

التصنيف ITU-R P.1411-13

(2025/09)

السلسلة P: انتشار الموجات الراديوية

بيانات الانتشار وطراائق التنبؤ لتخفيط أنظمة
الاتصالات الراديوية قصيرة المدى المعدة للعمل
خارج المباني والشبكات المحلية الراديوية في مدى
الترددات المتراوحة بين 300 MHz و 300 GHz

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 والسياسية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقدير الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوصيد القياسي واللجنة الكهربائية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في القرار 1. وترت الاستثمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلال توقيعات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني <https://www.itu.int/ITU-R/go/patents/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 التحديد الراديوى للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة	M
انتشار الموجات الراديوية	
علم الفلك الراديوى	RA
أنظمة الاستشعار عن بعد	RS
الخدمة الثابتة الساتلية	S
التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية	SA
تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة	SF
إدارة الطيف	SM
التجميع الساتلي للأخبار	SNG
إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت	TF
المفردات والمواضيع ذات الصلة	V

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

التوصية 13-1411-R P.ITU

**بيانات الانتشار وطائق التبؤ لتخطيط أنظمة الاتصالات الراديوية قصيرة المدى
المعدة للعمل خارج المباني والشبكات المحلية الراديوية في مدى الترددات
المتزاوجة بين 300 MHz و 300 GHz**

(المسألة 211/3)

(1999-2001-2003-2005-2007-2009-2012-2013-2015-2017-2019-2021-2023-2025)

مجال التطبيق

تنطوي هذه التوصية على توجيهات بشأن الانتشار قصير المدى في مجال الترددات 300 MHz إلى 100 GHz. وتتوفر المعلومات عن نماذج الخسارة الأساسية للإرسال في كل من بيئة خط البصر (LoS) وخلاف خط البصر (NLoS)، وحسارة اختراق المباني، ونماذج تعدد المسيرات لكل بيئة أحاديد الشوارع وفوق سطوح المباني، وعدد مكونات الإشارة، وخصائص الاستقطاب، وخصائص الخبو. ويعلن استخدام هذه التوصية أيضاً في دراسات التوافق.

مصطلحات أساسية

حسارة أساسية للإرسال، امتداد الانتشار، انتشار قصير المدى خارج المباني في بيئات تكثر فيها العوائق

المختصرات/مسرد المصطلحات

تمدد زاوية الوصول (Angular Spread of Arrival)	ASA
تمدد زاوية الانطلاق (Angular Spread of Departure)	ASD
تمدد التأخير (Delay Spread)	DS
الموجات المليمترية (Extremely High Frequency)	EHF
نظام المعلومات الجغرافية (Geographic Information System)	GIS
بصريات هندسية (Geometrical Optics)	GO
أفقي إلى أفقي (Horizontal to Horizontal)	HH
عرض حزمة نصف القدرة (Half-Power-Beamwidth)	HPBW
مبانٍ عالية الارتفاع عالية الكثافة (High Rise High Density)	HRHD
مبانٍ عالية الارتفاع منخفضة الكثافة (High Rise Low Density)	HRLD
مبانٍ عالية الارتفاع متوسطة الكثافة (High Rise Middle Density)	HRMD
أفقي إلى رأسي (Horizontal to Vertical)	HV
عامل K (K-Factor)	KF
خط البصر (Line-of-Sight)	LoS
مبانٍ منخفضة الارتفاع عالية الكثافة (Low Rise High Density)	LRHD

مبانٍ منخفضة الارتفاع منخفضة الكثافة (Low Rise Low Density)	LRLD
مبانٍ منخفضة الارتفاع متوسطة الكثافة (Low Rise Middle Density)	LRMD
مبانٍ متوسطة الارتفاع عالية الكثافة (Middle Rise High Density)	MRHD
مبانٍ متوسطة الارتفاع منخفضة الكثافة (Middle Rise Low Density)	MRLD
مبانٍ متوسطة الارتفاع متوسطة الكثافة (Middle Rise Middle Density)	MRMD
خلاف خط البصر (Non-Line-of-Sight)	NLoS
جذر متوسط التربع (Root Mean Square)	r.m.s.
الشبكة المحلية الراديوية (Radio Local Area Network)	RLAN
خبو الحجب (Shadow Fading)	SF
الموجات السنتيمترية (Super High Frequency)	SHF
محطة (Station)	STN
الموجات الديسيمترية (Ultra High Frequency)	UHF
رأسي إلى أفقي (Vertical to Horizontal)	VH
أفقي إلى أفقي (Vertical to Vertical)	VV
تمييز الاستقطاب المتقاطع (Cross-Polarization Discrimination)	XPD

توصيات وتقارير الاتحاد ذات الصلة

النوصية ITU-R P.1238 - بيانات الانتشار وطرائق التنبؤ لتخفيط أنظمة الاتصالات الراديوية العاملة داخل المباني وشبكات المنطقة المحلية الراديوية العاملة في مدى الترددات بين 300 MHz و 450 GHz

النوصية ITU-R P.1407 - الانتشار عبر مسارات متعددة وتحديد معلمات خصائصه

النوصية ITU-R P.2040 - آثار مواد البناء وهياكل المباني على انتشار الموجات الراديوية فوق 100 MHz تقريباً

التقرير ITU-R P.2109 - التنبؤ بالخسارة الناجمة عن الدخول إلى المباني

التقرير ITU-R P.2406 - دراسات بشأن بيانات الانتشار قصير المسير ونمذج لأنظمة الاتصالات الراديوية للأرض في مدى الترددات من 6 GHz إلى 450 GHz

ملاحظة - ينبغي استخدام أحدث مراجعة/طبعة من التوصية/التقرير.

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 والتدخلات الناتجة عن وجود عدة مستعملين في المنطقة نفسها؛
- ه) أن من الضروري على السواء توفير نماذج عامة (أي مستقلة عن الموقع) ومشورة بشأن التخطيط الأولي للأنظمة وتقييم التدخلات وتوفير نماذج محددة (أي خاصة بموقع معينة) لبعض التقييمات المفصلة،
وإذ تلاحظ

أن التقرير ITU-R P.2406 يقدم معلومات أساسية إضافية بشأن كيفية الحصول على بيانات ونماذج القياس واستنادها في التوصية،
وإذ تضع في اعتبارها

- أ) أن التوصية ITU-R P.1238 تضع الخطوط التوجيهية المتعلقة بالانتشار داخل المباني على مدى الترددات المترادفة بين 300 MHz و 450 MHz 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 وتجاور 1 km وعلى مدى الترددات المترادفة بين 30 MHz و 4 000 MHz؛
- ج) أن التوصية ITU-R P.2040 تقدم توجيهات بشأن آثار خواص مواد البناء وهياكل المباني على انتشار الموجات الراديوية؛
- د) أن التوصية ITU-R P.2109 تقدم نماذج إحصائية للخسارة الناجمة عن اختراق المباني،

توصي

باستخدام البيانات والطراائق 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.

الملاحق 1

جدول المحتويات

الصفحة

4	.....	مقدمة.....	1
5	.....	بيانات التشغيل المادية وتعريف أنماط الخلايا.....	2
6	.....	فقات المسيرات	3
6	.....	تعريف حالات الانتشار.....	1.3
9	.....	البيانات الازمة.....	2.3
9	.....	نماذج الخسارة الأساسية للإرسال	4
9	.....	1.4 نماذج الانتشار في "الأحاديد" الحضرية.....	1.4
17	.....	2.4 نماذج حالات الانتشار فوق قمم الأسطح.....	2.4

22	نماذج الانتشار بين المطارات الواقعه بين ارتفاع قمم أسطح المباني وقرب مستوى الشارع.....	3.4
30	معلومات مبدئية تستعمل لإجراء الحسابات المتعلقة بأي موقع عموماً.....	4.4
30	خسارات أخرى.....	5.4
31	نماذج تعدد المسيرات.....	5
31	مواصفة التأخير	1.5
36	البيانات الوصفية الزاوية.....	2.5
38	أثر عرض حزمة الهوائي	3.5
41	عدد مكونات الإشارة.....	4.5
43	خصائص الخبو	5.5
44	خصائص الاستقطاب.....	6
45	بيانات الانتشار وطرائق التنبؤ لنهج تشكيل المسير.....	7
45	تصنيف شكل المسير	1.7
45	طريقة النمذجة الإحصائية.....	2.7
46	نموذج الخسارة الأساسية للإرسال	3.7
47	نموذج وقت الانتشار	4.7
48	نموذج التمدد الزاوي.....	5.7
49	نموذج الارتباط المتبادل لقناة متعددة الوصلات.....	8
49	تعريف المعلومات	1.8
49	الارتباط المتبادل للمعلومات الزمنية المكانية طويلة الأمد.....	2.8
51	الارتباط المتبادل للحجب قصير الأمد في مجال التأخير.....	3.8
53	خصائص الانتشار في البيانات عالية الدوبليرية.....	9
53	سيناريوهات للقطارات عالية السرعة.....	1.9
54	سيناريوهات للمركبات عالية السرعة.....	2.9

مقدمة

1

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 المطارات المتنقلة فالأرجح أن يحملها المشاة أو أن تكون على متن مركبة.

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

وغاذاج انتشار هذه الطرائق متناظرة بمعنى أنها تعامل المطرافين الراديويين عند طرفي المسير بنفس الأسلوب. فمن منظور النموذج، لا يهم أي من المطرافين هو المرسل وأيهم هو المستقبل. لذا، يستعمل مصطلحاً "المحطة 1" و"المحطة 2" للدلالة على المطرافين عند بدء ونهاية مسیر الانتشار على التوالي.

2. بيئات التشغيل المادية وتعريف أنماط الخلايا

2

تصنف البيئات الموصوفة في هذه التوصية من حيث انتشار الموجات الراديوية فقط. وتتأثر الموجات الراديوية بالبيئة، أي بجياكل المبني وارتفاعها وباستعمال المطارات المتنقلة (مشاة أو مركبات) وبموقع الهوائيات. وقد تم تحديد خمس بيئات مختلفة باعتبارها أكثر البيئات خطية. 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 نبذة كل حالة ممكناً، وإنما وضع نماذج الانتشار التي تمثل البيئات الأكثر شيوعاً.

