

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R P.1411-7
(2013/9)

معطيات الانتشار وطرائق التنبؤ لتخطيط أنظمة
الاتصالات الراديوية قصيرة المدى المعدة للعمل
خارج المباني والشبكات المحلية الراديوية في مدى
الترددات المتراوحة بين **300 MHz** و **100 GHz**

السلسلة P

انتشار الموجات الراديوية



تمهيد

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 مدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها. ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهروتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في 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>)

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

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

النشر الإلكتروني

جنيف، 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).

التوصية ITU-R P.1411-7

معطيات الانتشار وطرائق التنبؤ لتخطيط أنظمة الاتصالات الراديوية قصيرة المدى المعدة للعمل خارج المباني والشبكات المحلية الراديوية في مدى الترددات المتراوحة بين 300 MHz و 100 GHz

(المسألة 211/3 ITU-R)

(1999-2001-2003-2005-2007-2009-2012-2013)

مجال التطبيق

تنطوي هذه التوصية على توجيهات بشأن الانتشار قصير المدى في مجال الترددات 300 MHz إلى 100 GHz. وتتوفر المعلومات عن نماذج خسارة المسيرات في كل من بيئة خط البصر (LoS) وخلاف خط البصر (NLoS)، وخسارة اختراق المباني، ونماذج تعدد المسيرات لكل بيئة أحاديدي الشوارع وفوق سطوح المباني، وعدد مكونات الإشارة، وخصائص الاستقطاب، وخصائص الحبو.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن عدداً كبيراً من التطبيقات الجديدة للاتصالات المتنقلة والاتصالات الشخصية قصيرة المدى (أقل من 1 km) يجري تطويرها حالياً؛

ب) أن هناك طلباً كبيراً على الشبكات المحلية الراديوية (RLAN) وأنظمة العروة المحلية اللاسلكية؛

ج) أن الأنظمة قصيرة المدى التي تستعمل قدرة منخفضة جداً لها مزايا عديدة لتقديم خدمات في البيئة المتنقلة وفي العروة المحلية اللاسلكية؛

د) أن من الضروري جداً لتصميم هذه الأنظمة معرفة خصائص الانتشار والتداخلات الناتجة عن وجود عدة مستعملين في المنطقة نفسها؛

هـ) أن من الضروري على السواء توفر نماذج عامة (أي مستقلة عن الموقع) ومشورة بشأن التخطيط الأولي للأنظمة وتقييم التداخلات وتوفر نماذج محددة (أي خاصة بمواقع معينة) لبعض التقييمات المفصلة،

وإذ تلاحظ

أ) أن التوصية ITU-R P.1238 تضع الخطوط التوجيهية المتعلقة بالانتشار داخل المباني على مدى الترددات المتراوحة بين 900 MHz و 100 GHz وبالتالي يجب الرجوع إليها في الحالات التي تنطبق فيها ظروف الانتشار داخل المباني وخارجها على السواء؛

ب) أن التوصية ITU-R P.1546 تضع الخطوط التوجيهية المتعلقة بالانتشار للأنظمة العاملة على مسافات تبلغ وتتجاوز 1 km وعلى مدى الترددات المتراوحة بين 30 MHz و 3 GHz،

توصي

باعتماد المعطيات والطرائق المحددة في الملحق 1 لتقييم خصائص الانتشار المتعلقة بأنظمة الاتصالات الراديوية قصيرة المدى المعدة للعمل خارج المباني بين 300 MHz و 100 GHz، حيثما أمكن.

الملحق 1

1 مقدمة

يتأثر الانتشار عبر مسافات تقل عن 1 km أساساً بالمباني والأشجار أكثر منه بالتضاريس. ويكون تأثير المباني غالباً، حيث إن معظم الوصلات الراديوية قصيرة المدى توجد في المناطق الحضرية وشبه الحضرية. أما المطاريق المتنقلة فالأرجح أن يحملها المشاة أو أن تكون على متن مركبة.

تعرف هذه التوصية فئات مسيرات الانتشار على مسافات قصيرة، وتقدم طرائق لتقدير خسارة المسير وامتداد الانتشار الزمني والانتشار الزاوي والارتباط المتبادل على هذه المسيرات.

ونماذج انتشار هذه الطرائق متناظرة بمعنى أنها تعامل المطرفين الراديويين عند طرفي المسير بنفس الأسلوب. فمن منظور النموذج، لا يهم أي من المطرفين هو المرسل وأيها هو المستقبل. لذا، يُستعمل مصطلحا "المحطة 1" و"المحطة 2" للدلالة على المطرفين عند بدء ونهاية مسير الانتشار على التوالي.

2 بيئات التشغيل المادية وتعريف أنماط الخلايا

تصنف البيئات الموصوفة في هذه التوصية من حيث انتشار الموجات الراديوية فقط. وتتأثر الموجات الراديوية بالبيئة، أي بماكل المباني وارتفاعها وباستعمال المطاريق المتنقلة (مشاة أو مركبات) وبموقع الهوائيات. وقد تم تحديد خمس بيئات مختلفة باعتبارها أكثر البيئات نمطية. إذ لم تؤخذ بعين الاعتبار مثلاً المناطق كثيرة التلال لأنها لا تمثل المناطق الحضرية. ويعرض الجدول 1 البيئات الخمس. ونظراً إلى تعدد أنواع البيئات في كل فئة فليس الغرض نمذجة كل حالة ممكنة، وإنما وضع نماذج الانتشار التي تمثل البيئات الأكثر شيوعاً.

الجدول 1

بيئات التشغيل المادية - حالات الانحطاط المرتبطة بظواهر الانتشار

الوصف وحالات الانحطاط المرتبطة بظواهر الانتشار ذات الأهمية	البيئة
<ul style="list-style-type: none"> - أحياد حضرية عميقة مزدحمة، شوارع منحصرة بين مبان بكثافة عالية وتتكون من بضع عشرات من الطوابق - مباني وناطحات سحاب بكثافة عالية تتداخل فيما بينها وينتج عنها مسيرات انتشار عالية الانتشار في غير خط البصر - صفوف من المباني متعددة الطوابق تطرح احتمال استتالة وقت الانتشار - كثافة مرورية كبيرة للمركبات وزيادة معدلات تدفق الزوار في المنطقة يجعل من هذه المركبات وهؤلاء الزوار يعملون كعواكس مما يزيد من الإزاحة الدوبلرية للموجات المنعكسة - أشجار على جانبي الشوارع توفر دينامية للحجب 	مناطق حضرية شاهقة الارتفاع
<ul style="list-style-type: none"> - "الأحياد الحضرية" أي الشوارع المنحصرة بين مبان من عدة طوابق - قلة احتمال الانتشار فوق سطوح المباني بسبب ارتفاعها - احتمال استتالة وقت الانتشار بسبب صفوف المباني العالية - العربات العديدة المتنقلة في المنطقة تكون بمثابة عوائق تعكس الموجات مضيفة بذلك إزاحة دوبلرية إلى الموجات المنعكسة 	المناطق الحضرية المرتفعة
<ul style="list-style-type: none"> - شوارع واسعة - احتمال الانعراج فوق سطوح المباني التي لا تتجاوز ثلاثة طوابق بصورة عامة - احتمال أن تؤدي العربات المتنقلة إلى ظواهر الانعكاس والحجب في بعض الأحيان - التأثيرات الأساسية هي امتداد وقت الانتشار وقلة الإزاحة الدوبلرية 	المناطق الحضرية منخفضة الارتفاع / شبه الحضرية

الجدول 1 (تتمة)

البيئة	الوصف وحالات الانحطاط المرتبطة بظواهر الانتشار ذات الأهمية
المناطق السكنية	<ul style="list-style-type: none"> - منازل بطابق واحد أو اثنين - شوارع ذات اتجاهين عموماً مع وقوف سيارات على الجانبين - احتمال وجود أشجار كثيفة الأوراق إلى حد ما - حركة سير خفيفة عادة
المناطق الريفية	<ul style="list-style-type: none"> - منازل صغيرة تحيط بها حدائق كبيرة - تأثير التضاريس (طوبوغرافيا) - احتمال وجود أشجار كثيفة الأوراق إلى حد ما - حركة سير شديدة أحياناً

ويراعى سيناريوهان محتملان لكل بيئة من هذه البيئات الخمس. وبالتالي يُقسّم المستعملون إلى مشاة وعربات. وتختلف سرعة الهاتف المتنقل اختلافاً كبيراً بالنسبة إلى هذين التطبيقين مما يؤدي إلى إزاحات دوبلرية مختلفة. ويعرض الجدول 2 السرعات النموذجية لهذين السيناريوهين.

الجدول 2

بيانات التشغيل المادية - السرعة النموذجية للهاتف المتنقل

البيئة	سرعة تنقل المشاة (m/s)	سرعة تنقل العربات
المناطق الحضرية شاهقة الارتفاع/المرتفعة	1,5	سرعة نموذجية في وسط المدينة حوالي 50 km في الساعة (14 m/s)
المناطق الحضرية منخفضة الارتفاع/شبه الحضرية	1,5	حوالي 50 km في الساعة (14 m/s) طرق سريعة حتى 100 km في الساعة (28 m/s)
المناطق السكنية	1,5	حوالي 40 km في الساعة (11 m/s)
المناطق الريفية	1,5	100-80 km في الساعة (22-28 m/s)

يعتمد نمط آلية الانتشار المهيمن أساساً على ارتفاع هوائي المحطة القاعدة بالنسبة إلى المباني المحيطة. ويعرض الجدول 3 أنماط الخلايا النموذجية ذات الصلة بالانتشار خارج المباني عبر مسافة قصيرة.

الجدول 3

تعريف أنماط الخلايا

نمط الخلية	نصف قطر الخلية	الموقع النموذجي لهوائي المحطة القاعدة
خلية صغيرة	0,05 إلى 1 km	في الخارج، فوق متوسط مستوى السطح، وقد تكون بعض المباني المحيطة أعلى من ارتفاع هوائي المحطة القاعدة
خلية صغيرة حضرية مزدحمة	0,05 إلى 0,5 km	في الخارج، دون متوسط مستوى سطح المباني
خلية دقيقة	حتى 50 m	في الداخل أو في الخارج (دون مستوى سطح المباني)

(جدير بالملاحظة أن نمط "الخلية الصغيرة الحضرية المزدحمة" غير معرف صراحة في توصيات لجنة الدراسات 5 للاتصالات الراديوية).

3 فئات المسيرات

1.3 تعريف حالات الانتشار

ينظر في ثلاث مستويات بالنسبة لموقع المحطة في هذه التوصية. وهي (1) فوق قمة السطح (يرمز إليه بالرمز L1 في الشكل 1)؛ (2) تحت قمة السطح ولكن فوق قمة المبنى (L2)؛ و(3) عند قمة المبنى أو تحتها (L3). وإجمالاً، يمكن النظر في ستة أنواع مختلفة من الوصلات حسب مواقع المحطات، كل منها قد يكون على خط البصر أو خارج خط البصر.

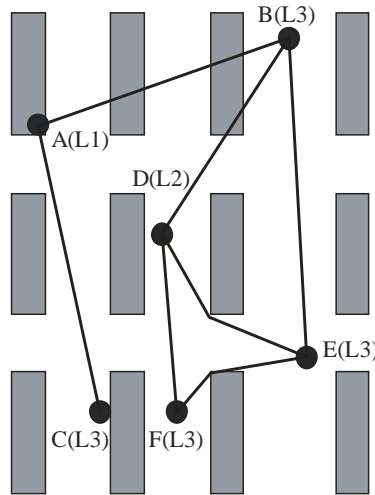
ويوضح الشكل 1 حالات الانتشار النمطية في المناطق الحضرية وشبه الحضرية. وعندما تتركب محطة (A) فوق قمة السطح ومحطة أخرى (B أو C) عند قمة المبنى، تكون الخلية المقابلة خلية صغيرة. وقد يكون المسير على خط البصر (من A إلى C) أو خارج خط البصر (من A إلى B). ويكون الانتشار بين المحطتين A و B عادة فوق قمم الأسطح. وعندما تتركب محطة (D) تحت قمة السطح ولكن فوق قمة المبنى، ومحطة أخرى (E أو F) عند قمة المبنى في بيئة حضرية أو شبه حضرية، تكون الخلية المقابلة إما بيئة خلية صغيرة أو بيئة خلية متناهية الصغر. ويتم الانتشار في أنماط الخلايا هذه داخل "أحاديدي الشوارع". وبالنسبة إلى الوصلات بين الهوائيات المتنقلة، يمكن افتراض وقوع طرقي الوصلة عند قمة المبنى. وقد يكون المسير على خط البصر (من B إلى E) أو خارج خط البصر (من E إلى F).

1.1.3 الانتشار فوق السطح خارج خط البصر (NLoS)

يوضح الشكل 2 الحالة النموذجية للانتشار خارج خط البصر (الوصلة بين A و B في الشكل 1) وتسمى فيما يلي الحالة NLoS1.

