الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصيـــة ITU-R P.833-8
(2013/09)

التوهين الناتج عن الغطاء النباتي

السلسلة P
انتشار الموجات الراديوية

الاتحاد الدولي للاتصالات ITU

تمهيـــد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد لمدى 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 الكهرتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد الاستمارات 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)

السلسلة	العنـــوان
BO	البث الساتلي
BR	التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية
BS	الخدمة الإذاعية (الصوتية)
BT	الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)
F	الخدمة الثابتة
M	الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة
P	انتشار الموجات الراديوية
RA	علم الفلك الراديوي
RS	أنظمة الاستشعار عن بُعد
S	الخدمة الثابتة الساتلية
SA	التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية
SF	تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة
SM	إدارة الطيف
SNG	التجميع الساتلي للأخبار
TF	إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت
V	المفردات والمواضيع ذات الصلة

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

النشر الإلكتروني
جنيف، 2014

© ITU 2014

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

التوصيـــة ITU-R P.833-8

التوهين الناتج عن الغطاء النباتي

(المسألة ITU-R 202/3)

(2013-2012-2007-2005-2003-2001-1999-1994-1992)

مجال التطبيق

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

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

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

توصي

باستعمال معطيات الملحق 1 لتقييم التوهين الناجم عن الغطاء النباتي بين 30 MHz و60 GHz.

الملحـــق 1

1 المقدمة

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 مديات التردد وعلى أنماط مختلفة لهندسة المسير.

2 الإعاقة بسبب منطقة مشجّرة

1.2 مسير للأرض مع مطراف في منطقة مشجرة

في حالة مسير راديوي للأرض مع مطراف واحد يقع في منطقة مشجرة أو في منطقة يغطيها الغطاء النباتي بشكل كثيف، يمكن تحديد الخسارة الإضافية الناتجة عن الغطاء النباتي بمعلمتين:

- معدل التوهين الخاص (dB/m) الناتج أساساً عن تشتت الطاقة على المسير الراديوي، كما يمكن قياسه على مسير قصير جداً؛
- التوهين الإضافي الكلي الأقصى الناتج عن الغطاء النباتي على المسير الراديوي (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. وتعبّر الصيغة التالية عن التوهين الإضافي A_{ev} الناتج عن وجود الغطاء النباتي:

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

حيث:

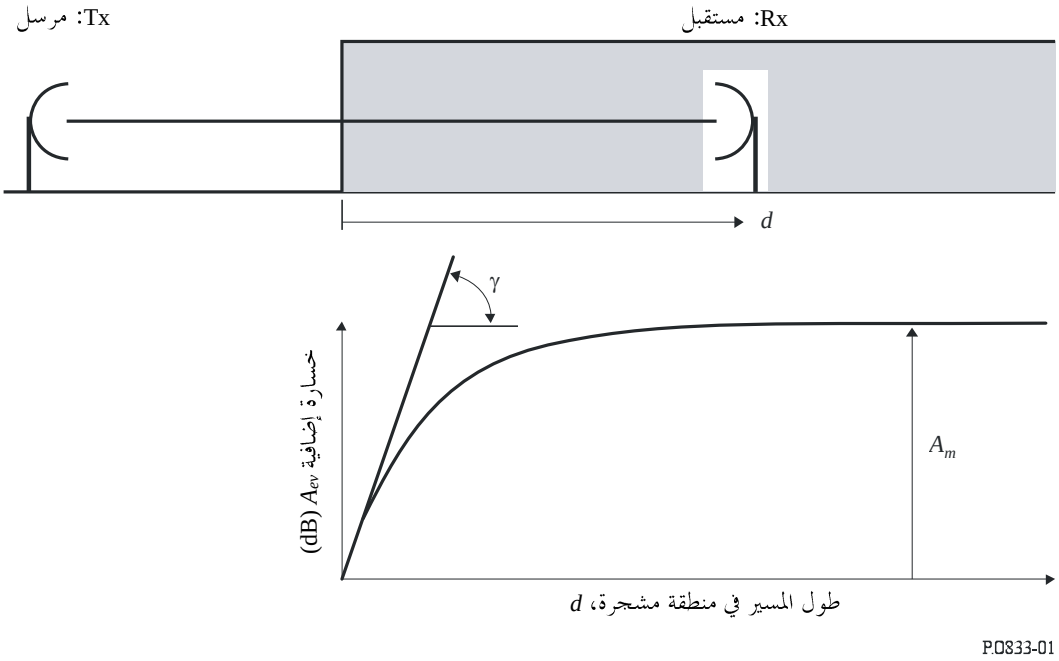
d: طول المسير داخل المنطقة المشجرة (m)؛

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

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

الشـــكل 1

مسير راديوي توضيحي في منطقة مشجرة



وجدير بالملاحظة أن التوهين الإضافي A_{ev} يضاف إلى جميع الآليات الأخرى وليس فقط للتوهين في الفضاء الحر. وهكذا إذا افترض أن التشكيلة الهندسية للمسير الراديوي في الشكل 1 تستبعد خلوص فرينل على نحو كامل، فإن A_{ev} قد يضاف إلى التوهين في الفضاء الحر والخسارة بالانعراج. وعلى غرار ذلك، إذا كان التردد مرتفعاً بشكل كافٍ بحيث يصبح الامتصاص الغازي كبيراً، يضاف A_{ev} إلى الامتصاص الغازي.

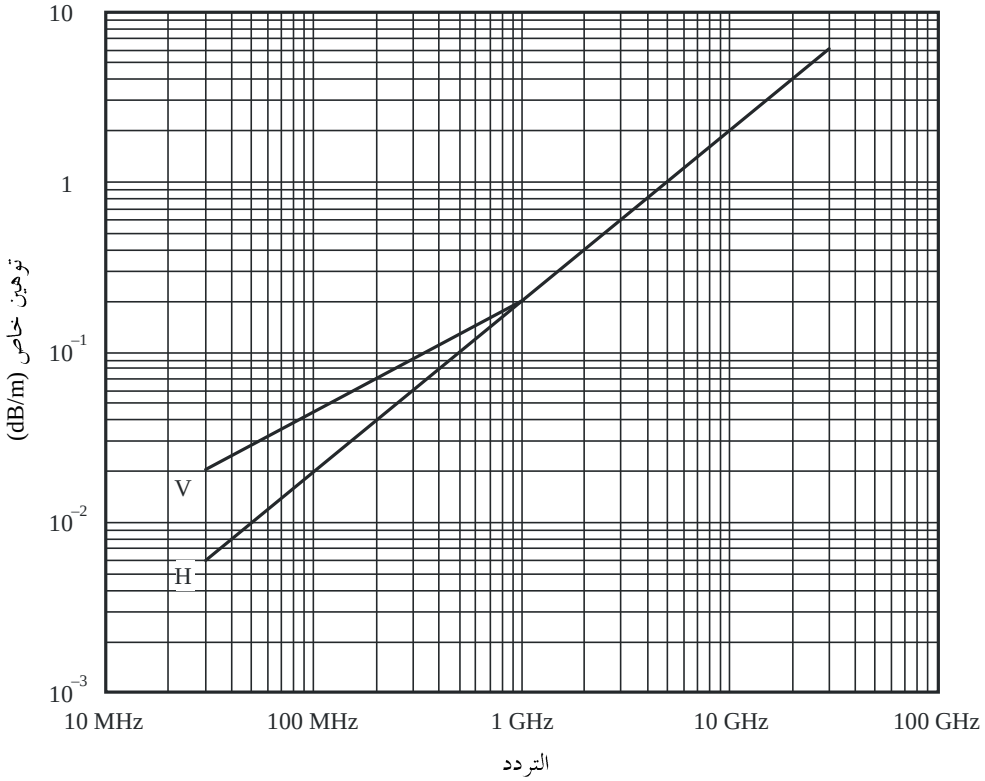
وجدير بالملاحظة أيضاً أن A_m يعادل التوهين الناتج عن الإشارات المشوشة التي يتعرض لها مطراف بسبب التغطية الأرضية.