الجدول 1

بيئات التشغيل المادية - حالات الانخراط المرتبطة بظواهر الانتشار

البيئة	الوصف وحالات الانخراط المرتبطة بظواهر الانتشار ذات الأهمية
مناطق حضرية ذات مبان شاهقة	<ul style="list-style-type: none"> - أخايد حضرية عميقه مزدحمة، شوارع منحصرة بين مبان عالية الكثافة تتكون من بضع عشرات من الطوابق - مباني ونطحات سحاب بكثافة عالية تتدخل فيما بينها وينتاج عنها مسارات انتشار عالية الانتشار في غير خط البصر - صفوف من المبني متعددة الطوابق تطرح احتمال استطالة وقت الانتشار - كثافة مزدحمة كثيرة للمركبات وزيادة معدلات تدفق الزوار في المنطقة يجعل من هذه المركبات وهؤلاء الزوار يعملون كعواكس مما يزيد من الإزاحة الدوبلرية للموجات المتعكسة - أشجار على جانبي الشوارع توفر دينامية للحجب
مناطق حضرية ذات مبان عالية الارتفاع	<ul style="list-style-type: none"> - "الأخايد الحضرية" أي الشوارع المنحصرة بين مبان من عدة طوابق - قلة احتمال الانتشار فوق سطح المبني بسبب ارتفاعها - احتمال استطالة وقت الانتشار بسبب صفوف المبني العالية - العربات العديدة المتنقلة في المنطقة تكون بمثابة عوائق تعكس الموجات مضيفة بذلك إزاحة دوبلرية إلى الموجات المتعكسة
مناطق حضرية ذات مبان منخفضة الارتفاع/مناطق شبه حضرية	<ul style="list-style-type: none"> - احتمال الانزاج فوق سطح المبني 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
مناطق سكنية	<ul style="list-style-type: none"> - منازل بطيق واحد أو اثنين - شوارع ذات اتجاهين عموماً مع وقوف سيارات على الجانبين - احتمال وجود أشجار كثيفة الأوراق إلى حد ما - حركة سير حقيقة عادة
مناطق ريفية	<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 بيئه من هذه البيئات الخمس. وبالتالي يقسم المستعملون إلى مشاة وعربات. وتحتختلف سرعة الهاتف المتنقل اختلافاً كبيراً بالنسبة إلى هذين التطبيقيين 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 (m/s)
مناطق حضرية ذات مبان شاهقة / مناطق حضرية ذات مبان عالية الارتفاع	1,5	سرعة نموذجية في وسط المدينة حوالي 50 km في الساعة (m/s 14)
مناطق حضرية ذات مبان منخفضة الارتفاع / مناطق شبه حضرية	1,5	حوالي 50 km في الساعة (m/s 14) طرق سريعة حتى 100 km في الساعة (m/s 28)
مناطق سكنية	1,5	حوالي 40 km في الساعة (m/s 11)
مناطق ريفية	1,5	(m/s 28-22) km 100-80 في الساعة

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

الجدول 3

تعريف أنماط الخلية

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

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

3 فئات المسيرات

1.3 تعريف حالات الانتشار

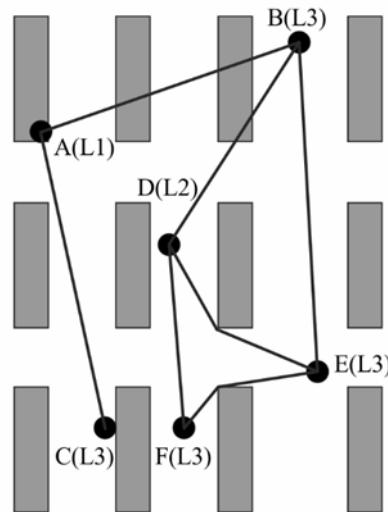
ينظر في ثلاث مستويات بالنسبة لموقع المخطة في هذه التوصية. وهي 1) فوق قمة السطح (يرمز إليه بالرمز L1 في الشكل 1)؛ و 2) تحت قمة السطح ولكن فوق قمة المبني (L2)؛ و 3) عند قمة المبني أو تحتها (L3). وإنجلاً، يمكن النظر في ستة أنواع مختلفة من الوصلات حسب موقع المخططات، كل منها قد يكون على خط البصر أو خارج خط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

ويوضح الشكل 1 حالات الانتشار النمطية في المناطق الحضرية وشبه الحضرية. وعندما ترکب مخطة (A) فوق قمة السطح ومخطة أخرى (B أو C) عند قمة المبني، 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 المخططين A و B عادة فوق قمم الأسطح. وعندما ترکب مخطة (D) تحت قمة السطح ولكن فوق قمة المبني، ومخطة أخرى (E أو F) عند قمة المبني في بيئة حضرية أو شبه حضرية، تكون الخلية المقابلة إما بيئة خلية صغيرة أو بيئة خلية متاهية الصغر. ويتم الانتشار في أنماط الخلية هذه داخل "أحاديد الشوارع". وبالنسبة إلى الوصلات بين الهواتف المتنقلة، يمكن افتراض وقوع طرف الوصلة عند قمة المبني. 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)

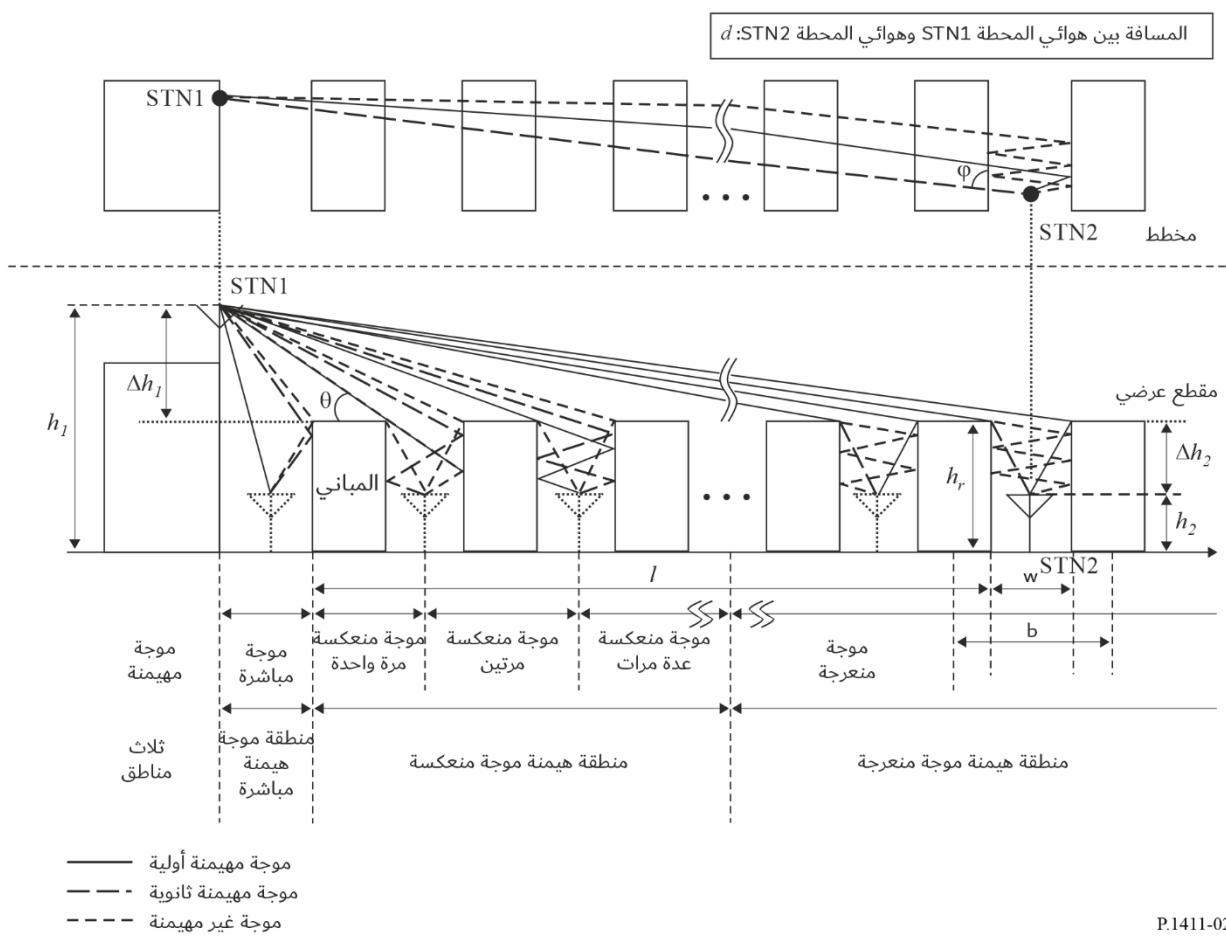
يوضح الشكل 2 الحالة النموذجية للانتشار خارج خط البصر (الوصلة بين A و B في الشكل 1) وتسمى فيما يلي الحالة NLoS1.