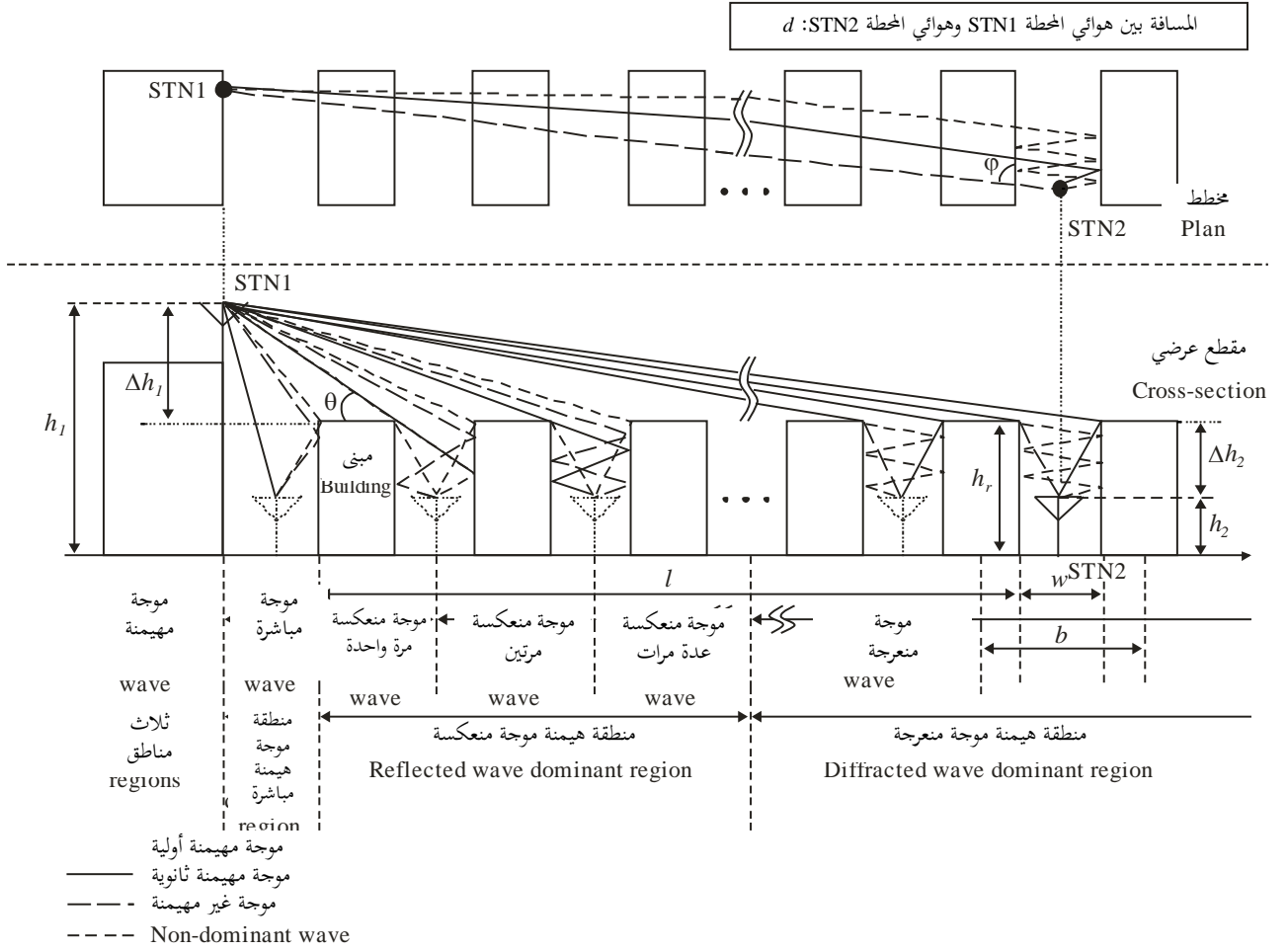
الشكل 1

حالات الانتشار النموذجية في المناطق الحضرية



الشكل 2

تعريف معالم الحالة NLoS1



P1411-02

المعلومات المتصلة بهذه الحالة هي كالتالي:

 h_r : متوسط ارتفاع المباني (m) w : عرض الشارع (m) b : متوسط المسافة بين المباني (m) φ : اتجاه الشارع بالنسبة إلى المسير المباشر (بالدرجات) h_1 : ارتفاع هوائي المحطة 1 (m) h_2 : ارتفاع هوائي المحطة 2 (m) l : طول المسير الذي تغطيه المباني (m) d : المسافة بين المحطة 1 والمحطة 2.

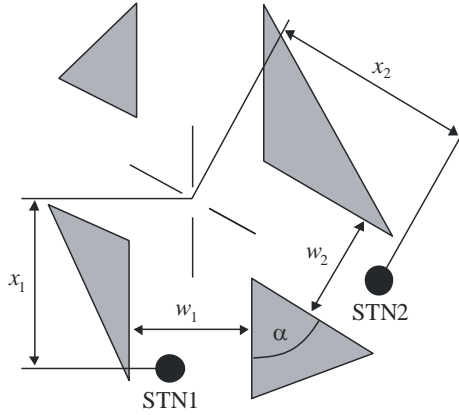
تصادف الحالة NLoS1 غالباً في البيئات السكنية/الريفية فيما يتعلق بجميع أنماط الخلايا وتكون هذه الحالة مهيمنة في البيئات الحضرية/شبه الحضرية منخفضة المباني فيما يتعلق بالخلايا الموسعة. ويمكن حساب المعالم h_r و b و l من المعطيات المتصلة بالمباني الموجودة على امتداد الخط الواصل بين الهوائيات، ولكن تحديد المعلمتين w و φ يتطلب إجراء تحليل ثنائي الأبعاد للمنطقة المحيطة بالهاتف المتنقل. وحديث بالملاحظة أن l غير متعامدة بالضرورة مع اتجاه المبنى.

2.1.3 الانتشار على امتداد الأخاديد الحضرية، NLoS

يصف الشكل 3 الوضع المقابل لحالة نموذجية حضرية كثيفة لاستعمال الخلايا الصغيرة NLoS (وصلة بين المحطة D والمحطة E في الشكل 1). وتسمى هذه الحالة فيما يلي NLoS2.

الشكل 3

تعريف معالم الحالة NLoS2



P.1411-03

المعلمت المتصلة بهذه الحالة هي كالآتي:

- w_1 : عرض الشارع عند موقع المحطة 1 (m)
- w_2 : عرض الشارع عند موقع المحطة 2 (m)
- x_1 : المسافة بين المحطة 1 وتقاطع الطرق (m)
- x_2 : المسافة بين المحطة 2 وتقاطع الطرق (m)
- α : زاوية تقاطع الطرق (rad).

الحالة NLoS2 هي نمط المسير السائد في البيئات الحضرية عالية المباني فيما يتعلق بجميع أنماط الخلايا وكثيراً ما تصادف هذه الحالة أيضاً في البيئات الحضرية المزدحمة وذلك فيما يتعلق بالخلايا الصغيرة والخلايا الدقيقة. ويجب إجراء تحليل ثنائي الأبعاد للمنطقة المحيطة بالهاتف المتنقل لتحديد جميع المعلمت المقابلة للحالة NLoS2.

3.1.3 مسيرات خط البصر (LoS)

تعتبر المسيرات C-A و F-D و E-B في الشكل 1 أمثلة على حالات خط البصر. ويمكن تطبيق نفس النماذج على هذه الأنواع من مسيرات خط البصر.

2.3 المعطيات اللازمة

بالنسبة إلى الحسابات الخاصة بموقع ما في بيئة حضرية، يمكن استعمال أنماط مختلفة من المعطيات. ويمكن الحصول من المعطيات عالية الاستبانة على أدق المعلومات بشأن:

- هياكل المباني؛
- وارتفاع المباني النسبي والمطلق؛
- والغطاء النباتي.

ويمكن أن تكون أنساق المعطيات من نمط المصفوفات أو المتجهات. وينبغي أن تكون دقة المعطيات المتجهية فيما يتعلق بموقع المحطات في حدود 1 إلى 2 m. وتكون الاستبانة الموصى بها للمعطيات من نمط المصفوفة 1 إلى 10 m. وينبغي أن تكون دقة الارتفاع لكلا نسقي المعطيات في حدود 1 إلى 2 m.

وفي غياب المعطيات عالية الاستبانة، يوصى باستعمال معطيات استخدام الأراضي الأقل استبانة (50 m) واعتماداً على تعريف فئات استخدام الأراضي (الحضرية الكثيفة، والحضرية، وشبه الحضرية، إلخ). يمكن عزو المعلومات اللازمة إلى هذه الفئات المختلفة. كما يمكن استعمال هذه المعطيات بالاقتران مع معلومات متجهية عن الشوارع لحساب زوايا اتجاه الشوارع.

4 نماذج خسارة المسير

يمكن تطبيق خوارزميات مغلقة فيما يتعلق بالسيناريوهات النموذجية في المناطق الحضرية. ويمكن استعمال نماذج الانتشار هذه لإجراء الحسابات المتصلة بموقع محدد أو بأي موقع عموماً. وتعرف الفقرة 1.3 حالات الانتشار المقابلة. ويعتمد نمط النموذج أيضاً على مدى التردد. ويجب تطبيق نماذج مختلفة بالنسبة إلى الانتشار بالموجات الديسيمازية (UHF) أو الانتشار بالموجات المليمترية (EHF). وفي حالة الانتشار بالموجات الديسيمازية تؤخذ في الاعتبار حالات الانتشار LoS و NLoS. وفي حالة الانتشار بالموجات المليمترية، لا يُنظر إلا في حالة الانتشار LoS. وفضلاً عن ذلك يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار ظواهر التوهين الإضافي بسبب الأكسجين والماء الجوي.

1.4 نماذج الانتشار في "الأخاديد" الحضرية

1.1.4 حالة خط البصر

تصور هذه الحالة في الشكل 1 كمسيرات بين A و C أو بين D و F أو بين B و E.

الانتشار بالموجات الديسيمازية

يمكن أن تتميز الخسارة الأساسية للإرسال في مدى التردد بالموجات الديسيمازية المعرفة في التوصية ITU-R P.341 بميلين ونقطة قطع واحدة. ويعطى حد منخفض تقريبي $L_{LoS,l}$ بالصيغة التالية:

$$(1) \quad L_{LoS,l} = L_{bp} + \begin{cases} 20 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{for } d \leq R_{bp} \\ 40 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{for } d > R_{bp} \end{cases}$$

حيث R_{bp} هي المسافة التي تقع عندها نقطة القطع بالأمتار وتعطى بالصيغة التالية:

$$(2) \quad R_{bp} \approx \frac{4h_1h_2}{\lambda}$$

حيث λ هو طول الموجة (m). ويستند الحد الأدنى إلى نموذج الانعكاس بشعاعين لمستوى الأرض.

ويعطى حد أعلى تقريبي $L_{LoS,u}$ بالصيغة التالية:

$$(3) \quad L_{LoS,u} = L_{bp} + 20 + \begin{cases} 25 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{for } d \leq R_{bp} \\ 40 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{for } d > R_{bp} \end{cases}$$

حيث L_{bp} هي قيمة الخسارة الأساسية للإرسال عند نقطة قطع الميل وتساوي:

$$(4) \quad L_{bp} = \left| 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda^2}{8\pi h_1 h_2} \right) \right|$$

ويبلغ هامش الخبو في الحد الأعلى 20 dB. ويثبت معامل التوهين قبل نقطة القطع على القيمة 2,5 لأن المسافة القصيرة تفضي إلى أثر ضعيف للظل.

ووفقاً لمنحني الخسارة في الفضاء الحر تنتج القيمة المتوسطة $L_{LoS,m}$ باستعمال المعادلة:

$$(5) \quad L_{LoS,m} = L_{bp} + 6 + \begin{cases} 20 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{pour } d \leq R_{bp} \\ 40 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{pour } d > R_{bp} \end{cases}$$

الانتشار بالموجات السنتيمترية (SHF) حتى 15 GHz

بالنسبة إلى أطوال المسير حتى حوالي 1 km في حالة الموجات السنتيمترية يكون لحركة السير تأثير على الارتفاع الفعّال للطريق يؤثر بالتالي على مسافة نقطة قطع الميل. وتقدر هذه المسافة R_{bp} بالمعادلة التالية:

$$(6) \quad R_{bp} = 4 \frac{(h_1 - h_s)(h_2 - h_s)}{\lambda}$$

حيث h_s هو الارتفاع الفعّال للطريق نتيجة الأشياء الموجودة كالسيارات على الطريق والأشخاص الموجودين على مقربة من الطريق. ولذا تعتمد h_s على حركة السير. وتستخلص قيم h_s المبيّنة في الجدولين 4 و 5 من القياسات النهارية والليلية المقابلة لظروف حركة السير الكثيفة والخفيفة على التوالي. وتقابل حركة السير الكثيفة نسبة تغطية للطريق بالسيارات تتراوح بين 10% و 20% ونسبة وجود المشاة على الأرصفة تتراوح بين 0,2% و 1%. وتقابل حركة السير الخفيفة نسبة تغطية للطريق بالسيارات تتراوح بين 0,1% و 0,5% ونسبة وجود المشاة على الأرصفة أقل من 0,001%، علماً بأن عرض الطريق يبلغ 27 متراً بما في ذلك 6 أمتار لكل من رصيفي الطريق.

الجدول 4

الارتفاع الفعّال للطريق، h_s (حركة سير كثيفة)

h_s (m)		h_1 (m)	التردد (GHz)
$h_2 = 1,6$	$h_2 = 2,7$		
(2)	1,3	4	3,35
(2)	1,6	8	
(2)	1,6	4	8,45
(2)	1,6	8	
(2)	1,4	4	15,75
(2)	(1)	8	

(1) نقطة قطع الميل أبعد من 1 km.

(2) لا توجد أي نقطة قطع.

الجدول 5

الارتفاع الفعّال للطريق، h_s (حركة سير خفيفة)

h_s (m)		h_2 (m)	التردد (GHz)
$h_2 = 1,6$	$h_2 = 2,7$		
0,23	0,59	4	3,35
(1)	(1)	8	
0,43	(2)	4	8,45
(1)	(2)	8	
0,74	(2)	4	15,75
(1)	(2)	8	

(1) لم يجر أي قياس.

(2) نقطة قطع الميل أبعد من 1 km.

عندما يكون $h_1 < h_2$ و $h_s < h_2$ ، يمكن حساب القيم التقريبية للحدود العليا والدنيا للخسارة الأساسية للإرسال في نطاق الترددات على الموجات السنتيمترية باستعمال المعادلتين (1) و (3) حيث تعطى القيمة L_{bp} بالصيغة التالية:

$$(7) \quad L_{bp} = \left| 20 \log_{10} \left\{ \frac{\lambda^2}{8\pi(h_1 - h_s)(h_2 - h_s)} \right\} \right|$$

ومن جهة أخرى، عندما تكون $h_1 \geq h_s$ أو $h_s \geq h_2$ ، لا توجد أية نقطة قطع. وعندما يكون المطرافان قريبين من بعضهما ($R_s > d$)، تكون خسارة الانتشار الأساسية مشابحة لخسارة مدى الموجات الديسيمترية. وعندما يكون المطرافان بعيدين عن بعضهما، فإن خصائص الانتشار تكون فيها قيمة معامل التوهين مكعبة. وهكذا تعطى القيمة التقريبية الدنيا من أجل $R_s \leq d$ بالصيغة التالية:

$$(8) \quad L_{LoS,l} = L_s + 30 \log_{10} \left(\frac{d}{R_s} \right)$$

تعطى القيمة التقريبية العليا من أجل $R_s \leq d$ بالصيغة التالية:

$$(9) \quad L_{LoS,u} = L_s + 20 + 30 \log_{10} \left(\frac{d}{R_s} \right)$$

تعرف خسارة الانتشار الأساسية L_s كالتالي:

$$(10) \quad L_s = \left| 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{2\pi R_s} \right) \right|$$

وقد تم تحديد قيمة 20 m للقيمة R_s تجريبياً في المعادلات من (8) إلى (10).

