

## التوصية ITU-R P.1410-4

معطيات الانتشار وطرائق التنبؤ المطلوبة  
لتصميم أنظمة النفاذ الراديوية عريضة النطاق للأرض  
العاملة في نطاق التردد من 3 إلى 60 GHz  
(المسألة ITU-R 203/3)

(1999-2001-2003-2005-2007)

## مجال التطبيق

يعتبر النفاذ اللاسلكي عريض النطاق طريقة هامة لتوفير النطاق العريض للمنازل الإفرادية وكذلك للمشروعات التجارية الصغيرة. وتتناول هذه التوصية الأنظمة العاملة في نطاق تردد من 3 إلى 60 GHz وتقدم توجيهها لآليات الانتشار الهامة ذات التغطية في خط البصر (LoS) وفي غير خط البصر (non-LoS). وتقدم بالنسبة للأنظمة المتأثرة بالمطر طرائق لتقدير التحسينات المتنوعة نتيجة انتقاء أفضل محطة قاعدة من اثنتين وانخفاض التغطية نتيجة لهطول المطر. كما يقدم توجيه بشأن التشوه واسع النطاق.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن التخطيط الملائم لأنظمة النفاذ الراديوي للأرض عريضة النطاق يتطلب توفر طرائق التنبؤ والمعطيات المناسبة في مجال الانتشار؛

ب) أن التوصيات المعدة لتصميم الوصلات الفردية لا تشمل الجوانب المتعلقة بالمنطقة،

توصي

1 بضرورة تطبيق المعطيات المتعلقة بالانتشار وطرائق التنبؤ الواردة في الملحق 1 عند تصميم أنظمة النفاذ الراديوي للأرض العاملة في نطاق التردد من 3 إلى 60 GHz؛

## الملحق 1

## 1 مقدمة

هناك اهتمام متزايد بتوفير الخدمات عريضة النطاق بواسطة شبكات النفاذ المحلية إلى المنازل الفردية والشركات التجارية الصغيرة كذلك. وقد أصبحت الحلول الراديوية بشكل متزايد أنظمة لتقديم الخدمات وهي متيسرة اليوم في السوق. ويجري حالياً دراسة عدة أنظمة وتشغيلها، لا سيما نظام التوزيع المحلي متعدد النقاط (LMDS) ونظام الاتصالات المحلية متعددة النقاط (LMCS) والنظام من نقطة إلى عدة نقاط (P-MP). ويمكن تسمية هذه الأنظمة بصورة إجمالية بأنظمة النفاذ اللاسلكي عريضة النطاق (BWA). ويجري حالياً وضع معايير دولية مثل WiMAX المستند إلى المعيار IEEE 802.16 وHiperMAN.

يجب الحصول على إرشادات جيدة في مجال التصميم فيما يتعلق بمسائل انتشار الموجات الراديوية. داخل قطاع تخطيط الشبكات والمشغلين والجهات المصنعة ومن جانب الهيئات المنظمة.

## 2 تغطية المنطقة

يتعين على المشغل عند تخطيط نظام خلوي أن يختار بعناية موقع وارتفاع المحطة القاعدة فوق سطح الأرض لكي يتسنى له توفير الخدمة للعدد المرغوب من المستعملين داخل منطقة معينة. ويمكن أن يتغير حجم الخلايا حسب الطوبوغرافيا وعدد المستعملين المستفيدين من الخدمة الراديوية. ويقدم هذا الفرع نموذجاً إحصائياً للحجب بالمباني يقوم على تحديد بسيط لخصائص المباني في منطقة معينة وتوفير إرشادات تقوم على حسابات مفصلة. ويقدم أيضاً نموذجاً للتوهين الناتج عن الغطاء النباتي وبعض قواعد التصميم البسيطة.

### 1.2 الحجب بالمباني

تتمثل أفضل طريقة لتقييم احتمال الحجب بالمباني في تقنيات تتبع أثر الأشعة التي تستعمل معطيات حقيقية صادرة من قواعد معطيات مفصلة عن المباني والتضاريس الأرضية. وتصف الفقرة 1.1.2 باختصار متطلبات تقنيات تتبع أثر الأشعة. ومع ذلك، لا تتوفر قواعد معطيات ملائمة في العديد من المناطق ومن ثم يوصى باستعمال النموذج الإحصائي الموصوف في الفقرة 2.1.2.

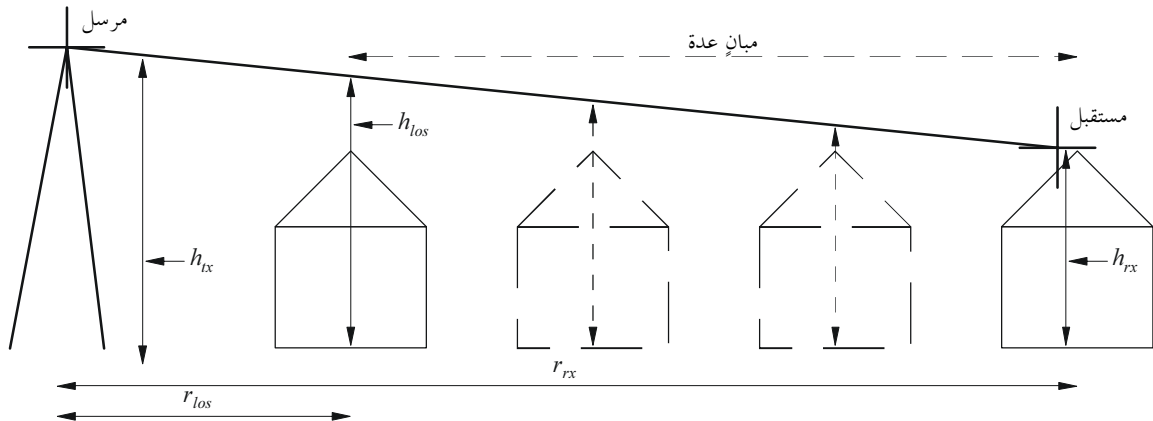
#### 1.1.2 متطلبات تتبع أثر الأشعة

يمكن الحصول على تنبؤ دقيق بالتغطية باستعمال تقنيات تتبع أثر الأشعة في المناطق التي تتوفر بشأنها قواعد معطيات عن التغطية بالتضاريس الأرضية. ونظراً إلى ارتفاع الترددات وقصر أطوال المسير المعنية، يمكن استعمال تقريب بصري هندسي للانتشار عبر خط مستقيم.

ولتقريب من المرتبة الأولى لتقييم التغطية، يكون تحديد الرؤية عبر خط البصر (LoS). بمقدار 60% من تحرير منطقة فريسنيل الأولى كافياً لضمان خسارة إضافية لا تذكر (انظر الشكل 1). وتكون الخسارة بسبب الانعراج شديدة في حالات خارج خط البصر. وسوف تحد دقة قاعدة المعطيات الخاصة بالمباني من دقة التنبؤ بالأشعة ويجب أن تتضمن قاعدة المعطيات تمثيلاً دقيقاً للتضاريس الأرضية والمباني الواقعة على طول المسير. ويجب أن يؤخذ في الاعتبار أيضاً انحناء الأرض فيما يتعلق بالمسيرات التي تزيد عن 2 km. وينبغي لأغراض هذا الإجراء اعتبار المباني والغطاء النباتي كعناصر غير منفذة للأشعة.

الشكل 1

يجب أن يقع كل مبنى تحت شعاع خط البصر الواصل بين المرسل والمستقبل



1410-01

بينت قياسات خصائص الإشارة المقارنة بنماذج تتبع أثر الأشعة توافقاً إحصائياً مرضياً ولكنها بينت أيضاً تغيرات كبيرة في الإشارة حسب الموقع والساعة فيما يتعلق بمسيرات خارج خط البصر. وبالتالي، ونظراً إلى الدقة المحدودة لقواعد المعطيات بشأن المباني الحقيقية، لا يمكن التنبؤ بنوعية الخدمة فيما يتعلق بمسيرات معينة، تتبع شبه خط البصر.

يمكن أن يسبب الغطاء النباتي ولا سيما الأشجار والشجيرات العالية، انحطاطاً هاماً في الخدمة، ويتعين في الحالات المثلى تضمين المعطيات المتصلة بالغطاء النباتي في قاعدة المعطيات.

وقد بينت القياسات، فيما يتعلق بتوفير الخدمة في منطقة حضرية/شبه حضرية نموذجية، أن عدد المستعملين المتضررين بتأثيرات الانعكاس الناتجة عن مسيرات متعددة أقل بكثير من عدد المستعملين المتضررين بتأثيرات المباني والغطاء النباتي، وذلك بسبب ضيق فتحة حزمة الهوائي، وبالتالي لا ضرورة لحساب الانعكاسات (انظر الفقرة 1.2.4).

ويمكن أن تكون قاعدة المعطيات المستعملة للتقييم بواسطة تقنية تتبع أثر الأشعة قاعدة معطيات مفصلة موجهة نحو الأشياء تشمل ارتفاع التضاريس الأرضية والخطوط الكفافية للمباني المختلفة ومعلومات متصلة بارتفاع السقوف وشكلها وعلى أساس تمثيل الغطاء النباتي في شكل أشجار فردية أو مجموعات أشجار. وكحل بديل، يمكن في تحديد مسير خط البصر استعمال قاعدة معطيات بخطوط مسح الارتفاعات النقطية مثل تلك الناتجة عن نظام القياس باستعمال رادار ذي فتحة تركيبيّة محمول جواً (انظر الجدول 1).

### الجدول 1

#### المتطلبات الدنيا لقاعدة المعطيات

الشيء	النسق	استبانة أفقية (m)	استبانة عمودية (m)
التضاريس الأرضية	شبكة ارتفاعات نقطية	50	1
المباني الغطاء النباتي	معالج صورة الشبكة الضوئية الموجهة نحو الشيء أو الاستبانة العالية	1	1

#### 2.1.2 التعامل مع الانعكاسات والانتشار

يمكن أن تكون الانعكاسات من المباني القريبة في البيئة الحضرية هي آلية الانتشار السائدة في ظروف غير خط البصر. وقد كانت الطرق الفعالة لحساب الانعكاسات في قواعد البيانات الضخمة مجالاً لكثير من الأبحاث والمطبوعات. وعند دراسة الانعكاسات والانعرجات المتعددة فإن المشكلة تصبح مثار تفاعل بالنسبة للجميع وإن كانت أقل السيناريوهات شأناً. ولهذا السبب يوصى بنموذج انعكاس ذي وثبة وحيدة مع كل مسير من وإلى العاكس على أن يخضع لخسارة الانعرجات الرأسية والأفقية الخاصة به.

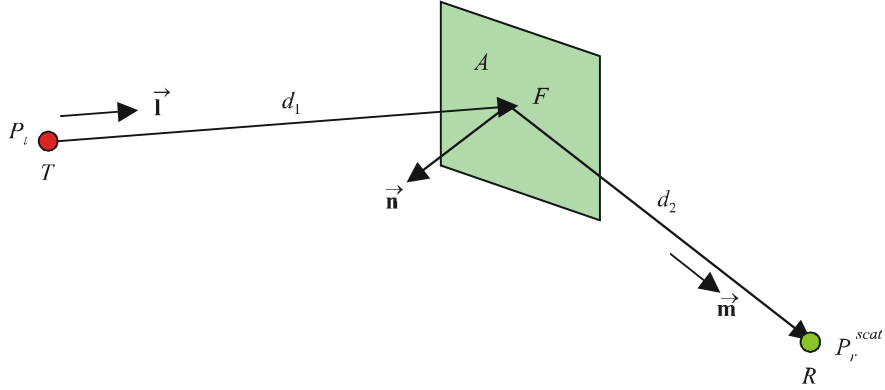
#### نموذج انتشار سطح خشن

يقترح لتقليل السقف الحسابي لأدنى حد استخدام النموذج البسيط الوارد هنا. ويعتبر هذا النموذج نموذجاً عددياً للانتشار المتنافر من سطح خشن. بمعنى أنه ينظر فقط في القدرة المتناثرة ولا يتعرض لتأثيرات الطور والاستقطاب.

#### الهندسة

نفترض واجهة سطح خشن  $F$  بمساحة  $A$ . وعلى أن يرمز للمرسل والمستقبل بالحرفين  $T$  و  $R$ . و  $\vec{i}$  و  $\vec{m}$  هما متجهتا الوحدة في الاتجاهين  $TF$  و  $FR$  و  $n$  هو العمودي على الواجهة، الشكل 2.

الشكل 2  
هندسة الانعكاس



1410-02

$P_t$  و  $P_r^{scat}$  هما القدرة المرسله والقدرة المستقبله المتناثره عند المرسل  $T$  والمستقبل  $R$  على التوالي ويفترض استخدام هوائيات شاملة الاتجاه عند المرسل والمستقبل.

### الانتشار من المرسل $T$ إلى السطح $F$

على فرض أن الانتشار في ظروف الفضاء الحر، تكون كثافة تدفق القدرة  $S$  ( $W/m^2$ ) عند مسافة  $d_1$  من المرسل  $T$ :

$$(1) \quad S = \frac{4\pi}{\lambda^2} \left( \frac{\lambda}{4\pi d_1} \right)^2 P_t$$

حيث  $\lambda$  هو طول الموجه. ومن ثم تكون القدرة  $P_{fr}$  الواقعة على السطح  $F$ :

$$(2) \quad P_{fr} = SA |l.n|$$

وتفترض هذه النتائج أن أي أبعاد للمساحة  $A$  أقل من  $d$  بحيث تكون كثافة تدفق القدرة ثابتة عبر الواجهة كلها. ولا يمثل هذا الأمر قيداً كبيراً: حيث إنه في الأساس يمكن اختيار الواجهة  $A$  صغيرة كلما أمكن لتحقيق ذلك. بيد أنه يفترض في هذا النموذج أن  $F$  هي في الحقيقة الواجهة الكاملة للمبنى (أو على الأقل الجزء اللامع من واجهة المبنى) ويفترض كذلك أنه قد تم استيفاء هذا القيد. والنقطة المرجعية للانتشار هي مركز الواجهة.