الشكل 1
حالات الانتشار النموذجية في المناطق الحضرية



P.1411-01

الشكل 2
تعريف معلمات الحالة NLoS1



P.1411-02

المعلمات المتصلة بهذه الحالة هي كالتالي:

متوسط ارتفاع المباني (m)	$: h_r$
عرض الشارع (m)	$: w$
متوسط المسافة بين المباني (m)	$: b$
اتجاه الشارع بالنسبة إلى المسير المباشر (بالدرجات)	$: \varphi$
ارتفاع هوائي المخطة 1 (m)	$: h_1$
ارتفاع هوائي المخطة 2 (m)	$: h_2$
طول المسير الذي تغطيه المباني (m)	$: l$
المسافة بين المخطة 1 والمخطة 2.	$: d$

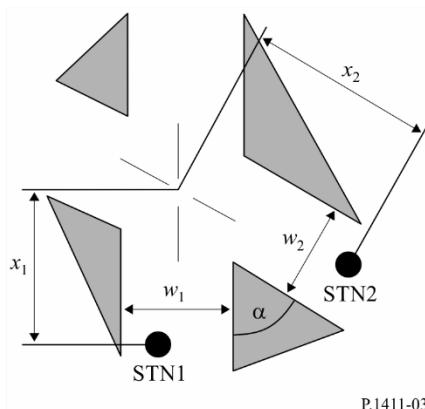
تصادف الحالة NLoS1 غالباً في البيئات السكنية/الريفية فيما يتعلق بجميع أنماط الخلايا وتكون هذه الحالة مهيمنة في البيئات الحضرية/شبه الحضرية منخفضة المباني فيما يتعلق بالخلايا الموسعة. ويمكن حساب المعلمات h_r و b و l من البيانات المتصلة بالمباني الموجودة على امتداد الخط الواصل بين الهوائيات، ولكن تحديد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

2.1.3 الانتشار على امتداد الأخدود الحضرية، NLoS

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

الشكل 3

تعريف معلمات الحالة NLoS2



المعلمات المتصلة بهذه الحالة هي كالتالي:

عرض الشارع عند موقع المخطة 1 (m)	$: w_1$
عرض الشارع عند موقع المخطة 2 (m)	$: w_2$
المسافة بين المخطة 1 وتقاطع الطرق (m)	$: x_1$
المسافة بين المخطة 2 وتقاطع الطرق (m)	$: x_2$
زاوية تقاطع الطرق (rad).	$: \alpha$

الحالة NLoS2 هي نقط 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 الصغرية والخلايا الدقيقة. ويجب إجراء تحليل ثنائي الأبعاد للمنطقة المحيطة بالهاتف المتنقل لتحديد جميع المعلمات المقابلة للحالة NLoS2.

3.1.3 مسیرات 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 مسیرات خط البصر.

2.3 البيانات الالزمه

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

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

وعكن أن تكون أنساق البيانات من نقط المصفوفات أو المتجهات. وينبغي أن تكون دقة البيانات المتوجهة فيما يتعلق بموقع المطبات في حدود 1 إلى 2 m. وتكون الاستبابة الموصى بها للبيانات من نقط المصفوفة 1 إلى 10 m. وينبغي أن تكون دقة الارتفاع لكلا نسقي البيانات في حدود 1 إلى 2 m.

وفي غياب البيانات عالية الاستبابة، يوصى باستعمال بيانات استخدام الأرضي الأقل استبابة (50 m) واعتماداً على تعريف فئات استخدام الأرضي (الحضرية الكثيفة، والحضرية، وشبه الحضرية، إلخ). يمكن عزو المعلمات الالزمه إلى هذه الفئات المختلفة. كما يمكن استعمال هذه البيانات بالاقتران مع معلومات متوجهة عن الشوارع لحساب زوايا اتجاه الشوارع.

4 نماذج الخسارة الأساسية للإرسال

يمكن تطبيق خوارزميات مغلقة فيما يتعلق بالسيناريوهات النموذجية في المناطق الحضرية. وعكن استعمال نماذج الانتشار هذه لإجراء الحسابات المتصلة بموقع محدد أو بأي موقع عموماً. وتعرف الفقرة 1.3 حالات الانتشار المقابلة. وقد يعتمد نقط النموذج الذي يراد تطبيقه أيضاً على مدى التردد، من قبيل UHF و SHF و EHF (الموجات المليتمترية). وفي الحسابات الخاصة بموقع معينة، يجب تطبيق نماذج مختلفة بالنسبة إلى الانتشار بالموجات الديسيمترية (UHF) أو الانتشار بالموجات المليتمترية. وفي حالة الانتشار بالموجات الديسيمترية تؤخذ في الاعتبار حالات الانتشار NLoS و LoS. وفي حالة الانتشار بالموجات المليتمترية، لا يُنظر إلا في حالة الانتشار LoS. وفضلاً عن ذلك، ينبغي أن تؤخذ بعين الاعتبار ظواهر التوهين الإضافي بسبب الأوكسجين والماء الجوي في مدى التردد للموجات المليتمترية.

1.4 نماذج الانتشار في "الأخاديد" الحضرية

1.1.4 نموذج الموقع العام

ينطبق نموذج الموقع العام هذا على الحالات التي تقع فيها محطات الإرسال والاستقبال تحت قمة السطح، بغض النظر عن ارتفاعات الهوائي. ونعطي خسارة الإرسال الأساسية المتوسطة بالمعادلة التالية:

$$(1) \quad L_b(d, f) = 10\alpha \log_{10}(d) + \beta + 10\gamma \log_{10}(f) \quad \text{dB}$$

مع متغير عشوائي غولي $N(0, \sigma)$ متوسطه صفر بانحراف معياري σ (dB)،

حيث:

d : المسافة المباشرة ثلاثة الأبعاد بين محطي الإرسال والاستقبال (m)

f : تردد التشغيل (GHz)

α : معامل مرتبط بزيادة خسارة الإرسال الأساسية مع المسافة

β : معامل مرتبط بقيمة تناقض خسارة الإرسال الأساسية

γ : معامل مرتبط بزيادة خسارة الإرسال الأساسية مع التردد

فيما يخص حاكمة مونتي كارلو المتعلقة بالبيئات الحضرية/شبه الحضرية العالية والمنخفضة المبنية، فإن خسارة الإرسال الأساسية الإضافية بالنسبة إلى خسارة الإرسال الأساسية في الفضاء الحر، L_{FS} ، لن تتجاوز $(1 + 10^{0.1A} \log_{10}(10) \text{ dB})$ حيث A هو متغير عشوائي توزيع اسعي $N(\mu, \sigma)$ ، $L_b(d, f) = L_{FS} + 20 \log_{10}(4 \times 10^9 \pi d f / c)$ ، و c هي سرعة الضوء بالأمتار في الثانية.

وتركز في الجدول 4 القيم الموصى بها لحالات الانتشار تحت قمة السطح في خط النظر (مثل D-F في الشكل 1) وخارج خط النظر (مثل D-E في الشكل 1) التي مستخدمة في البيئات الحضرية وشبه الحضرية.

الجدول 4

معاملات الخسارة الأساسية للإرسال فيما يخص الانتشار تحت قمة السطح

σ	γ	β	α	LoS/NLoS	نطاق البيئة	مدى المسافات (m)	مدى الترددات (GHz)
⁽¹⁾ 4,91	⁽¹⁾ 2,06	⁽¹⁾ 31,23	⁽¹⁾ 2,07	LoS	حضرية ذات مبان عالية الارتفاع، حضرية ذات مبان منخفضة الارتفاع/شبه حضرية	660-5	300-0,45
⁽²⁾ 7,62	⁽²⁾ 2,26	⁽²⁾ 16,02	⁽²⁾ 3,73	NLoS	حضرية ذات مبان عالية الارتفاع	715-20	159-0,8
⁽³⁾ 8,02	⁽³⁾ 2,14	⁽³⁾ 6,04	⁽¹⁾ 4,52	NLoS	حضرية ذات مبان منخفضة الارتفاع/شبه حضرية	250-10	255-0,45
3,07	2,07	18,8	3,01	NLoS	سكنية	170-30	73-0,8

⁽¹⁾ يوصى باستخدام هذه القيم على مسافات تصل إلى 500 m لمدى الترددات $159 \text{ GHz} < f \leq 255 \text{ GHz}$ ، و 250 m لمدى الترددات $255 \text{ GHz} < f \leq 300 \text{ GHz}$ و 155 m لمدى الترددات $f < 159 \text{ GHz}$.

⁽²⁾ يوصى باستخدام هذه القيم على مسافات تصل إلى 150 m لمدى الترددات $159 \text{ GHz} < f \leq 255 \text{ GHz}$ و 82 GHz لمدى الترددات $f < 159 \text{ GHz}$.

⁽³⁾ يوصى باستخدام هذه القيم على مسافات تصل إلى 150 m لمدى الترددات $159 \text{ GHz} < f \leq 255 \text{ GHz}$ و 80 m لمدى الترددات $f < 159 \text{ GHz}$.

2.1.4 النموذج الخاص بموقع معين في حالة خط البصر

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

الانتشار بال WAVES ديسيمترية

يمكن أن تتميز الخسارة الأساسية للإرسال في مدى التردد بال WAVES ديسيمترية المعروفة في التوصية ITU-R P.341 بمليين نقطة قطع واحدة. ويعطى حد منخفض تقريري $L_{LoS,l}$ بالصيغة التالية:

$$(2) \quad L_{LoS,l} = L_{bp} + \begin{cases} 20 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{for } d \leq R_{bp} \\ 40 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{for } d > R_{bp} \end{cases}$$

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

$$(3) \quad R_{bp} \approx \frac{4h_1h_2}{\lambda}$$

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

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

$$(4) \quad L_{LoS,u} = L_{bp} + 20 + \begin{cases} 25 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{for } d \leq R_{bp} \\ 40 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{for } d > R_{bp} \end{cases}$$

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

$$(5) \quad L_{bp} = \left| 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda^2}{8\pi h_1 h_2} \right) \right|$$

ويبلغ هامش الخطأ في الحد الأعلى 20 dB. وفي المعادلة (4)، يثبت معامل التوهين قبل نقطة القطع على القيمة 2,5 لأن المسافة القصيرة تفضي إلى أثر ضعيف للظل.