وبناءً على القياسات، تنتج القيمة المتوسطة باستعمال المعادلة:

$$(11) \quad L_{LoS,m} = L_s + 6 + 30 \log_{10} \left(\frac{d}{R_s} \right)$$

انتشار الموجات المليمترية

عند الترددات التي تفوق 10 GHz تكون المسافة التي تقع عندها نقطة قطع الميل R_{bp} في المعادلة (2) أبعد بكثير من نصف القطر الأقصى المتوقع للخلية (500 m). وهذا يعني عدم انطباق أي قانون أسّي بالقوة أربعة في نطاق التردد هذا. وبالتالي يكاد يتبع معدل تناقص القدرة بدلالة المسافة قانون الانتشار في الفضاء الحر مع أس توهين على المسير قدره حوالي 2,2. ويجب أيضاً مراعاة التوهين الناتج عن الغازات الجوية والمطر.

ويمكن حساب التوهين الناتج عن الغازات الجوية والمطر بالاستناد على التوالي إلى التوصيتين ITU-R P.676 و ITU-R P.530.

2.1.4 الحالات خارج خط البصر

يتم تصور هذه الحالة في الشكل 1 كمسيرات بين D و E.

1.2.1.4 مدى الترددات من 800 إلى 2 000 MHz

بالنسبة للحالات خارج خط البصر عندما يكون الهوائيان تحت قمة السطح، يتعين مراعاة الموجات المتعرجة والمنعكسة عند أركان تقاطعات الشوارع (انظر الشكل 3).

$$(12) \quad L_{NLoS2} = -10 \log_{10} \left(10^{-L_r/10} + 10^{-L_d/10} \right) \quad \text{dB}$$

حيث:

L_r : خسارة مسير الانعكاس معرفة كالتالي:

$$(13) \quad L_r = 20 \log_{10} (x_1 + x_2) + x_1 x_2 \frac{f(\alpha)}{w_1 w_2} + 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{\lambda} \right) \quad \text{dB}$$

حيث:

$$(14) \quad f(\alpha) = \frac{3,86}{\alpha^{3,5}} \quad \text{dB}$$

حيث: $\alpha < \pi$ [دائري] $0,6 < \alpha$

L_d : معدل خسارة مسير الانعراج معرفة كالتالي:

$$(15) \quad L_d = 10 \log_{10} [x_1 x_2 (x_1 + x_2)] + 2D_a - 0,1 \left(90 - \alpha \frac{180}{\pi} \right) + 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{\lambda} \right) \quad \text{dB}$$

$$(16) \quad D_a = \left(\frac{40}{2\pi} \right) \left[\arctan \left(\frac{x_2}{w_2} \right) + \arctan \left(\frac{x_1}{w_1} \right) - \frac{\pi}{2} \right] \quad \text{dB}$$

2.2.1.4 مدى الترددات من 2 إلى 16 GHz

يجري اشتقاق نموذج الانتشار من أجل حالات NLoS2 كما جاء وصفها في الفقرة 2.1.3. عندما تكون زاوية المنعطف $\alpha = \pi/2$ على أساس القياسات في مدى تردد من 2 إلى 16 GHz حيث $h_1 > h_2$ و $h_r > w_2$ تصل حتى 10 أمتار (أو رصيف الطريق). ويمكن تقسيم خصائص الخسارة بسبب المسير إلى القسمين: منطقة خسارة المنعطف ومنطقة خسارة NLoS. وتمتد منطقة خسارة المنعطف لمسافة d_{corner} من النقطة دون حافة شارع LoS بمقدار متر واحد داخل شارع NLoS. وتقع منطقة NLoS بعد منطقة خسارة المنعطف، حيث ينطبق معامل معلمة (β). ويبدو هذا في شكل منحنى نموذجي في الشكل 4. ولدى استعمال x_1 و x_2 و w_1 ، كما يبدو في الشكل 3، يحتسب فقدان المسير الإجمالي (L_{NLoS2}) بعد منطقة المنعطف ($x_2 > w_1/2 + 1$) كما يلي:

$$(17) \quad L_{NLoS2} = L_{LoS} + L_c + L_{att}$$

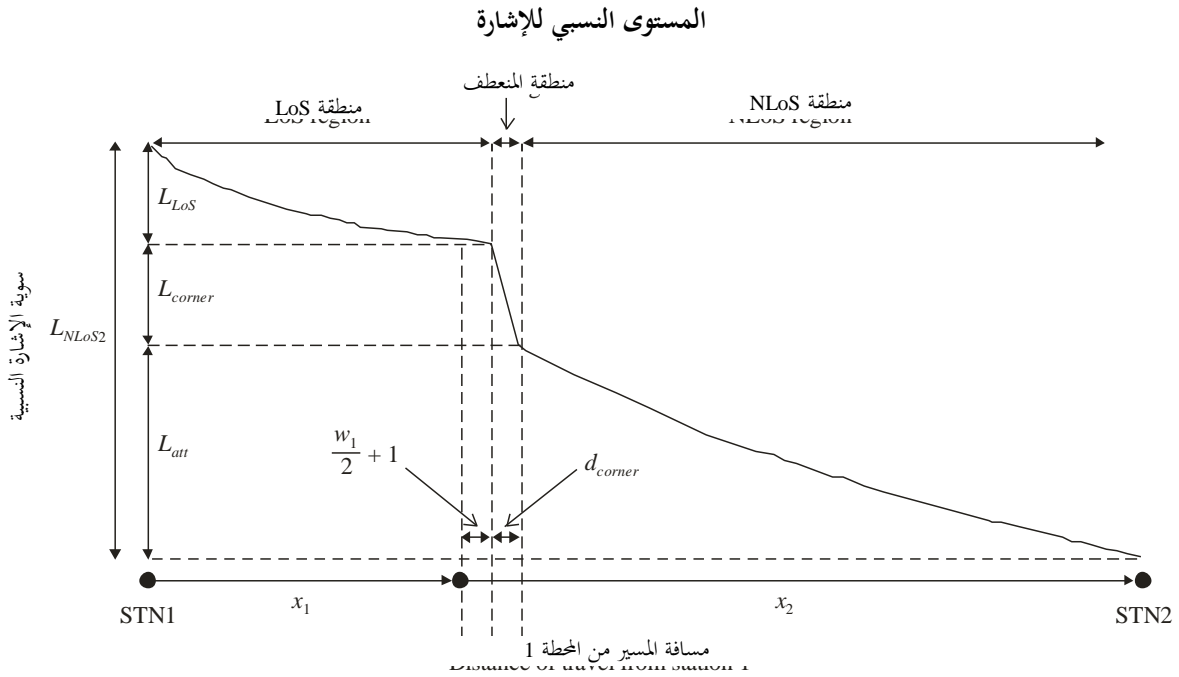
$$(18) \quad L_c = \begin{cases} \frac{L_{corner}}{\log_{10}(1+d_{corner})} \log_{10}(x_2 - w_1/2) & w_1/2 + 1 < x_2 \leq w_1/2 + 1 + d_{corner} \\ L_{corner} & x_2 > w_1/2 + 1 + d_{corner} \end{cases}$$

$$(19) \quad L_{att} = \begin{cases} 10\beta \log_{10}\left(\frac{x_1 + x_2}{x_1 + w_1/2 + d_{corner}}\right) & x_2 > w_1/2 + 1 + d_{corner} \\ 0 & x_2 \leq w_1/2 + 1 + d_{corner} \end{cases}$$

حيث L_{LoS} خسارة المسير في الشارع LoS عندما تكون $x_1 < 20$ m كما جرى حسابها في الفقرة 1.4. وفي المعادلة (18) تعطى L_{corner} على أنها 20 dB في بيئة حضرية و 30 dB في بيئة سكنية. وتكون d_{corner} في البيتين 30 متراً. وفي المعادلة (19) تعطى β على أنها 6 في كلتا البيتين.

الشكل 4

الاتجاه النموذجي للانتشار في أحياد الشوارع عندما تكون المحطة القاعدة منخفضة
ولمدى تردد من 2 إلى 16 GHz



P.1411-04

وفي البيئة السكنية، لا تزداد خسارة المسير على نفس الوتيرة بازدياد المسافة، ولذا قد تكون معلمة المعامل أدنى من قيمتها في البيئة الحضرية نظراً لوجود الأزقة والشجرات بين المنازل.

وعندما يكون هوائي المحطة القاعدة مرتفعاً في خلية كبيرة صغيرة تكون آثار الانعراج فوق قمم أسطح المباني أكبر. ومن ثم، فإن خصائص الانتشار لا تتوقف على خسارة الانعطف.

2.4 نماذج لحالات الانتشار فوق قمم الأسطح

في حالة الانتشار NLoS يمكن أن تصل الإشارات إلى المحطة بآليات الانعراج أو بتعدد المسيرات التي قد تجمع بين آليات الانعراج والانعكاس. ويتناول هذا الفرع نماذج تتعلق بآليات الانعراج.

الانتشار في منطقة حضرية

تعرف نماذج للمسيرين من A (h_1) إلى B (h_2) ومن D (h_1) إلى B (h_2) على النحو المبين في الشكل 1. والنماذج صالحة لما يلي:

$$h_1: 4 \text{ إلى } 50 \text{ m}$$

$$h_2: 1 \text{ إلى } 3 \text{ m}$$

$$f: 800 \text{ إلى } 5\,000 \text{ MHz}$$

$$2 \text{ إلى } 16 \text{ GHz حيث } h_r > h_1 \text{ و } w_2 > m\,10 \text{ (أو رصيف)}$$

$$d: 20 \text{ إلى } 5\,000 \text{ m}$$

(يلاحظ أنه على الرغم من أن النموذج صالح حتى 5 km، فإن هذه التوصية معدة لمسافات لا تتجاوز 1 km).

الانتشار في منطقة شبه حضرية

يعرف النموذج للمسير من A (h_1) إلى B (h_2) المبين في الشكل 1 والنموذج صالح لما يلي:

$$h_r: \text{ أي ارتفاع بالأمتار}$$

$$\Delta h_1: 1 \text{ إلى } 100 \text{ m}$$

$$\Delta h_2: 4 \text{ إلى } 10 \text{ (أقل من } h_r) \text{ m}$$

$$h_1: m \Delta h_1 + h_r$$

$$h_2: m \Delta h_2 - h_r$$

$$f: 0,8 \text{ إلى } 20 \text{ GHz}$$

$$w: 10 \text{ إلى } 25 \text{ m}$$

$$d: 10 \text{ إلى } 5\,000 \text{ m}$$

(يلاحظ أنه على الرغم من أن النموذج صالح حتى 5 km، فإن هذه التوصية معدة لمسافات لا تتجاوز 1 km).

انتشار الموجات المليمترية

لا تؤخذ تغطية الإشارة في الموجات المليمترية في الاعتبار إلا في حالات خط البصر (LoS) وذلك لارتفاع خسائر الانعراج حيث تجعل العوائق من مسير الانتشار خلاف خط البصر (NLoS). وفي هذه الأحوال NLoS تكون انعكاسات تعدد المسيرات والانتشار الطريقة الأرجح استخداماً لانتشار الإشارة.

1.2.4 المنطقة الحضرية

يكون نموذج الانتشار بالانعراج الناتج عن الحجب المتعدد الوارد فيما يلي صالحاً إذا كانت سطوح المباني متساوية الارتفاع تقريباً. وبافتراض أن ارتفاع سطوح المباني لا يختلف إلا بقيمة أدنى من نصف قطر منطقة فرينل على مسير طوله l (انظر الشكل 2)، فإن ارتفاع السطوح الذي ينبغي استعماله في النموذج هو متوسط ارتفاع السطوح. وإذا كان الاختلاف أكبر من نصف القطر هذا، يفضل استعمال أعلى المباني على امتداد المسير لحساب الانتشار بالانعراج على حد السكين (انظر التوصية ITU-R P.526) بدلاً من نموذج الحجب المتعدد.

وعندما تكون سطوح المباني متماثلة الارتفاع في النموذج المقترح لحساب خسارة الإرسال في حالة NLoS1 (انظر الشكل 2) تساوي الخسارة بين الهوائيات المتناحية مجموع خسارة الإرسال في الفضاء الحر L_{bf} والتوهين بالانعراج بين السطوح والشارع L_{rts} والانخفاض الناتج عن الانعراج بسبب تأثير الحجب المتعدد عبر مختلف صفوف المباني L_{msd} .

إن التعبيرين L_{bf} و L_{rts} غير مرتبطين بارتفاع هوائي المحطة القاعدة في هذا النموذج بينما يتغير L_{msd} حسب وجود هذا الهوائي عند ارتفاع السطوح أو فوقه أو تحته.

$$(20) \quad L_{NLoS1} = \begin{cases} L_{bf} + L_{rts} + L_{msd} & \text{for } L_{rts} + L_{msd} > 0 \\ L_{bf} & \text{for } L_{rts} + L_{msd} \leq 0 \end{cases}$$

وتعطى خسارة الإرسال في الفضاء الحر بالمعادلة التالية:

$$(21) \quad L_{bf} = 32.4 + 20 \log_{10} (d / 1000) + 20 \log_{10} (f)$$

حيث:

d : طول المسير (m)

f : التردد (MHz).

يصف التعبير L_{rts} اقتران الموجة المنتشرة على طول المسير بتأثير الحجب المتعدد في الشارع الذي تكون فيه المحطة المتنقلة. وهو يراعي عرض الشارع واتجاه محوره.

$$(22) \quad L_{rts} = -8.2 - 10 \log_{10} (w) + 10 \log_{10} (f) + 20 \log_{10} (\Delta h_2) + L_{ori}$$

$$(23) \quad L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0,354\varphi & \text{for } 0^\circ \leq \varphi < 35^\circ \\ 2,5 + 0,075(\varphi - 35) & \text{for } 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4,0 - 0,114(\varphi - 55) & \text{for } 55^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ \end{cases}$$

حيث:

$$(24) \quad \Delta h_2 = h_r - h_2$$

أما L_{ori} فهو عامل تصحيح اتجاه محور الشارع الذي يراعي تأثير الانعراج بين السطوح والشارع في الشوارع غير المتعامدة باتجاه الانتشار (انظر الشكل 2).