### نموذج انتشار سطح خشن

هذا هو النموذج المستخدم من أجل نشر الانتشار في شكل رسوم بيانية حاسوبية حيث يفترض أن القدرة المتناثرة المتناثرة بواسطة السطح الخشن  $F$  تخضع لقانون لامبرت. بمعنى أن القدرة تشع ثانياً في جميع الاتجاهات (في نصف المستوي) بشدة تختلف حسب الصيغة  $\cos \theta$  حيث  $\theta$  هي زاوية الإشعاع مقاسة من الاتجاه العمودي. ويلغي هذا التغيير تماماً القيمة  $1/\cos \theta$  التي تعتمد على كثافة تدفق القدرة المرسله (نتيجة لحد الإسقاط  $|\vec{m} \cdot \vec{n}|$ ) بحيث يتم بث إشعاعات شاملة الاتجاه بكسب متساو في جميع الاتجاهات. ويقابل هذا ما يلاحظ عملياً بالنسبة للانتشار الضوئي. ويمكن الحصول على القدرة المتناثرة المرسله من السطح  $F$  من العلاقة:

$$(3) \quad P_{ft} = 2\rho_{nonspec} P_{fr}$$

ويمثل المعامل 2 حقيقة أن جميع القدرات تبث نحو نصف كرة. وتمثل  $\rho_{nonspec}$  جزء القدرة المتناثرة التي تقع على السطح  $F$  ثم تشع ثانياً في شكل انتشار غير مرآوي.

## الانتشار من السطح إلى المستقبل

يفرض الانتشار في ظروف الفضاء الحر واستخدام هوائي شامل الاتجاه، فإن القدرة المتناثرة المستقبلية عند  $R$ :

$$(4) \quad P_r^{scat} = \left( \frac{\lambda}{4\pi d_2} \right)^2 P_{ft}$$

## ميزانية الوصلة الكاملة

بجمع المعادلتين (1) و(2) نحصل على:

$$(5) \quad P_r^{scat} = 2\rho_{nonspec} \frac{4\pi A |l.n|}{\lambda^2} \left( \frac{\lambda}{4\pi d_1} \right)^2 \left( \frac{\lambda}{4\pi d_2} \right)^2 P_t$$

يمثل الحد  $(\lambda/4\pi d)^2$  المعطيات الخاصة بانتشار الفضاء الحر ويمكن بوجه عام إحلال معطيات الانتشار الفعلي بدلاً من هذه المعطيات. كما يمكن إدراج نماذج كسب الهوائي عند المرسل والمستقبل. والافتراض الوحيد المطلوب هو أن ينطبق مستوى الإشعاع على السطح  $F$ .

## خسارة الانتشار

قد يكون من المفيد حساب "خسارة" الانتشار المتناثر لسطح خشن. ويعتبر هذا مسير الخسارة الإضافي الناجم عن الانتشار فوق مسير الخسارة في حال إذا ما كانت الواجهة مرآة نموذجية حيث يحدث عندها الانعكاس المرآوي بمعامل انعكاس قدره 1. ولعمل ذلك يجب افتراض انتشار الفضاء الحر على المسيرين  $TF$  و  $FR$ . وتكون القدرة المستقبلية عند  $R$  من مرسل عند  $T$  مع افتراض انعكاس نموذجي،  $P_r^{LOS}$  كالتالي:

$$(6) \quad P_r^{LOS} = \left( \frac{\lambda}{4\pi(d_1+d_2)} \right)^2 P_t$$

ويمكن بعد ذلك الحصول على خسارة الانتشار،  $L_{scat}$  (تعرف بحيث تكون  $L_{scat} > 1$  بالنسبة للخسارة):

$$(7) \quad \frac{1}{L_{scat}} = \frac{P_r^{scat}}{P_r^{LOS}} = \frac{|l.n|}{2\pi} \rho_{nonspec} \frac{(d_1+d_2)^2 A}{d_1^2 d_2^2}$$

ويجب وبشكل حاسم أن تكون جميع الحدود في هذه المعادلة أقل من 1 فيما عدا الحد الأخير والذي يمكن أن يزيد عن 1 إذا كانت  $A$  كبيرة جداً مقارنة بالبعدين  $d_1$  و  $d_2$ . ومع ذلك وكما أشير إليه آنفاً، فإن النموذج يعتبر سارياً فقط إذا كان أي من أبعاد  $A$  أقل بكثير من  $d_1$  حيث إن تنفيذ المعادلة (7) يجب أن يحقق الشرط:

$$(8) \quad \frac{(d_1+d_2)^2 A}{d_1^2 d_2^2} \leq 1$$

وتنتهك هذه القاعدة عندما يكون موقع المرسل والمستقبل قريبين جداً من السطح  $F$ .

وتبين المعادلة (7) أن خسارة الانتشار غير المرآوي تزيد بسرعة بمجرد ابتعاد نقطة الاستقبال عن سطح الانتشار. وحيث إن  $d_1 \rightarrow \infty$ ، لذا فإن الخسارة (dB) تؤول إلى  $10 \log(d_2^2/A)$ . لذلك فإنه بالنسبة لواجهة مبنى بمساحة  $100 \text{ m}^2$  تكون الخسارة نتيجة لهذا الحد فقط 20 dB على مسافة 100 m و 40 dB على مسافة كيلومتر واحد من المبنى.

**تعريف  $\rho_{nonspec}$**

بتعريف  $\rho_{spec}$  و  $\rho_{trans}$  على أنهما الجزء المتماثل من القدرة الواقع على السطح  $F$  وينعكس كانعكاس مرآوي (متماثل) ثم يرسل خلال الواجهة، على التوالي، فإنه يمكن الحصول على نموذج متوافق لعملية الانتشار الكاملة ويتوقع أن يحفظ الطاقة مع تحقيق العلاقة:

$$(9) \quad \rho_{spec} + \rho_{trans} + \rho_{nonspec} = 1$$

ومما يؤسف له هو أن النموذج شبه التجريبي الذي لدينا غير متوافق ويتم وضع افتراضات مختلفة لكل آلية:

-  $\rho_{spec}$ : وأكثر النماذج اعتماداً على المفهوم النظري هو ذلك الخاص بالانتشار المرآوي. فبالنسبة لواجهة ملساء، يتم تحديد القدرة المنعكسة بواسطة معاملات انعكاس فريسنيل (والتي تعتمد على زاوية الانعكاس المرآوي والخواص الكهربائية للواجهات). بيد أنه لا يوجد امتداد مبسط لانتشار السطح الخشن ويستخدم النموذج حداً شبه تجريبي يعدل (يخفف) من معامل انعكاس فريسنيل للأسطح الملساء. ويقترح تعريف  $\rho_{spec}$  على أنها معامل انخفاض القدرة نتيجة لتأثير السطح الخشن فحسب؛ بمعنى عدم أخذ التغير في القدرة المنعكسة نتيجة لتغير معامل فريسنيل في الاعتبار. ويعتمد الأخير على زاوية الانعكاس والاستقطاب ومن ثم فإن الأمر نفسه ينطبق على القدرة المتناثرة غير المرآوية؛ ولا يتوافق ذلك مع فرضية لامبرت.

-  $\rho_{trans}$ : يمكن مبدئياً حساب الجزء المرسل من القدرة باستخدام نظرية فريسنيل لسطح أملس مع سطح بيني وحيد. غير أن الوضع في الواقع العملي معقد جداً بالنسبة للنمذجة (سطح خشن، أسطح بينية متعددة وانعكاسات) وبالتالي يجب استخدام قيمة محددة معملياً، قيمة تجريبية للقدرة  $\rho_{trans}$ .

ومن حيث المبدأ، يجب أن تحقق كل قيمة للقدرة  $\rho$  الشرط  $0 \leq \rho \leq 1$ . ولا يوجد ما يدعو إلى الاعتقاد بأن المعادلة (9) ستتحقق إذا استخدمت لحساب  $\rho_{nonspec}$  من  $\rho_{spec}$  فمن الممكن أن تصبح القدرة  $\rho_{trans}$  سالبة وهذا غير صحيح فيزيائياً. ومن ثم يقترح استخلاص الجزء غير المرآوي مباشرة من الجزء المرآوي مع إهمال الجزء المرسل:

$$(10) \quad \rho_{nonspec} = 1 - \rho_{spec}$$

وعملياً تكون القيمة  $\rho_{trans}$  غالباً صغيرة جداً (فمثلاً بالنسبة لخسارة اختراق مبنى قيمتها 10 dB تكون  $\rho_{trans} = 0,1$ ).

**حساب  $\rho_{spec}$**

$\rho_{spec}$  هو معامل انخفاض القدرة المطبق على معامل الانعكاس المرآوي لكي يراعي تأثير خشونة السطح على الانعكاس المرآوي. وهو يساوي:

$$(11) \quad \rho_{spec} = \rho_s^2$$

عند حساب معامل الانعكاس المرآوي، فإننا نحصل على معامل الانعكاس الفعال  $R$  بضرب معامل فريسنيل  $R_F$  في  $\rho_s$ .

$$(12) \quad R = \rho_s R_F$$

ويمكن حساب  $\rho_s$  من العلاقة:

$$(13) \quad \rho_s = \max\left[\exp\left(-\frac{1}{2}g^2\right), 0,15\right]$$

حيث:

$$(14) \quad g = \frac{4\pi\sigma}{\lambda} \cos \varphi$$

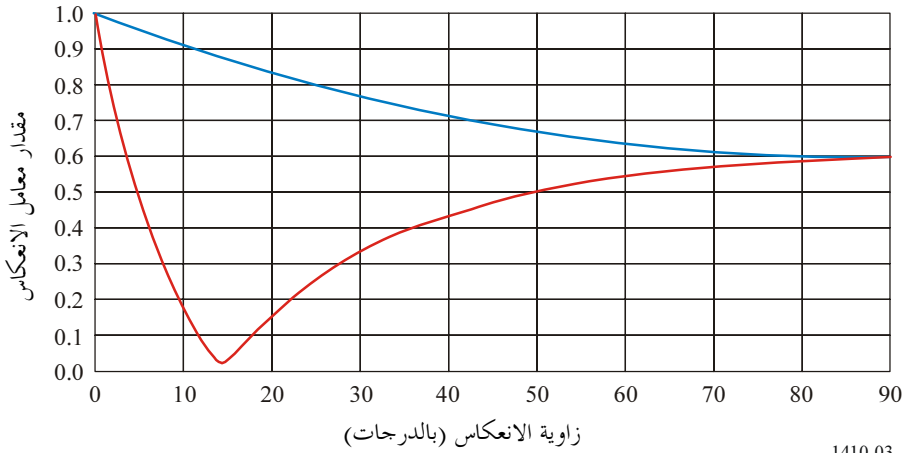
$\sigma$  هي الانحراف المعياري لارتفاع خشونة السطح عن المتوسط الموضعي داخل النطاق الأول لفريسنيل و  $\phi$  هي زاوية السقوط مقاسة من العمودي على السطح. وقيمة القطع 0,15 في المعادلة (13) لكي تحول دون الحصول على قيم صغيرة جداً للقدرة  $\rho_s$ . (ويشير الحد الأسّي إلى التقدير الأقل للانتشار بالنسبة للأسطح شديدة الخشونة).

ويعتبر حساب معامل الانعكاس المرآوي في المعادلة (13) شديد التعقيد. ويعتمد معامل فريسنيل على الزاوية والمقادير الكهربائية الثابتة والاستقطاب. ويعني الاعتماد على الاستقطاب أنه يجب حساب معاملي انعكاس فريسنيل في الاتجاهين المتوازي والعمودي بوجه عام ويجب أن يراعى في هندسة مسير الشعاع دوران الاستقطاب عند حساب قيمة الإشارة عند المستقبل.

ونظراً للطبيعة التجريبية للنموذج، فإنه إذا كانت النمذجة تعني فقط بقدرات الإشارة (ويمكن إهمال الطور) فإنه يمكن عمل تبسيط من خلال حساب جميع الانعكاسات المرآوية استناداً إلى معامل فريسنيل في الاتجاه الموازي فقط. وعادة يكون مقدار المعامل عندما يكون المتجه الكهربائي في مستوي السقوط والأشعة المنعكسة (المنحني الأزرق أو العلوي، في شكل 2) أكبر عددياً من المعامل نفسه عندما يكون المتجه الكهربائي عمودياً على المستوي (المنحني الأحمر أو السفلي). وفي قاعدة بيانات ثلاثية الأبعاد، يكون هناك عادة مزج لجزأي الاستقطاب، ويتجه الجزء الموازي إلى حجب "الضفر" في الجزء العمودي.

### الشكل 3

مقدار معامل انعكاس فريسنيل  $R_F$  في الاتجاهين الموازي (الأزرق) والعمودي (الأحمر) كدالة في الزاوية (3,5 GHz، سطح متوسط جاف)



1410-03

### حساب $\rho_{trans}$

$\rho_{trans}$  هو جزء القدرة الساقطة المرسل عبر الحائط. ويفترض في هذا التطبيق أن قيمة  $\rho_{trans}$  مقدار ثابت لا يعتمد على زاوية الإرسال بالنسبة إلى الواجهة وأن الواجهة لا تغير زاوية الشعاع عند مروره خلالها.

### نقاط للملاحظة

- (1) حسارة انتشار السطح الخشن تستخلص من المعادلة (10) على أن يحدد جزء القدرة غير المرآوي عن طريق المعادلات (11) و(13) و(14).
- (2)  $L_{scat}$  لا تعتمد صراحة على طول الموجة  $\lambda$ ، غير أن الاعتماد الوحيد على التردد يكون عبر  $\rho_{nonpec}$ . وهذا هو المتوقع-حيث إن هذا النموذج هو نموذج عددي للقدرة، ونموذج مصدر لامبرت لا يعتمد على التردد.