ووفقاً لمنحي الخسارة الأساسية للإرسال في الفضاء الحر، تنتج القيمة المتوسطة $L_{LoS,m}$ باستعمال المعادلة:

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

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 الفعال للطريق يؤثر وبالتالي على مسافة نقطة قطع الميل. وقدر هذه المسافة R_{bp} بالمعادلة التالية:

$$(7) \quad R_{bp} = 4 \frac{(h_1 - h_s)(h_2 - h_s)}{\lambda}$$

حيث h_s هو الارتفاع الفعال للطريق نتيجة الأشياء الموجودة كالسيارات والأشخاص الموجودين على مقربة من الطريق. ولذا تعتمد h_s على حركة السير. وستخلص قيم h_s المبينة في الجدولين 5 و 6 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 m بما في ذلك 6 m لكل من رصيفي الطريق.

الجدول 5

الارتفاع الفعال للطريق، h_s (حركة سير كثيفة)

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

(1) نقطة قطع الميل أبعد من 1 km.

(2) لا توجد أي نقطة قطع.

الجدول 6

الارتفاع الفعال للطريق، h_s (حركة سير خفيفة)

h_s (m)		h_1 (m)	التردد (GHz)
$1,6 = h_2$	$2,7 = h_2$		
0,23 (1)	0,59 (1)	4	3,35
0,43 (1)	(2)	4	
0,74 (1)	(2)	4	8,45
		8	
		8	15,75
		8	

(1) لم يجر أي قياس.

(2) نقطة قطع الميل أبعد من 1 km.

عندما يكون $h_1 < h_s < h_2$ ، يمكن حساب القيم التقريرية للحدود العليا والدنيا للخسارة الأساسية للإرسال في نطاق الترددات على الموجات السنتيمترية باستعمال المعادلين (2) و (4) حيث تعطى القيمة L_{bp} بالصيغة التالية:

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

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

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

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

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

تعرف الخسارة الأساسية للإرسال L_s كالتالي:

$$(11) \quad L_s = \left| 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{2\pi R_s} \right) \right|$$

وقد تم تحديد قيمة 20 m للقيمة R_s تجريبياً في المعادلات من (9) إلى (11).

وبناءً على القياسات، تنتج القيمة المتوسطة باستعمال المعادلة:

$$(12) \quad L_{LoS,m} = L_s + 6 + 30 \log_{10} \left(\frac{d}{R_s} \right)$$

انتشار الموجات المليمترية

عند الترددات التي تفوق 10 GHz تكون المسافة التي تقع عندها نقطة قطع الميل R_{bp} في المعادلة (3) أبعد بكثير من نصف القطر الأقصى المتوقع للخلية (500 m). وهذا يعني عدم انطباق أي قانون أسي 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 2,2-1,9.

وبالهوايات الاتجاهية، تعطى الخسارة الأساسية للإرسال عندما يكون تسديد الهوايات على استقامة واحدة كما يلي:

$$(13) \quad L_{LOS} = L_0 + 10n \log_{10} \frac{d}{d_0} + L_{gas} + L_{rain} \quad \text{dB}$$

حيث:

n : أس الخسارة الأساسية للإرسال

d : المسافة بين المخطة 1 والخطة 2

L_0 : الخسارة الأساسية للإرسال على المسافة المرجعية d_0 .

وبالنسبة للمسافة المرجعية d_0 البالغة 1 m، وعلى افتراض الانتشار في الفضاء الحر $L_0 = 20 \log_{10} f - 28$ حيث وحدة التردد f هي MHz. و L_{rain} و L_{gas} هما التوهين الناتج عن غازات الغلاف الجوي والمطر ويمكن حسابهما بالاستناد إلى التوصيتين ITU-R P.676 وITU-R P.530 على التوالي.

وترد قيم أس الخسارة الأساسية للإرسال n في الجدول 7.

الجدول 7

معاملات الخسارة الأساسية الاتجاهية للإرسال فيما يخص انتشار الموجات المليمترية

أس الخسارة الأساسية للإرسال n	عرض حزمة نصف القدرة (درجات)			نط البيئة	التردد (GHz)
	Rx	هوائي الاستقبال Tx	هوائي الإرسال		
2,21	10	30	30	حضرية ذات مبان شاهقة	28
2,06	10	30	30	حضرية ذات مبان منخفضة الارتفاع	
1,9	15,4	15,4	15,4	حضرية ذات مبان منخفضة الارتفاع	60

3.1.4 النموذج الخاص بموقع معين في الحالات خارج خط البصر

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

1.3.1.4 مدى الترددات من 800 إلى 2 000 MHz

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

$$(14) \quad L_{NLOS2} = 10 \log_{10} (10^{-L_r/10} + 10^{-L_d/10}) \quad \text{dB}$$

حيث:

L_r : خسارة الانعكاس معرفة كالتالي:

$$(15) \quad L_r = 20 \log_{10} (x_1 + x_2) + x_1 x_2 \frac{f(\alpha)}{w_1 w_2} + 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{\lambda} \right) \quad \text{dB}$$

حيث:

$$(16) \quad f(\alpha) = \frac{3,86}{\alpha^{3,5}} \quad \text{dB}$$

حيث: $\pi < \alpha < 0,6$ [دائرى]

L_d : معدل خسارة الانعراج معرفة كالتالي:

$$(17) \quad L_d = 10 \log_{10} [x_1 x_2 (x_1 + x_2)] + 2D_a - 0.1 \left(90 - \alpha \frac{180}{\pi} \right) + 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{\lambda} \right) \quad \text{dB}$$

$$(18) \quad D_a = \left(\frac{40}{2\pi} \right) \left[\arctan \left(\frac{x_2}{w_2} \right) + \arctan \left(\frac{x_1}{w_1} \right) - \frac{\pi}{2} \right] \quad \text{dB}$$

2.3.1.4 مدی الترددات من 2 إلى 38 GHz

يجري اشتراق نموذج الانتشار من أجل حالات NLoS2 كما جاء وصفها في الفقرة 2.1.3. عندما تكون زاوية المنعطف $\alpha = \pi/2$ كما في حالات NLoS. على أساس القياسات في مدی تردد من 2 إلى 38 GHz حيث $h_1 > h_2$ و $w_1 > w_2$ تصل حتى 10 أمتار (أو رصيف الطريق). يمكن تقسيم خصائص الخسارة الأساسية للإرسال إلى القسمين: منطقة خسارة المنعطف ومنطقة خسارة NLoS. ومتند منطقة خسارة المنعطف لمسافة d_{corner} من النقطة دون حافة شارع LoS بمقدار متر واحد داخل شارع NLoS. ويعبر عن خسارة المنعطف (L_{corner}) بوصفها التوهين الإضافي على امتداد المسافة d_{corner} . 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 و w_2 ، كما يبدو في الشكل 3، يحتسب إجمالي الخسارة الأساسية للإرسال (L_{NLoS2}) بعد منطقة المنعطف ($x_2 > w_1/2 + 1$) كما يلي:

$$(19) \quad L_{NLoS2} = L_{LoS} + L_s + L_{att}$$

$$(20) \quad L_c = \begin{cases} \frac{L_{corner}}{\log_{10}(1+d_{corner})} \log_{10}(x_2 - w_1/2) & w_1/2 + 1 < x_2 \leq w_1/2 + 1 + d_{corner} \\ L_{corner} & x_2 > w_1/2 + 1 + d_{corner} \end{cases}$$

$$(21) \quad L_{att} = \begin{cases} 10\beta \log_{10} \left(\frac{x_1 + x_2}{x_1 + w_1/2 + d_{corner}} \right) & x_2 > w_1/2 + 1 + d_{corner} \\ 0 & x_2 \leq w_1/2 + 1 + d_{corner} \end{cases}$$

حيث L_{LoS} الخسارة الأساسية للإرسال في الشارع LoS عندما تكون $x_1 < 20$ m كما جرى حسابها في الفقرة 2.1.4. وفي المعادلة (20) تعطى L_{corner} على أنها 20 dB في بيئة حضرية و 30 dB في بيئة سكنية، وتكون d_{corner} في البيئتين 30 m.

وفي المعادلة (21)، $\beta = 6$ في البيئتين الحضرية والسكنية للمباني ذات الشكل المنشوري في أربع زوايا من التقاطع كما هو موضح في الحالة (1) من الشكل 5. وتحسب β بالمعادلة (22) إذا كان مبني معين مشطوباً عند التقاطع في البيئات الحضرية كما هو موضح في الحالة (2) من الشكل 5. ونظراً لأن مسارات الانعكاس المرأوي من المباني ذات الشكل المنشطوب تؤثر تأثيراً كبيراً على الخسارة

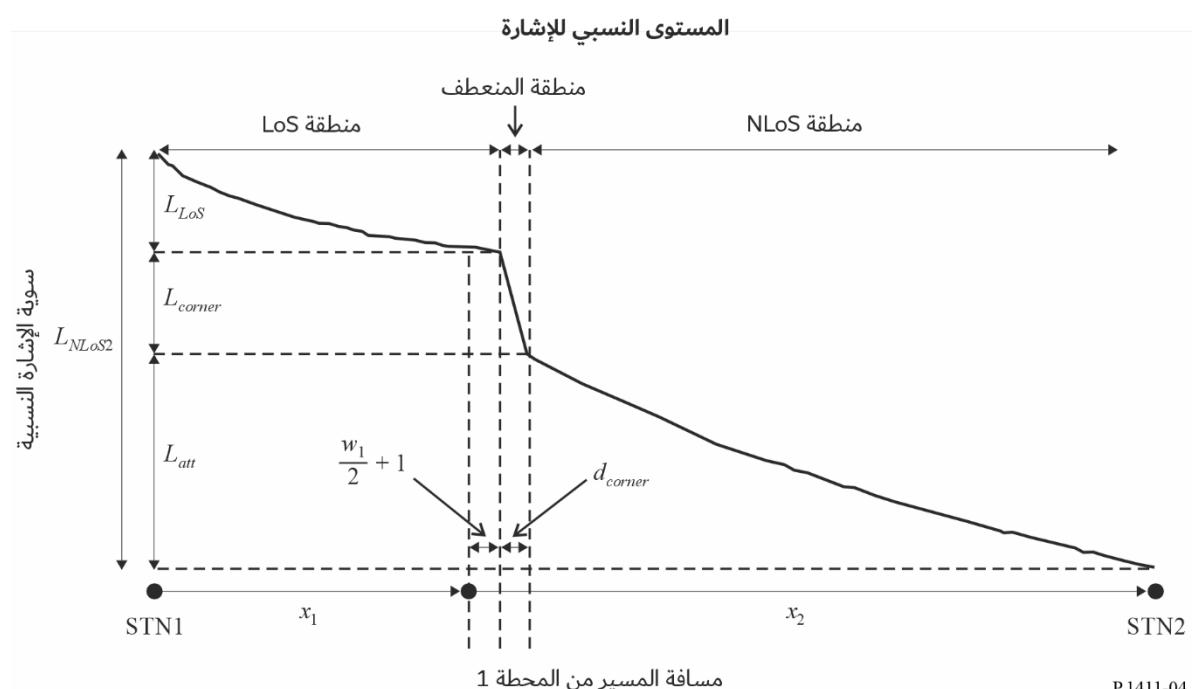
الأساسية للإرسال في منطقة خارج خط البصر (NLoS)، فإن الخسارة الأساسية للإرسال في الحالة (2) تختلف عن الخسارة في الحالة (1).

$$(22) \quad \beta = 4,2 + (1,4 \log_{10} f - 7,8)(0,8 \log_{10} x_1 - 1,0)$$

حيث f هو التردد بوحدة MHz.