وتعتمد قيمة التوهين الخاص الناتج عن الغطاء النباتي γ dB/m، على الأصناف النباتية وكثافتها. ويعطي الشكل 2 القيم التقريبية لهذا التوهين بدالة التردد.

ويعطي الشكل 2 القيم النمطية للتوهين الخاص المستخلصة من مختلف القياسات التي أجريت في مدى التردد المتراوح بين 30 MHz و30 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 الانتثار بسبب جذوع الأشجار.

الشـــكل 2

التوهين الخاص 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 نمطية فقط.

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

ويعتمد التوهين 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 الترددي 105-200 MHz 2 في غطاء نباتي صنوبري–غير مورق مختلط (غابة مختلطة) بالقرب من سان بطرسبرغ (روسيا) على مسيرات تتراوح في الطول من بضع 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 المبيّن في الجدول 1.

الجـــدول 1

المعلمة	التردد (MHz) والاستقطاب				
التردد MHz	105,9 أفقي	466,475 دائري	949,0 دائري	1 852,2 دائري	2 117,5 دائري
γ (dB/m)	0,04	0,12	0,17	0,30	0,34
A_m (dB)	9,4	18,0	26,5	29,0	34,1

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

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

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

- قياسات في مدى التردد 900-800 MHz 1 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 وα = 0,752. وبلغ ارتفاع هوائي الاستقبال 2,4 m.
- قياسات في مدى التردد 900-200 MHz 2 أجريت في غابة قريبة من مولوز (فرنسا) على مسيرات يتغير طولها من بعض مئات الأمتار إلى 6 km في بيئة تغطيها أصناف متنوعة من الأشجار يبلغ متوسط ارتفاعها 15 m، وقد أدت هذه القياسات إلى قيمتين: A_1 = 1,15 dB وα = 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 2 200 MHz.
- أجريت القياسات في المدى الترددي 105,9-117,5 2 MHz في منطقتي غابات بغطاء نباتي صنوبري–غير 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 20-10 شجرة/100 m^2 حيث أعطت قيمة للمعامل A_1 = 1,37 dB وα = 0,42. ولاستقبال الإشارة، استعمل هوائي ثنائي الأقطاب بربع طول الموجة على ارتفاع 1,5 m فوق سطح الأرض. وكانت المسافة بين هوائيي المستقبِل والمرسِل من 0,4 إلى 7 km واختيرت مسيرات القياس بحيث يكون هناك خط بصر بين هذين الهوائيين دون أيّ عوائق خلاف المنطقة المشجرة الجاري قياسها. وأجريت مراحل مختلفة للتجربة في ظروف جوية متشابهة طقس جاف وسرعة الرياح من 0 إلى 7 m/s.

2.2 المسيرات الساتلية الدائرية

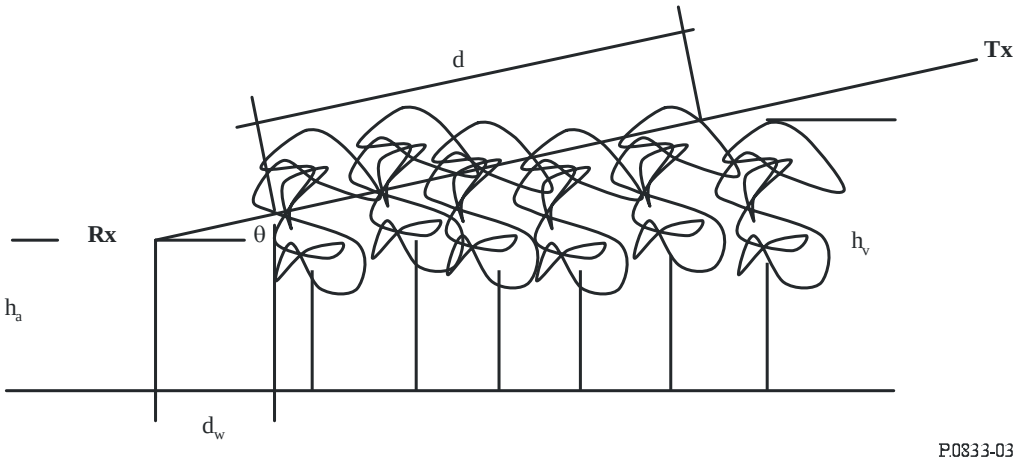
مسير راديوي تمثيلي في منطقة مشجرة.

يقع المرسل (TX) والمستقبل (RX) في الشكل 3 خارج المنطقة المشجرة. والمعلمات ذات الصلة كالتالي:

- طول مسير الغطاء النباتي، d؛
- متوسط ارتفاع الأشجار، h_v؛
- ارتفاع هوائي المستقبل فوق سطح الأرض، h_a؛
- زاوية ارتفاع المسير الراديوي، θ؛
- المسافة بين الهوائي والمنطقة المشجرة على جانبي الطريق، d_w.

الشـــكل 3

مسار راديوي تمثيلي في منطقة مشجرة بطول مسار للغطاء النباتي، *d* ومتوسط ارتفاع الأشجار، h_v، وارتفاع هوائي المستقبل فوق سطح الأرض، h_a وزاوية ارتفاع المسار الراديوي، θ، والمسافة بين الهوائي والمنطقة المشجرة على جانبي الطريق، d_w



ولوصف خسارة التوهين، L، عبر الانتشار على مسير مورق أفقي ودائري، يقترح النموذج التالي:

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

حيث:

f : التردد (MHz)؛

d : عمق الغطاء النباتي (m)؛

θ : زاوية الارتفاع (بالدرجات)؛

A وB وC وE وG: معلمات مستخرجة تجريبياً.

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

$$L(\text{dB}) = 0{,}25 f^{0{,}39} d^{0{,}25} \theta^{0{,}05} \quad (4)$$

3 عائق وحيد ناتج عن الغطاء النباتي

1.3 عند 1 GHz أو أقل

لا تنطبق المعادلة (1) على مسير راديوي يعترض سبيله عائق نباتي وحيد حيث يكون المطرافان خارج التغطية النباتية كما هو الحال بالنسبة إلى مسير 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 المسير الراديوي، يمكن تمثيل هذه الحالة بصورة تقريبية بواسطة نموذج يستند إلى التوهين الخاص والحدود القصوى للتوهين الكلي الإضافي:

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

حيث:

d: طول المسير ضمن المنطقة النباتية (m)؛

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

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

والتقييد المتعلق بقيمة قصوى A_{et} ضروري نظراً إلى أنه عندما يكون التوهين الخاص مرتفعاً بشكل كافٍ، سوف يوجد مسير بتوهين أدنى يحيط بالغطاء النباتي. ويمكن حساب القيمة التقريبية للتوهين الأدنى لمسيرات أخرى بافتراض أن الكُمّة النباتية 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 تقريبية فقط. وهي تميل بوجه عام إلى المبالغة في تقييم زيادة التوهين الناتج عن الغطاء النباتي. وهي بالتالي مفيدة جداً لإجراء تقييمات تقريبية للتوهين الإضافي عند تخطيط خدمة مطلوبة. وفي حالة استعمالها من أجل إشارة غير مطلوبة، يمكن أن تؤدي إلى تخفيض كبير في قيمة التداخلات الناتجة.

2.3 فوق GHz 1

بالنسبة للمسيرات الأرضية، ينبغي تطبيق الطريقة التي تستند إلى نظرية نقل الطاقة الإشعاعي RET المشروحة في الفقرة 1.2.3، وذلك لحساب تأثير شجرة وحيدة.

وبالنسبة للمسيرات المائلة، ينبغي تطبيق الطريقة التي تستند إلى نظرية الانتشار المتعدد المشروحة في الفقرة 2.2.3، وذلك لحساب تأثير شجرة وحيدة.