- (3) أن النموذج الذي يمثل وبشكل صحيح الطور والاستقطاب سيكون معقداً جداً وبشكل كبير وغير متوافق مع نموذج الانتشار المتنافر. والأكثر أهمية أنه يحتاج إلى معرفة مفصلة بشكل خشونة السطح وهي غالباً غير متاحة بالمرّة. (وقد يكون ذلك ممكناً بالنسبة لسطح "قليل" الخشونة، مع استخدام نهج اضطرابي، ولكن نموذج انتشار متماسك كهذا سيكون من الأفضل تناوله في إطار نموذج انعكاس مرآوي معدل.)
- (4) ومن نتائج النقطة (3) أن نموذج الانتشار هذا مفيد في الحقيقة فقط بالنسبة لنمذجة التداخل نظراً لأن قيم قدرة التداخل يفترض أنها تضاف بشكل متنافر. ويمكن استخدام هذه النتيجة بالنسبة للإشارة المطلوبة لتقدير انتشار التأخير. وللجمع المطلوب للحصول على القدرة الإجمالية للإشارة، من الضروري دراسة الطور بشكل أكثر تفصيلاً (أو بشكل مكافئ، أطوال المسير التفاضلية).
- (5) لا يحقق نموذج الانتشار غير المرآوي خاصية التبادلية. في الحقيقة هو يحقق هذه الخاصية بشكل تقريبي، ولكن إدراج الحد  $|\bar{\mathbf{i}} \cdot \bar{\mathbf{n}}|$  دون الحد المقابل  $|\bar{\mathbf{m}} \cdot \bar{\mathbf{n}}|$  يشوه التماثل. وباختيار نموذج مصدر انتشار آخر غير نموذج لامبرت فإنه يمكن إصلاح ذلك. بيد أن النموذج يعتبر نموذجاً شبه تجريبي على أية حال ولا يتوقع تحقيق التبادلية مع الافتراضات البسيطة الموضوعة.

### 3.1.2 الإرسال خلال المباني

تبين القياسات المدرجة في التوصية ITU-R P.1411 (ومراجع القياسات المبلغة) أن اختراق الإشارة خلال المباني عبر الحد الأدنى لنطاق التردد يمكن أن يصبح آلية انتشار متميزة (خسارة إضافية بنحو 20-40 dB) عندما تكون خسارة الانعراجات حول أو فوق المبنى كبيرة. وكما هو الحال مع معاملات توهين الانعكاس، فإن هذه الخسارة ستوقف على مواد البناء الداخلة في المبنى والتردد الراديوي علاوة على الهيكل الداخلي للمبنى (الحوائط الداخلية). ويمكن نمذجة الخسارة كسلسلة من خسارة الحوائط (عندما تتوافر بيانات كافية) أو كخسارة لكل متر خلال المبنى. وعندما يكون هناك أكثر من مبنى يعوق المسير المباشر فقد يكون من الأفضل إهمال هذه الآلية ما دام سيتم مراعاة تجميعات من المسيرات المنعكسة والمنعرجة والمارة خلال المبنى.

### 4.1.2 النموذج الإحصائي

بالنسبة إلى موقع معين للمرسل (Tx) وللمستقبل (Rx)، يكون احتمال وجود مسير خط البصر بين هذين الموقعين حاصل جمع الاحتمالات المتمثلة في أن كل مبنى يقع في مسير الانتشار يكون دون ارتفاع الشعاع الذي يوصل المرسل والمستقبل عند النقطة التي يعبر فيها الشعاع المبنى. ويبين الشكل 1 الشكل الهندسي لهذه الحالة ويعرف البنود المستعملة في المعادلة (15). وفي هذا النموذج يفترض أن التضاريس الأرضية مسطحة أو تتميز بميل ثابت في المنطقة المعنية.

ويعطى ارتفاع الشعاع عند نقطة العائق  $h_{LoS}$  بالصيغة التالية:

$$(15) \quad h_{LoS} = h_{tx} - \frac{r_{LoS}(h_{tx} - h_{rx})}{r_{rx}}$$

حيث:

$h_{tx}$ : ارتفاع المرسل فوق سطح الأرض

$h_{rx}$ : ارتفاع المستقبل عند المسافة  $r_{rx}$

$r_{LoS}$ : المسافة بين المرسل والعائق.



وإذا افترض أن المباني متباعدة بشكل منتظم في المتوسط، يمكن تقدير عدد المباني الموجودة بين نقطتين. ويكون احتمال وجود شعاع في مسير خط البصر كالتالي:

$$(16) \quad P(LoS) = \prod_{b=1}^{b_r} P(\text{building\_height} < h_{LoS})$$

حيث  $b_r$  يدل على عدد المباني المعبورة.

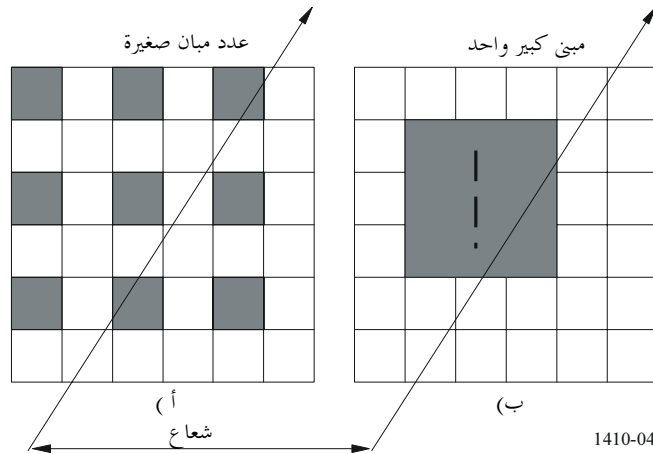
ويتطلب هذا النموذج البسيط ثلاث معلمات:

- $\alpha$ : نسبة المساحة التي تغطيها المباني إلى المساحة الكلية (بصرف النظر عن الارتفاع)؛
- $\beta$ : متوسط عدد المباني في كل وحدة مساحية (المباني/ $\text{km}^2$ )؛
- $\gamma$ : قيمة متغيرة تحدد توزيع ارتفاعات المباني.

بالنسبة إلى توزيع رايلي المقترح، تعادل القيمة المتغيرة  $\gamma$  ارتفاع المبنى الأكثر احتمالاً (أسلوب). ويبين الشكل 4 سبب التمييز بين  $\alpha$  و  $\beta$ . وللشكليين 4 أ) و 4 ب) نفس منطقة التغطية عند سطح الأرض وبالتالي نفس قيمة  $\alpha$ ، ولكن من المتوقع وجود تفاعلات أكثر عند سوية المسير في الشكل 4 أ) منه في الشكل 4 ب). ولا يمكن للمعلمة  $\alpha$  وحدها التمييز بين المخططين الموضحين في الشكل 4. وإذا كان ارتفاع المباني هو نفسه في الشكلين 4 أ) و 4 ب) يكون احتمال الحجب بعدة مبان صغيرة أقل منه بمبنى واحد كبير.

الشكل 4

سيناريوهان لنفس منطقة التغطية  
ولكن مع عدد مختلف من أشعة التفاعلات



بالنسبة إلى الانتقال من مواقع المناطق شبه الحضرية إلى مواقع المباني عالية الارتفاع، تتراوح المعلمة  $\alpha$  بين 0,1 و 0,8 وتتراوح المعلمة  $\beta$  بين 750 و 100 على التوالي.

ويُعرّف توزيع احتمال رايلي  $P(h)$  للارتفاع  $h$  المعلمة  $\gamma$  كالتالي:

$$(17) \quad P(h) = \frac{h^2}{e^{-\frac{h^2}{2\gamma^2}} \gamma^2}$$

5.1.2 الخوارزمية والحساب

إذا كانت  $\alpha$  و  $\beta$  و  $\gamma$  معلومة عندئذ تحسب التغطية في خط البصر كالتالي:

يفترض مرور شعاع طوله 1 km فوق مبان عددها  $\sqrt{\beta}$  إذا كانت هذه المباني منتظمة في شبكة تريبعية. وبما أن جزءاً فقط قدره  $\alpha$  مغطى من الأرض، يكون العدد المتوقع للمباني المعبورة في كيلومتر واحد كما يلي:

$$(18) \quad b_1 = \sqrt{\alpha \beta}$$

وبالتالي يكون عدد المباني فيما يتعلق بمسير طوله  $r_{rx}$  (km) كالتالي:

$$(19) \quad b_r = \text{floor}(r_{rx} b_1)$$

حيث أدخلت دالة floor لضمان إدراج عدد صحيح من الحدود في المعادلة (16).

من أجل حساب احتمال وجود شعاع خط البصر (LoS) عند كل مسافة  $r_{rx}$ :

الخطوة 1: حساب عدد المباني  $b_r$  الموجودة بين النقطتين Tx و Rx باستعمال المعادلة (19).

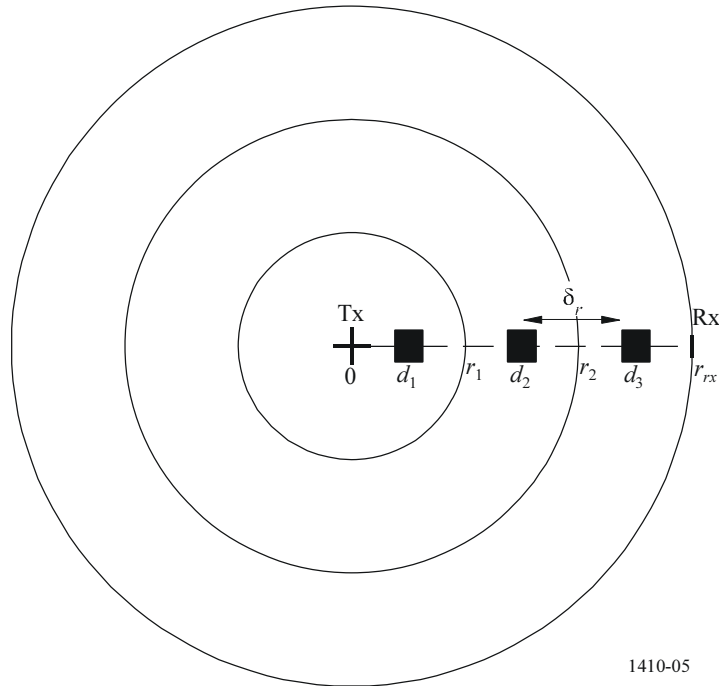
الخطوة 2: يفترض أن المباني متباعدة بشكل منتظم بين النقطتين Tx و Rx، وتعطى المسافات التي تقع عندها المباني بالمعادلة التالية:

$$(20) \quad d_i = (i + 1/2) \delta_r \quad i \in \{0, 1, \dots, (b_r - 1)\}$$

حيث  $\delta_r = r_{rx}/b_r$  هي المسافة الفاصلة بين المباني.

الشكل 5

موقع المباني بالنسبة إلى المستقبل Rx عند مسافة  $r_{rx}$  من المرسل Tx



1410-05

الخطوة 3: عند كل مسافة  $d_i$ ، يحدد ارتفاع  $h_i$  لمبنى معين يمكن أن يحجب شعاع خط البصر (LoS) باستعمال  $d_i$  كبديل في المعادلة (15).

$$(21) \quad h_i = h_{tx} - \frac{d_i(h_{tx} - h_{rx})}{r_{rx}}$$

الخطوة 4: يعطى احتمال  $P_i$  المتمثل في أن يكون مبنى معيناً أقل من الارتفاع  $h_i$  بالمعادلة التالية:

$$(22) \quad P_i = \int_0^{h_i} P(h) dh$$

$$= 1 - e^{-h_i^2 / 2\gamma^2}$$

الخطوة 5: يعطى احتمال وجود شعاع خط البصر  $P_{los,i}$  عند الموقع  $d_i$  بالمعادلة التالية:

$$(23) \quad P_{Los,i} = \prod_{j=0}^i P_j \quad j \in \{0, \dots, i\}$$

الخطوة 6: يتم الحصول على التغطية التراكمية بترجيح كل من قيمة  $P_{los,i}$  بواسطة معامل الترجيح  $W_i$  الذي يعتمد على المسافة بالنسبة إلى المرسل. ويراعي هذا المعامل عدد المباني الموجودة في حلقة يتزايد محيطها بتزايد المسافة.

$$(24) \quad W_i = 2i + 1$$

الخطوة 7: تحسب التغطية المطلوبة لخلية نصف قطرها  $r_{rx}$ ، بجمع الاحتمالات المرجحة بحكم المباني وبتقييس النتيجة على أساس حاصل المساحة التراكمية للحلقات مضروباً في كثافة المباني:

$$(25) \quad CP_{r_{rx}} = \frac{\sum_{i=0}^{b_r-1} P_{los,i} W_i}{b_r^2}$$

وتنطوي هذه النمذجة على بعض القيود وهناك عدة طرق لتوسيع هذا النموذج:

- لم يؤخذ بعين الاعتبار أي تغير في التضاريس الأرضية في هذا النموذج. ومن الواضح أن مع بعض التغيرات وإن كانت بمقدار بضعة أمتار يمكن أن يكون لها تأثير ملحوظ. ويمكن تمديد قدرات التنبؤ الخاصة بالنموذج بتوليف الخصائص الإحصائية للنموذج ومع قاعدة معطيات أرض غير منتظمة التضاريس، عن طريق إضافة تحالف متوسط لارتفاع الحجب فيما يخص كل نقطة خضعت للاختبار في هذا النموذج.
- تغيير كثافة المباني وارتفاعها إلى حد كبير من منطقة إلى أخرى وبالتالي، تكون التنبؤات بأحد الاتجاهات مختلفة عن التنبؤات بالاتجاه الآخر. ويتجلى من توزيع ارتفاعات المباني المقيسة أن المباني لا تتلاءم تماماً مع النموذج الإحصائي البسيط. ويمكن حل قسط كبير من هذه المشكلة بتجزئة قاعدة المعطيات إلى مناطق أصغر وبتخصيص مجموعة معلمات محددة لكل منطقة.
- وفي الواقع تركيب المستقبلات فوق سطوح المباني بحيث يتبع توزيع ارتفاع المستقبلات نفس التوزيع الذي يتبعه ارتفاع المباني. وفي النموذج يفترض أن المستقبلات توجد عند ارتفاع ثابت بالنسبة إلى الأرض. ويتمثل حل آخر في توليد ارتفاعات المستقبلات من توزيع المباني، وسيتوقف ذلك أيضاً على اختلاف المناطق.
- تعطي الطريقة المستخلصة بالحوارزمية تقديراً صحيحاً للتغطية بالمقارنة مع نتائج تقنية تتبع أثر الأشعة المطبقة على قاعدة المعطيات الحقيقية (انظر الفقرة 6.1.2). وتبين أن توزيع رايلي لارتفاع المباني دقيق فيما يتعلق ببعض عينات المعطيات حيث تناولت الدراسة منطقة محدودة، كمدينة صغيرة مثلاً. وعلاوة على ذلك، وللحصول على نتائج التغطية المبينة في الفقرة 6.1.2، يجب تطبيق الطريقة مع مراعاة موقع المباني ونموذج تحرير المسير كما جاء في إجراء الخطوات المتوالية.