ويعتمد التوهين بالانعراج بسبب الحجب المتعدد من المحطة القاعدة الناتج عن الانتشار عبر صفوف المباني على الارتفاع النسبي لهوائي المحطة القاعدة بالنسبة إلى ارتفاع المباني وعلى زاوية الورد. ومعيار الورد التماسي هو معيار "مسافة الاستقرار" d_s :

$$(25) \quad d_s = \frac{\lambda d^2}{\Delta h_1^2}$$

حيث (انظر الشكل 2):

$$(26) \quad \Delta h_1 = h_1 - h_r$$

ولحساب L_{msd} تقارن d_s بالمسافة l التي تغطيها المباني. ويستعمل حساب L_{msd} الإجراء التالي لإزالة أي انقطاع بين مختلف النماذج المستعملة عندما يكون طول المباني أكبر أو أقل من "مسافة الاستقرار".

وتحسب الخسارة الإجمالية لنموذج انعراج الحجب المتعدد بالمعادلة:

$$(27) \quad L_{msd} = \begin{cases} -\tanh\left(\frac{\log(d) - \log(d_{bp})}{\chi}\right) \cdot (L1_{msd}(d) - L_{mid}) + L_{mid} & \text{for } l > d_s \text{ and } dh_{bp} > 0 \\ \tanh\left(\frac{\log(d) - \log(d_{bp})}{\chi}\right) \cdot (L2_{msd}(d) - L_{mid}) + L_{mid} & \text{for } l \leq d_s \text{ and } dh_{bp} > 0 \\ L2_{msd}(d) & \text{for } dh_{bp} = 0 \\ L1_{msd}(d) - \tanh\left(\frac{\log(d) - \log(d_{bp})}{\zeta}\right) \cdot (L_{upp} - L_{mid}) - L_{upp} + L_{mid} & \text{for } l > d_s \text{ and } dh_{bp} < 0 \\ L2_{msd}(d) + \tanh\left(\frac{\log(d) - \log(d_{bp})}{\zeta}\right) \cdot (L_{mid} - L_{low}) + L_{mid} - L_{low} & \text{for } l \leq d_s \text{ and } dh_{bp} < 0 \end{cases}$$

حيث:

$$(28) \quad dh_{bp} = L_{upp} - L_{low}$$

$$(29) \quad \zeta = (L_{upp} - L_{low}) \cdot \upsilon$$

$$(30) \quad L_{mid} = \frac{(L_{upp} + L_{low})}{2}$$

$$(31) \quad L_{upp} = L1_{msd}(d_{bp})$$

$$(32) \quad L_{low} = L2_{msd}(d_{bp})$$

و

$$(33) \quad d_{bp} = |\Delta h_1| \sqrt{\frac{1}{\lambda}}$$

$$\upsilon = [0,0417]$$

$$\chi = [0,1]$$

حيث تحدد خسارة كل من النموذجين $L1_{msd}(d)$ و $L2_{msd}(d)$ كما يلي:

حساب $L1_{msd}$ من أجل $l > d_s$

(يلاحظ أن هذا الحساب أكثر دقة عندما تكون $d_s \gg l$).

$$(34) \quad L1_{msd}(d) = L_{bsh} + k_a + k_d \log_{10}(d / 1000) + k_f \log_{10}(f) - 9 \log_{10}(b)$$

حيث:

$$(35) \quad L_{bsh} = \begin{cases} -18 \log_{10}(1 + \Delta h_1) & \text{for } h_1 > h_r \\ 0 & \text{for } h_1 \leq h_r \end{cases}$$

حد الخسارة ويعتمد على ارتفاع الهوائي:

$$(36) \quad k_a = \begin{cases} 71.4 & \text{for } h_1 > h_r \text{ and } f > 2\,000 \text{ MHz} \\ 73 - 0.8\Delta h_1 & \text{for } h_1 \leq h_r, f > 2\,000 \text{ MHz and } d \geq 500 \text{ m} \\ 73 - 1.6\Delta h_1 d / 1\,000 & \text{for } h_1 \leq h_r, f > 2\,000 \text{ MHz and } d < 500 \text{ m} \\ 54 & \text{for } h_1 > h_r \text{ and } f \leq 2\,000 \text{ MHz} \\ 54 - 0.8\Delta h_1 & \text{for } h_1 \leq h_r, f \leq 2\,000 \text{ MHz and } d \geq 500 \text{ m} \\ 54 - 1.6\Delta h_1 d / 1\,000 & \text{for } h_1 \leq h_r, f \leq 2\,000 \text{ MHz and } d < 500 \text{ m} \end{cases}$$

$$(37) \quad k_d = \begin{cases} 18 & \text{for } h_1 > h_r \\ 18 - 15 \frac{\Delta h_1}{h_r} & \text{for } h_1 \leq h_r \end{cases}$$

$$(38) \quad k_f = \begin{cases} -8 & \text{للمدن متوسطة الحجم والمراكز شبه الحضرية التي تكون فيها كثافة} \\ -4 + 0.7(f/925 - 1) & \text{الأشجار متوسطة و } f \geq 2000 \text{ MHz} \\ -4 + 1.5(f/925 - 1) & \text{للمراكز الحضرية و } f \geq 2000 \text{ MHz} \end{cases}$$

حساب $L2_{msd}$ عندما $l < d_s$

في هذه الحالة لا بد من تمييز آخر وفقاً للارتفاعات النسبية للهوائي وقمم أسطح المباني:

$$(39) \quad L2_{msd}(d) = -10 \log_{10} (Q_M^2)$$

حيث:

$$(40) \quad Q_M = \begin{cases} 2.35 \left(\frac{\Delta h_1}{d} \sqrt{\frac{b}{\lambda}} \right)^{0.9} & \text{for } h_1 > h_r + \delta h_u \\ \frac{b}{d} & \text{for } h_1 \leq h_r + \delta h_u \text{ and } h_1 \geq h_r + \delta h_l \\ \frac{b}{2\pi d} \sqrt{\frac{\lambda}{\rho}} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi + \theta} \right) & \text{for } h_1 < h_r + \delta h_l \end{cases}$$

و

$$(41) \quad \theta = \arctan \left(\frac{\Delta h_1}{b} \right)$$

$$(42) \quad \rho = \sqrt{\Delta h_1^2 + b^2}$$

$$(43) \quad \delta h_u = 10^{-\log_{10} \left(\sqrt{\frac{b}{\lambda}} \right) - \frac{\log_{10}(d)}{9} + \frac{10}{9} \log_{10} \left(\frac{b}{2.35} \right)}$$

و

$$(44) \quad \delta h_l = \frac{0.00023b^2 - 0.1827b - 9.4978}{(\log_{10}(f))^{2.938}} + 0.000781b + 0.06923$$

2.2.4 المنطقة شبه الحضرية

يبيّن الشكل 2 نموذج انتشار لحالة خلاف خط البصر NLoS1 على أساس بصريات هندسية. وهو يبين أن تكون الموجات الواردة عند المحطة 2 تتغير تبعاً للمسافة بين المحطة 1 والمحطة 2. ولا يمكن لموجة مباشرة أن تصل المحطة 1 إلا عندما تكون المسافة المحطة 1 – المحطة 2 قصيرة جداً. والموجات المنعكسة عدة مرات (مرة أو مرتان أو ثلاث مرات)، والتي تتمتع بسوية قوية نسبياً، يمكنها أن تصل إلى المحطة 2 عندما تكون المسافة الفاصلة المحطة 1 – المحطة 2 قصيرة نسبياً. وعندما تكون المسافة المحطة 1 – المحطة 2 طويلة لا يمكن للموجات المنعكسة عدة مرات أن تصل، ولا تصل إلى المحطة 2 سوى الموجات المنعكسة عدة مرات، والتي لها سوية ضعيفة إلى جانب سوية الموجات المنعرجة من أسطح المباني. وعلى أساس آليات الانتشار هذه، يمكن تقسيم الخسارة الناجمة عن المسافة بين الهوائيات المتناحية إلى ثلاث مناطق من حيث هيمنة الموجات الواردة إلى المحطة 2. وهي المناطق التي تهيمن عليها الموجة المباشرة والموجة المنعكسة والموجة المنعرجة. ويعبر عن الخسارة في كل من هذه المناطق كما يلي اعتماداً على البصريات الهندسية.

$$(45) \quad L_{NLoS1} = \begin{cases} 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) & \text{pour } d < d_0 & \text{(منطقة تهيمن عليها موجات مباشرة)} \\ L_{0n} & \text{pour } d_0 \leq d < d_{RD} & \text{(منطقة تهيمن عليها موجات منعكسة)} \\ 32,1 \cdot \log_{10} \left(\frac{d}{d_{RD}} \right) + L_{d_{RD}} & \text{pour } d \geq d_{RD} & \text{(منطقة تهيمن عليها موجات منعرجة)} \end{cases}$$

حيث:

$$(46) \quad L_{0n} = \begin{cases} L_{d_k} + \frac{L_{d_{k+1}} - L_{d_k}}{d_{k+1} - d_k} \cdot (d - d_k) & \text{when } d_k \leq d < d_{k+1} < d_{RD} \\ L_{d_k} + \frac{L_{d_{RD}} - L_{d_k}}{d_{RD} - d_k} \cdot (d - d_k) & \text{when } d_k \leq d < d_{RD} < d_{k+1} \end{cases} \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

$$(47) \quad d_k = \frac{1}{\sin \varphi} \cdot \sqrt{B_k^2 + (h_1 - h_2)^2}$$

$$(48) \quad L_{d_k} = 20 \cdot \log_{10} \left\{ \frac{4\pi d_{kp}}{0.4^k \cdot \lambda} \right\}$$

$$(49) \quad d_{RD}(f) = 0.625 \cdot (d_3 - d_1) \cdot \log_{10}(f) + 0.44 \cdot d_1 + 0.5 \cdot d_2 + 0.06 \cdot d_3 \quad (0.8 \text{ GHz} \leq f \leq 20 \text{ GHz})$$

$$(50) \quad L_{d_{RD}} = L_{d_k} + \frac{L_{d_{k+1}} - L_{d_k}}{d_{k+1} - d_k} \cdot (d_{RD} - d_k) \quad (d_k \leq d_{RD} \leq d_{k+1})$$

$$(51) \quad d_{kp} = \frac{1}{\sin \varphi_k} \cdot \sqrt{A_k^2 + (h_1 - h_2)^2}$$

$$(52) \quad A_k = \frac{w \cdot (h_1 - h_2) \cdot (2k + 1)}{2 \cdot (h_r - h_2)}$$

$$(53) \quad B_k = \frac{w \cdot (h_1 - h_2) \cdot (2k + 1)}{2 \cdot (h_r - h_2)} - k \cdot w$$

$$(54) \quad \varphi_k = \tan^{-1} \left(\frac{B_k}{A_k} \cdot \tan \varphi \right)$$

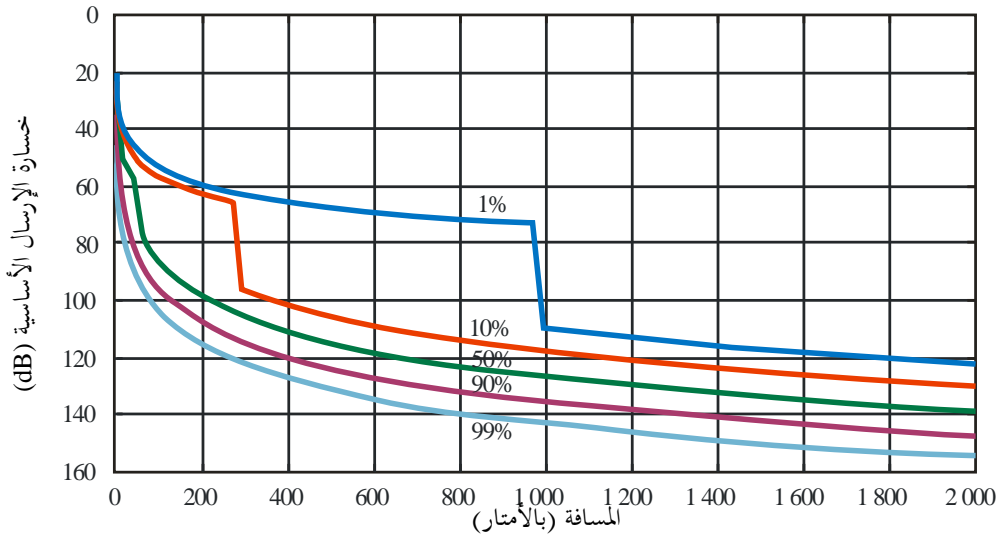
3.4 نماذج الانتشار بين المطاريف الواقعة بين ارتفاع قمم أسطح المباني وقرب مستوى الشارع

يرمى النموذج الموصوف أدناه إلى حساب خسارة الإرسال الأساسية بين مطاريف على ارتفاع منخفض في بيئات حضرية. وهذه الحالة متصورة في الشكل 1 كمسيرات بين D و F، أو D و E، أو B و E، أو E و F. وهو يشمل مناطق خط البصر (LoS) وخلاف خط البصر (NLoS) على السواء، ويرسم التناقص السريع في سوية الإشارة الملحوظ عند المنعطف بين منطقتي LoS و NLoS. ويحتوي النموذج على إحصاءات عن تغيرات الموقع في المنطقتين ويعطي نموذجاً إحصائياً لمسافة الانعطاف بين المنطقتين. ويبيّن الشكل 5 مناطق كل من LoS و NLoS والانعطاف كما يبيّن التغير الإحصائي الذي يتنبأ به النموذج.

يوصى بهذا النموذج من أجل الانتشار بين المطاريف منخفضة الارتفاع حيث يكون ارتفاع هوائي كلا المطاريف قريب من سوية الشارع وأخفض كثيراً من ارتفاع أسطح المباني، ولكنها غير محددة خلاف ذلك. وهو نموذج متبادل بالنسبة للمرسل والمستقبل كما أنه صالح للترددات في مدى 300-3 000 MHz. ويعتمد النموذج على قياسات أجريت في نطاق الموجات المترية (UHF) وارتفاع هوائيات يتراوح بين 1,9 و 3,0 أمتار فوق الأرض ومسافات مرسل-مستقبل تصل حتى 3 000 متر.

الشكل 5

منحنيات خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها بالنسبة إلى 1 و 10 و 50 و 90 و 99% من المواقع (التردد = 400 MHz، منطقة شبه حضرية)



P.1411-05

والمعلّقات المطلوبة هي التردد f (MHz) والمسافة d بين المطاريف (بالمتر).

