن الحصول على خصائص ميدان الوقت بالنسبة لإشارة حاملة 3,5 GHz مشكّلة مع نسبة 1,5 ns. ويكون عرض النطاق 3 dB لإشارة النبضة المشكّلة الناتجة هو 0,78 GHz.

الجدول 8

خصائص التأخر الزمني عبر الغطاء النباتي

Dawn-redwood	Plane tree, American	Himalayan cedar	Korean pine	Trident maple	Cherry, Japanese	Ginkgo	العلامات
مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	
4,7	6,5	4,7	5,2	4,3	6,2	5,4	عمق الغطاء النباتي (m)
6,56	2,56	6,39	6,62	5,89	8,23	7,27	تأخر الانتشار (ns)