6.1.2 أمثلة عن التنبؤات بالتغطية

طبقت صيغة رايلي على التوزيع التراكمي لارتفاعات سطوح المباني في منطقة شبه حضرية في المملكة المتحدة (مالفرن). وبالنسبة لمجموعة المعطيات هذه كانت القيم المتوسطة لمعاملات النموذج في المنطقة الحضرية الرئيسية كالتالي:

$$0,11 = \alpha \quad ; \quad 750 = \beta \quad ; \quad 7,63 = \gamma$$

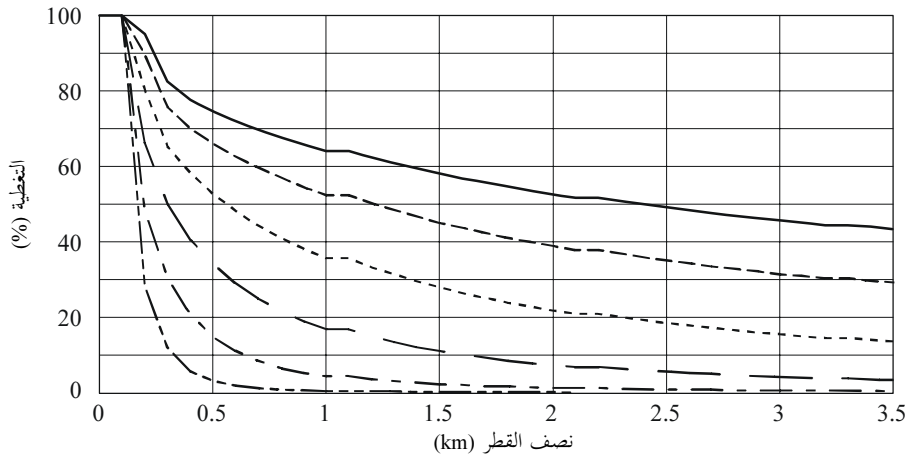
يبين الشكلان 6 و 7 النتائج المستخلصة من النموذج. ويبين الشكل 6 التغطية بدالة ارتفاع المرسل ويبين الشكل 7 التغطية بدالة ارتفاع المستقبل.

يعطي هذا النموذج تنبؤات لها نفس الشكل الأساسي ونفس سوية التغطية الكلية التي تعطيها النتائج المستخلصة باستعمال المحاكاة التفصيلية لتقنية تتبع أثر الشعاع. وفائدة هذا النموذج أنه يولد التنبؤات بالتغطية اعتماداً على ثلاث معاملات فقط يمكن تقديرها فيما يتعلق بأي موقع حضري شريطة توفر أبسط المعلومات بشأن المنطقة. ونظراً إلى أن المعطيات ثلاثية الأبعاد أصبحت متيسرة بشكل متزايد سوف يكون من الممكن إعداد جداول المعلمات الخاصة بالبلدان/المدن المختلفة التي يمكن استعمالها كمرجع عند تقييم التغطية في بعض المواقع غير المعروفة. ولا يقتصر استعمال هذا النموذج على تقييم التغطية في خلية واحدة، وإنما يمكن جمع النتائج المتأتية من عدة خلايا لتغطية شبكات كبيرة، بما في ذلك تأثيرات التنوع.

الشكل 6

نمذجة التغطية التراكمية لمستقبل يقع عند ارتفاع 7,5 m

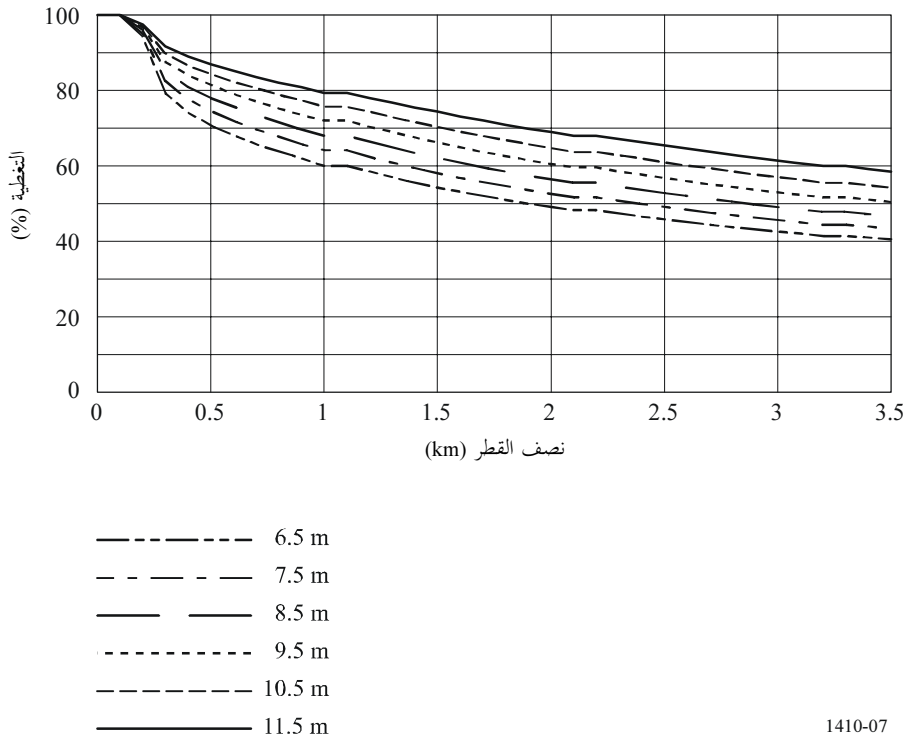
ومرسل يقع عند ارتفاعات 5 و 10 و 15 و 20 و 25 و 30 m



- 5 m
- - - - - 10 m
- 15 m
- · · · · 20 m
- 25 m
- 30 m

الشكل 7

نمذجة التغطية التراكمية المرسل يقع عند ارتفاع 30 m  
ومستقبل يقع عند ارتفاعات 6,5 و 7,5 و 8,5 و 9,5 و 10,5 و 11,5 m



1410-07

### 7.1.2 زيادة التغطية باستخدام محطتين قاعدتين أو أكثر

من شأن معمارية خلوية تتيح للمستقبلات الاختيار بين عدة محطات قاعدة أن تزيد التغطية بشكل كبير. ومن خلال حسابات تقنية تتبع أثر الشعاع مثلاً، وفيما يتعلق بارتفاع لهوائي المرسل قدره 30 m، تتزايد التغطية في خلية نصف قطرها 2 km بنسبة 44% فيما يتعلق بمحطة قاعدة واحدة وبنسبة 80% فيما يتعلق بمحطتين وبنسبة 90% فيما يتعلق بأربع محطات حتى وإن لم يتم انتقاء المحطات القاعدة خصيصاً لضمان رؤية فردية جيدة.

وبافتراض أن احتمالات وجود مسيرات خط البصر باتجاه مختلف المحطات القاعدة المعنية مستقلة من الناحية الإحصائية يمكن حساب احتمال وجود مسير واحد على الأقل. ويتعين أولاً حساب كل  $P_{LoS,i}$  من المعادلة (23). عندئذ يصبح احتمال وجود مسير واحد مرئي على الأقل لعدد  $m$  من المحطات القاعدة المحتملة كالآتي:

$$(26) \quad P_{LoS,i} = 1 - \prod_{k=1}^m (1 - P_{LoS,i,k})$$

ويمكن تقييم التغطية بواسطة محطتين قاعدتين أو أكثر بالاستعاضة عن  $P_{LoS,i}$  في المعادلة (23) بقيمتها المعطاة في المعادلة (26) في الإجراء الوارد في الفقرة 5.1.2. وجدير بالإشارة، فيما يتعلق بكل قيمة من قيم  $k$ ، ضرورة اتباع الخطوات من 1 إلى 5 حيث  $r_{rx}$  هي المسافة إلى كل محطة قاعدة.

### 2.2 التوهين الناتج عن الغطاء النباتي

إن الحجب الناجم عن الأشجار قد يحد كثيراً من عدد المنازل التي يمكن تزويدها بالخدمة. وبالتالي من الضروري جداً توفر نموذج موثوق به يتعلق بتأثير ومدى التوهين الناتج عن الغطاء النباتي، نظراً إلى أن هامش النظام، في حالة المستقبلات القريبة من المرسل، قد يبلغ حداً تصبح عنده قدرة الإشارة بعد الانتشار عبر شجرة واحدة غير كافية لتوفير خدمة معينة.

وقد بينت دراسة استقصائية تعتمد تقنية تتبع أثر الشعاع في ست بلدان في المملكة المتحدة وتستخدم قواعد معطيات تشمل جميع المباني والأشجار أن ما يبلغ حتى 5% من المباني الواقعة ضمن مدى 1 000 m من محطة قاعدة مركزية يتأثر بالحجب بسبب الغطاء النباتي. وقد وضعت الخطة القاعدة على سطح أعلى مبنى في المنطقة، عند 30-40 m فوق سطح الأرض عموماً، واعتبر المبنى غير متأثر بالحجب إذا أمكن وصول مسير خط البصر إلى أي نقطة اختبار في ذلك المبنى. وكانت نقاط الاختبار الخاصة بالمبنى تقع في شبكة تريبعية منتظمة بعرض 1 m لأعلى نقطة من مسقط كل مبنى. ولم تتغير النسبة المئوية للحجب بالغطاء النباتي في مدى يفوق 1200 m تقريباً شريطة إبقاء ارتفاع الخطة القاعدة على ما هو عليه. وفي المديان الطويلة تصبح المباني الأخرى والتضاريس الأرضية السبب المهيمن للحجب بسبب انحناء الأرض. وقد بلغ الحجب بالغطاء النباتي في منطقة شبه حضرية حوالي 25%.

أجريت القياسات عند 42 GHz لتحديد دلالة التوهين الناتج عن "الأشجار المحلية". وقد اتضح أن التوهين المتوسط كان كما هو متوقفاً في التوصية ITU-R P.833 لكن مع وجود تأثيرات كبيرة متعددة المسيرات مما يؤدي إلى حالات من انعدام الإشارة التام تتغير مع الزمن بسبب الريح التي تحرك الأوراق. واتضح أنه يمكن فك ترابط حالات الانعدام هذه بنجاح باستعمال هوائيين تفصل بينهما مسافة  $\approx 60$  cm أو أكثر. وقد بين التقارب ترابطاً أكبر والتباعد تحسناً بسيطاً في فك ترابط التوهين. ويعني ذلك أن تشكيلة ثنائية الهوائي باختلاف مكاني قد تسمح بتشغيل الخدمات في هذه الظروف. وقد بينت تجربة عند 42 GHz باستعمال هوائيين تفصل بينهما مسافة 62 cm تغيراً ملحوظاً في كل من الهوائيين واحتمال تحسن في التنوع. وبينت القياسات طويلة الأجل للانتشار عبر الأشجار المورقة أنه يمكن الحصول عموماً على كسب في التنوع قدره 10 dB.

ويكون التوهين بسبب الأشجار شديداً عند أطوال الموجات المليمترية. ويعتمد معدل التوهين على نوع الأشجار ومحتوى الرطوبة وهندسة المسير، ولكن يمكن استعمال المعدل 4-5 dB/m كدليل (على الرغم من أن التوهين يصل إلى حالة تشبع عند قيمة معينة تبلغ 20-40 dB عموماً). ويوصى باستعمال النموذج الوارد في التوصية ITU-R P.833 لتحديد دلالة التوهين الناتج عن الغطاء النباتي.

### 3.2 دراسة حالة لآليات الانتشار

يقدم في هذا القسم نتائج مقلدة من دراسة حالة تستخدم قاعدة بيانات لمنطقة حضرية حقيقية. وترد أدناه النتائج التي تبين آليات الانتشار السائدة للغطية وكذلك توزيع إحصائي للنسبة قدرة الموجات الحاملة إلى قدرة التداخل (CIR) بالنسبة لأحد سيناريوهات التداخل.

#### 1.3.2 وصف المنطقة

المنطقة المختارة عبارة عن منطقة مساحتها 2 km في 1 km من حاضرة مانشستر، المملكة المتحدة. تتألف المنطقة من ثلاثة مبانٍ أعلى بشكل واضح من المباني المحيطة. وقد تم تقييم إحصائيات التغطية باستخدام مرسل وضع على ارتفاع قدره 15 متراً من أعلى مبنى. وقد تم تقييم إحصائيات التداخل باستخدام مرسل للتداخل وضع أعلى أحد المبنيين الآخرين العالين. وقد تم تقدير خسارة المسير في شبكة منتظمة فوق المنطقة بارتفاع قدره 2 m. وقد تم تقسيم النقاط إلى مجموعتين فرعيتين: نقاط أعلى السطح ونقاط في مستوى الشارع.