الخطوة 1: تحسب القيمة المتوسطة لخسارة خط البصر:

$$(55) \quad L_{LoS}^{median}(d) = 32.45 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10}(d/1000)$$

الخطوة 2: يحسب تصويب موقع LoS من أجل النسبة المئوية المطلوبة للموقع p (%):

$$(56) \quad \Delta L_{LoS}(p) = 1.5624\sigma \left(\sqrt{-2 \ln(1-p/100)} - 1.1774 \right) \quad \text{with } \sigma = 7 \text{ dB}$$

ويمكن بدلاً من ذلك استعمال قيم تصويب LoS من أجل $p = 1$ و 10 و 50 و 90 و 99% الواردة في الجدول 6.

الخطوة 3: يضاف تصويب موقع LoS إزالة قيمة متوسط خسارة LoS:

$$(57) \quad L_{LoS}(d, p) = L_{LoS}^{median}(d) + \Delta L_{LoS}(p)$$

الخطوة 4: تحسب القيمة المتوسطة لخسارة NLoS:

$$(58) \quad L_{NLoS}^{median}(d) = 9.5 + 45 \log_{10} f + 40 \log_{10}(d/1000) + L_{urban}$$

تتوقف قيمة L_{urban} على الفئة الحضرية وتكون 0 dB لمنطقة شبه حضرية و 6,8 dB لمنطقة حضرية و 2,3 dB لمنطقة حضرية كثيفة بالمباني العالية.

الخطوة 5: يضاف تصويب موقع NLoS لنسبة المواقع المطلوبة p (%):

$$(59) \quad \Delta L_{NLoS}(p) = \sigma N^{-1}(p/100) \quad \text{with } \sigma = 7 \text{ dB}$$

(.) N^{-1} هي مقلوب دالة التوزيع التراكمي الاعتيادي. وثمة تقريب لهذه الدالة، يصلح لقيمة p بين 1 و 99%، يعطى بموجب دالة تباير الموقع $Q_i(x)$ في التوصية ITU-R P.1546. ويمكن بدلاً من ذلك استعمال قيم تصويب NLoS من أجل $p = 1$ و 10 و 50 و 90 و 99% الواردة في الجدول 6.

الجدول 6

تصويبات تباير مواقع LoS و NLoS

p (%)	ΔL_{LoS} (dB)	ΔL_{NLoS} (dB)	d_{LoS} (m)
1	11,3-	16,3-	976
10	7,9-	9,0-	276
50	0,0	0,0	44
90	10,6	9,0	16
99	20,3	16,3	10

الخطوة 6: يضاف تصويب موقع NLoS إزاء قيمة متوسط خسارة NLoS:

$$(60) \quad L_{NLoS}(d, p) = L_{NLoS}^{median}(d) + \Delta L_{NLoS}(p)$$

الخطوة 7: تحسب المسافة d_{LoS} ، حيث يكون كسر LoS، F_{LoS} ، مساوياً p ، من أجل النسبة المئوية المطلوبة للموقع p (%):

$$(61) \quad \begin{aligned} d_{LoS}(p) &= 212[\log_{10}(p/100)]^2 - 64 \log_{10}(p/100) & \text{if } p < 45 \\ d_{LoS}(p) &= 79.2 - 70(p/100) & \text{otherwise} \end{aligned}$$

وقيمة d_{LoS} مقابل $p = 1$ و 10 و 50 و 90 و 99% واردة في الجدول 6. ولم يتم اختبار هذا النموذج عندما $p > 0,1$ %. وقد حُصل على الإحصاءات من مدينتين في المملكة المتحدة وقد تختلف في بلدان أخرى. وبديلاً لذلك، إذا عرفت مسافة المنعطف في حالة معينة عندئذ توضع القيمة $d_{LoS}(p)$ إزاء هذه المسافة.

الخطوة 8: عندها تكون خسارة المسير عند المسافة d كما يلي:

$$(أ) \quad \text{إذا كانت } d_{LoS} > d \text{، عندئذ } L_{LoS}(d, p) = L(d, p)$$

$$(ب) \quad \text{إذا كانت } w + d_{LoS} < d \text{، عندئذ } L_{NLoS}(d, p) = L(d, p)$$

(ج) خلاف ذلك يجري الاستكمال الداخلي خطأً بين قيمتين $L_{LoS}(d_{LoS}, p)$ و $L_{NLoS}(d_{LoS} + w, p)$ كما يلي:

$$L_{LoS} = L_{LoS}(d_{LoS}, p)$$

$$L_{NLoS} = L_{NLoS}(d_{LoS} + w, p)$$

$$L(d, p) = L_{LoS} + (L_{NLoS} - L_{LoS})(d - d_{LoS})/w$$

وقد أدخلت قيمة العرض w لتوفير منطقة انتقالية بين LoS و NLoS. وتبدو المنطقة الانتقالية هذه في البيانات وتكون قيمتها عموماً $w = 20$ m.

4.4 معلمات بالتغيب تستعمل لإجراء الحسابات المتعلقة بأي موقع عموماً

إذا كانت المعطيات المتعلقة بهيكل المباني والشوارع غير معروفة (الحالات المتصلة بأي موقع عموماً)، يوصى باستعمال القيم التالية بالتغيب:

$$h_r = 3 \times (\text{عدد الطوابق}) + \text{ارتفاع السطح (m)}$$

$$\text{ارتفاع السطح} = 3 \text{ m للسطوح المائلة}$$

$$= 0 \text{ m للسطوح المنبسطة}$$

$$w = b/2$$

$$b = 20 \text{ إلى } 50 \text{ m}$$

$$\varphi = 90^\circ$$

5.4 خسائر أخرى

1.5.4 تأثير الغطاء النباتي

لتأثيرات الانتشار من خلال الغطاء النباتي (الأشجار أساساً) أهمية في عملية التنبؤ بالانتشار عبر مسيرات قصيرة خارج المباني. ويمكن تحديد آليتين أساسيتين للانتشار:

- الانتشار عبر الأشجار (لا من حولها ولا من فوقها)؛
- الانتشار فوق الأشجار.

تسود الآلية الأولى عندما يكون الهوائيان دون قمة الأشجار وتكون المسافة عبر الأشجار قصيرة؛ بينما تغلب الآلية الثانية عندما يكون أحد الهوائيين أعلى من قمة الأشجار. ويتأثر التوهين بشدة بالانتشار عبر عدة مسيرات الناتج عن انعراج طاقة الإشارة فوق الأشجار وعبرها على حد سواء. وفيما يتعلق بالانتشار عبر الأشجار، فإن ظاهرة التوهين النوعي بسبب الغطاء النباتي ورد بحثها في التوصية ITU-R P.833. وعندما يتم الانتشار فوق الأشجار يكون الانعراج الأسلوب الرئيسي للانتشار فوق حواف الأشجار القريبة من الهوائي المنخفض. ويمكن نمذجة أسلوب الانتشار هذا ببساطة باستعمال نموذج مثالي للانعراج على حد السكين (انظر التوصية ITU-R P.526)، على الرغم من أن هذا النموذج قد ينتقص من قدرة المجال لأنه يهمل تأثير الانتشار المتعدد بسبب قمم الأشجار وهو آلية يمكن نمذجتها بنظرية النقل الإشعاعي.

2.5.4 خسارة اختراق المباني

خسارة اختراق المباني هي زيادة الخسارة بسبب جدران المباني (بما في ذلك النوافذ وعناصر أخرى). وتعرف هذه الخسارة على أنها الفرق بين سويات الإشارات خارج المباني وداخلها عند الارتفاع ذاته. ويجب كذلك مراعاة زاوية الورد. (عندما يكون طول المسير أقل من حوالي 10 أمتار، يجب مراعاة فرق التوهين في الفضاء الحر الناتج عن تغير طول المسير بين القياسين لدى تحديد خسارة اختراق المباني. أما بالنسبة إلى الهوائيات الواقعة على مقربة من الجدران فقد يكون من الضروري أيضاً دراسة تأثيرات المجال القريب.) وتحديث خسائر إضافية عندما تنفذ الإشارة إلى داخل المبنى (انظر التوصية ITU-R P.1238). وبصورة عامة، يكون أسلوب الانتشار

المهيمن هو الأسلوب الذي تدخل فيه الإشارات إلى المبنى بشكل أفقي تقريباً عبر واجهة المبنى (وكذلك عبر النوافذ)، وفي حالة البناء المتجانس لا ترتبط خسارة الاختراق بعامل الارتفاع.

ويجب مراعاة خسارة الاختراق عند تقييم التغطية الراديوية من نظام خارج المبنى إلى مطراف في داخله. وهذه الخسارة مهمة أيضاً لدراسة مشاكل التداخل بين الأنظمة خارج المباني وداخلها.

والنتائج التجريبية في الجدول 7 مستخلصة عند تردد GHz 5,2 عبر جدار مبنى مكون من الآجر والخرسانة وله نوافذ زجاجية، ويبلغ سمك الجدار 60 cm وتبلغ نسبة النوافذ إلى الجدران حوالي 2 إلى 1.

الجدول 7

مثال لخسارة اختراق المباني

مبانٍ تجارية		مكاتب		مبانٍ سكنية		التردد
انحراف معياري	خسارة متوسطة	انحراف معياري	خسارة متوسطة	انحراف معياري	خسارة متوسطة	
		dB 5	dB 12			GHz 5,2

يعطي الجدول 8 نتائج القياسات التي أجريت عند تردد GHz 5,2 عبر جدار خارجي مكون من لبنات من الحجر وعند زوايا ورود تتراوح بين 0° و 75°. ويبلغ سمك الجدار 400 mm ويتألف من طبقتين سماكة كل منهما 100 mm تفصل بينهما حشية سائبة. وفيما يتعلق بزوايا ورود أكبر على وجه التحديد كانت الخسارة بسبب الجدار بالغة الحساسية إزاء موقع المستقبل كما يظهر جلياً من الانحراف المعياري الكبير.

الجدول 8

خسارة بسبب جدار مكون من لبنات من الحجر عند زوايا ورود مختلفة

زاوية الورد (بالدرجات)	0	15	30	45	60	75
خسارة بسبب الجدار (dB)	28	32	32	38	45	50
انحراف معياري (dB)	4	3	3	5	6	5

يمكن الحصول على معلومات إضافية بشأن خسارة اختراق المباني، معتمدة أساساً للأنظمة الساتلية، في التوصية ITU-R P.679 وقد تكون هذه المعلومات ملائمة لتقييم اختراق المباني في حالة أنظمة الأرض.

5 نماذج تعدد المسيرات

تقدم التوصية ITU-R P.1407 وصفاً للانتشار عبر مسيرات متعددة وتعريفاً لبعض المصطلحات.

1.5 مواصفة التأخير

1.1.5 تمدد التأخير في بيئات الانتشار فوق قمم أسطح المباني

تم تحديد خصائص تمدد التأخير عبر مسيرات متعددة في حالي LoS و NLoS في بيئة حضرية تتميز بمبان مرتفعة فيما يتعلق بخلايا صغيرة (معرفة في الجدول 3) بالاستناد إلى المعطيات المقيسة عند 1 920-1 980 MHz و 2 110-2 170 MHz و 3 650-3 750 MHz باستخدام هوائيات شاملة الاتجاهات. وتعطى القيمة المتوسطة لجذر متوسط التربيع لتمدد التأخير S في هذه البيئة بالصيغة التالية:

$$(62) \quad S_u = \exp(A \cdot L + B) \quad \text{ns}$$

حيث A و B عبارة عن معامل قيمة جذر متوسط تربيع وقت الانتشار وتدل L على خسارة المسير (dB). يعرض الجدول 9 القيم النموذجية للمعاملات بالنسبة لمسافات تتراوح بين 100 m و كيلومتر واحد استناداً إلى قياسات أجريت في مناطق حضرية.

الجدول 9

القيم النموذجية للمعاملات بالنسبة لجذر متوسط تربيع تمدد التأخير

معاملات جذر متوسط تربيع تمدد التأخير		ظروف القياس		
B	A	المدى (m)	التردد (GHz)	المنطقة
2,091	0,031	1 000-100	MHz 3 750-3 650	حضرية
2,3	0,038	1 000-100	MHz 1 980-1 920 MHz 2 170-2 110	

واستخلصت من هذه القياسات توزيعات خصائص امتداد تمدد التأخير عبر عدة مسيرات بالنسبة للنطاق GHz 3,7 في بيئة حضرية لقيمتي ارتفاع هوائي المحطة 1، 40 و 60 m وارتفاع هوائي المحطة المتنقلة 2، 2 m. كما استخلصت من القياسات توزيعات خصائص امتداد وقت الانتشار عبر مسيرات متعددة عند النطاق GHz 3,7 وعند النطاق GHz 5,2 في بيئة شبه حضرية وارتفاع هوائي المحطة 1 قدره 20 m عند قيمتين لارتفاع هوائي المحطة 2 قدرهما 2,0 و 2,8 m. ويعرض الجدول 10 قيم جذر متوسط التربيع لتمدد التأخير المقاسة عند ترددات من GHz 1,9 إلى GHz 5,8 في الحالتين اللتين يبلغ فيهما الاحتمال التراكمي 50% و 95%.

الجدول 10

القيم النموذجية لجذر متوسط التربيع لامتداد وقت الانتشار^{(1) (2)}

جذر متوسط التربيع لامتداد وقت الانتشار (نانوثانية)		ظروف القياس					
%95	%50	المدى (m)	ارتفاع الهوائي		التردد (GHz)	Scenario	المنطقة
			h_2 (m)	h_1 (m)			
1490	490	1 000-100	1,7	46	2,1-1,9		حضرية شاهقة الارتفاع ⁽¹⁾
469	158	1 000-200	1	12	2,5		شبه حضرية ⁽²⁾
461	208	1 000-100	2	100	2,5	LoS	حضرية شاهقة الارتفاع ⁽¹⁾
513	407					NLoS	
408	232	1 000-100	2	60	3,7		حضرية ⁽¹⁾
357	121	1 000-100	2	40			
542	125	1 000-100	2	20	3,7		شبه حضرية ⁽¹⁾
577	189	1 000-100	2,8	20	5,2		
493	161	1 000-200	1	12	3,5		شبه حضرية ⁽²⁾
415	168	1 000-200	1	12	5,8		

(1) استعملت قيمة العتبة البالغة 30 dB لحساب جذر متوسط التربيع لتمدد التأخير.