1.2.3 المسير الأرضي

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

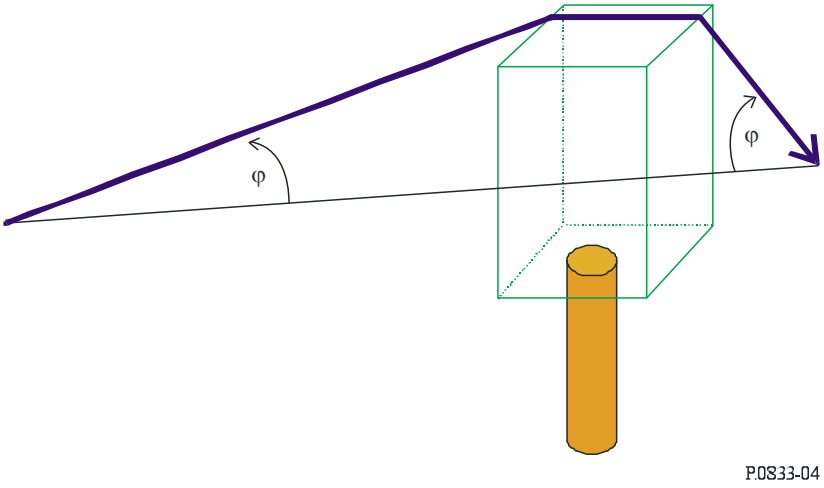
تتكون المكونات المنعرجة من المكونات فوق قمة الغطاء النباتي وتلك التي تحيط به. وتحسب هذه المكونات والمكونات المنعرجة عند الأرض باستعمال التوصيات الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية. وتحسب المكونات الكلية أو المنتشرة باستعمال نموذج يستند إلى نظرية نقل الطاقة الإشعاعي (RET).

1.1.2.3 حساب المكونة المنعرجة عند القمة

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

الشـــكل 4

مكونة منعرجة عبر قمة الغطاء النباتي



ويحسب ذلك كالتالي:

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

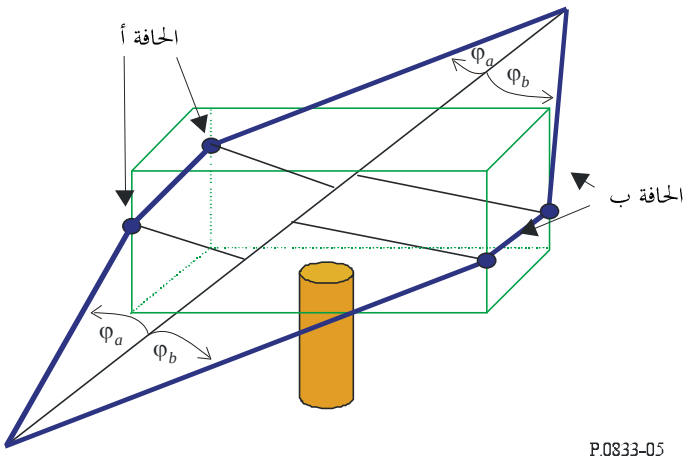
حيث $G_{Tx}(\varphi)$ و$G_{Rx}(\varphi)$ هي الخسائر بسبب زوايا الموجة المنعرجة المغادرة لهوائي الإرسال والواردة لهوائي الاستقبال على التوالي. وL_{top_diff} هي الخسارة الكلية بالانعراج التي تحسب باستعمال التوصية ITU-R P.526 للجانبين المزدوجين المعزولين.

2.1.2.3 حساب المكونة المنعرجة عند الجانب

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

الشـــكل 5

المكونات المنعرجة حول الغطاء النباتي



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

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

و

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

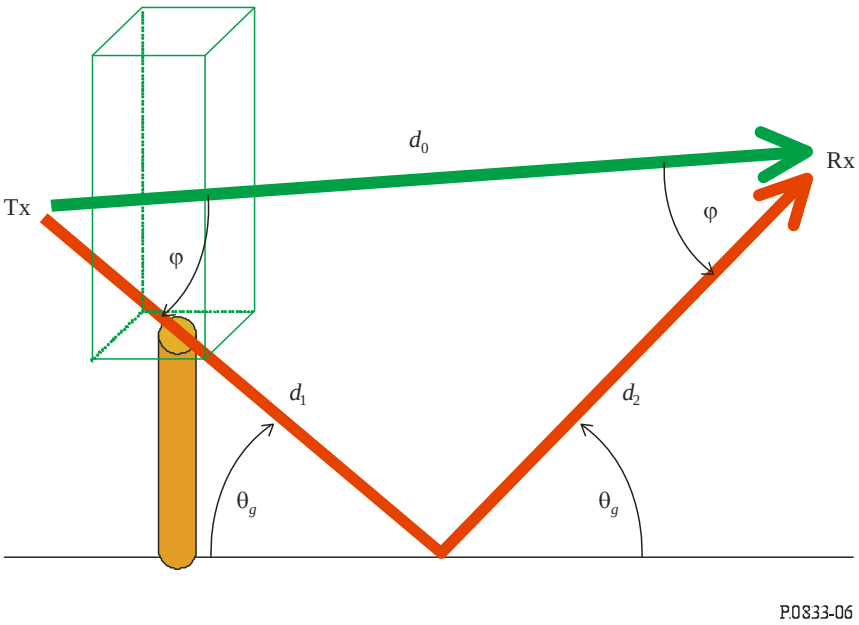
حيث $G_{Tx}(\varphi_{a,b})$ و$G_{Rx}(\varphi_{a,b})$ هي الخسائر بسبب زوايا الموجة المنعرجة المغادرة لهوائي الإرسال والواردة لهوائي الاستقبال من أجل الجانبين (أ) و(ب) على التوالي. إن الخسارة بالانعراج L_{diff_sidea} والخسارة بالانعراج L_{diff_sideb}، هي الخسارة الكلية بالانعراج التي تحسب باستعمال التوصية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

3.1.2.3 حساب المكونة المنعكسة على الأرض

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

الشـــكل 6

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 عادية 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:

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

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

4.1.2.3 حساب المكونة "الكلية" أو المنتشرة

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

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

β: فتحة الحزمة لدالة الطور (بالدرجات)؛

σ_τ: 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: والتردد (GHz)، وحجم الورقة النمطي للغطاء النباتي التي ينبغي نمذجتها، ودليل مساحة الأوراق (LAI) لأصناف الأشجار، يمكن الحصول على أقرب قيمة للمعلمات α وβ وW وσ_τ من جدول المعلمات RET (الجداول 3-6)، وفي حالة عدم تيسر هذه المعلمات، يجب افتراض أقرب قيمة من الأصناف الواردة في الجداول.

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

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

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

حيث:

$\Delta\gamma_R = 0.6\cdot\Delta\gamma_{3db}$: فتحة الحزمة البالغة 3 dB لهوائي الاستقبال؛

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

$\tau = (\sigma_a + \sigma_s)\cdot z$: الكثافة البصرية τ بدالة المسافة z

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

$$\beta_S = 0{,}6\cdot\beta$$

$$P_N = \sin^2\left(\frac{\pi}{2N}\right) \quad (11)$$

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

تحدد معاملات التوهين S_k بالمعادلة المميِّزة:

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

حيث:

$$P_n = \sin\left(\frac{\pi}{N}\right) \sin\left(\frac{n\pi}{N}\right), (n = 1, \ldots, N\text{-}1), \text{ and } \hat{W} = \frac{(1-\alpha)W}{1-\alpha W} \quad (12)$$

حيث N عدد صحيح فردي اختير كحل وسط لحساب الوقت. وسوف تزيد قيم N الكبيرة من حساب الوقت إلى حد بعيد. وقد تم تحديد قيم معقولة مثل $11 \le N \le 21$. وسوف يكون الجانب الأيسر للمعادلة (10) مساوياً لـــ 1 فيما يتعلق بقيم S التي تمثل جذور هذه المعادلة. وسوف تؤدي إلى $N+1$ من الجذور التي ينطبق عليها ما يلي:

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

وتحدد عوامل الاتساع A_k بنظام معادلات خطية على النحو التالي:

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

حيث:

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

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

و

$$\delta_n = 1 \quad \text{for} \quad n = N$$

5.1.2.3 تجميع المكونات الفردية

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

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

الجـــدول 2

معلمات الغطاء النباتي

	Horse chestnut	Silver maple		London plane		Common lime		Sycamore maple	
	مورقة	غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة
دليل مساحة الأوراق		1,691		1,930		1,475		1,631	0,483
حجم الأوراق (m)	0,300		0,150		0,250		0,100	0,150	

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

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: Plantanus hispanica muenchh
Korean pine: Pinus Koraiensis
Plane tree, American: Platanus occidentalis
Silver maple: Acer saccharinum L
Sycamore maple: Acer pseudoplatanus L
Trident maple: Acer buergerianum

الجـــدول 3

توافق قيم α مع التردد/الأصناف

التردد (GHz)	Horse chestnut	Silver maple		London plane		Common lime		Sycamore maple	
	مورقة	غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة
1,3	0,90	0,90	0,95	0,90	0,95	0,90	0,95	0,95	
2	0,75	0,95			0,95	0,95		0,95	
2,2		0,95			0,50				
11	0,85		0,90	0,95	0,70	0,95	0,95	0,95	
37					0,95				
61,5			0,80		0,25				0,90

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

ملاحظة – حجم الأوراق مقدر بالمتر.