#### 2.3.2 آليات الانتشار الممنذجة

يستخدم في حساب الانتشار:

- التوصية ITU-R P.526 مع انعراج ذي نقطة واحدة عبر مقياس صغير
- الانعراج حول المنطقة
- إرسال المبنى
- نفاذية السطح = 5
- الخسائر داخل المبنى = 2,1 dBm

- الانعكاسات والانتشار
- وثبة مفردة ومزدوجة. مسيرات غير خط البصر مع إدراج الانعراج/الإرسال
- نفاذية السطح = 5
- الانحراف المعياري للأسطح الخشنة = 0,001 m

### 3.3.2 التغطية بآليات انتشار متغيرة

يرد في الجدول 1 المدى الذي أثر فيه زيادة عدد آليات الانتشار المنمذجة على تنبؤات التغطية عند تردد 2,4 GHz. وتعرض الاختلافات في خسارة المسير طبقاً لتنبؤات التوصية ITU-R P.256 لنقطة واحدة.

#### الجدول 2

### ملخص للاختلافات في خسائر المسير بين التوصية ITU-R 452 لنقطة واحدة مع آليات انتشار مختلفة

جميع النقاط	1-point/Rec. ITU-R P.452			3-point/Rec. ITU-R P.452			اختراق المبنى + انعراج أفقي				
	Clear% LOS	% 1st Fresnel	% Over	Clear% LOS	% 1st Fresnel	% Over	Clear% LOS	% 1st Fresnel	% Over	% Through	% Around
	45.57	9.03	45.40	45.57	9.03	45.40	45.57	9.03	24.85	6.86	13.70
				mean diff	-3.56 dB		mean diff	2.18 dB			
				std dev	8.42 dB		std dev	5.47 dB			
					4753 points			4753 points			
النقاط ذات الاختلاف فقط				mean diff	-11.62 dB		mean diff	10.60 dB			
				std dev	11.74 dB		std dev	7.51 dB			
					1455 points			976 points			

جميع النقاط	انعكاسات مرآوية + انتشار + اختراق المبنى + انعراج أفقي						
	Clear% LOS	% 1st Fresnel	% Over	% Through	% Around	% Specular Reflections	% Scattering
	45.57	8.21	17.99	3.85	8.46	15.93	0.00
	mean diff	5.05 dB					
	std dev	10.45 dB					
		4753 points					
النقاط ذات الاختلاف فقط	mean diff	17.93 dB					
	std dev	12.54 dB					
		1338 points					

يمكن أن يكون لإدراج آليات الانتشار الإضافية تأثيراً مثيراً على تنبؤات خسارة المسير، حيث يبلغ هذا التأثير غالباً 18 dB في المتوسط. وفي حين أنه قد لا يكون لهذا الأمر تأثير حاسم بالنسبة لتنبؤات التغطية، فإن له أثر كبير على أداء الأنظمة المتأثرة بالتداخل وبالتالي فإنه من المهم النمذجة بشكل صحيح.

### 4.3.2 التغطية بترددات متغيرة

تم حساب التغطية عند ترددات 2,4 و 5,8 و 28 GHz مع كل آليات الانتشار المنمذجة. ويبين الشكل 3 التغطية المحسوبة عند الترددات الثلاثة. وتكمن نقطة الاهتمام الرئيسية في ملاحظة أن الخسارة بالنسبة للمسيرات المنعرجة تكون أكبر بكثير عند التردد 28 GHz. بيد أن التردد 28 GHz يعاني من خسارة مسير أقل كثيراً بالنسبة لكثير من المواضيع ويرجع ذلك إلى آلية الانتشار، حيث إن الخشونة السطحية للمباني تسبب انتشاراً أكبر كثيراً عند الترددات الأعلى.

ويرد في الشكل 8 أ) النسبة المئوية لتحليل آليات الانتشار السائدة عند كل تردد. وتعتبر الانعكاسات الطيفية كبيرة بشكل خاص عند الترددات الأقل. ويصبح الانتشار كبيراً فقط عند التردد 28 GHz. ويقسم الشكلان 8 ب) و 8 ج) النتائج المبينة في الشكل 8 أ) إلى مواضع أعلى السطح ومواضع مستوى الشارع، على التوالي.

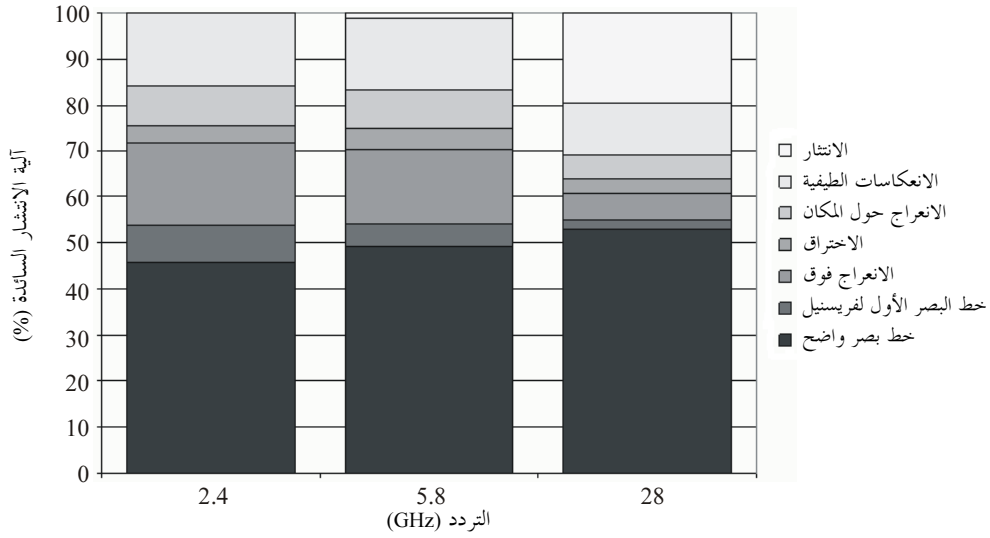
ومن المفيد مواصلة دراسة أهمية آليات الانتشار كدالة في خسارة المسير الزائدة حيث إنه، على الرغم من أنه قد تسود آلية معينة، لأغراض التغطية على الأقل، فإنها قد لا تكون ذات شأن إذا كانت خسارة المسير الزائدة كبيرة. ويبين الشكل 9 آلية الانتشار السائدة لكل نقطة أعلى السطح عند كل تردد. ويوضح ذلك تأثير الانتشار عند الترددات العالية بشكل أكثر وضوحاً.

والنقاط الرئيسية الجديدة بالملاحظة من الرسوم البيانية هي أن الانعكاسات الطيفية والانعراج حول المكان يمكن أن تقدم تغطية إضافية واضحة (أقل من 10 dB، خسارة مسير زائدة) عند جميع الترددات. وتعتبر الآليات الأخرى (إرسال المينى، الانعراج فوق، الانتشار) أقل شأنًا بكثير بالنسبة لحساب التغطية. ومع ذلك فعند دراسة التداخل فإنه حتى المسيرات ذات التوهين الكبير يمكن أن تصبح ذات شأن خاصة عندما تستخدم نماذج تشكيل ذات رتب أعلى.

الشكل 8

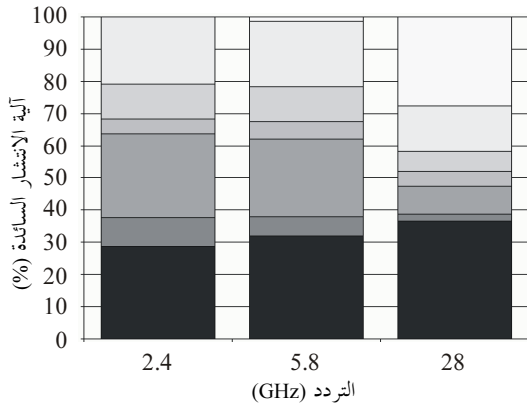
آلية انتشار سائدة إزاء التغطية

آليات الانتشار مع ترددات متغيرة بالنسبة لسيناريو مانشستر (حضري) - جميع النقاط



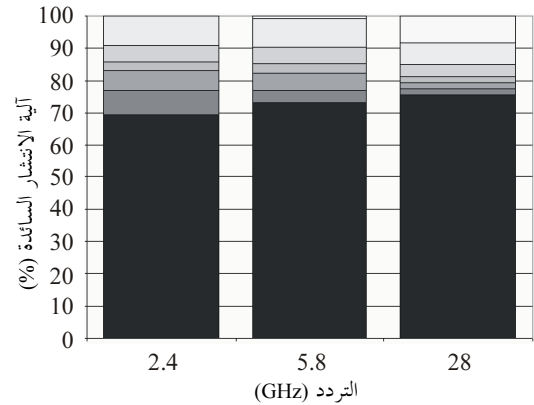
( أ ) جميع النقاط

آليات الانتشار مع ترددات متغيرة بالنسبة لسيناريو مانشستر (حضري) - نقاط مستوى الشارع



( ج ) نقاط مستوى الشارع فقط

آليات الانتشار مع ترددات متغيرة بالنسبة لسيناريو مانشستر (حضري) - نقاط أعلى السطح

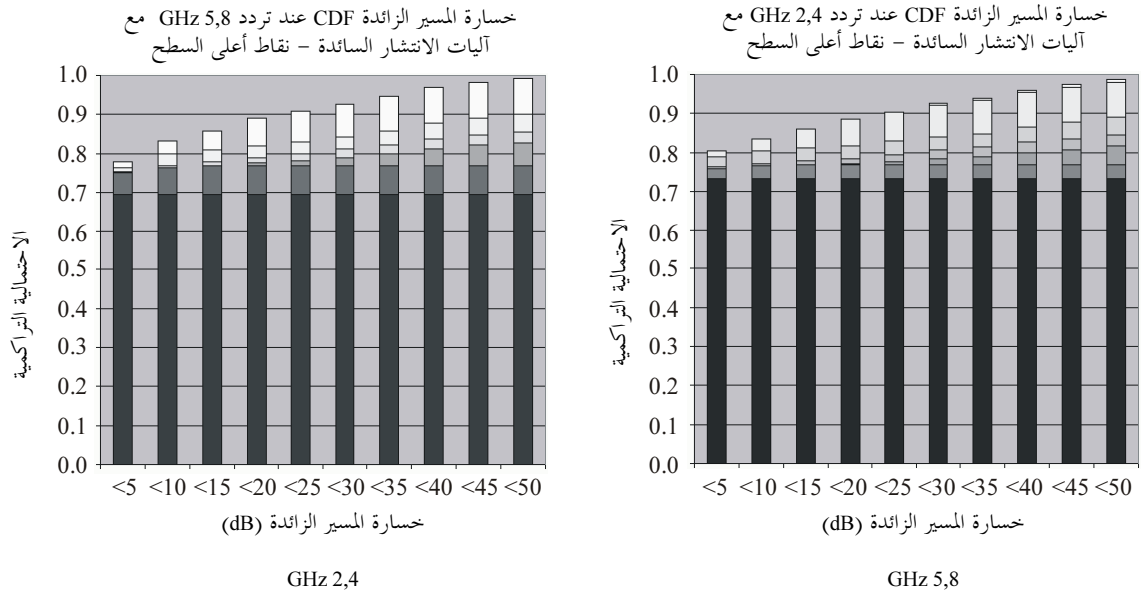


( ب ) نقاط أعلى السطح فقط

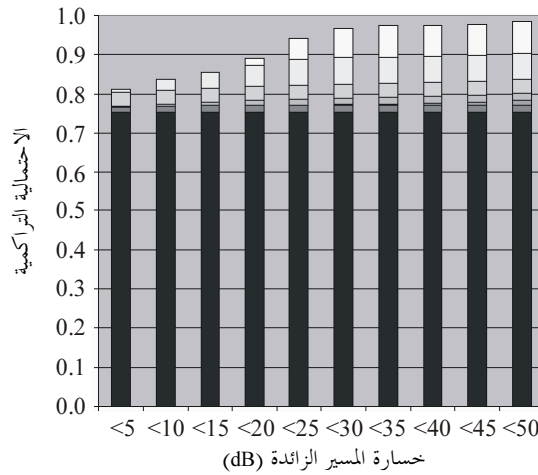


## الشكل 9

## خسارة المسير الزائدة مقابل آليات الانتشار السائدة عند نقاط أعلى السطح



## خسارة المسير الزائدة CDF عند تردد GHz 28 مع آليات الانتشار السائدة - نقاط أعلى السطح



1410-09

## 5.3.2 ملخص نتائج دراسة الحالة

كشفت دراسة الحالة عن عدد من النتائج المثيرة فيما يتعلق بتأثير آليات الانتشار المختلفة عند إجراء الحسابات الخاصة بكل من التغطية والتداخل.

- يمكن أن يكون للانعكاس المرآوي والانعراج حول الأشياء تأثير كبير على التغطية عند الترددات المنخفضة.
- تبين أن الانتثار يكون كبيراً عند تردد GHz 28 فقط. وخسارة المسير الزائدة (عادة أكبر من 25 dB) المنسوبة لهذه الآلية تجعلها أقل شأناً عند توفير التغطية، ولو أنه يجب دراسة هذه الآلية عند تقييم التداخل.
- لإدراج الانعكاسات المرآوية في نمذجة التداخل أثر كبير على سويات التداخل المتوقعة خاصة عندما يستخدم هوائي اتجاهي. فبالنسبة لشبكة ثابتة مع استخدام هوائيات اتجاهية في سيناريو حضري يجب نمذجة الانعكاسات من أجل التنبؤ الدقيق بالتداخلات.