(2) استعملت قيمة العتبة البالغة 20 dB لحساب جذر متوسط التربيع لتمدد التأخير. وجرى القياسات بمواضع اتجاهية (عرض حزمة 120 درجة في اتجاه السم عند GHz 5,8 و 30 درجة عند GHz 2,5 و GHz 3,5) وهوائيات شاملة الاتجاهات عند المستقبل. وبلغت الاستبانة الزمنية للتأخير 100 ns.

2.1.5 تمدد التأخير في بيئات الانتشار تحت قمم أسطح المباني

1.2.1.5 حالة هوائي شامل الاتجاهات

حددت خصائص تمديد وقت الانتشار عبر مسيرات متعددة في حالة استعمال هوائي شامل الاتجاهات على خط البصر (LoS) في بيئة حضرية مرتفعة المباني في وجود خلايا صغيرة وخلايا دقيقة لمناطق حضرية كثيفة (انظر الجدول 3) استناداً إلى المعطيات المقيسة عند ترددات تتراوح بين 2,5 GHz و 15,75 GHz ومسافات تتراوح بين 50 و 400 m. وتتبع قيمة جذر متوسط التربيع لامتداد وقت الانتشار S عند المسافة d بالأمتار توزيعاً عادياً وتعطى القيمة المتوسطة بالصيغة التالية:

$$(63) \quad a_s = C_a d^{\gamma_a} \quad \text{ns}$$

ويعطى الانحراف المعياري بالصيغة التالية:

$$(64) \quad \sigma_s = C_\sigma d^{\gamma_\sigma} \quad \text{ns}$$

حيث تعتمد C_a و γ_a و C_σ و γ_σ على ارتفاع الهوائي وبيئة الانتشار. ويعطى الجدول 11 بعض القيم النموذجية للمعاملات فيما يتعلق بمسافات تتراوح بين 50 و 400 m، وترتكز هذه القيم على القياسات التي أجريت في مناطق حضرية ومناطق سكنية.

الجدول 11

القيم النموذجية لمعاملات خصائص المسافة المتعلقة بقيمة جذر متوسط التربيع لامتداد وقت الانتشار بالنسبة لحالة استعمال هوائي شامل الاتجاهات

σ_s		a_s		ظروف القياس			
γ_σ	C_σ	γ_a	C_a	H_z (m)	h_t (m)	f (GHz)	المنطقة
0,04	102,2	0,06	1 254,3	5	5	0,781	حضرية ⁽¹⁾
0,32	12	0,27	55	3,0	6,0	2,5	حضرية ⁽²⁾
0,35	5,5	0,26	23	2,7	4,0	15,75-3,35	
0,39	6,1	0,51	10	1,6		8,45-3,35	
0,52	1,42	0,78	0,97	2,5	5	8,05	
0,77	0,54	0,53	2,1	2,7	4,0	3,35	
0,48	2,0	0,32	5,9	1,6		15,75-3,35	سكنية ⁽²⁾

(1) تستعمل قيمة للعبء تساوي 20 dB لحساب قيمة جذر متوسط التربيع لتمدد التأخير.

(2) تستعمل قيمة للعبء تساوي 30 dB لحساب قيمة جذر متوسط التربيع لتمدد التأخير.

يكون الشكل المتوسط للمظهر الجانبي لوقت الانتشار، استناداً إلى المعطيات المقيسة عند 2,5 GHz، كالتالي:

$$(65) \quad P(t) = P_0 + 50(e^{-t/\tau} - 1) \quad \text{dB}$$

حيث:

P_0 : قدرة الذروة

τ : عامل التناقص

وتقدر t بنانو ثانية (ns).

يمكن تقييم τ استناداً إلى المعطيات المقيسة فيما يتعلق بقيمة جذر متوسط التربيع لامتداد وقت الانتشار S ، كالتالي:

$$(66) \quad \tau = 4 S + 266 \quad \text{ns}$$

لا تكون العلاقة الخطية بين τ و S صالحة إلا في حالة الانتشار LoS.

وقد تم أيضاً تحديد الخصائص الآتية للمظهر الجانبي لوقت الانتشار انطلاقاً من نفس مجموعة المعطيات المقيسة. وتتبع الطاقة الواصلة خلال الأربعين نانوثانية الأولى توزيع رايس مع عامل K يتراوح بين 6 و 9 dB، بينما تتبع الطاقة الواصلة بعد ذلك إما توزيع رايلي أو توزيع رايس مع عامل K لا يتجاوز حوالي 3 dB. (انظر التوصية ITU-R P.1057 لتعريف توزيعات الاحتمال).

2.2.1.5 حالة هوائي اتجاهي

في أنظمة النفاذ اللاسلكي الثابت والاتصالات بين نقاط النفاذ الخاصة بالأنظمة الشبكية اللاسلكية المتشابكة، تستخدم الهوائيات الاتجاهية كهوائيات إرسال واستقبال. ويرد أدناه التأثير النمطي لاستخدام الهوائيات الاتجاهية. ويقوم مخطط إشعاع الهوائي عند استخدام هوائيات اتجاهية كهوائيات إرسال واستقبال بالفضاء على الموجات المتأخرة الواردة. وبالتالي يصبح امتداد وقت الانتشار صغيراً. كما تزيد القدرة المستقبلية بكسب الهوائي عند استخدام هوائيات اتجاهية كهوائيات إرسال واستقبال. واستناداً إلى هذه الحقائق، تستخدم الهوائيات الاتجاهية في الأنظمة اللاسلكية. ومن ثم، من المهم فهم تأثير اتجاهية الهوائي في نماذج تعدد المسيرات. حددت خصائص وقت انتشار المسيرات المتعددة بالنسبة لحالة استخدام هوائي اتجاهي على خط البصر في بيئة حضرية مرتفعة المباني بالنسبة لحالي الخلية الصغيرة الحضرية المزدهمة والخلية الدقيقة (على النحو المحدد في الجدول 3) استناداً إلى بيانات قيست في النطاق 5,2 GHz على مسافات تتراوح بين 10 و 500 m وتم وضع الهوائيات بحيث يواجه اتجاه الكسب الأقصى للهوائي بالنسبة لهوائي ما اتجاه الكسب الأقصى للهوائي الأخر. ويدرج الجدول 12 معادلة لاشتقاق معاملات بالنسبة لعرض حزمة منتصف القدرة للهوائي بالنسبة للمعادلة (64) المسافات تتراوح بين 10 و 500 m استناداً إلى قياسات في منطقة حضرية. ولا تعتمد هذه المعادلات إلا على عرض حزمة منتصف قدرة الهوائي وهي فعالة بالنسبة لأي عرض للطريق.

الجدول 12

المعاملات النموذجية لخصائص المسافة بالنسبة لقيمة جذر متوسط تربيع وقت الانتشار في حالة استخدام هوائي اتجاهي

a_s		ظروف القياس			
γ_a	C_a	h_m (m)	h_b (m)	f (GHz)	المنطقة
$2^{-10} \times 4,60 + 2^{-10} \times 3,3$	$9,3 + 1,5 \log(\theta)$	3,5	3,5	5,2	حضرية

الملاحظة 1 - تستعمل قيمة للعتبة مقدارها 20 dB لحساب قيمة جذر متوسط التربيع لوقت الانتشار.

و θ تمثل هنا عرض حزمة منتصف قدرة الهوائي عن كل من هوائي الإرسال والاستقبال ووحدات قياسها radian. ويلاحظ أنه يجب أن تأخذ θ القيمة 2π عند استخدام هوائي شامل الاتجاهات كهوائي إرسال واستقبال.

2.5 المواصفة الزاوية

1.2.5 التمدد الزاوي في بيئات الانتشار تحت مستوى قزم الأسطح

حددت قيمة جذر متوسط التربيع التمدد الزاوي المعرف في التوصية ITU-R P.1407 في اتجاه السميت في بيئة خلايا صغيرة أو خلايا دقيقة في منطقة حضرية كثيفة استناداً إلى القياسات التي أجريت عند تردد قدره 8,45 GHz. ومحطة الاستقبال مجهزة بهوائي مكافئ بفتحة نصف القدرة للحزمة تبلغ $0,4^\circ$.

كما أُجري قياس في بيئة حضرية لخلية صغيرة مزدحمة في بيئة حضرية. وقد استخلصت معاملات التمدد الزاوي استناداً إلى قياسات أُجريت في المناطق الحضرية لمسافات تتراوح بين 10 و 1 000 m في حالات LoS عند تردد 0,781 GHz. ويستخدم في استخلاص المواصفة الزاوية أربعة عناصر من صفيح خطي شامل الاتجاهات بأسلوب بارليت لتشكيل الحزم. ويعرض الجدول 13 المعاملات المتحصل عليها لجذر متوسط تريبع الانتشار الزاوي.

الجدول 13

المعاملات النموذجية لخصائص المسافة بالنسبة للتمدد الزاوي

ملاحظات	s.t.d (بالدرجات)	المتوسط (بالدرجات)	ظروف القياس			
			h_2 (m)	h_1 (m)	f (GHz)	المنطقة
LoS	13,98	28,15	1,5	5	0,781	حضرية
LoS	11	30	2,7	4,4	8,45	حضرية
NLoS	18	41	2,7	4,4	8,45	حضرية

3.5 عدد مكونات الإشارة

يحتاج الأمر إلى تقييم عدد مكونات الإشارة (أي المكونة الرئيسية بالإضافة إلى المكونات متعددة المسيرات) الواردة إلى المستقبل وذلك عند تصميم أنظمة بمعدل معطيات مرتفع تركز على تقنيات الفصل والتركيب. وكما هو محدد في التوصية ITU-R P.1407، يمكن تمثيل عدد مكونات الإشارة انطلاقاً من المظهر الجانبي للتأخير باعتباره عدد الذرى التي يكون اتساعها ضمن dB A من أعلى ذروة وفوق سوية الضوضاء الخلفية.

1.3.5 بيئات انتشار أخرى فوق أسطح المباني

ويبيّن الجدول 14 النتائج بشأن عدد مكونات الإشارة بالنسبة إلى بيئات ما فوق مستوى قمم أسطح المباني من قياسات أُجريت في سيناريوهات مختلفة كأنواع البيئات ونطاقات التردد وارتفاعات الهوائيات.

الجدول 14

العدد الأقصى من مكونات الإشارة بالنسبة إلى بيئات ما فوق مستوى قمم أسطح المباني

العدد الأقصى من المكونات						المدى (m)	ارتفاع الهوائي (m)		التردد (GHz)	مدى الإمهال	نمط البيئة
dB 10		dB 5		dB 3			h_2	h_1			
%95	%80	%95	%80	%95	%80						
4	2	2	1	2	1	1 600-100	1.7	46	2,1-1,9	ns 200	حضرية
13	3	3	2	2	2	590-150	2.7	55	3,35	ns 20	
12	3	3	2	2	2	590-150	2.7	55	8,45	ns 20	
4	2	2	1	2	1	1 500-200	1	12	2,5	ns 175	شبه حضرية
5	1	2	1	2	1	1 500-200	1	12	3,5	ns 175	
5	3	3	1	2	1	5 000-0	2.7	40	3,67	ns 50	
5	4	5	3	2	1	1 500-200	1	12	5,8	ns 100	

فيما يتعلق بالقياسات الموصوفة في الفقرة 1.1.5، ترد قيم نافذة فارق الإمهال بالنسبة لأقوى 4 مكونات إزاء أول مكوّن واصل والاتساع النسبي لكل منها في الجدول 15.

الجدول 15

نافذة فارق الإمهال بالنسبة لأقوى 4 مكّونات إزاء أول مكّون واصل والاتساع النسبي لكل منها

التأخير الزمني الزائد (μs)								المدى (m)	ارتفاع الهوائي (m)		التردد (GHz)	استبانة التأخير الزمني	نمط البيئة
الرابع		الثالث		الثاني		الأول			h_2	h_1			
%95	%80	%95	%80	%95	%80	%95	%80						
3,26	2,35	2,93	1,74	1,98	1,1	1,43	0,5	1 600-100	1,7	46	2,1-1,9	Ns 200	حضرية
9,8-	9,1-	9,6-	8,5-	9-	7,3-	0	0						القدرة النسبية إزاء أقوى مكّون (dB)

2.3.5 بيئات الانتشار ما دون مستوى قمم أسطح المباني

يعرض الجدول 16 نتائج عدد مكونات الإشارة بالنسبة إلى بيئات ما دون مستوى قمم أسطح المباني من قياسات أجريت في سيناريوهات مختلفة كأنواع البيئات ونطاقات التردد وارتفاعات الهوائيات.