الجـــدول 4

توافق قيم β مع التردد/الأصناف

Sycamore maple		Common lime		London plane		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 بالمتر.

الجـــدول 5

توافق قيم البياض الانعكاسي مع التردد/الأصناف

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

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

ملاحظة – حجم الأوراق مقدر بالمتر.

الجـــدول 6

توافق قيم σ_τ مع التردد/الأصناف

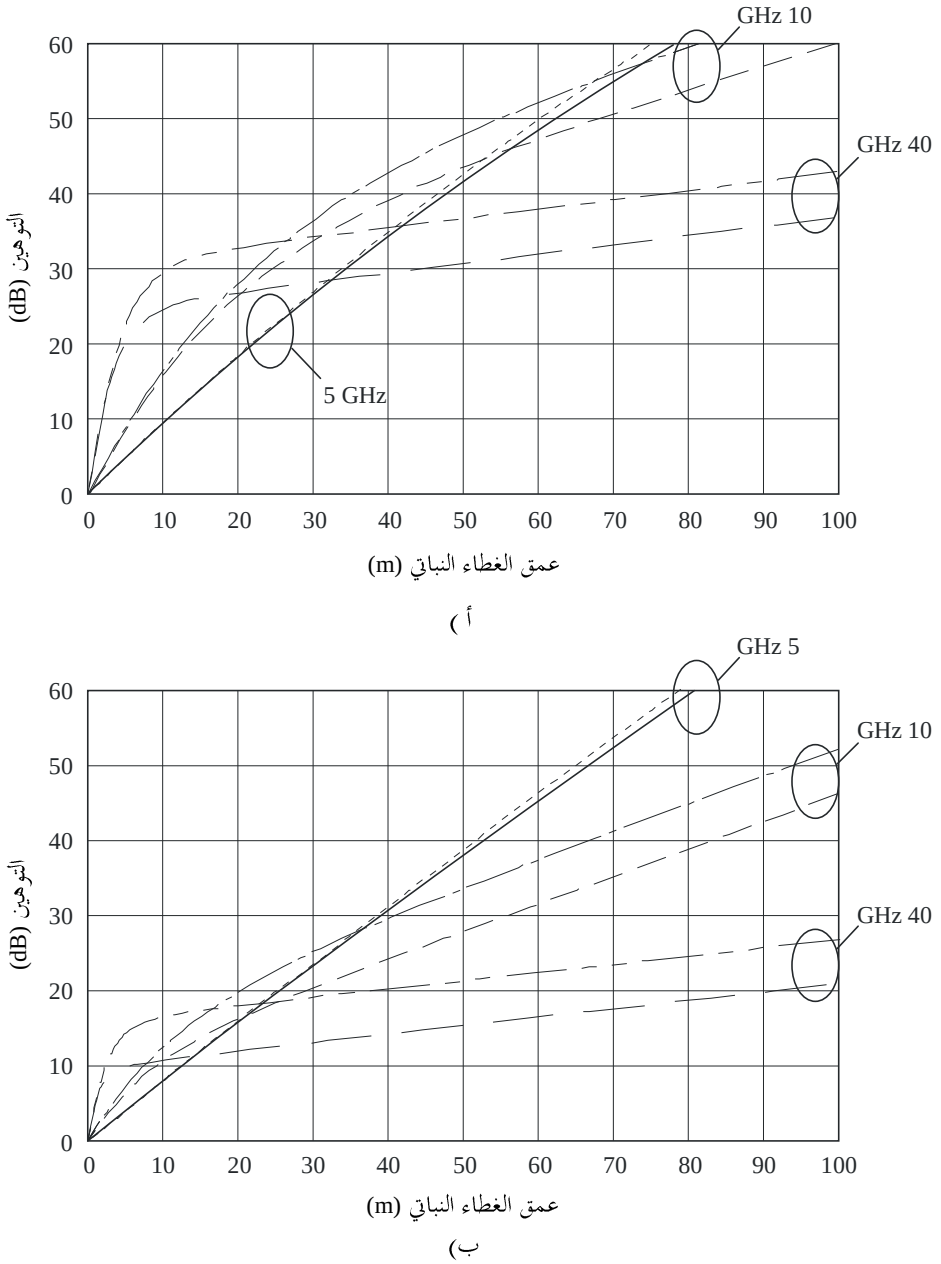
التردد (GHz)	Horse chestnut	Silver maple		London plane		Common lime		Sycamore maple	
	مورقة	غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة	غير مورقة	مورقة
1,3	0,772	0,139	0,241	0,221	0,147	0,591	0,22	0,360	
2	0,091	0,176			0,203	0,692		0,249	
2,2		0,377			0,244				
11	0,124		0,321	0,459	0,750	0,757	0,56	0,179	
37					0,441				
61,5			0,567		0,498				0,647

التردد (GHz)	Ginkgo	Cherry, Japanese	Trident maple	Korean pine	Himalayan cedar	Plane tree, american	Dawn-redwood
	مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	مورقة	مورقة
1,5	0,40	0,30	0,47	0,215	0,271	0,490	0,261
2,5	1,10	0,49	0,73	0,617	0,402	0,486	0,350
3,5	0,30	0,21	0,73	0,334	0,603	0,513	0,370
4,5	0,46	0,20	0,27	0,545	0,540	0,691	0,266
5,5	0,48	0,24	0,31	0,310	0,502	0,558	0,200
12,5	0,74	0,18	0,47	0,500	0,900	0,170	0,440

ملاحظة: حجم الأوراق مقدر بالمتر.

الشـــكل 7

توهين خاص بمنطقة الإضاءة بمقدار $2m\ 0,5$ و$2m\ 2$، أ) أشجار مورقة، ب) أشجار غير مورقة*



* تبين المنحنيات زيادة الخسارة الناتجة 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.

P.0833-07

2.2.3 المسير المائل

بالنسبة للمسير المائل، يوصى باستعمال طريقة الخطوة خطوة التالية لحساب الخسارة الإجمالية الناتجة عن الشجرة ومعامل رايس والتوزيع التراكمي بمقياس صغير للقدرة المستقبلة.