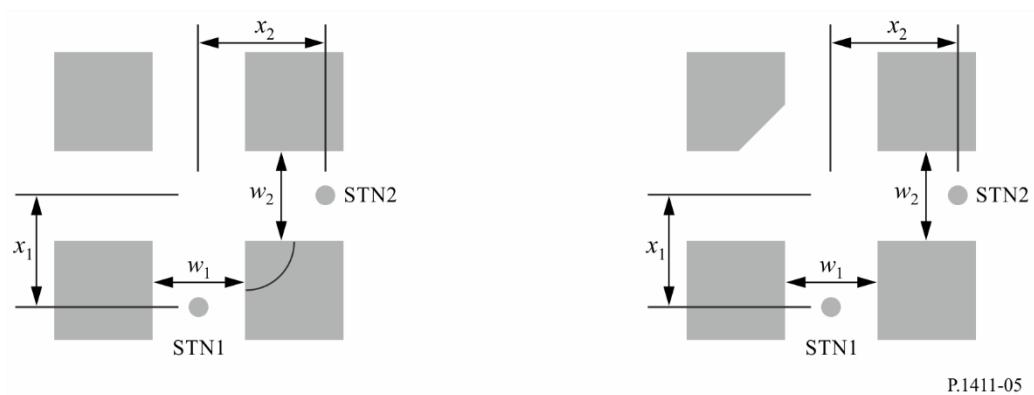
الشكل 4

الاتجاه النموذجي للانتشار في أحاديد الشوارع عندما تكون المحطة القاعدة منخفضة ولدى تردد من 2 إلى 38 GHz



الشكل 5

الحالة (1) مخطط المباني ذات الشكل المنشوري
والحالة (2) مخطط مبني ذو شكل مشطو



وفي البيئة السكنية، لا تزداد الخسارة الأساسية للإرسال على نفس الوتيرة بازدياد المسافة، ولذا قد تكون معلمـة المعامل أدنـى من قيمتها في البيئة الحضرية نظـراً لوجود الأزقة والثـغرـات بين المنازل.

وـعندـما يـكون هـوـائي المـحـطة القـاعـدة مـرـتفـعاً في خـلـيـة كـبـيرـة صـغـيرـة تكون آثار الانـعـرـاج فوق قـمـم أـسـطـح المـبـانـي أـكـبـرـ. وـمـنـ ثـمـ، فـإـنـ خـصـائـصـ الـاـنـتـشـار لا تـنـوـقـفـ على خـسـارـةـ الـانـعـطـافـ.

2.4 نماذج حالات الانتشار فوق قمم الأسطح

1.2.4 نموذج الموقع العام

ينطبق نموذج الموقع العام هذا على الحالات التي تقع فيها إحدى المـحطـات فوق قـمـة السـطـح وـتـقـعـ المـحـطةـ الأـخـرـى تحتـ قـمـةـ السـطـحـ، بـغـضـ النـظـرـ عنـ اـرـتفـاعـيـ هـوـائيـهـماـ. ويـقـدـمـ نـمـوـذـجـ المـوـقـعـ الـعـامـ بـنـفـسـ المـعـادـلـةـ (1)ـ المـوـصـوـفـةـ لـنـمـوـذـجـ المـوـقـعـ الـعـامـ لـلـاـنـتـشـارـ تحتـ قـمـةـ السـطـحـ (ـضـمـنـ أـخـادـيـدـ الشـوـارـعـ).

وـتـرـدـ فيـ الجـدـولـ 8ـ الـقـيـمـ المـوـصـيـ بـهـاـ حـالـاتـ الـاـنـتـشـارـ فوقـ قـمـةـ السـطـحـ فيـ خـطـ النـظـرـ (ـمـثـلـ Cـ فيـ الشـكـلـ 1ـ)ـ وـخـارـجـ خـطـ النـظـرـ (ـمـثـلـ A-Bـ فيـ الشـكـلـ 1ـ)ـ الـتـيـ سـتـسـتـخـدـمـ فيـ الـبـيـئـاتـ الـحـضـرـيـةـ وـشـبـهـ الـحـضـرـيـةـ.

الجدول 8

معاملات الخسارة الأساسية للإرسال فيما يخص الانتشار فوق قمة السطح

σ	γ	β	α	LoS/NLoS	نـطـقـ الـبـيـئـةـ	مـدىـ المـسـافـةـ (m)	مـدىـ التـرـددـ (GHz)
3,48	1,96	28,6	2,29	LoS	حضرـيةـ ذاتـ مـيـانـ عـالـيـةـ الـاـرـتفـاعـ، حضرـيةـ ذاتـ مـيـانـ مـنـخـفـضـةـ الـاـرـتفـاعـ/ـشـبـهـ الـحـضـرـيـةـ	1 200-55	73-2,2
6,89	2,30	6,27-	4,39	NLoS	حضرـيةـ ذاتـ مـيـانـ عـالـيـةـ الـاـرـتفـاعـ	1 200-260	66,5-2,2

2.2.4 النموذج الخاص بموقع معين

في حالة الانتشار NLoS يمكن أن تصل الإشارات إلى المـحـطةـ بـآلـيـاتـ الـانـعـرـاجـ أوـ بـتـعـدـدـ الـمـسـيـرـاتـ الـتـيـ قدـ تـجـمـعـ بـيـنـ آلـيـاتـ الـانـعـرـاجـ وـالـانـعـكـاسـ. ويـتـنـاـولـ هـذـاـ فـرـعـ نـمـاـذـجـ تـتـعـلـقـ بـآلـيـاتـ الـانـعـرـاجـ.

الـاـنـتـشـارـ فـيـ مـنـطـقـةـ حـضـرـيـةـ

تـعـرـفـ نـمـاـذـجـ لـلـمـسـيـرـينـ مـنـ (h₁)ـ Aـ إـلـىـ (h₂)ـ Bـ وـمـنـ (h₁)ـ Dـ إـلـىـ (h₂)ـ Bـ عـلـىـ النـحـوـ الـمـبـينـ فـيـ الشـكـلـ 1ـ.ـ وـالـنـمـاـذـجـ صـالـحةـ لـمـاـ يـلـيـ:

$$m 4 \text{ إلى } 55 : h_1$$

$$m 1 \text{ إلى } 3 : h_2$$

$$MHz 26 000 \text{ إلى } 800 : f$$

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

$$.m 5 000 \text{ إلى } 20 : d$$

(يـلـاحـظـ أـنـهـ عـلـىـ الرـغـمـ مـنـ أـنـ النـمـوـذـجـ صـالـحـ حـتـىـ 5ـ kmـ،ـ إـنـ هـذـهـ التـوـصـيـةـ مـعـدـةـ لـمـسـافـاتـ لـاـ تـتـجـاـوزـ 1ـ kmـ).

الـاـنـتـشـارـ فـيـ مـنـطـقـةـ شـبـهـ حـضـرـيـةـ

تـعـرـفـ النـمـوـذـجـ لـلـمـسـيـرـ منـ Aـ إـلـىـ (h₁)ـ Bـ الـمـبـينـ فـيـ الشـكـلـ 1ـ وـالـنـمـاـذـجـ صـالـحةـ لـمـاـ يـلـيـ:

$$أـيـ اـرـتفـاعـ بـالـأـمـتـارـ : h_r$$

$m 100$	1 إلى 100	Δh_1
$m (h_r)$	4 إلى 10 (أقل من h_r)	Δh_2
$m \Delta h_1 + h_r$		h_1
$m \Delta h_2 - h_r$		h_2
	GHz 38 إلى 0,8	f
	m 25 إلى 10	w
.m 5 000	10 إلى 1	d

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

لا تؤخذ تغطية الإشارة في الموجات المليمترية في الاعتبار إلا في حالات الانعكاس على خط البصر (LoS) وخارج خط البصر (NLoS) وذلك لارتفاع خسائر الانتعاج حيث يجعل العوائق من مسیر الانتشار خارج خط البصر (NLoS). وفي هذه الأحوال NLoS تكون انعكاسات تعدد المسيرات والانتشار الطريقة الأرجح استخداماً لانتشار الإشارة. وتسرى مديات التردد (f) التي تصل إلى 26 GHz و 38 GHz والقابلة للتطبيق، على التوالي، على نماذج الانتشار في منطقة حضرية وشبه حضرية (الفقرتان 1.2.2.4 و 1.2.2.4).

1.2.2.4 المنطقة الحضرية

يكون نموذج الانتشار بالانتعاج الناتج عن الحجب المتعدد الوارد فيما يلي صالحًا إذا كانت سطوح المباني متزاوية الارتفاع تقريبًا. وبافتراض أن ارتفاع سطوح المباني لا يختلف إلا بقيمة أدنى من نصف قطر منطقة فريلن على مسیر طوله 1 (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 بالانتعاج على حد السكين (انظر التوصية ITU-R P.526) بدلاً من نموذج الحجب المتعدد.