الجدول 16

العدد الأقصى من مكونات الإشارة بالنسبة إلى بيئات ما دون مستوى قمم أسطح المباني

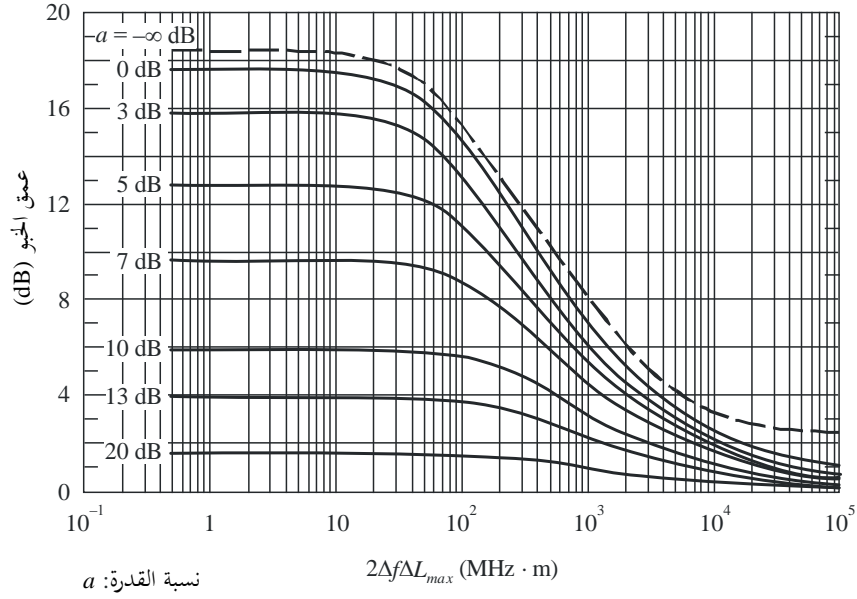
العدد الأقصى من المكونات						المدى (m)	ارتفاع الهوائي (m)		التردد (GHz)	مدى الإمهال	نمط البيئة
dB 10		dB 5		dB 3			h_2	h_1			
%95	%80	%95	%80	%95	%80						
6	5	4	2	3	2	200-0	1,6	4	3,35	ns 20	حضرية
9	5	4	2	3	2	1 000-0					
6	4	3	2	3	1	200-0	1,6	4	8,45	ns 20	
8	4	4	2	2	1	1 000-0					
5	4	3	2	3	1	200-0	1,6	4	15,75	ns 20	
10	6	4	2	3	2	1 000-0					
3	2	2	2	2	2	480-0	2,7	4	3,35	ns 20	سكنية

4.5 خصائص الخبو

يُعبّر عن عمق الخبو، الذي يعرّف بالفرق بين القيمة 50% و القيمة 1% في الاحتمال التراكمي لسويات الإشارة المستقبلية، بدلالة ناتج $(2\Delta f \Delta L_{max} \text{ MHz} \cdot \text{m})$ عرض النطاق المستقبل البالغ $2\Delta f \text{ MHz}$ والفرق الأقصى في أطوال مسير الانتشار $\Delta L_{max} \text{ m}$ كما هو موضح في الشكل 6. وتدل ΔL_{max} على الفرق الأقصى في أطوال مسير الانتشار بين المكونات التي تكون سويتها أعلى من العتبة التي تقل بمقدار 20 dB عن أعلى سوية للموجات غير المباشرة كما هو موضح في الشكل 7. وتدل a المعبر عنها بالديسيبل في هذا الشكل على نسبة قدرة الموجات المباشرة إلى مجموع الموجات غير المباشرة، وتمثل $a = -\infty \text{ dB}$ حالة انتشار خلاف خط البصر. وعندما تكون $2\Delta f \Delta L_{max}$ أدنى من $10 \text{ MHz} \cdot \text{m}$ ، تتبع سويات الإشارة المستقبلية في حالة الانتشار في خط البصر والانتشار خلاف خط البصر توزيع رايلي وتوزيع ناكاغامي-رايس المقابلين لمنطقة خبو نطاق ضيق. وعندما تكون أعلى من $10 \text{ MHz} \cdot \text{m}$ ، تقابل منطقة خبو نطاق واسع، حيث يصبح عمق الخبو أقل ولا تتبع سويات الإشارة المستقبلية لا توزيع رايلي ولا توزيع ناكاغامي-رايس.

الشكل 6

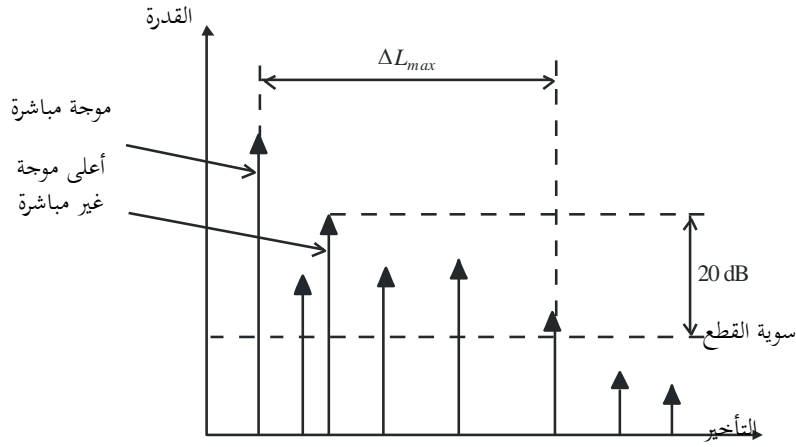
العلاقة بين عمق الخبو والقيمة $2\Delta f\Delta L_{max}$



P.1411-06

الشكل 7

نموذج حساب ΔL_{max}



P.1411-07

6 خصائص الاستقطاب

يختلف تمييز الاستقطاب المتقاطع (XPD) كما جاء تعريفه في التوصية ITU-R P.310 بين منطقتي الانتشار LoS و NLoS في بيئة الخلايا الصغيرة العاملة بالموجات السنتيمترية (SHF) لمنطقة حضرية مزدحمة. وتبين القياسات قيمة متوسطة لتمييز الاستقطاب المتقاطع قدرها 13 dB للمسيرات LoS و 8 dB للمسيرات NLoS وانحراف معياري قدره 3 dB للمسيرات LoS و 2 dB للمسيرات NLoS في مدى الموجات السنتيمترية. وتتوافق هذه القيم المتوسطة مع قيم انتشار الموجات الديسيتمترية في المناطق المكشوفة والمناطق الحضرية على التوالي الواردة في التوصية ITU-R P.1406.

7 بيانات الانتشار وطرائق التنبؤ لنهج تشكيل المسير

1.7 تصنيف شكل المسير

في المناطق المأهولة بالسكان فيما عدا المناطق الريفية، يمكن تصنيف شكل المسير للقنوات اللاسلكية إلى تسع فئات كما هو مبين في الجدول 17. ويستند التصنيف بشكل كامل إلى بيئة حقيقية لانتشار الموجات. وتحليل توزيع ارتفاع المبنى وكثافة المباني للمواقع التمثيلية المختلفة باستخدام قاعدة بيانات نظام المعلومات الجغرافية (GIS).

الجدول 17

تصنيف شكل المسير بالنسبة لقناة MIMO

الكثافة	تشكيل المسير	
فوق 35%	كثافة عالية (HRHD)	عالي الارتفاع (فوق 25 m)
20 ~ 35%	كثافة متوسطة (HRMD)	
أقل من 20%	كثافة منخفضة (HRLD)	
فوق 35%	كثافة عالية (HRHD)	متوسط الارتفاع (m 12 ~ m 25)
20 ~ 35%	كثافة متوسطة (HRMD)	
أقل من 20%	كثافة منخفضة (HRLD)	
فوق 35%	كثافة عالية (HRHD)	منخفض الارتفاع (أقل من 12 m)
20 ~ 35%	كثافة متوسطة (HRMD)	
أقل من 20%	كثافة منخفضة (HRLD)	

2.7 طريقة النمذجة الإحصائية

عادة ما تكون بيانات القياس محدودة جداً وغير شاملة. ولذا، فمن أجل أشكال محددة للمسيرات وترددات تشغيل محددة، يمكن استخدام الطريقة التالية لاستخلاص المعلمات لنموذج قناة MIMO. وقد أظهرت قياسات لخصائص قنوات عدد 9 أشكال نمطية للمسيرات عند التردد GHz 3,705 توافقاً إحصائياً جيداً مقارنة بطريقة النمذجة.

وتحدد النماذج من أجل حالة $h_1 > h_r$. وترد تعاريف f و d و h_r و h_1 و Δh_1 و h_m في الفقرة 1.3 وتمثل B_d كثافة المباني. ويصلح نهج تشكيل المسير للقيم التالية للمعلمات:

$$f: 800 \text{ إلى } 6000 \text{ MHz}$$

$$d: 100 \text{ إلى } 800 \text{ m}$$

$$h_r: 3 \text{ إلى } 60 \text{ m}$$

$$h_1: h_r + \Delta h_1$$

$$\Delta h_1: \text{حتى } 20 \text{ m}$$

$$h_m: \text{من } 1 \text{ إلى } 3 \text{ m}$$

$$B_d: 10 \text{ إلى } 45\%$$

وفي النمذجة الإحصائية، تتولد المباني بطريقة عشوائية تماماً. ومن المعروف جيداً أن توزيع ارتفاع المبنى يكون جيداً إحصائياً باستخدام توزيع رايلي $P(h)$ مع المعلمة μ .

$$(67) \quad P(h) = \frac{h}{\mu^2} \exp\left(\frac{-h^2}{2\mu^2}\right)$$

ولاستخلاص المعلومات الإحصائية لتوزيع رايلي بشكل مسير معين، يوصى باستعمال قاعدة البيانات GIS المتاحة. وبالنسبة للأوضاع الأفقية للمباني، يمكن افتراض أنها موزعة بانتظام.

ويجري حساب انتشار الموجات لكل حالة من حالات توزيع المباني باستخدام طريقة تتبع الشعاع. ويوصى باستخدام 15 مرة انعكاس ومرتين انكسار من أجل المحاكاة. ومن المهم أيضاً مراعاة اختراق المباني. ويوصى بضبط القدرة المستقبلية بصورة سليمة لمراعاة اختراق المباني. وللحصول على معلمات النموذج، ينبغي إجراء عمليات المحاكاة لعدد كافٍ من المرات لكل شكل من أشكال المسيرات، ويوصى بعدد 4 مرات على الأقل. وبالنسبة لكل مرة من مرات المحاكاة، ينبغي وضع عدد كافٍ من المستقبلات في منطقة الحساب للحصول على بيانات ذات مغزى إحصائياً. ويوصى بوجود 50 مستقبلاً على الأقل في كل تقسيم فرعي للمسافة طوله 10 m. وينبغي ضبط ارتفاعي هوائي الإرسال والاستقبال على قيم مناسبة. ويوصى بضبط قيمتي ثابت الكهروناظرية والموصلية على $\epsilon_r = 7,0$ و $\sigma = 0,015$ S/m بالنسبة للمباني $\epsilon_r = 2,6$ و $\sigma = 0,012$ S/m للأراضي المسطحة.

وترد قيم معلمات توزيع ارتفاع المبنى للحالات النمطية في الجدول 18. وأبعاد المباني هي 20×20 m² و 25×20 m² و 30×20 m². وحالات الارتفاع العالية والمتوسطة والمنخفضة. وكثافات المباني هي 40% و 30% و 20% بالنسبة للكثافات العالية والمتوسطة والمنخفضة.

الجدول 18

معلمات توزيع ارتفاع المبنى من أجل النمذجة الإحصائية

متوسط ارتفاع المبنى (m)	مدى توزيع ارتفاع المبنى (m)	معلمة رايلي μ	تشكيل المسير
34,8	78,61~12,3	18	HRHD
34,4	70,8~12,5		HRMD
34,2	68,01~3,2		HRLD
19,5	41,2~7,3	10	MRHD
19,6	39,0~7,2		MRMD
19,4	40,4~7,4		MRLD
9,1	23,1~2,1	6	LRHD
9,4	22,2~2,5		LRMD
9,5	23,5~2,5		LRLD

3.7 نموذج خسارة المسير

يحدد نموذج خسارة المسير في هذه التوصية بالمعادلتين:

$$(68) \quad PL = PL_0 + 10 \cdot n \cdot \log_{10}(d) + S \quad (\text{dB})$$

$$(69) \quad PL_0 = -27.5 + 20 \cdot \log_{10}(f) \quad (\text{dB})$$

حيث n أس خسارة المسير. و S قيمة عشوائية تمثل الانتشار العشوائي حول خط الانقلاب بالتوزيع النظامي ويرمز للانحراف المعياري للقيمة S بالرمز σ_s . ووحدات f و d هي MHz و m، على التوالي.

وتعرض معلمات خسارة المسير للحالات النمطية الخاصة بعدد 9 أشكال من أشكال المسيرات من النمذجة الإحصائية عند تردد 3,705 GHz في الجدول 18. ويبلغ ارتفاع المستقبل 2 m ويتم تحريك الأجزاء البعيدة بشكل جيد للحصول على المعلمات السليمة.

الجدول 19

معلومات خسارة المسير لعدد 9 أشكال من أشكال المسيرات عند تردد 3,705 GHz

σ_s	n	متوسط كثافة المباني (%)	ارتفاع هوائي الإرسال (m)	شكل المسير
9,3	3,3	40	50	HRHD
6,3	2,9	30	50	HRMD
3,6	2,5	20	50	HRLD
4,7	2,8	40	30	MRHD
4,9	2,6	30	30	MRMD
2,7	2,3	20	30	MRLD
1,3	2,4	40	20	LRHD
1,8	2,3	30	20	LRMD
1,8	2,2	20	20	LRLD

4.7 نموذج وقت الانتشار

يمكن أيضاً نمذجة جذر متوسط تربيع وقت الانتشار كدالة في المسافة. ويستخلص جذر متوسط تربيع وقت الانتشار عبر مسيرات تسود فيها الحالة NLoS على مسافات من 100 إلى 800 m بنمذجتها كدالة في المسافة من المعادلة:

$$(70) \quad DS = A \cdot d^B \quad (\text{ns})$$

وترد معلومات وقت الانتشار لحالات نمطية لعدد 9 أشكال من أشكال المسير من النمذجة الإحصائية عند التردد 3,705 GHz في الجدول 19. ويبلغ ارتفاع المستقبل 2 m ويتم تحريك الأجزاء البعيدة بشكل جيد للحصول على المعلومات السليمة.

الجدول 20

معلومات وقت الانتشار لعدد 9 أشكال من أشكال المسيرات عند تردد 3,705 GHz

وقت الانتشار (nsec)		متوسط كثافة المباني (%)	ارتفاع هوائي الإرسال (m)	شكل المسير
B	A			
0,072	237	40	50	HRHD
0,074	258	30	50	HRMD
0,11	256	20	50	HRLD
0,095	224	40	30	MRHD
0,12	196	30	30	MRMD
0,19	172	20	30	MRLD
0,18	163	40	20	LRHD
0,23	116	30	20	LRMD
0,29	90	20	20	LRLD

5.7 نموذج التمدد الزاوي

التمدد الزاوي للانطلاق (ASD) والوصول (ASA) عبر المسيرات على مسافات من 100 إلى 800 m يمكن نمذجته كنموذج بدلالة المسافة ويستخلص بالمعادلتين:

$$(71) \quad ASD = \alpha \cdot d^\beta \quad (\text{degrees})$$

$$(72) \quad ASA = \gamma \cdot d^\delta \quad (\text{degrees})$$

وتعرض معلمات الانتشارين ASD و ASA للحالات النمطية لعدد 9 أشكال من أشكال المسيرات من النمذجة الإحصائية عند التردد 3,705 GHz في الجدولين 20 و 21.