وفيما يلي معلمات الدخل النموذجية (انظر الشكل 8 للاطلاع على التعريف الهندسي):

R: نصف قطر الغطاء النباتي (بالأمتار)

H: ارتفاع الغطاء النباتي (بالأمتار)

θ_i: زاوية ارتفاع السقوط على الغطاء النباتي (بالتقدير الدائري)

φ_i: زاوية سمت السقوط على الغطاء النباتي (بالتقدير الدائري)

φ_s: زاوية انتشار السمت (بالتقدير الدائري)

f: التردد (GHz، بين 1 و100 GHz)

d_{TRx}: المسافة الأفقية بين هوائي الاستقبال والشجرة (بالأمتار)

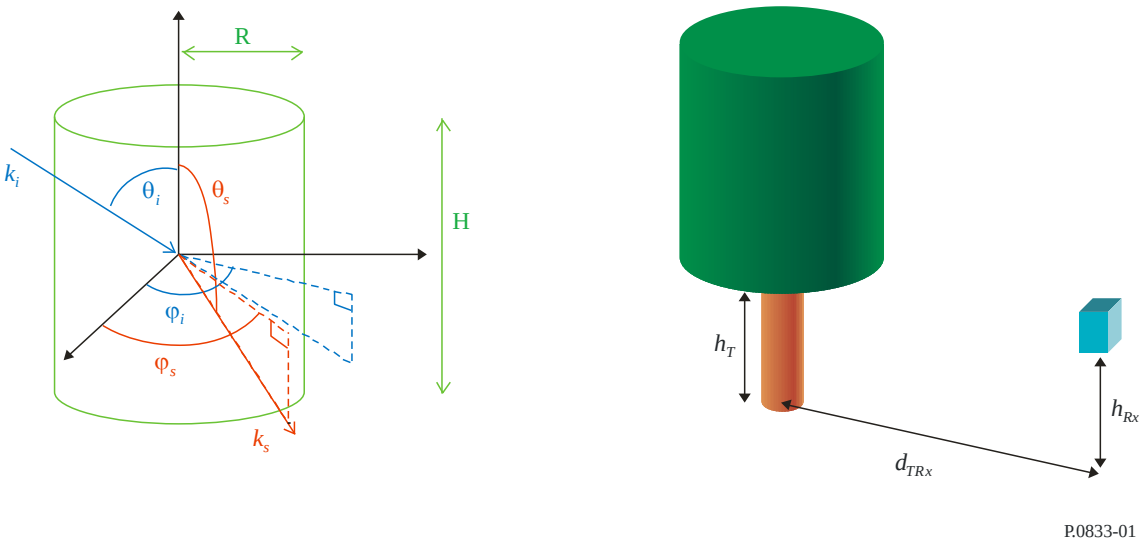
h_T: ارتفاع قاعدة الغطاء النباتي (بالأمتار)

h_{Rx}: ارتفاع هوائي الاستقبال (بالأمتار، يجب أن يقل عن $(H/2 + h_T)$)

استقطاب الوصلة (*V* أو *H* أو *RHCP* أو *LHCP*).

الشكل 8

التعريف الهندسي



الخطوة 1 حساب θ_s، زاوية انتشار الارتفاع (بالتقدير الدائري):

$$\theta_s = \frac{\pi}{2} - \tan 2^{-1}\left(h_{Rx} - \left(h_T + \frac{H}{2}\right), d_{TRx}\right) \quad (15)$$

الخطوة 2 تحديد خصائص الفروع والأوراق:

a: نصف القطر (m)

h: الطول (m)

ε_r: ثابت العزل الكهربائي

ρ: الكثافة (m^{-3}).

فإذا كانت قيم a وh وρ غير معلومة، تستعمل القيم الواردة في الجدول 7 المقابلة لشجرة بلوط نمطية.

الجدول 7

الأبعاد المقاسة لفروع وأوراق شجرة بلوط في بوكستيل، هولندا وكثافتها

نمط وسيلة الانتشار	نصف القطر (cm)	الطول/السمك (cm)	الكثافة العددية (m^{-3})
الفرع (1)	11,4	131	0,013
الفرع (2)	6,0	99	0,073
الفرع (3)	2,8	82	0,41
الفرع (4)	0,7	54	5,1
الفرع (5)	0,2	12	56
ورقة	3,7	0,02	420

وفي حالة عدم معرفة ثابت العزل الكهربائي للفروع والأوراق، يمكن حسابه كالتالي:

– للأوراق:

$$\varepsilon_l = 3{,}1686 + \frac{28{,}938}{1 + j\frac{f}{18}} - j\frac{0{,}5672}{f} \tag{16}$$

– الفروع:

$$\varepsilon_b = \varepsilon_b^{'}\left(1 + j\tan\delta_b\right) \tag{17}$$

حيث ε'_b و$\tan\delta_b$، يتم حسابهما عند التردد f عن طريق استكمال داخلي خطي للقيم الواردة في الجدول 8.

الجدول 8

ثابت العزل الكهربائي وظل الزاوية لأخشاب بمحتوى رطب يساوي 40% ودرجة حرارة 20 مئوية

التردد (GHz)	1	2,4	5,8	100
ε'_b	7,2	6,2	6,0	5,3
$\tan\delta_b$	0,29	0,30	0,37	0,43

الخطوة 3 تحديد طول الموجة λ (بالأمتار)

$$\lambda = \frac{0{,}3}{f} \tag{18}$$

الخطوة 4 لكل فئة من الفروع ولكل فئة من الأوراق، تحسب الكميات الممتدة لاتساع الانتشار للقيم التالية من اتجاهات السمت والارتفاع للفروع والأوراق:

السمت: $\varphi_{sc}(i_\varphi) = i_\varphi \frac{2\pi}{5}$ (with $0 \le i_\varphi \le 5$)

الارتفاع: $\theta_{sc}(i_\theta) = i_\theta \frac{\beta_{\max}}{5}$ (with $0 \le i_\theta \le 5$) حيث $\beta_{\max} = \pi/4$ للفروع من الفئتين (1) و(2) وتساوي $\pi/2$ للفروع من الفئات (3) و(4) و(5) والأوراق.

الخطوة *1.4* تحسب زوايا السقوط والانحراف في الإطار المحلي لوسيلة الانتشار، $\theta_{i,sc}$ و$\varphi_{s,sc}$ و$\varphi_{s,sc}$ و$\theta_{s,sc}$.

$$\begin{cases} \theta_{i,sc} = \cos^{-1}\left(\cos\theta_{sc}\cos\theta_i - \sin\theta_{sc}\cos(\varphi_{sc} - \varphi_i)\sin\theta_i\right) \\ \varphi_{i,sc} = \tan 2^{-1}\left(\sin\theta_i \sin(\varphi_i - \varphi_{sc}), \sin\theta_i \cos\theta_{sc}\cos(\varphi_{sc} - \varphi_i) + \sin\theta_{sc}\cos\theta_i\right) \\ \theta_{s,sc} = \pi - \cos^{-1}\left(-\cos\theta_{sc}\cos\theta_s - \sin\theta_{sc}\cos(\varphi_{sc} - \varphi_s)\sin\theta_s\right) \\ \varphi_{i,sc} = \tan 2^{-1}\left(\sin\theta_s \sin(\varphi_s - \varphi_{sc}), \sin\theta_s \cos\theta_{sc}\cos(\varphi_{sc} - \varphi_s) + \sin\theta_{sc}\cos\theta_s\right) \end{cases} \quad (19)$$

الخطوة *2.4* تحسب الكميات الممتدة لانتشار اتساع الإطار المحلي، f_{vv} وf_{vh} وf_{hv} وf_{hh} لكل فئة من الفروع والأوراق:

– بالنسبة للفروع التي تكون فيها $\left|\frac{2\pi}{\lambda} a\sqrt{\varepsilon_r} - 1\right| < 1$ والأوراق:

$$\begin{cases} f_{vv} = \dfrac{\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 (\varepsilon_r - 1)}{2}\left(a_N \sin\theta_{i,sc}\sin\theta_{s,sc} - a_T \cos\theta_{i,sc}\cos\theta_{s,sc}\cos(\varphi_{s,sc} - \varphi_{i,sc})\right)\mu \\ f_{hv} = \dfrac{\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 (\varepsilon_r - 1)}{2} a_T \cos\theta_{i,sc}\sin(\varphi_{s,sc} - \varphi_{i,sc})\mu \\ f_{hh} = \dfrac{\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 (\varepsilon_r - 1)}{2} a_T \cos(\varphi_{s,sc} - \varphi_{i,sc})\mu \\ f_{vh} = \dfrac{\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 (\varepsilon_r - 1)}{2} a_T \cos\theta_{s,sc}\sin(\varphi_{s,sc} - \varphi_{i,sc})\mu \end{cases} \quad (20)$$

مع:

$$\begin{cases} a_T = \dfrac{1}{(\varepsilon_r - 1)g_t + 1} \\ a_N = \dfrac{1}{(\varepsilon_r - 1)g_n + 1} \end{cases} \quad (21)$$

حيث:

– للفروع:

(22)
$$\begin{cases} b = \sqrt{1 - \left(\dfrac{2a}{h}\right)^2} \\ g_t = \dfrac{b\left(b^2 - 1\right)}{2}\left(\dfrac{b}{b^2 - 1} + \dfrac{\log_{10}\dfrac{b-1}{b+1}}{2}\right) \\ g_n = -\left(b^2 - 1\right)\left(\dfrac{b\log_{10}\dfrac{b-1}{b+1}}{2} + 1\right) \end{cases}$$

– للأوراق:

(23)
$$\begin{cases} m = \dfrac{2a}{h} \\ g_t = \dfrac{1}{2\left(m^2 - 1\right)}\left(\dfrac{m^2}{\sqrt{m^2 - 1}}\sin^{-1}\left(\dfrac{\sqrt{m^2 - 1}}{m}\right) - 1\right) \\ g_n = \dfrac{m^2}{m^2 - 1}\left(1 - \dfrac{1}{\sqrt{m^2 - 1}}\sin^{-1}\left(\dfrac{\sqrt{m^2 - 1}}{m}\right)\right) \end{cases}$$

(24)
$$\mu = \sum_{n-5}^{5}\sum_{l=0}^{50}\sum_{p=0}^{50}\left[l\frac{a}{50}J_n\left(\frac{2\pi}{\lambda}l\frac{a}{50}\sin\theta_{i,sc}\right)J_n\left(\frac{2\pi}{\lambda}l\frac{a}{50}\sin\theta_{s,sc}\right) \times \exp\left(j\frac{2\pi}{\lambda}h\left(\frac{l}{50} - \frac{1}{2}\right)\right)\left(\cos\theta_{i,sc} + \cos\theta_{s,sc}\right)\frac{a}{50}\frac{h}{50}\right]$$

– بالنسبة للفروع التي تكون فيها $\left|\dfrac{2\pi}{\lambda}a\sqrt{\varepsilon_r} - 1\right| > 1$

(25)
$$\begin{cases} f_{vv} = \left(\dfrac{2\pi}{\lambda}\right)^2\left(\varepsilon_r - 1\right)h\mu\left(\dfrac{E_v(0)\left(Z(-1) + Z(1)\right)\cos\theta_{i,sc}\cos\theta_{s,sc}}{2\sqrt{\varepsilon_r - \cos^2\theta_{i,sc}}} - Z(0)\sin\theta_{s,sc} + G_{vv}\right) \\ f_{vh} = 2j\left(\dfrac{2\pi}{\lambda}\right)^2\left(\varepsilon_r - 1\right)h\mu\left(\dfrac{E_v(0)\left(Z(-1) + Z(1)\right)\cos\theta_{i,sc}\cos\theta_{s,sc}}{2\sqrt{\varepsilon_r - \cos^2\theta_{i,sc}}} - Z(0)\sin\theta_{s,sc} + G_{vh}\right) \\ f_{hh} = \left(\dfrac{2\pi}{\lambda}\right)^2\left(\varepsilon_r - 1\right)h\mu\left(\dfrac{H_h(0)\left(Z(-1) + Z(1)\right)}{2\sqrt{\varepsilon_r - \cos^2\theta_{i,sc}}} + G_{hh}\right) \\ f_{vh} = j\left(\dfrac{2\pi}{\lambda}\right)^2\left(\varepsilon_r - 1\right)h\mu G_{hv} \end{cases}$$

مع:

$$\mu = \frac{\sin\frac{2\pi}{\lambda}h\left(\cos\theta_{i,sc} + \cos\theta_{s,sc}\right)}{\frac{2\pi}{\lambda}h\left(\cos\theta_{i,sc} + \cos\theta_{s,sc}\right)} \tag{26}$$

$$Z(n) = \frac{a^2}{u^2 - v_s^2}\left(uJ_n(v_s)J_{n+1}(u) - v_s J_n(u)J_{n+1}(v_s)\right) \tag{27}$$

$$\begin{cases} G_{vv} = 2\sum_{n=1}^{20}\left(\beta(n)E_v(n)\cos\theta_{i,sc} - j\alpha(n)H_v(n)\cos\theta_{s,sc} - Z(n)E_v(n)\sin\theta_{s,sc}\right)\cos\left(n\left(\varphi_{s,sc} - \varphi_{i,sc}\right)\right) \\ G_{vh} = 2\sum_{n=1}^{20}\left(\beta(n)E_h(n)\cos\theta_{i,sc} - j\alpha(n)H_h(n)\cos\theta_{s,sc} - Z(n)E_v(n)\sin\theta_{s,sc}\right)\sin\left(n\left(\varphi_{s,sc} - \varphi_{i,sc}\right)\right) \\ G_{hh} = 2\sum_{n=1}^{20}\left(\beta(n)H_h(n) + j\alpha(n)E_h(n)\cos\theta_{i,sc}\right)\cos\left(n\left(\varphi_{s,sc} - \varphi_{i,sc}\right)\right) \\ G_{vv} = 2\sum_{n=1}^{20}\left(\beta(n)H_v(n) + j\alpha(n)E_v(n)\cos\theta_{i,sc}\right)\sin\left(n\left(\varphi_{s,sc} - \varphi_{i,sc}\right)\right) \end{cases} \tag{28}$$

حيث:

$$\begin{cases} u = \frac{2\pi}{\lambda}a\sqrt{\varepsilon_r - \cos^2\theta_{i,sc}} \\ v_i = \max\left(10^{-5}, \frac{2\pi}{\lambda}a\sin\theta_{i,sc}\right) \\ v_s = \frac{2\pi}{\lambda}a\sin\theta_{s,sc} \end{cases} \tag{29}$$

$$\begin{cases} \alpha(n) = \dfrac{Z(n-1) - Z(n+1)}{2\sqrt{\varepsilon_r - \cos^2\theta_{i,sc}}} \\ \beta(n) = \dfrac{Z(n-1) + Z(n+1)}{2\sqrt{\varepsilon_r - \cos^2\theta_{i,sc}}} \end{cases} \tag{30}$$

$$\begin{cases} E_v(n) = \dfrac{j\sin\theta_{i,sc}}{R(n)J_n(u)}\left(\dfrac{H'(n)}{v_i H_n^{(2)}(v_i)} - \dfrac{J'(n)}{uJ_n(u)}\right) \\ E_h(n) = \dfrac{-\sin\theta_{i,sc}}{R(n)J_n(u)}\left(\dfrac{1}{v_i^2} - \dfrac{1}{u^2}\right)n\cos\theta_{i,sc} \\ H_v(n) = \dfrac{\sin\theta_{i,sc}}{R(n)J_n(u)}\left(\dfrac{1}{v_i^2} - \dfrac{1}{u^2}\right)n\cos\theta_{i,sc} \\ H_h(n) = \dfrac{j\sin\theta_{i,sc}}{R(n)J_n(u)}\left(\dfrac{H'(n)}{v_i H_n^{(2)}(v_i)} - \varepsilon_r\dfrac{J'(n)}{uJ_n(u)}\right) \end{cases} \tag{31}$$

$$(32)\quad \begin{cases} J'(n) = \dfrac{J_{n-1}(u) - J_{n+1}(u)}{2} \\ H'(n) = \dfrac{H^{(2)}_{n-1}(v_i) - H^{(2)}_{n+1}(v_i)}{2} \\ R(n) = \dfrac{\pi v_i^2 H^{(2)}_n}{2}\left(\left(\dfrac{H'(n)}{v_i H^{(2)}_n(v_i)} - \dfrac{J'(n)}{uJ_n(u)}\right)\left(\dfrac{H'(n)}{v_i H^{(2)}_n(v_i)} - \varepsilon_r \dfrac{J'(n)}{uJ_n(u)}\right) - \left(\dfrac{1}{u^2} - \dfrac{1}{v_i^2}\right) n \cos\theta_{i,sc}\right) \end{cases}$$