وعندما تكون سطوح المباني متماثلة الارتفاع في النموذج المقترن لحساب خسارة الإرسال في حالة NLoS1 (انظر الشكل 2) تساوي الخسارة بين الموجات المتناثحة مجموع الخسارة الأساسية للإرسال في الفضاء الحر L_{bf} والتوهين بالانتعاج بين السطوح والشارع L_{rts} والانخفاض الناتج عن الانتعاج بسبب تأثير الحجب المتعدد عبر مختلف صفوف المباني L_{msd} .

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

$$(23) \quad L_{NLoS1} = \begin{cases} L_{bf} + L_{rts} + L_{msd} & \text{for } L_{rts} + L_{msd} > 0 \\ L_{bf} & \text{for } L_{rts} + L_{msd} \leq 0 \end{cases}$$

وتعطى الخسارة الأساسية للإرسال في الفضاء الحر بالمعادلة التالية:

$$(24) \quad L_{bf} = 324 + 20 \log_{10}(d/1\,000) + 20 \log_{10}(f)$$

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 المخطة المتنقلة. وهو يراعي عرض الشارع واتجاه محوره.

$$(25) \quad L_{rts} = -8.2 - 10 \log_{10}(w) + 10 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(\Delta h_2) + L_{ori}$$

$$(26) \quad L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354\varphi & \text{for } 0^\circ \leq \varphi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\varphi - 35) & \text{for } 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114(\varphi - 55) & \text{for } 55^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ \end{cases}$$

حيث:

$$(27) \quad \Delta h_2 = h_r - h_2$$

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 التوهي بالانعراج بسبب الحجب المتعدد من المخطة القاعدة الناتج عن الانتشار عبر صفوف المباني على الارتفاع النسبي لهائي المخطة القاعدة بالنسبة إلى ارتفاع المباني وعلى زاوية الورود. ومعيار الورود التماسي هو معيار "مسافة الاستقرار" d_s :

$$(28) \quad d_s = \frac{\lambda d^2}{\Delta h_1^2}$$

حيث (انظر الشكل 2):

$$(29) \quad \Delta h_1 = h_1 - h_r$$

ولحساب L_{msd} تقارن d_s بمسافة l التي تعطيها 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:

$$(30) \quad L_{msd} = \begin{cases} -\tanh\left(\frac{\log(d) - \log(d_{bp})}{\chi}\right) \cdot (L1_{msd}(d) - L_{mid}) + L_{mid} & \text{for } l > d_s \text{ and } dh_{bp} > 0 \\ \tanh\left(\frac{\log(d) - \log(d_{bp})}{\chi}\right) \cdot (L2_{msd}(d) - L_{mid}) + L_{mid} & \text{for } l \leq d_s \text{ and } dh_{bp} > 0 \\ L2_{msd}(d) & \text{for } dh_{bp} = 0 \\ L1_{msd}(d) - \tanh\left(\frac{\log(d) - \log(d_{bp})}{\zeta}\right) \cdot (L_{upp} - L_{mid}) - L_{upp} + L_{mid} & \text{for } l > d_s \text{ and } dh_{bp} < 0 \\ L2_{msd}(d) + \tanh\left(\frac{\log(d) - \log(d_{bp})}{\zeta}\right) \cdot (L_{mid} - L_{low}) + L_{mid} - L_{low} & \text{for } l \leq d_s \text{ and } dh_{bp} < 0 \end{cases}$$

حيث:

$$(31) \quad dh_{bp} = L_{upp} - L_{low}$$

$$(32) \quad \zeta = (L_{upp} - L_{low}) \cdot v$$

$$(33) \quad L_{mid} = \frac{(L_{upp} + L_{low})}{2}$$

$$(34) \quad L_{upp} = L1_{msd}(d_{bp})$$

$$(35) \quad L_{low} = L2_{msd}(d_{bp})$$

٦

$$(36) \quad d_{bp} = |\Delta h_1| \sqrt{\frac{1}{\lambda}}$$

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

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

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

حساب $l > d_s$ من أجل $L1_{msd}$

(يلاحظ أن هذا الحساب أكثر دقة عندما تكون $d_s < l$)

$$(37) \quad L1_{msd}(d) = L_{bsh} + k_a + k_d \log_{10}(d/1\,000) + k_f \log_{10}(f) - 9 \log_{10}(b)$$

حيث:

$$(38) \quad L_{bsh} = \begin{cases} -18 \log_{10}(1 + \Delta h_1) & \text{for } h_1 > h_r \\ 0 & \text{for } h_1 \leq h_r \end{cases}$$

حد الخسارة ويعتمد على ارتفاع الموائي:

$$(39) \quad k_a = \begin{cases} 71,4 & \text{for } h_1 > h_r \text{ and } f > 2\,000 \text{ MHz} \\ 73 - 0,8\Delta h_1 & \text{for } h_1 \leq h_r, f > 2\,000 \text{ MHz and } d \geq 500 \text{ m} \\ 73 - 1,6\Delta h_1 d / 1\,000 & \text{for } h_1 \leq h_r, f > 2\,000 \text{ MHz and } d < 500 \text{ m} \\ 54 & \text{for } h_1 > h_r \text{ and } f \leq 2\,000 \text{ MHz} \\ 54 - 0,8\Delta h_1 & \text{for } h_1 \leq h_r, f \leq 2\,000 \text{ MHz and } d \geq 500 \text{ m} \\ 54 - 1,6\Delta h_1 d / 1\,000 & \text{for } h_1 \leq h_r, f \leq 2\,000 \text{ MHz and } d < 500 \text{ m} \end{cases}$$

$$(40) \quad k_d = \begin{cases} 18 & \text{for } h_1 > h_r \\ 18 - 15 \frac{\Delta h_1}{h_r} & \text{for } h_1 \leq h_r \end{cases}$$

$$(41) \quad k_f = \begin{cases} -8 & \text{MHz } 2\,000 < f \\ -4 + 0,7(f / 925 - 1) & \text{MHz } 2\,000 \geq f, \text{ للمدن متوسطة الحجم والمراكز شبه الحضرية التي تكون فيها كثافة الأشجار متوسطة} \\ -4 + 1,5(f / 925 - 1) & \text{MHz } 2\,000 \geq f, \text{ للمراكز الحضرية و} \end{cases}$$

حساب $l < d_s$ عندما $L2_{msd}$

في هذه الحالة لا بد من تمييز آخر وفقاً للارتفاعات النسبية للهواي وقمنا أسطح المبني:

$$(42) \quad L2_{msd}(d) = -10 \log_{10} (Q_M^2)$$

حيث:

$$(43) \quad Q_M = \begin{cases} 2.35 \left(\frac{\Delta h_1}{d} \sqrt{\frac{b}{\lambda}} \right)^{0.9} & \text{for } h_1 > h_r + \delta h_u \\ \frac{b}{d} & \text{for } h_1 \leq h_r + \delta h_u \text{ and } h_1 \geq h_r + \delta h_l \\ \frac{b}{2\pi d} \sqrt{\frac{\lambda}{\rho}} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi + \theta} \right) & \text{for } h_1 < h_r + \delta h_l \end{cases}$$

و

$$(44) \quad \theta = \arctan \left(\frac{\Delta h_1}{b} \right)$$

$$(45) \quad \rho = \sqrt{\Delta h_1^2 + b^2}$$

$$(46) \quad \delta h_u = 10^{-\log_{10} \left(\sqrt{\frac{b}{\lambda}} \right) - \frac{\log_{10}(d)}{9} + \frac{10}{9} \log_{10} \left(\frac{b}{2.35} \right)}$$

$$(47) \quad \delta h_l = \frac{0,00023 b^2 - 0,1827 b - 9,4978}{(\log_{10}(f))^{2,938}} + 0,000781 b + 0,06923$$

2.2.2.4 المنطقة شبه الحضرية

يبيّن الشكل 2 نموذج انتشار حالة خلاف خط البصر NLoS1 على أساس بصريات هندسية (GO). وهو يبيّن أن تكون الموجات الواردة عند المخطة 2 تتغيّر تبعاً للمسافة بين المخطة 1 والمخطة 2. ولا يمكن لwave مباشرة أن تصل المخطة 1 إلا عندما تكون المسافة المخطة 1 - المخطة 2 قصيرة جداً. والووجات المنشعكسة عدة مرات (مرة أو مرتان أو ثلاثة مرات)، والتي تتمتع بسوية قوية نسبياً، يمكنها أن تصل إلى المخطة 2 عندما تكون المسافة الفاصل بين المخطة 1 - المخطة 2 قصيرة نسبياً. وعندما تكون المسافة المخطة 1 - المخطة 2 طويلة لا يمكن للووجات المنشعكسة عدة مرات أن تصل، ولا تصل إلى المخطة 2 سوى الووجات المنشعكسة عدة مرات، والتي لها سوية ضعيفة إلى جانب سوية الووجات المنعرجة من أسطح المبني. وعلى أساس آليات الانتشار هذه، يمكن تقسيم الخسارة الناجمة عن المسافة بين الهواييات المتباينة إلى ثلاثة مناطق من حيث هيمنة الووجات الواردة إلى المخطة 2. وهي المناطق التي تهيمن عليها الووجة المباشرة والووجة المنعرجة. ويعبر عن الخسارة في كل من هذه المناطق كما يلي اعتماداً على البصريات الهندسية.

$$(48) \quad L_{NLoS1} = \begin{cases} 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) & \text{for } d < d_0 \quad \text{(منطقة تهيمن عليها ووجات مباشرة)} \\ L_{0n} & \text{for } d_0 \leq d < d_{RD} \quad \text{(منطقة تهيمن عليها ووجات منعكسة)} \\ 32.1 \cdot \log_{10} \left(\frac{d}{d_{RD}} \right) + L_{d_{RD}} & \text{for } d \geq d_{RD} \quad \text{(منطقة تهيمن عليها ووجات منعرجة)} \end{cases}$$