ومن المهم فهم القيود الخاصة بهذا السيناريو. أولاً، النتائج قابلة للتطبيق على منطقة حضرية ذات مواقع مرتفعة للمرسلات بزوايا ارتفاع كبيرة عبر نطاقات قصيرة تم اختبارها. ويمكن للمواقع المرتفعة للمرسلات أن تغير الاستنتاجات المستخلصة ويتوقع أن تقدم السيناريوهات الخاصة بالمناطق الريفية وشبه الحضرية نتائج مختلفة إلى حد كبير فيما يتعلق بتحليل آليات الانتشار السائدة. ويقلل غياب الأجسام العاكسة الضخمة من أثر الانعكاس المرآوي ولو أن الانتشار يظل أمراً هاماً. وبالنسبة لسيناريوهات المناطق الريفية وشبه الحضرية، فإنه من المهم جداً أيضاً إدراج البيانات النباتية ونمذجتها بشكل سليم.

## 4.2 التوجهات العامة

لوحظت بعض الاتجاهات العامة استناداً إلى عدة قواعد معطيات صادرة في أوروبا الشمالية. وقد استعملت تقنية تتبع أثر الشعاع لحساب التغطية (اعتماداً على مستوى المبنى والحجب الناتج عن الغطاء النباتي بين المحطة القاعدة وموقع المستعمل) بدالة ارتفاعات هوائي المرسل وهوائي المستقبل، ومزايا تنوع وتعدد حواسيب الخدمة وأهمية الحجب الناتج عن الغطاء النباتي. والجوانب العامة هي كالاتي:

- قد تعتمد التغطية على الموقع بشكل كبير، خاصة في حالة وجود خصائص طوبوغرافية أو حدوث حجب استثنائي بسبب المباني على مقربة من المرسل. ومع ذلك سمحت عدة دراسات استقصائية أجريت على مواقع حضرية/شبه حضرية مختلفة بالحصول على نسب بالتغطية تتراوح بين 40% و 60% فيما يتعلق بخلية نصف قطرها 2 km اعتباراً من سارية المرسل.
- تتزايد التغطية بمقدار 1% إلى 2% فيما يتعلق بكل متر من زيادة ارتفاع سارية المحطة القاعدة.
- تتزايد التغطية بمقدار 3% إلى 4% فيما يتعلق بكل متر من زيادة ارتفاع سارية موقع المستعمل.
- من شأن معمارية خلوية تتيح للمستقبلات الاختيار بين عدة محطات قاعدة أن تزيد التغطية بشكل كبير. فبالنسبة إلى ارتفاعات هوائي المرسل التي تبلغ 30 m مثلاً تتزايد التغطية في خلية نصف قطرها 2 km بنسبة 44% فيما يتعلق بمحطة قاعدة واحدة وبنسبة 80% فيما يتعلق بمحطتين وبنسبة 90% فيما يتعلق بأربع محطات حتى وإن لم يتم انتقاء المحطات القاعدة خصيصاً لضمان رؤية فردية جيدة.

## 3 تأثير الهواطل على التيسرية

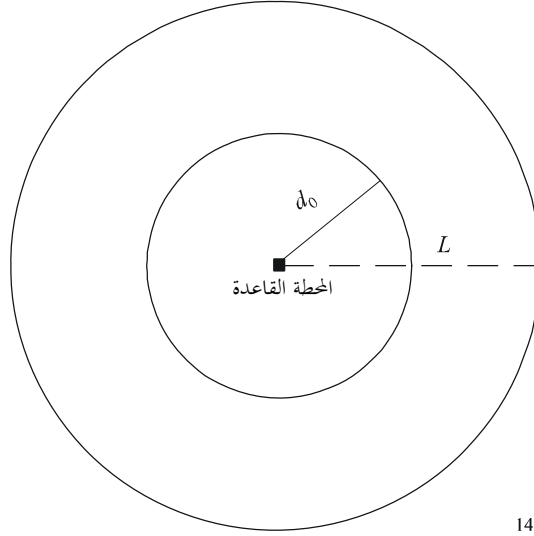
حالما يتقرر أن المستعمل لديه خط بصر غير محجوب باتجاه المحطة القاعدة مع هامش ملائم للنظام في الفضاء الحر يصبح من اللازم حساب النسبة المثوية للوقت الذي تكون فيه الخدمة متيسرة على أن يؤخذ في الاعتبار تأثير الهواطل. وفيما يتعلق بأي وصلة في منطقة الخدمة للمحطات القاعدة، يمكن تقدير التيسر أثناء الهواطل بواسطة الطرائق الموصوفة في التوصية ITU-R P.530.

## 1.3 تغطية المنطقة المتأونة

بما أن الأمطار غير منتظمة أفقياً (في بعدين) فإن النموذج أحادي الأبعاد الموصوف في التوصية ITU-R P.530 فيما يتعلق بالأمطار غير المنتظمة التي تؤثر في الوصلات من نقطة إلى نقطة لا يمكن تطبيقه على الوصلات الموجودة بين نقطة ثابتة ومنطقة معينة. ويمكن مراعاة عدم الانتظام ثنائي الأبعاد هذا بتطبيق توزيع متوسط معدل سقوط الأمطار على خلية المطر التي تجري دراستها. وبالنسبة إلى خلية بتغذية مركزية نصف قطرها  $L$ ، يمثل الرسم البياني الوارد في الشكل 10 المنطقة المكافئة التي يحددها نصف القطر  $d_0$  الذي يتعرض للتغطية أثناء النسبة المثوية المختارة من الوقت.

## الشكل 10

مخطط الخلية بتغذية مركزية يمثل نصف قطر منطقة التغطية المكافئة في ظروف المطر



1410-10

وضع إجراء للتنبؤ بمنطقة التغطية بالاستناد إلى القياسات الرادارية لسقوط الأمطار التي أجريت في المملكة المتحدة على مدى سنتين.

بالنسبة إلى خلية بتغذية مركزية نصف قطرها  $L$  (km) وهامش خبو النظام  $F$  (dB) عند الحافة:

الخطوة 1: الحصول على المعدل المتوسط لهطول المطر في منطقة ما  $R_a(p)$  الذي يتم تجاوزه خلال  $p\%$  من الوقت من

$$(27) \quad R_a = \left(0.317L^{0.06} + 1\right)R^{1-0.15L^{0.2}}$$

حيث  $R$  هو معدل هطول المطر في نقطة معينة بالنسبة للمنطقة. ويرد في الجدول 3 مثال لهذه المعلمة فيما يتعلق بمعطيات قائمة على الرادار تم الحصول عليها في المملكة المتحدة. وفيما يتعلق بمعدل هطول المطر في نقطة معينة، يلاحظ أن المعدل المتوسط لهطول المطر في منطقة معينة ينخفض بشكل ضئيل عند سوية تجاوزه بمقدار  $0,1\%$  وحوالي الثلث عند سوية تجاوزه بمقدار  $0,01\%$  وحوالي النصف عند سوية تجاوزه بمقدار  $0,001\%$  بالنسبة إلى منطقة دائرية نصف قطرها  $2,5$  km.

الخطوة 2: تحديد مسافة القطع  $d_0$  أثناء نسبة مئوية  $p\%$  في سنة متوسطة عن طريق حل المعادلة (27) للحصول على  $d$  عددياً

$$(28) \quad k R_a^\alpha(p) d \left(1.5 + \left(1.1(2d^{-0.04} - 2.25)\right) \log(R_a(p))\right) + 20 \log(d/L) = F$$

حيث تعد  $k$  و  $\alpha$  معلمتين تحددان التوهين النوعي الناتج عن المطر الوارد في التوصية ITU-R P.838. ويمثل التعبير  $(1.5 + 1.1(2d^{-0.04} - 2.25)) \log(R_a(p))$  عامل تخفيض المسير المنطبق على الحسابات الخاصة بالمنطقة.

الخطوة 3: بالنسبة إلى مسافة القطع  $d_0 \propto (L, p, F)$  تكون تغطية المنطقة لهذه الخلية كالتالي:

$$(29) \quad C(L, p, F) = 100 \left(\frac{d_0}{L}\right)^2 \quad \%$$

ويبين الشكل 11 نتائج الإجراء الناتجة من المعادلات (27) و (28) و (29) لخليتين بتغذية مركزية بنصف قطر  $2,5$  و  $5$  km وبنظامين مع استعمال استقطاب عمودي عند التردد  $42$  GHz على أساس هامش توهين بسبب المطر قدره  $10$  و  $15$  dB عند حافة الخلية. ويفترض في هذا الصدد أيضاً أن كسب هوائي المرسل متساوٍ بالنسبة إلى جميع المستعملين. وتراعى في الحسابات الخسارة في الفضاء الحر (المعادلة (14)).

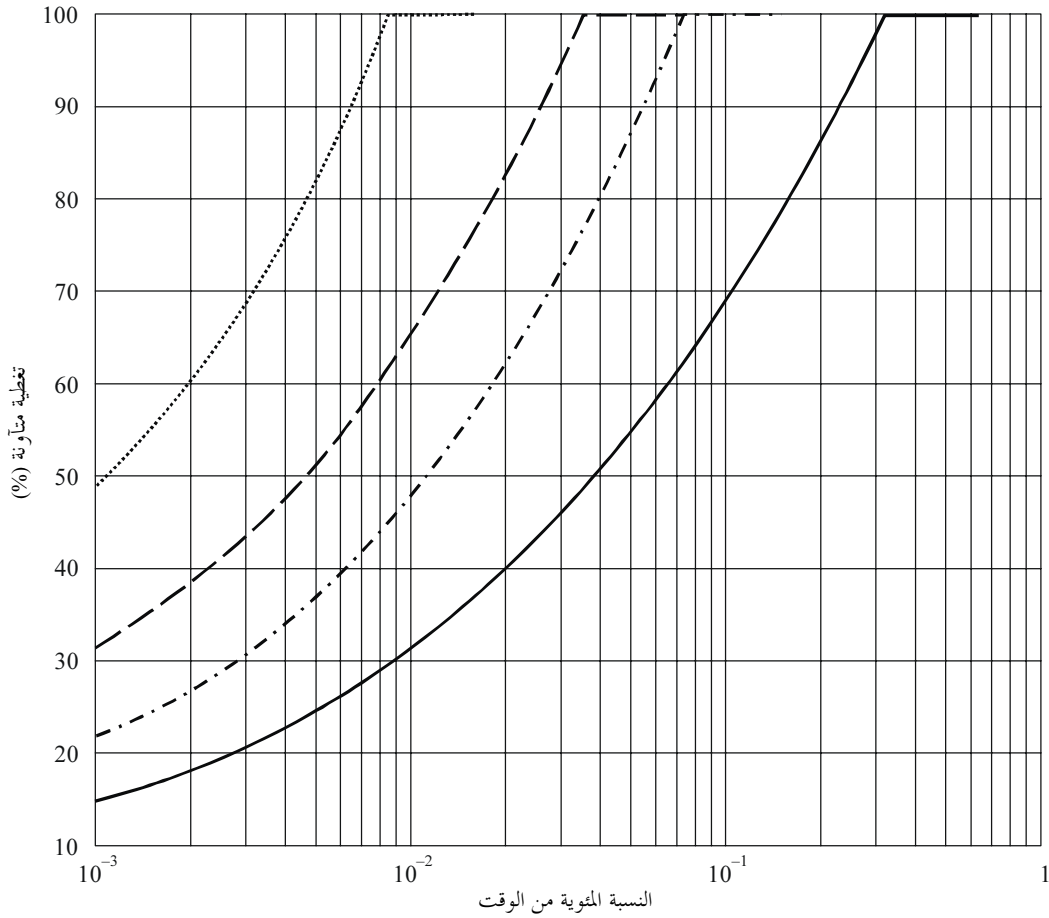
الجدول 3

متوسط معدل هطول المطر في نقطة معينة وفي منطقة معينة من خلال مجموعة معطيات رادارية مقيسة على مدى سنتين في المملكة المتحدة

متوسط معدل هطول المطر في منطقة معينة R (mm/h)		معدل هطول المطر في نقطة معينة، R (mm/h)	النسبة المئوية من الوقت
km 5 = نصف القطر	km 2,5 = نصف القطر		
33,0	36,0	65,6	0,001
23,4	29,0	46,2	0,003
17,1	19,4	29,9	0,01
12,6	16,3	18,1	0,03
8,5	9,5	9,8	0,1
4,8	4,9	5,0	0,3
2,1	2,1	2,0	1

الشكل 11

تطبيق الإجراء عند الموقع 1,5° غرب، 51° شمال



- — — — — نصف قطر الخلية km 2,5 والهامش dB 10
- ..... نصف قطر الخلية km 2,5 والهامش dB 15
- نصف قطر الخلية km 5 والهامش dB 10
- . - . - . - نصف قطر الخلية km 5 والهامش dB 15

## 2.3 تحسين تنوع الطرق

تتغير الهواطل عمودياً وأفقياً حسب الوقت والمكان تغيراً كبيراً. ويراعى هذا التغير في النمذجة الحالية فيما يتعلق بوصلة واحدة بين مطرافين، وذلك مثلاً باستعمال طول المسير الفعال، بافتراض أن مستعملاً يمكنه أن يُوصل بمحطتين قاعدتين أو أكثر في أي وقت. ويشرح هذا الفرع إلى أي مدى يمكن تحسين التيسر في حالة تركيب مثل هذا النظام. وتفترض شبكة من نمط نجمي بعقدة مركزية تشمل مرسلين ومستقبلاً واحداً، ويفترض أن طولي المسير واحد حيث يتراوح الفصل الزاوي بين  $0^\circ$  و  $360^\circ$ .