$J_n(.)$: دالة بيسيل من الدرجة n من النوع الأول

$H^{(2)}_n(.)$: دالة هانكيل من الدرجة n

الخطوة 3.4 تحسب معاملات دوران الإطار:

$$(33)\quad \begin{cases} t_{vi} = -\left(\sin\theta_{sc}\cos\theta_i\cos(\varphi_{sc} - \varphi_i) + \cos\theta_{sc}\sin\theta_i\right) \\ t_{hi} = \sin\theta_{sc}\sin(\varphi_{sc} - \varphi_i) \\ t_{vs} = \sin\theta_{sc}\cos\theta_s\cos(\varphi_{sc} - \varphi_s) - \cos\theta_{sc}\sin\theta_s \\ t_{hs} = \sin\theta_{sc}\sin(\varphi_{sc} - \varphi_s) \end{cases}$$

الخطوة 4.4 تحسب مصفوفة القيم الممتدة لانتشار الإطار المرجعي F_{VV} وF_{VH} وF_{HV} وF_{HH} لكل فئة من الفروع والأوراق:

$$(34)\quad \begin{cases} F_{VV} = \dfrac{1}{\sqrt{\left(t_{vi}^2 + t_{hi}^2\right)\left(t_{vs}^2 + t_{hs}^2\right)}}\left[t_{vs}\left(f_{vv}t_{vi} - f_{vh}t_{hi}\right) - t_{hs}\left(f_{hv}t_{vi} - f_{hh}t_{hi}\right)\right] \\ F_{HH} = \dfrac{1}{\sqrt{\left(t_{vi}^2 + t_{hi}^2\right)\left(t_{vs}^2 + t_{hs}^2\right)}}\left[t_{hs}\left(f_{vv}t_{hi} + f_{vh}t_{vi}\right) + t_{vs}\left(f_{hv}t_{hi} + f_{hh}t_{vi}\right)\right] \\ F_{HV} = \dfrac{1}{\sqrt{\left(t_{vi}^2 + t_{hi}^2\right)\left(t_{vs}^2 + t_{hs}^2\right)}}\left[t_{hs}\left(f_{vv}t_{vi} - f_{vh}t_{hi}\right) + t_{vs}\left(f_{hv}t_{vi} - f_{hh}t_{hi}\right)\right] \\ F_{VH} = \dfrac{1}{\sqrt{\left(t_{vi}^2 + t_{hi}^2\right)\left(t_{vs}^2 + t_{hs}^2\right)}}\left[t_{vs}\left(f_{vv}t_{hi} + f_{vh}t_{vi}\right) - t_{hs}\left(f_{hv}t_{hi} + f_{hh}t_{vi}\right)\right] \end{cases}$$

الخطوة 5.4 تحسب القيمة الممتدة لانتشار اتساع الإطار المرجعي $F_{scat}(i_\theta, i_\varphi)$ لاستقطاب الوصلة لكل فئة من الفروع والأوراق:

$$(35)\quad \begin{cases} \text{الاستقطاب الرأسي} & F_{scat}(i_\theta, i_\varphi) = F_{VV} \\ \text{الاستقطاب الأفقي} & F_{scat}(i_\theta, i_\varphi) = F_{HH} \\ \text{الاستقطاب الدائري الميامن} & F_{scat}(i_\theta, i_\varphi) = \dfrac{1}{2}\left[F_{VV} + F_{HH} + j\left(-F_{VH} + F_{HV}\right)\right] \\ \text{الاستقطاب الدائري المياسر} & F_{scat}(i_\theta, i_\varphi) = \dfrac{1}{2}\left[F_{VV} + F_{HH} + j\left(F_{VH} - F_{HV}\right)\right] \end{cases}$$

الخطوة 5 لكل فئة من الفروع والأوراق، تحسب اللحظتان الأولى والثانية لاتساع الانتشار:

$$E\left[\left|F_{scat}\right|^2\right]_{b,l} = \int_0^{2\pi}\int_0^{\beta_{max}} \left|F_{scat}(\theta,\varphi)\right|^2 \frac{\sin\theta}{1-\cos\beta_{max}} d\theta d\varphi \tag{36}$$

حيث تحسب $\int_0^{2\pi}\int_0^{\beta_{max}} f(\theta,\varphi)d\theta d\varphi$ باستعمال قاعدة شبه المنحرف على أساس:

$$\int_a^b f(x)dx = \frac{\Delta x}{2}\sum_{k=1}^{N-1}\left(f(x_{k+1}) - f(x_k)\right)$$

$$F_{scat}(\theta,\varphi) = F_{scat}(i_\theta, i_\varphi)$$

$$\Delta\theta = \frac{\beta_{max}}{N_\theta - 1}$$

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{N_\varphi - 1}$$

$$N_\theta = N_\varphi = 20$$

الخطوة 6 تكرر الخطوات من *1.4* إلى *5.4* باستعمال ($\theta_s = \pi - \theta_i$) و($\varphi_s = \varphi_i$) لحساب

$$E\left[F_{scat}\right]_{b,l} = \int_0^{2\pi}\int_0^{\beta_{max}} F_{scat}(\theta,\varphi)\frac{\sin\theta}{1-\cos\beta_{max}} d\theta d\varphi \tag{37}$$

الخطوة 7 يحسب اتساع الانتشار المكافئ والمقطع العرضي للانتشار المكافئ لكل وحدة حجم من الغطاء النباتي:

$$F^{eq} = \sum_{branches\&\,leaves} \rho_{b,l} E\left[F_{scat}\right]_{b,l} \tag{38}$$

$$\sigma^{eq} = \sum_{branches\&\,leaves} 4\pi\rho_{b,l} E\left[\left|F_{scat}\right|^2\right]_{b,l} \tag{39}$$

الخطوة 8 يحسب الجزء التخيلي من ثابت الانتشار الفعلي داخل الغطاء النباتي، K_c'' :

$$K_c'' = -imag\left(\frac{2\pi}{\lambda}\sin\theta_i + \frac{\lambda}{\sin\theta_i} F^{eq}\right) \tag{40}$$

الخطوة 9 يحسب التوهين المحدد للغطاء النباتي الشجري بالوحدات dB/m:

$$\alpha_c = 20K_c'' \log_{10} e = 8.686K_c'' \tag{41}$$

الخطوة 10 يحسب انتشار قدرة المسيرات المتعددة نسبة إلى مستوى خط البصر، $mp = 2\sigma^2$:

$$mp = 2\sigma^2 = \frac{\sigma^{eq}}{4\pi s^2} \int_{-H/2}^{H/2}\int_{-R}^{R}\int_{-R}^{R} \exp\left(-2K_c''\left(s_1(x,y,z) + s_2(x,y,z)\right)\right) dxdydz \tag{42}$$

حيث تحسب $\int_{-H/2}^{H/2}\int_{-R}^{R}\int_{-R}^{R} f(x,y,z)dxdydz$ باستخدام قاعدة شبه المنحرف على أساس:

$$\begin{cases} s_1(x,y,z) = s_{1,0}(x,y,z) \times \min\left(1, \dfrac{\dfrac{H}{2} - z}{s_{1,0}(x,y,z)\cos\theta_i}\right) & \text{if} \quad x^2 + y^2 \le R^2 \\ s_1(x,y,z) = 0 & \text{if} \quad x^2 + y^2 > R^2 \end{cases} \tag{43}$$

$$s_{1,0}(x,y,z) = \frac{(y\sin\varphi_i - x\cos\varphi_i) + \sqrt{(y\sin\varphi_i - x\cos\varphi_i)^2 - \left(x^2 + y^2 - R^2\right)}}{\sin\theta_i} \tag{44}$$

مع

$$\begin{cases} s_2(x,y,z) = s_{2,0}(x,y,z) \times \min\left(1, \dfrac{-\left(\dfrac{H}{2} + z\right)}{s_{2,0}(x,y,z)\cos\theta_s}\right) & \text{if} \quad x^2 + y^2 \le R^2 \\ s_2(x,y,z) = 0 & \text{if} \quad x^2 + y^2 > R^2 \end{cases} \tag{45}$$

$$s_{2,0}(x,y,z) = \frac{(-y\sin\varphi_s + x\cos\varphi_s) + \sqrt{(y\sin\varphi_s - x\cos\varphi_s)^2 - \left(x^2 + y^2 - R^2\right)}}{\sin\theta_s} \tag{46}$$