حيث:

$$(49) \quad L_{0n} = \begin{cases} L_{d_k} + \frac{L_{d_{k+1}} - L_{d_k}}{d_{k+1} - d_k} \cdot (d - d_k) & \text{when } d_k \leq d < d_{k+1} < d_{RD} \\ & (k = 0, 1, 2, \dots) \\ L_{d_k} + \frac{L_{d_{RD}} - L_{d_k}}{d_{RD} - d_k} \cdot (d - d_k) & \text{when } d_k \leq d < d_{RD} < d_{k+1} \end{cases}$$

$$(50) \quad d_k = \sqrt{\left(\frac{B_k}{\sin \varphi}\right)^2 + (h_1 - h_2)^2}$$

$$(51) \quad L_{d_k} = 20 \cdot \log_{10} \left\{ \frac{4\pi d_{kp}}{0.4^k \cdot \lambda} \right\}$$

$$(52) \quad d_{RD}(f) = (0.25 \cdot d_3 + 0.25 \cdot d_4 - 0.16 \cdot d_1 - 0.35 \cdot d_2) \cdot \log_{10}(f)$$

$$+ 0.25 \cdot d_1 + 0.56 \cdot d_2 + 0.10 \cdot d_3 + 0.10 \cdot d_4$$

$$(0.8 \text{ GHz} \leq f \leq 38 \text{ GHz})$$

$$(53) \quad L_{d_{RD}} = L_{d_k} + \frac{L_{d_{k+1}} - L_{d_k}}{d_{k+1} - d_k} \cdot (d_{RD} - d_k) \quad (d_k \leq d_{RD} \leq d_{k+1})$$

$$(54) \quad d_{kp} = \sqrt{\left(\frac{A_k}{\sin \varphi_k}\right)^2 + (h_1 - h_2)^2}$$

$$(55) \quad A_k = \frac{w \cdot (h_1 - h_2) \cdot (2k + 1)}{2 \cdot (h_r - h_2)}$$

$$(56) \quad B_k = \frac{w \cdot (h_1 - h_2) \cdot (2k + 1)}{2 \cdot (h_r - h_2)} - k \cdot w$$

$$(57) \quad \varphi_k = \tan^{-1} \left(\frac{A_k}{B_k} \cdot \tan \varphi \right)$$

3.4 نماذج الانتشار بين المطارات الواقعية بين ارتفاع قمم أسطح المباني وقرب مستوى الشارع

تُرمي النماذج الموصوفة أدناه إلى حساب خسارة الإرسال الأساسية بين مطاراتين على ارتفاع منخفض في بيئات حضرية. وهذه الحالة متصورة في الشكل 1 كمسيرات بين D وF، أو E، أو B، أو D وE، أو F. ويرد وصف النموذج العام للموقع في الفقرة 1.3.4. ويرد وصف النموذج الخاص بموقع ضمن أخذاد الشوارع في الفقرة 2.3.4 ونموذج البيئات السكنية في الفقرة 3.3.4. ويوصى بهذا النموذج من أجل الانتشار بين المطارات منخفضة الارتفاع حيث يكون ارتفاع هوائي كلا المطاراتين قريب من سوية الشارع وأخفض كثيراً من ارتفاع أسطح المباني، ولكنها غير محددة خلاف ذلك. وهو نموذج متبادل بالنسبة للمرسل والمستقبل.

1.3.4 النموذج العام للموقع

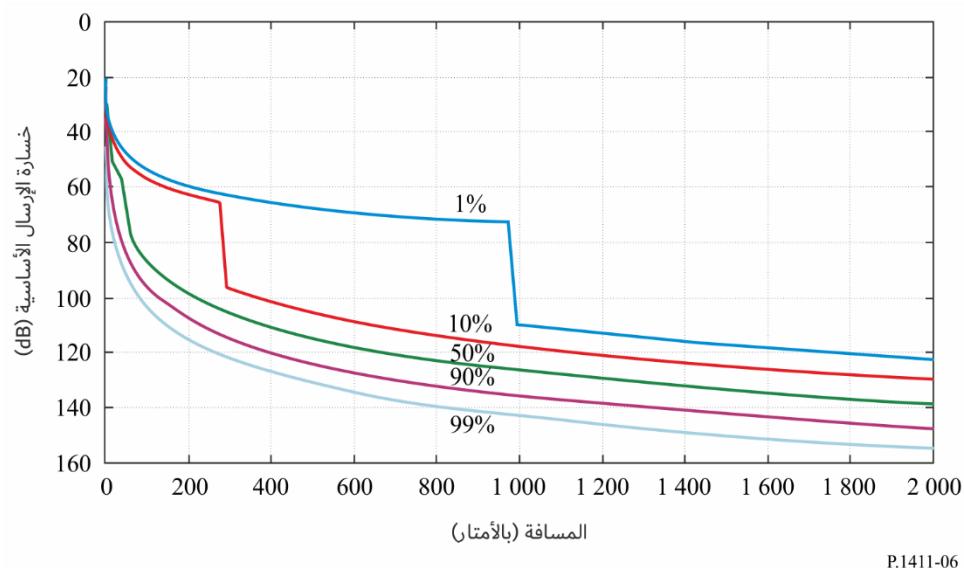
يشمل هذا النموذج مناطق خط البصر (LoS) وخلاف خط البصر (NLoS) على السواء، ويرسم التناقض السريع في سوية الإشارة الملاحظ عند المنعطف بين منطقتين LoS وNLoS. ويحتوي النموذج على إحصاءات عن تغير الموقع في المنطقتين ويعطي نموذجاً

إحصائياً لمسافة الانعطف بين المنطقتين. ويبيّن الشكل 6 مناطق كل من LoS و NLoS والانعطف كما يبيّن التغير الإحصائي الذي يتبع به النموذج.

ويصلح هذا النموذج للتترددات في مدى 300-3 000 MHz. ويعتمد النموذج على قياسات أجريت في نطاق الموجات المترية (UHF) (MHz) وارتفاع هوائيات يتراوح بين 1,9 و 3,0 m فوق الأرض ومسافات مرسل-مستقبل تصل حتى 3 000 m.

الشكل 6

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



P.1411-06

والمعلومات المطلوبة هي التردد f (MHz) والمسافة d بين المطறين (بالأمتار).

الخطوة 1: تحسـب القيمة المتوسطـة لخـسـارة خطـ البـصر:

$$(58) \quad L_{LoS}^{median}(d) = 32.45 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10}(d/1000)$$

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

$$(59) \quad \Delta L_{LoS}(p) = 1.5624\sigma(\sqrt{-2 \ln(1 - p/100)} - 1.1774) \quad \text{with } \sigma = 7 \text{ dB}$$

ويمـكن بذلك استـعمال قـيم تصـوـيب LoS من أجل $p = 1$ و 10 و 50 و 90 و 99% الـوارـدة في الجـدول 9.

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

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

الخطوة 4: تحسـب القيمة المتوسطـة لخـسـارة NLoS:

$$(61) \quad L_{NLoS}^{median}(d) = 9.5 + 45 \log_{10} f + 40 \log_{10}(d/1000) + L_{urban}$$

تـتوقف قيمة L_{urban} على الفـئة الحـضرـية وتـكون 0 dB لـمنـطـقة شـبه حـضـرـية و 6,8 dB لـمنـطـقة حـضـرـية و 2,3 dB لـمنـطـقة حـضـرـية كـثـيفـة/ذـات مـبـانـ عـالـية الـارتفاعـ.

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

$$(62) \quad \Delta L_{NLoS}(p) = \sigma N^{-1}(p/100) \quad \text{with } \sigma = 7 \text{ dB}$$

(.) N^{-1} هي مقلوب دالة التوزيع التراكمي الاعتيادي. وثمة تقرير لهذه الدالة، يصلح لقيمة p بين 1 و 99%， يعطى موجب دالة تغاير الموقع ($Q(x)$) 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 9.

الجدول 9

تصويبات تغاير موقع NLoS و LoS

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

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

$$(63) \quad L_{NLoS}(d, p) = L_{NLoS}^{median}(d) + \Delta L_{NLoS}(p)$$

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

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

وقيمة d_{LoS} مقابل $p = 1$ و 10 و 50 و 90 و 99% واردة في الجدول 9. ولم يتم اختبار هذا النموذج عندما $p > 0,1$ %. وقد حصل على الإحصاءات من مدینتين 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: عندما تكون الخسارة الأساسية للإرسال عند المسافة d كما يلي:

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

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

ج) خلاف ذلك يجري الاستكمال الداخلي خطياً بين قيمتين ($L_{LoS}(d_{LoS}, p)$ و $L_{LoS}(d_{LoS} + w, p)$) 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 $w = 20 \text{ m}$.

2.3.4 النموذج الخاص بموقع في بيانات حضرية

يتكون هذا النموذج الخاص بموقع من حالات LoS و NLoS بانعطاف واحد و NLoS بانعطافين في بيانات شبكة شوارع مستقيمة. ويستند هذا النموذج إلى بيانات القياس على الترددات: 430 و 750 و 905 و 1834 و 2400 و 2705 و 3705 و 4860 MHz بارتفاعات 400 و 705 و 905 و 1834 و 2400 و 3705 و 4860 m. هوائي تترواح ما بين 1,5 و 4,0 m فوق سطح الأرض. وتصل المسافة القصوى بين مطرافين إلى 1000 m.

حالة خط البصر (LoS) 1.2.3.4

تصوّر هذه الحالة كمسير بين B وE، أو D وF في الشكل 1. وخسارة الانتشار هي نفسها المذكورة في الفقرة 2.1.4.