نظراً إلى أن هطول المطر غير منتظم أفقياً فإن الإحصاءات المتعلقة بالتوهين بالنسبة إلى المسير الوحيد وإلى مسيري التنوع تكون مختلفة. ويبين الشكل 12 الإحصاءات النموذجية للتوهين عبر مسير غير محمي وعبر مسيري التنوع المندمجين. وتعرف المعادلتان التاليتان التحسين العائد إلى الفصل الزاوي الذي يمكن التعبير عنه بتحسين التنوع  $I(A)$  أو كسب التنوع  $G(A)$ :

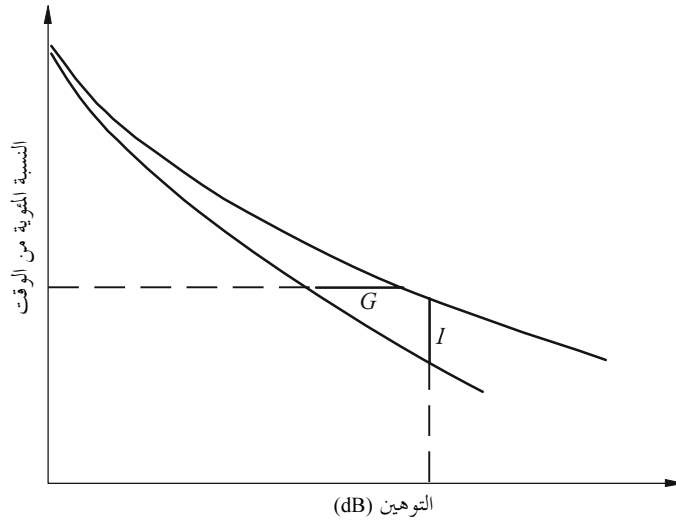
$$(30) \quad I(A) = \frac{P(A)}{P_d(A)}$$

$$(31) \quad G(A) = A(t) - A_d(t)$$

حيث  $P_d(A)$  هي النسبة المئوية من الوقت في مسير التنوع المندمج حيث يكون عمق الخبو أعلى من  $A$  وتشير  $P(A)$  إلى النسبة المئوية من الوقت للمسير غير المحمي. وعلى غرار ذلك، تشير  $A_d(t)$  إلى عمق الخبو في مسير التنوع المندمج الذي يمثل النسبة المئوية من الوقت  $t$  ويقابل  $A(t)$  المسير غير المحمي.

الشكل 12

مثال عن إحصاءات التوهين بدالة التنوع الزاوي للمسير



1410-12

يحسب كسب التنوع  $G$  باتباع الخطوات التالية:

الخطوة 1: تحدد الزاوية  $\theta$  بين المسيرين  $d_{min}$  و  $d_{max}$ .

الخطوة 2: حساب  $G_{sym}$  من:

$$G_{sym} = a_g d_{max}^{b_g}$$

بدالة الطول  $d_{max}$  وباستعمال المعاملين  $a_g$  و  $b_g$  الواردين في الجدول 4 لمختلف النسب المئوية لتيسر الوصلات.

## الجدول 4

قيم المعاملين لمختلف حالات التيسر

$b_g$	$a_g$	التيسر (%)
1,366	0,123	99
1,308	0,218	99,5
1,259	0,342	99,7
1,173	0,648	99,9
1,165	0,810	99,95
1,169	1,132	99,97
1,077	2,041	99,99

الخطوة 3: حساب عامل لا تناظرية المسير  $a$  من:

$$(32) \quad a = c \left( \frac{d_{max}}{d_{min}} \right)^{-d}$$

حيث يرد المعاملان  $c$  و  $d$  في الجدول 5.

## الجدول 5

قيم المعاملين  $c$  و  $d$  لمختلف حالات التيسر

$d$	$c$	التيسر (%)
2,852	0,907	99
2,976	0,946	99,5
2,761	0,969	99,7
2,821	0,971	99,9
2,347	0,930	99,95
2,316	0,905	99,97
2,270	1,000	99,99

بالنسبة إلى أطوال المسير المتساوية، تكون  $a = 1$ .الخطوة 4: يكون كسب التنوع  $G$  عند التيسر المطلوب كالتالي:

$$G = G_{sym} a \sin \left( \frac{\theta}{2} \right)^x \quad (\text{dB})$$

حيث تعطى  $x$  بالمعادلة التالية:

$$x = 0,87 \ln \left( \frac{d_{max}}{d_{min}} \right) + 0,55 \quad \text{for } 1 \leq (d_{max}/d_{min}) \leq 2$$

ويحسب تحسن التنوع  $I$  باتباع الخطوات التالية:

الخطوة 1: تحدد الزاوية  $\theta$  بين المسيرين  $d_{min}$  و  $d_{max}$ .

الخطوة 2: حساب  $I_{sym}$  من:

$$I_{sym} = 10(a_i L^{b_i}) - 1$$

حيث يرد المعاملان  $a_i$  و  $b_i$  في الجدول 6 لتجاوز التوهين عند مختلف النسب المئوية من الوقت.

#### الجدول 6

قيم المعاملين لتجاوز مختلف أعماق الخبو  
مقابل النسبة المئوية من الوقت  $A$

$b_i$	$a_i$	الوقت (%)
0,491	0,082	1
0,431	0,114	0,5
0,535	0,106	0,3
0,559	0,155	0,1
0,566	0,196	0,05
0,406	0,324	0,03

الخطوة 3: حساب عامل لا تناظرية المسير  $a$  من:

$$(33) \quad a = c \left( \frac{d_{max}}{d_{min}} \right)^{-d}$$

حيث يرد المعاملان  $c$  و  $d$  في الجدول 7.

#### الجدول 7

قيم المعاملين  $c$  و  $d$  لتجاوز مختلف أعماق الخبو  
خلال النسبة المئوية المحددة من الوقت

$d$	$c$	الوقت (%)
2,355	0,851	1
2,493	0,961	0,5
2,288	0,882	0,3
2,631	0,768	0,1
2,198	0,762	0,05
2,427	0,858	0,03

بالنسبة إلى أطوال المسير المتساوية، تكون  $a = 1$ .

الخطوة 4: يكون تحسن التنوع  $I$  عند التوهين المطلوب كالتالي:

$$I = 1 + I_{sym} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)^x$$

حيث يعطى  $x$  بما يلي:

$$x = 0,61 \ln\left(\frac{d_{max}}{d_{min}}\right) + 0,84 \quad \text{for } 1 \leq (d_{max}/d_{min}) \leq 2$$

يلاحظ أن الطرائق أعدت بالاستناد إلى معدلات هطول الأمطار المرصودة بالرادار في المملكة المتحدة.

#### 4 تشوه قناة الانتشار

يتناول هذا الفرع التأثيرات المتأونة لديناميات الغطاء النباتي والانتشار عبر عدة مسيرات (المباني والتضاريس الأرضية) على قناة المسير. ونظراً لندرة المعطيات المتاحة حالياً، تعطى نتائج القياس المتيسرة على سبيل الإرشاد فقط. ويمكن الحصول على المعلومات المتعلقة بتغير الإشارة والانحراف المعياري فيما يتعلق بالانتشار من خلال تحرك الغطاء النباتي في التوصية ITU-R P.833.

#### 1.4 توهين انتقائي للتردد العائد إلى الغطاء النباتي

أجريت قياسات بواسطة مجموعة مراشيع للإرسال في عرض نطاق 34 MHz بهدف دراسة احتمال حدوث توهين انتقائي للتردد عبر القناة. وتضمنت مجموعة المراشيع ثماني قنوات يبلغ عرض نطاقها 1,6 MHz (-3 dB) ويفصل بينها 3 MHz وضعت في وسط القناة.

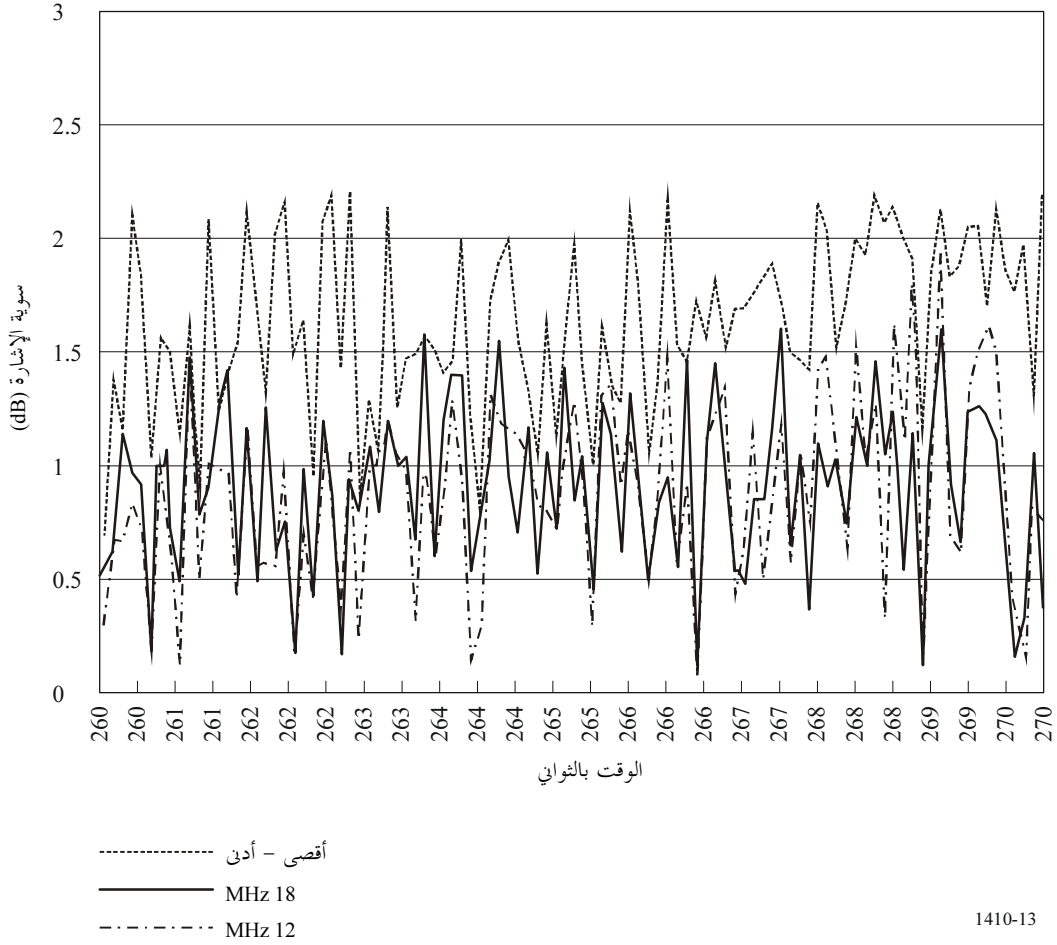
وقد أجريت القياسات وراء شجرة من نوع البتولة عند مسافة 15 m مع فاصل اعتيان قدره 100 ms. ونظراً لعدم وجود رياح خلال فترة القياس، جرت محاكاة تأثير الرياح بواسطة حبال تمتاز بها الشجرة. ويرد في الشكل 13 مقارنة بين سويات إشارة القنوات في ظروف رياح قوية. وتوحي السوية المنخفضة للتغير الملحوظ عبر القناة بعدم وجود توهين انتقائي كبير للتردد. وبالتالي فإن التغير الزمني لسوية الإشارة قد يكون ناتجاً عن تغير الحجب أو عن كثافة الأغصان والأوراق الواقعة بين المستقبل والمرسل، أو بسبب الانتشار عبر عدة مسيرات حيث يكون الاختلاف في وقت الانتشار ضئيلاً جداً.

وزيادة في اختبار النتائج الملحوظة أجريت تجربة باستعمال مضمم القدرة القصوى (MPC) وهوائيين فرديين يفصل بينهما 72 cm. وأجري إرسال اختبائي MPEG-2 TV عند 42 GHz باستعمال النسق DVB-S (التصحيح الأمامي للخطأ لنصف معدل التشكيل التريبي بزرحة الطور). ووضعت الإشارات الصادرة من كل هوائي وكذلك الإشارات المختلطة من خلال مضمم القدرة القصوى في ثلاثة صناديق لفك الشفرة ومراقب فيديو في الخدمة الإذاعية الفيديوية الرقمية (DVB-S). وقد نصبت الأجهزة لكي يستقبل كلا الهوائيين الإشارات من خلال أغصان الأشجار المتحركة. وقد عانى كلا من نظامي DVB-S وحيد الهوائي من خسارة منتظمة في الرزمة. وكان معدل خسارة الرزمة شديداً بحيث يصعب تصحيحه بمفكك التشفير مما سبب خسارة فيديوية متكررة. وعلى عكس ذلك، عانت الإشارة المختلطة بواسطة مضمم القدرة القصوى من خسارة رزمة منخفضة وبالتالي استطاع مفكك التشفير MPEG-2 من التعويض عن ذلك وظل الإرسال الفيديوي مستقراً.



## الشكل 13

## مقارنة بين سويات إشارة القنوات في ظروف رياح قوية



## 2.4 الانتشار عبر عدة مسيرات الناتج عن الانعكاسات

## 1.2.4 نتائج تقنية تتبع أثر الشعاع

بينت عمليات محاكاة تتبع أثر الشعاع أن مشكلة الانتشار عبر عدة مسيرات تبدو قليلة الشأن في الظروف التي سيشتغل النظام في ظلها، وأن حزمة هوائي المستقبل الضيقة جداً تسبب توهيناً كبيراً جداً للإشارات المنتشرة عبر عدة مسيرات. والأشعة التماسية الضحلة جداً المنبعثة من السطوح المجاورة ومن الأرض هي وحدها التي تتسرب إلى المستقبل بدرجة لا بأس بها من الاتساع. ونتيجة لذلك، فإن قيم تمديد وقت الانتشار الملحوظة بواسطة المحاكاة ضعيفة جداً.