الجدول 21

معلمات الانتشار ASD لعدد 9 أشكال من أشكال المسيرات عند تردد 3,705 GHz

β	α	متوسط كثافة المباني (%)	ارتفاع هوائي الإرسال (m)	شكل المسير
0,13–	107	40	50	HRHD
0,18–	116	30	50	HRMD
0,31–	250	20	50	HRLD
0,22–	115	40	30	MRHD
0,33–	232	30	30	MRMD
0,37–	264	20	30	MRLD
0,33–	192	40	20	LRHD
0,29–	141	30	20	LRMD
0,24–	113	20	20	LRLD

الجدول 22

معلمات الانتشار ASA لعدد 9 أشكال من أشكال المسيرات عند تردد 3,705 GHz

δ	γ	متوسط كثافة المباني (%)	ارتفاع هوائي الإرسال (m)	شكل المسير
0,27–	214	40	50	HRHD
0,17–	147	30	50	HRMD
0,14–	140	20	50	HRLD
0,15–	127	40	30	MRHD
0,16–	143	30	30	MRMD
0,13–	132	20	30	MRLD
0,09–	109	40	20	LRHD
0,11–	124	30	20	LRMD
0,06–	94	20	20	LRLD

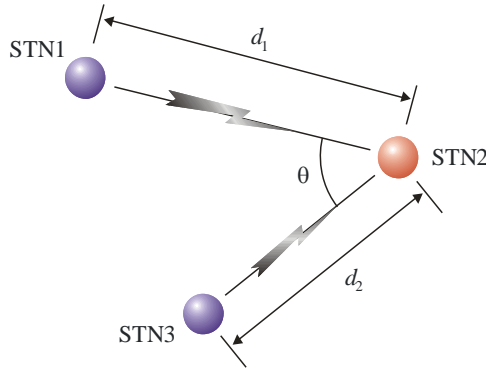
8 نموذج الارتباط المتبادل لقناة متعددة الوصلات

1.8 تعريف المعلمات

وضع نموذج الارتباط المتبادل لقناة متعددة الوصلات في بيئة سكنية استناداً إلى بيانات قياس عند تردد 3,7 GHz على مسافات من 50 إلى 600 m ويصور الشكل 8 شكل هندسي لقناة متعددة الوصلات، وتستعمل المعلمتان التاليتان، أي زاوية الفصل والمسافة النسبية، من أجل النمذجة الهندسية للقناة متعددة الوصلات.

الشكل 8

مخطط للوصلات المتعددة



P.1411-08

وزاوية الفصل θ هي الزاوية بين الوصلة المباشرة STN2-STN1 والوصلة المباشرة STN2-STN3. وتحدد المسافة النسبية \tilde{d} كالتالي:

$$(73) \quad \tilde{d} = \log_{10} \frac{d_1}{d_2}$$

حيث d_1 و d_2 يمثلان على التوالي المسافة بين المحطتين 1 و 2 وبين المحطتين 2 و 3، عندما تكون المحطة 2 بعيدة عن المحطتين 1 و 3 وعلى نفس المسافة النسبية $\tilde{d}=0$.

ويحدد مدى الزاوية θ والمسافة \tilde{d} كالتالي:

$$(74) \quad 0^\circ < \theta < 180^\circ, -0.3 \leq \tilde{d} \leq 0.3$$

2.8 الارتباط المتبادل للمعلمات الزمانية المكانية طويلة الأمد

تتضمن المعلمات الزمانية المكانية طويلة الأمد لنموذج الارتباط المتبادل:

- خبب الحجب (SF)
- المعامل k (KF)
- تمدد التأخير (DS)
- تمدد زاوية الوصول (ASA)
- تمدد زاوية الانطلاق (ASD)

ويتحصل على نماذج الارتباط المتبادل بين المعلمات الزمانية المكانية طويلة الأمد بين الوصلة STN1 و STN2 و STN2-STN3 من المعادلتين التاليتين:

وتعرف نماذج الارتباط المتبادل (ρ) للمعلمات SF و KF و DS و ASA و ASD بين وصلتين بدلالة زاوية الفصل كالتالي:

$$(75) \quad \rho_{(SF,KF,DS,ASA)}(\theta) = A \cdot \exp(-\theta^2/B)$$

$$(76) \quad \rho_{ASD}(\theta) = A \cdot \ln(\theta) + B$$

ويعرض الجدول 23 المعاملات النمطية لكل نموذج من نماذج الارتباط المتبادل بدلالة زاوية الفصل والمتحصل عليها من قياسات في بيئات سكنية نمطية عند التردد 3,7 GHz.

الجدول 23

المعاملات النمطية لنماذج الارتباط المتبادل للمعلمات الزمانية المكانية طويلة الأمد بالنسبة لزاوية الفصل

معامل الارتباط المتبادل				ارتفاع الهوائي		التردد (GHz)	المنطقة	المعلمة
B		A		h ₂ (m)	h ₁ و h ₃ (m)			
انحراف معياري	متوسط	انحراف معياري	متوسط					
89	619	$2^{-10} \times 4,3$	0,749	2	25	3.7	سكنية	خجو الحجب
6	2 129	$3^{-10} \times 4,9$	0,295					المعامل K
119	1 132	$2^{-10} \times 7,0$	0,67					تمدد التأخير
484	1 780	$3^{-10} \times 2,1$	0,582					تمدد زاوية الوصول
0,016	0,483	$4^{-10} \times 9,2$	0,0989-					تمدد زاوية الانطلاق

وتعرف نماذج الارتباط المتبادل (ρ) للمعلمات SF و KF و DS و ASA و ASD بين وصلتين بدلالة المسافة النسبية كالتالي:

$$(77) \quad \rho_{(SF,KF,DS,ASA)}(\tilde{d}) = A \cdot \exp(-|\tilde{d}|/B)$$

$$(78) \quad \rho_{ASD}(\tilde{d}) = A \cdot |\tilde{d}| + B$$

ويعرض الجدول 24 المعاملات النمطية لكل نموذج من نماذج الارتباط المتبادل بدلالة المسافة النسبية والمتحصل عليها استناداً إلى قياسات أجريت في بيئات سكنية نمطية عند تردد 3,7 GHz.

الجدول 24

المعاملات النمطية لنماذج الارتباط المتبادل للمعاملات الزمانية المكانية طويلة الأمد بالنسبة للمسافة النسبية

معامل الارتباط المتبادل				ارتفاع الهوائي		التردد (GHz)	المنطقة	المعلمة
B		A		h_2 (m)	h_1 و h_3 (m)			
انحراف معياري	متوسط	انحراف معياري	متوسط					
$2^{-10} \times 4,9$	0,38	$2^{-10} \times 1,4$	0,572	2	25	3,7	سكنية	خجو الحجب
$3^{-10} \times 7,1$	0,27	$3^{-10} \times 2,8$	0,429					المعامل K
$1^{-10} \times 1,6$	0,38	$2^{-10} \times 4,6$	0,663					تمدد التأخير
$2^{-10} \times 2,1$	0,38	$2^{-10} \times 1,1$	0,577					تمدد زاوية الوصول
$2^{-10} \times 4,2$	0,196	$1^{-10} \times 1,9$	0,51					تمدد زاوية الانطلاق

ويتحصل على نموذج الارتباط المتبادل (ρ) للمعاملات SF و KF و DS و ASA و ASD بين وصلتين بالنسبة لزاوية الفصل والمسافة النسبية كالتالي:

$$(79) \quad \rho_{(SF,KF,DS,ASA,ASD)}(\theta, \tilde{d}) = A \cdot \exp\left(-\frac{\theta^2}{B}\right) \cdot \exp\left(-\frac{\tilde{d}^2}{C}\right)$$

ويعرض الجدول 24 المعاملات النمطية لنموذج المعاملات النمطية لكل نموذج من نماذج الارتباط المتبادل بدلالة الارتباط المتبادل بدلالة زاوية الفصل والمسافة النسبية والمتحصل عليه استناداً إلى قياسات أجريت في بيئات سكنية نمطية عند التردد 3,7 GHz.

الجدول 25

المعاملات النمطية لنموذج الارتباط المتبادل للمعاملات الزمانية المكانية طويلة الأمد بالنسبة لزاوية الفصل والمسافة النسبية

معامل الارتباط المتبادل						ارتفاع الهوائي		التردد (GHz)	المنطقة	المعلمة
C		B		A		h_2 (m)	h_1 و h_3 (m)			
انحراف معياري	متوسط	s.t.d	متوسط	انحراف معياري	متوسط					
$2^{-10} \times 9,2$	0,42	4,6	29,31	$3^{-10} \times 7,1$	0,53	2	25	3,7	سكنية	خجو الحجب
$2^{-10} \times 4,2$	0,21	5,9	22,48	$2^{-10} \times 6,4$	0,28					المعامل K
$5^{-10} \times 7,1$	0,21	3,7	29,31	$2^{-10} \times 9,2$	0,46					تمدد التأخير
$2^{-10} \times 2,1$	0,21	0,15	29,31	$2^{-10} \times 4,9$	0,49					تمدد زاوية الوصول
$2^{-10} \times 2,1$	0,21	2,5	29,31	$2^{-10} \times 6,4$	0,34					تمدد زاوية الانطلاق

3.8 الارتباط المتبادل للحجب قصير الأمد في مجال التأخير

الارتباط المتبادل للحجب قصير الأمد في مجال التأخير للاستجابة النبضية لقناة الوصلة STN2-STN1، عند التأخير τ_i وللإستجابة النبضية لقناة الوصلة STN2-STN3، عند التأخير τ_i يمكن حسابه كالتالي:

$$(80) \quad c_{h_i h_j}(\tau_i, \tau_j) = \text{Real}\{E[(h_i(\tau_i) - \bar{h}_i(\tau_i))(h_j(\tau_j) - \bar{h}_j(\tau_j))^*]\}$$

حيث (●) تمثل موقع إزاحة معينة ويلاحظ أن عينات التأخير للاستجابات النبضية للقنوات ذات القدرة التي تندرج في المدى الدينامي (5 dB) هي فقط التي تعتبر مكونات بالنسبة لحساب الارتباط المتبادل. كما أن معاملات الارتباط ذات القيم بين -1 و 1 يتم الحصول عليها عن طريق المعايرة أي:

$$(81) \quad c_{h_i h_j}(\tau_i, \tau_j) = \text{Real} \left\{ \frac{E[(h_i(\tau_i) - \bar{h}_i(\tau_i))(h_j(\tau_j) - \bar{h}_j(\tau_j))^*]}{\sqrt{E[(h_i(\tau_i) - \bar{h}_i(\tau_i))^2]} \sqrt{E[(h_j(\tau_j) - \bar{h}_j(\tau_j))^2]}} \right\}$$

وتراعى المعلمات الثلاث التالية بالنسبة لنموذج الارتباط المتبادل للخبو قصير الأمد، $c_{h_i h_j}(\tau_i, \tau_j)$

- الارتباط المتبادل الأقصى للخبو قصير الأمد $c_{h_i h_j}(\tau_i, \tau_j)$

$$(82) \quad \rho_{Fmax} = \max\{c_{h_i h_j}(\tau_i, \tau_j)\}$$

- الارتباط المتبادل الأدنى للخبو قصير الأمد $c_{h_i h_j}(\tau_i, \tau_j)$

$$(83) \quad \rho_{Fmin} = \min\{c_{h_i h_j}(\tau_i, \tau_j)\}$$

- الانحراف المعياري للارتباط المتبادل للخبو قصير الأمد $c_{h_i h_j}(\tau_i, \tau_j)$

$$(84) \quad \rho_{Fstd} = \sqrt{\frac{1}{T_i T_j} \int (c_{h_i h_j}(\tau_i, \tau_j) - c_{h_i h_j, \text{mean}})^2 d\tau_i d\tau_j}$$

حيث T_i و T_j تمثلان المديتين τ_i و τ_j ، على التوالي، كما تمثل $c_{h_i h_j, \text{mean}}$ القيمة المتوسطة للارتباط المتبادل للخبو قصير الأمد. وهي تقترب من الصفر مع تغير طفيف أي كانت زاوية الفصل والمسافة النسبية.

وتعطي نماذج الارتباط المتبادل (ρ_F) للخبو المنخفض بين وصلتين بالنسبة لزاوية الفصل بالمعادلة.

$$(85) \quad \rho_F(\theta) = A \cdot \ln(\theta) + B$$

ويعرض الجدول 26 المعاملات النمطية لنموذج الارتباط المتبادل بالنسبة لزاوية الفصل والمتحصل عليها استناداً إلى قياسات أجريت في بيئات سكنية نمطية عند التردد 3,7 GHz.

الجدول 26

المعاملات النمطية لنماذج الارتباط المتبادل للخبو قصير الأمد بالنسبة لزاوية الفصل

معاملات الارتباط المتبادل				ارتفاع الهوائي		التردد (GHz)	المنطقة	المعلمة
B		A		h_2 (m)	h_1 و h_3 (m)			
انحراف معياري	متوسط	انحراف معياري	متوسط					
$3^{-10} \times 3,5$	0,635	$3^{-10} \times 2,5$	$2^{-10} \times 1,09$	2	25	3,7	سكنية	أقصى
$2^{-10} \times 1,1$	0,659-	$4^{-10} \times 6,4$	$2^{-10} \times 1,62$					أدنى
$5^{-10} \times 7,1$	0,417	$5^{-10} \times 7,1$	$3^{-10} \times 9,71$					انحراف معياري

ويتحصل على نماذج الارتباط المتبادل للخبو قصير الأمد بين وصلتين بالنسبة للمسافة النسبية من المعادلة:

$$(86) \quad \rho_F(\tilde{d}) = A \cdot \exp(-|\tilde{d}|/B)$$

ويعرض الجدول 27 المعاملات النمطية لدالات الارتباط المتبادل بالنسبة للمسافة النسبية والمتحصل عليها استناداً إلى قياسات أجريت في بيئات سكنية نموذجية عند التردد 3,7 GHz.

الجدول 27

المعاملات النمطية لنموذج الارتباط المتبادل للخبو قصير الأمد بالنسبة للمسافة النسبية

معاملات الارتباط المتبادل				ارتفاع الهوائي		التردد (GHz)	المنطقة	المعلمة
B		A		h ₂ (m)	h ₁ و h ₃ (m)			
انحراف معياري	متوسط	انحراف معياري	متوسط					
3 ⁻¹⁰ ×3,5	0,635	3 ⁻¹⁰ ×2,5	2 ⁻¹⁰ ×1,09-	2	25	3.7	سكنية	أقصى
2 ⁻¹⁰ ×1,1	0,659-	4 ⁻¹⁰ ×6,4	2 ⁻¹⁰ ×1,62					أدنى
5 ⁻¹⁰ ×7,1	0,417	5 ⁻¹⁰ ×7,1	3 ⁻¹⁰ ×9,71-					انحراف معياري