ومع

$$\Delta x = \Delta y = \Delta z = \frac{\lambda}{4}$$

الخطوة 11 يحسب طول المسير الهندسي عبر الشجرة، l_{tree} (m)

الخطوة 1.11 يحسب المتغير δ:

$$\delta = R^2 - d_{TRx}^2 \sin^2(\varphi_i - \varphi_s) \tag{47}$$

الخطوة 2.11 يحسب الطول l_{tree}:

- إذا كان المتغير $\delta \le 0$: $l_{tree} = 0$
- إذا كان المتغير $\delta > 0$:

$$l_{tree} = \max\left(0, \min\left(\frac{d_{TRx}\cos(\varphi_i - \varphi_s) + \sqrt{\delta}}{\sin\theta_i}, \frac{h_T - h_{Rx} + H}{\cos\theta_i}\right) - \max\left(\frac{d_{TRx}\cos(\varphi_i - \varphi_s) - \sqrt{\delta}}{\sin\theta_i}, \frac{h_T - h_{Rx}}{\cos\theta_i}\right)\right) \tag{48}$$

الخطوة 12 تحسب القدرة المباشرة للمسير نسبة إلى مستوى خط البصر، a^2:

$$a^2 = 10^{\frac{-\alpha_c \times l_{tree}}{10}} \tag{49}$$

الخطوة 13 تحسب القدرة الإجمالية للمسير نسبة إلى مستوى خط البصر، p_{tot}:

$$p_{tot} = a^2 + 2\sigma^2 \tag{50}$$

الخطوة 14 يحسب معامل رايس، K (dB):

$$K = 10 \log_{10}\left(\frac{a^2}{2\sigma^2}\right) \quad (51)$$

الخطوة 15 يحسب التوزيع التراكمي للقدرة بمقياس صغير باستعمال توزيع ناكاغامي-رايس المعرف في التوصية ITU-R P.1057:

$$\text{Prob}\,(X > x) = 2\exp\left(-\frac{a^2}{2\sigma^2}\right) \int_{x/\sigma\sqrt{2}}^{\infty} \nu \exp\left(-\nu^2\right) I_0\left(\frac{2\nu a}{\sigma\sqrt{2}}\right) d\nu \quad (52)$$

4 إزالة الاستقطاب

توحي القياسات التي أجريت سابقاً عند 38 GHz بأن إزالة الاستقطاب من خلال الغطاء النباتي يمكن أن تكون مهمة نسبياً، أي أن الإشارة المتقاطعة الاستقطاب المرسلة يمكن أن يكون لها نفس ترتيب الإشارة المتحدة الاستقطاب في الغطاء النباتي. وعلى الرغم من ذلك، ولكي يتسنى حدوث ذلك بالنسبة إلى الأعماق الكبيرة للغطاء النباتي، لا بد أن يكون التوهين عالياً جداً بحيث تكون المكونتين – متحدة الاستقطاب ومتقاطعة الاستقطاب – تحت المدى الدينامي للمستقبل.

5 التأثيرات الدينامية

لوحظ أنه عندما تعبر وصلة الغطاء النباتي، يتغير اتساع الإشارة المستلمة بشكل سريع عندما تتحرك النباتات. ويعزى السبب الرئيسي للحركة إلى الريح، وقد بينت القياسات عند 38 GHz و42 GHz أن هناك ترابطاً وثيقاً بين معدل تذبذب الاتساع وسرعة الرياح.

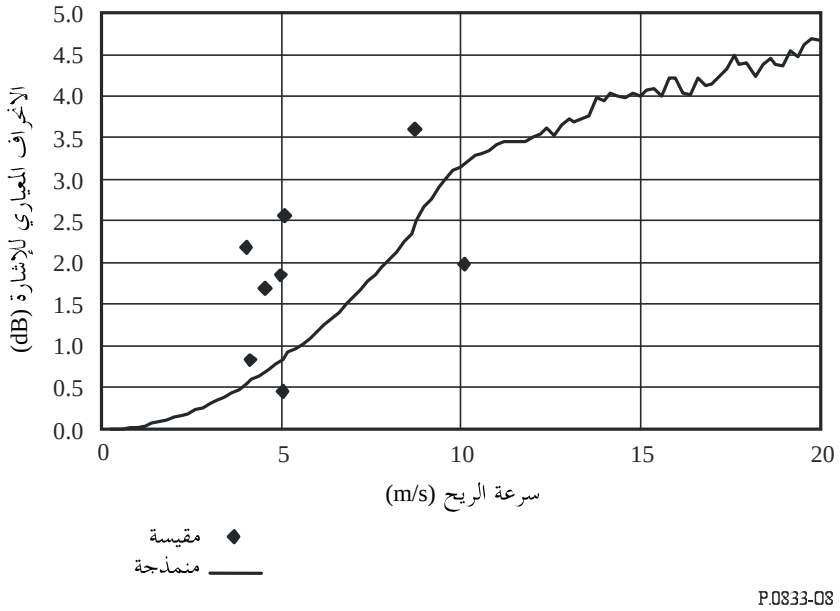
ومن الواضح عند النظر في تأثيرات الغطاء النباتي أن البيئة لن تظل جامدة على ما هي عليه. وقد تواجد عند موقع المستقبل شجرة واحدة أو أكثر على طول مسير الإشارة لا يتولد عنها متوسط توهين كافٍ لاستبقاء سوية الإشارة المستقبلة تحت هامش النظام. ومع ذلك، تبيّن أنه كلما تحركت الأشجار كلما تغيرت سوية الإشارة بشكل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

ويلاحظ أن البنية العميقة المعدومة الملاحظة في القياسات المتسلسلة للوقت يمكن أن تنتج فقط عن تفاعل عدد من المكونات المتناثرة في الغطاء النباتي. ومن أجل محاكاة آلية الانتشار هذه، تم حساب المجال المجمع بواسطة عدد من المكونات المتناثرة الواقعة بشكل عشوائي على طول خط مماسّ للمسير. ولكي يتسنى ضمان تغير زمني ملائم للإشارة الناتجة، تم تغيير موقع كل جهاز انتثار على نحو جيبـــي لمحاكاة حركة غصون الأشجار بسبب الريح. وقد تزايد تردد ومدى تغير الموقع مع زيادة سرعة الريح. وهذا النموذج مطابق للملاحظات بشكل معقول.

يعطي الشكل 9 السلاسل الزمنية المنمذجة والانحرافات المعيارية لاتساع الإشارة بالنسبة إلى سرعة الرياح المتراوحة بين 0 و m/s 20 بالمقارنة مع المعطيات المقيسة.

الشـــكل 9

الانحراف المعياري للسلاسل الزمنية المقيسة والمنمذجة بمقدار 40 GHz بدالة سرعة الريح



ينمذج الانحراف المعياري σ بتقريب خطي بسيط كالتالي:

$$\sigma = v/4 \quad \text{dB} \tag{53}$$

حيث v هي سرعة الريح (m/s).

وجدير بالملاحظة 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 40 MHz منتظماً. ويعزى الخبو السريع إلى التغير الزمني للوسيط.

يعرض الجدول 9 معطيات نموذجية للانحراف المعياري المتوسط للتوهين المقيس عند 38 GHz فيما يتعلق بثلاثة أنواع للشجر في ظل ظروف هادئة ورياح قوية.

الجـــدول 9

دينامية الخبو للغطاء النباتي المقيسة عند 38 GHz

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

6 خصائص التأخر الزمني للانتشار بفعل الغطاء النباتي

تتألف الإشارة المستلمة من غطاء نباتي يتألف من مكونات متعددة المسيرات بسبب التأخر الزمني للانتشار. وتعاني إشارة الدخل 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 10 إلى بيانات قياس التردد واسع النطاق الواردة من جمهورية كوريا. وأمكن الحصول على خصائص ميدان الوقت بالنسبة لإشارة حاملة GHz 3,5 مشكّلة مع نبضة ns 1,5. ويكون عرض النطاق dB 3 لإشارة النبضة المشكَّلة الناتجة هو GHz 0,78.

الجـــدول 10

خصائص التأخر الزمني عبر الغطاء النباتي

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