لم تدرس الأشعة المنعرجة أثناء محاكاة تتبع أثر الشعاع ولكن بينت بعض الأعمال السابقة أن هناك مواقع قليلة جداً يمكنها استعمال الأشعة المنعرجة، وبالتالي من المرجح أن تكون هناك مواقع قليلة حيث تشكل الأشعة المنعرجة مصدراً للتداخل. وعلى سبيل المثال، أجريت حسابات بتتبع أثر شعاع تمديد وقت الانتشار لمواقع المستقبلات باستعمال قاعدة معطيات كبيرة (أوكسفورد، المملكة المتحدة). وقد أعطت هذه الحسابات قيمة منخفضة للغاية بسبب السويات المنخفضة جداً للانتشار عبر عدة مسيرات. وقد لوحظ أن القيمة المتوسطة الفعالة لتمديد وقت الانتشار بلغت حوالي 0,01 ns، وهو ما يعادل تقريباً عرض نطاق للتماسك قدره 15 GHz. ولن يشكل ذلك مشكلة بالنسبة إلى نظام نفاذ راديوي عريض النطاق. ومن المستبعد أن تكون القيمة الحقيقية الفعالة لتمديد وقت الانتشار منخفضة إلى هذا الحد في الواقع وذلك بسبب الأشعة المنعرجة المذكورة أعلاه، ولكن يمكن واقعياً اعتبار عرض نطاق للتماسك يصل إلى 5 GHz. ويبلغ الانحراف المعياري للقيمة الفعالة لتمديد وقت الانتشار حوالي 0,01 ns.

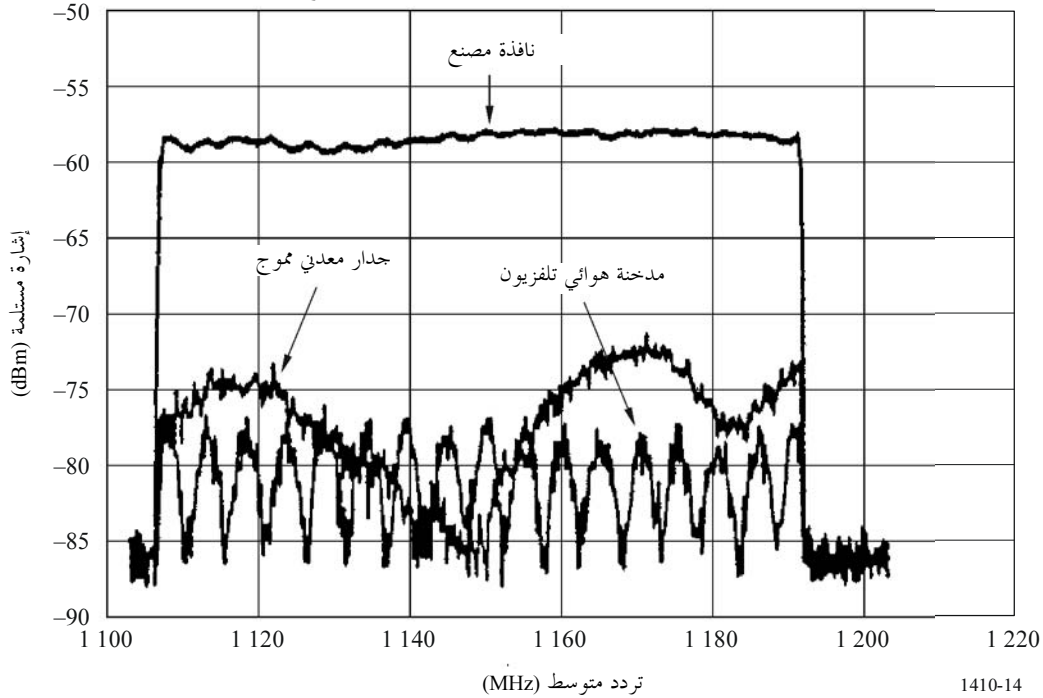
### 2.2.4 نتائج من القياسات

يمكن اعتبار الانعكاسات الناتجة عن المباني بمثابة إمكانية ملء منطقة الحجب وبمثابة انتشار عبر عدة مسيرات ضار على حد سواء. وقد بينت بعض عمليات الرصد باستعمال كس تردد قدره 80 MHz أنه يمكن زيادة عدد المواقع المستقبلية لإشارة ملائمة للتغطية بنسبة 9% وذلك بإضافة الإشارات المنعكسة. ومع ذلك ينبغي ملاحظة أن استعمال إشارات منعكسة لتوفير خدمة معينة يثير عدة مشاكل. أولاً يجب أن تكون الإشارة مستقرة أي أن يكون لإشارة الورد إلى الشيء العاكس مسير عبر خط البصر. وإذا عبر أي جزء من المسير الغطاء النباتي أو مسيراً يحتمل أن يتعرض إلى الحجب بسبب الحركة ستظهر الإشارة الناتجة تغيراً زمنياً. وثانياً يجب أن يكون الشيء العاكس ذاته دائماً ومستقراً.

يكون لمساحة وخشونة سطح المبنى العاكس تأثير كبير للغاية على استجابة تردد القناة. ويبين الشكل 14 استجابة القناة المقيسة فيما يتعلق بثلاث إشارات منعكسة مختلفة: تأتي الإشارة الأولى من نافذة مصنع والإشارة الثانية من مدخنة منزل ذي شرفة (المنزل مجهز أيضاً بهوائي لتلفزيون ياغي) والإشارة الثالثة يعكسها جدار معدني موج كبير للبيع بالتجزئة. وجدير بالملاحظة فيما يتعلق بهذا المبنى أن الجدار المعدني الموج يعطي انعكاساً زاوياً ممدداً وليس انعكاساً زاوياً مرآوياً. وبلغت المسافة بين المواقع والمرسل 1,34 km و 1,57 km و 616 m على التوالي.

الشكل 14

استجابة التردد للانعكاسات المقيسة في ثلاثة مواقع مختلفة



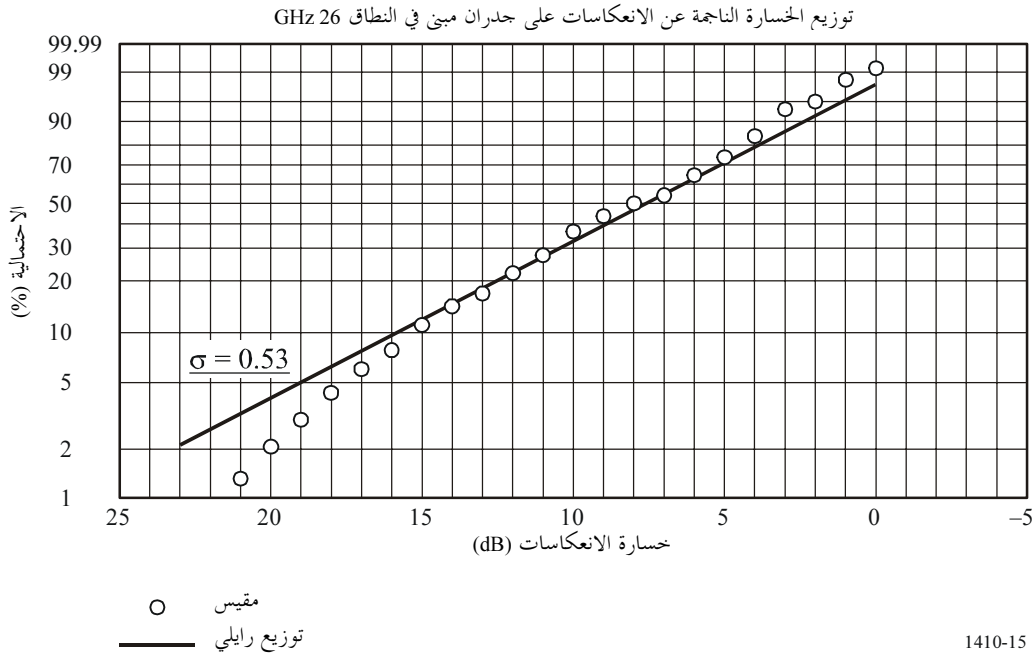
من الملاحظ أن نافذة المصنع توفر استجابة تردد منتظمة بصورة عامة لأنها تتصرف كمرآة مسطحة وتتضمن عنصراً مرآوياً واحداً. في حين يظهر الجدار المعدني الموج والمدخنة تموجاً مميزاً يقابل الاختلاف في طولي المسير (على افتراض نموذج بمسارين). بمقدار 6 m و 60 m على التوالي. وفيما يتعلق بانعكاس المدخنة، قد يعزى طول مسافة المسير إلى اجتماع الانعكاس المتأتي من شيء آخر يقع عند 30 m تقريباً وراء المدخنة. وفي حالة الجدار المعدني الموج يمكن الحصول على اختلاف طول المسير بمقدار 6 m من مختلف أجزاء الجدار ذاته، نظراً إلى أن المبنى بكامله يمكن أن يساهم في انعكاس الإشارات وليس فقط المنطقة المرآوية الصغيرة.

وقد تم تنفيذ قياسات الطيف الترددي واسع النطاق في منطقة شبه حضرية في كل من نطاقي التردد 5 GHz و 25 GHz. وكان النطاق المشغول لطيف الإرسال 26 MHz وكان هناك جزء يبلغ مداه 10 MHz من الجزء المركزي للنطاق مسطح إلى حد كبير. وفي كل طيف ترددي، يمكن حساب الحد الأقصى لتشتت الانتساع داخل النطاق من السوية القصوى والسوية الدنيا في المدى البالغ 10 MHz من الجزء المركزي للطيف. وبفرض نموذج تداخل بموجتين، فإن النسبة  $(D/U)$  للموجة D كموجة مباشرة والموجة U كموجة منعكسة تعتبر عاملاً مهماً في تقدير تشتت الانتساع داخل النطاق. ويتأثر تشتت الانتساع داخل النطاق عند محطة طرفية بالحجب الناتج عن عوائق مثل المنازل والأشجار المحيطة. وبفرض أن سوية الموجة U ثابتة، فإنه يمكن القول إن القيمة  $D/U$  لمسير الانتشار تساوي من 20 إلى 30 dB. ويشير هذا إلى أنه في حالة استخدام هوائي لمخطة طرفية له كسب هوائي قدره 15 dBi تقريباً مع حدوث حجب أكبر من 20 dB، فإن للاختلاف في الانتساع داخل النطاق تشتت ضار. ويؤثر كسب الهوائي الاتجاهي على سوية كبت موجات التداخل. ويمكن افتراض قيمة قدرها 50 dB للنسبة  $D/U$  بالنسبة لهوائي له كسب قدره 32 dBi و 30 dB لهوائي كسبه 12 dBi. ويقابل الفرق بين كسبي الهوائيين الفرق بين قيمتي  $D/U$  السابقتين.

إن قياسات كسب التردد باستعمال إشارة مستقطبة عمودياً عند 26 GHz التي أجريت بزوايا انعكاس تتراوح بين 87,5° و 89° (أي بشكل متعامد تقريباً مع سطح الجدار)، بينت توهيناً متوسطاً قدره 7,5 dB. وكان المرسل والمستقبل يقعان في نفس المكان. وتراوحت المسافات حتى الجدران من 37 m إلى 402 m. وقد استعملت أربعة مبان تتكون مساحة الجدران فيها من الزجاج والقرميد والمعدن وبالتالي يتراوح عدم انتظام السطح بين 3 cm و 75 cm. وجدير بالملاحظة أن متجه المجال الكهربائي كان متوازياً مع الجدران. ويبين الشكل 15 توزيعاً تراكمياً للخسارة بسبب الانعكاسات. وقد وجد أن الانحراف المعياري للتناقض في القياسات نسبة إلى توزيع رايلي  $\sigma = 0,53$  dB

### الشكل 15

#### التوزيع التراكمي للخسارة الناجمة عن الانعكاسات على جدران مبني والمقيس عند تردد 26 GHz



## 5 التداخل

تصمم الأنظمة الراديوية الخلوية على أساس التوفيق بين نمط إعادة استعمال التردد ونسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء ( $C/I$ ). وقد يحتاج الأمر إلى حد أدنى من نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء كي يتسنى لنظام معين أن يعمل بشكل مرضٍ، أي حسب نوعية الأداء المحددة.

وفي ضوء الحد الأدنى المطلوب من نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء ( $C/I$ ) يصبح من السهل وضع نموذج منتظم لإعادة استعمال التردد يفني بالغرض. ومع ذلك ينبغي أن تؤخذ خصائص التضاريس الأرضية في الاعتبار كما ينبغي اختيار موقع المحطة القاعدة بعناية للحصول على نوعية الأداء المطلوبة لنظام النفاذ الراديوي.

وفي معظم الحالات لن يتأثر بذلك سوى قلة من المستخدمين بسبب ضيق حزمة هوائي المطراف. ويتراوح عرض الحزم بين  $2^\circ$  و  $3^\circ$ . وبالنسبة للمستخدمين الذين قد يتعرضون للتأثير يمكن استعمال النماذج الموصوفة في التوصية ITU-R P.452 والتوصية ITU-R P.530 لتقدير النسبة المثوية من الوقت الذي تنبعث فيه الإشارة الضارة خارج خط البصر والإشارة المعززة على خط البصر، على التوالي، من المحطة القاعدة المسببة للتداخل. ولكن لا تتوفر فوق 37 GHz، أي معطيات لتأكيد صحة القيم المتنبأ بها.

جرى تقييم مشكلة التداخل باستعمال المعطيات الناتجة عن دراسة 111 موقعاً خلال حملة قامت بها المملكة المتحدة لقياس تغطية منقطة معينة. وجرى دراسة مرسل آخر كمصدر محتمل للتداخل. ومن مجموع المعطيات بين موقع واحد فقط انبعث إشارة من المرسل غير المطلوب تفوق سويتها عتبة الضوضاء في فتحة حزمة الهوائي المسدد نحو المرسل المطلوب، وحتى في هذه الحالة لوحظ أن نسبة الإشارة المطلوبة إلى الإشارة غير المطلوبة بلغت 15 dB. ويبدو أن ذلك يؤكد أن التداخل فيما بين الخلايا سيكون طفيفاً على الأرجح بسبب ضيق فتحات هوائيات المستقبل.