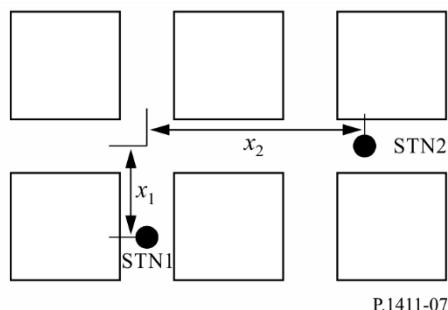
حالات الخروج عن خط البصر (NLoS) 2.2.3.4

تقابل ظروف الخروج عن خط البصر (NLoS) مسيرات E-F و D-E بارتفاعي L2 و L3 هوائي في البيئات الحضرية. انتشار خارج عن خط البصر (NLoS) بانعطاف واحد

تصوّر في الشكل 7 حالة خروج عن خط البصر (NLoS) بانعكاس واحد بين المحطة 1 والمحطة 2 بسبب زاوية على طول المسار بين المحطة 1 والمحطة 2. ويُرمز للمسافة بين المنعطف والمحطة 1 بالرمز x_1 ويُرمز للمسافة بين المنعطف والمحطة 2 بالرمز x_2 .

الشكل 7

حالة خروج عن خط البصر (NLoS) بانعكاس واحد بين المخطة 1 والمخطة 2



ويمكن حساب الخسارة الأساسية للإرسال في هذه الحالة كما يلي:

$$(65) \quad L_{1-Turn} = L_{LoS} + 10 \log_{10} \frac{x_1 x_2}{x_1 + x_2} - 20 \log_{10} S_1 \text{ (dB)}, \quad x_2 > \max(S_1^2, d_{corner})$$

حيث L_{LoS} هي الخسارة الأساسية للإرسال بمسافة $x_2 - x_1 = d$ ، على النحو المحسوب في الفقرة 1.1.4، و S_1 هي معلمة الانتشار/الانعراج المحسوبة كما يلي:

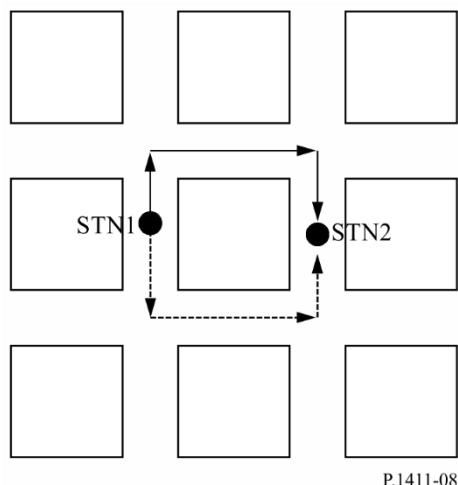
$$(66) \quad S_1 = (3.45 \times 10^4) f^{-0.46}$$

حيث وحدة تردد التشغيل f هي Hz. ويتم الحصول على هذه العلاقة بين S_1 و f بالاحتواء التراجمي المناسب مع بيانات القياس في تردد يتراوح بين 430 MHz إلى 4860 MHz. d_{corner} هو متغير يبيّن تحدّه تخطيطات الشوارع (بما في ذلك عروض الشوارع وطول فترة خط البصر (x_1) لحساب الحد الأدنى لمدى المسافة الصالحة للمعادلة (65)). وكمثال على ذلك في الفقرة 2.3.1.4، يمكن استخدام 30 m في المناطق الحضرية. ويمكن تحديد الخسارة الأساسية للإرسال لفترة الانتقال عبر المنعطف، أي $(x_2 \leq \max(S_1^2, d_{corner}) \leq 0)$ ، بالاستكمال الداخلي بين الخسارة الأساسية للإرسال في موضع انتهاء خط البصر (أي $x_2 = 0$) وذلك في (65).

انتشار خارج عن خط البصر (NLoS) بانعطافين

الشكل 8

مسيراً انتقال (خط متواصل وخط متقطع) لوصلة خارجة عن خط البصر (NLoS) بانعطافين



على عكس الوصلات الخارجية عن خط البصر (NLoS) بانعطاف واحد، يمكن إنشاء مسارات متعددة لمسار انتقال وصلة خارجة عن خط البصر (NLoS) بانعطافين ويظهر مثال على ذلك في الشكل 8. وهكذا، فإن كسب قدرة الإشارة المستقبلة (من المحطة 1 إلى المحطة 2) يُحتسب باعتبار جميع مسارات مسار بانعطافين. وعما أن كسب القدرة المستقبلة والخسارة الأساسية للإرسال على علاقة لوغاريتمية عكسيّة، تمكن كتابة كسب القدرة المستقبلة كما يلي:

$$(67) \quad \frac{1}{10^{L_{2-Turn}/10}} = \sum_n \frac{1}{10^{L_{2-Turn,n}/10}}$$

حيث L_{2-Turn} هي خسارة المور الإجمالية من المحطة 1 إلى المحطة 2، وترمز $L_{2-Turn,n}$ إلى الخسارة الأساسية للإرسال على طول مسار بانعطافين ذي الترتيب n . وبالتالي،

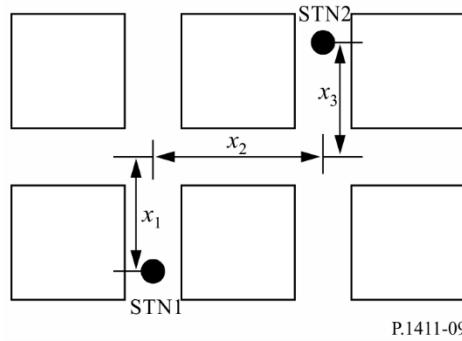
$$(68) \quad L_{2-Turn} = -10 \log_{10} \sum_n \frac{1}{10^{L_{2-Turn,n}/10}} \quad \text{dB}$$

ولحساب الخسارة الأساسية للإرسال على طول مسار ذي الترتيب n ، أي $L_{2-Turn,n}$ في المعادلة (68)، يُنظر في حالة الخروج عن خط البصر (NLoS) بانعطافين المبينة في الشكل 9. وتميّز حالة مسیر الوصلة بثلاثة مكونات مسافة: x_1 و x_2 و x_3 ، حيث:

- x_1 يدل على المسافة بين المحطة 1 والمنعطاف الأول،
- x_2 يدل على المسافة بين المنعطاف الأول والمنعطاف الثاني،
- x_3 يدل على المسافة بين المنعطاف الثاني والمحطة 2.

الشكل 9

وصلة خارجة عن خط البصر (NLoS) بانعطافين بين المخطة 1 والمخطة 2



P.1411-09

وتحسب الخسارة الأساسية للإرسال بين المخطة 1 والمخطة 2 كما يلي:

$$(69) \quad L_{2-Turn,n} = L_{LoS} + 10 \log_{10} \frac{x_{1,n} x_{2,n} x_{3,n}}{x_{1,n} + x_{2,n} + x_{3,n}} - 20 \log_{10} S_1 - 20 \log_{10} S_2 \quad x_{3,n} > \max(S_2^2, d_{corner})$$

حيث L_{LoS} هي خسارة المسير بمسافة $d = x_{1,n} + x_{2,n} + x_{3,n}$ ، على النحو المحسوب في الفقرة 2.1.4. و S_1 هي معلمة الانتشار/الانتعاج لانعطاف المنعطف الأول المحسّلة بالمعادلة (66) و S_2 هي معلمة مؤثر انعطاف المنعطف الثاني المحسوبة كما يلي:

$$(70) \quad S_2 = 0.54 f^{0.076}$$

وعلى غرار S_1 ، يتم الحصول على العلاقة بين S_2 و f (بوحدة Hz) باحتواء تراجمي مع بيانات القياس في تردد يتراوح بين 430 MHz إلى 4 860 MHz. ويمكن تحديد d_{corner} على نحو مماثل كما في حالات الخروج عن خط البصر (NLoS) بانعطاف واحد. ويمكن أيضاً تحديد خسارة المسير لفترة الانتقال عبر المنعطف، أي $(72) \leq x_{3,n} \leq \max(S_2^2, d_{corner})$ ، بالاستكمال الداخلي بين خسارة المسير في موضع انتهاء الخروج عن خط البصر (NLoS) بانعطاف واحد (أي $x_{3,n} = 0$) وموضع $(74) \leq x_{3,n} = \max(S_2^2, d_{corner})$.

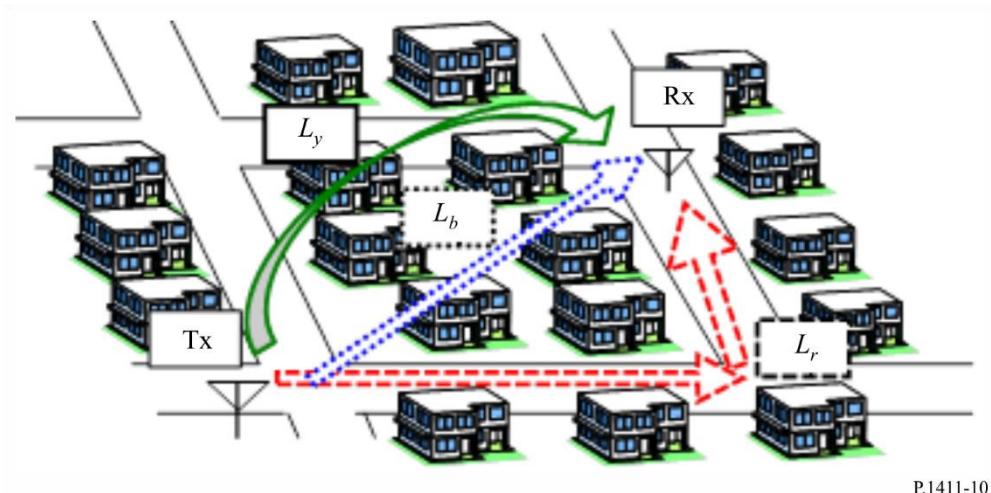
3.3.4 نموذج خاص بموقع في البيئات السكنية

يوضح الشكل 10 نموذج انتشار يتبع بخسارة كامل المسير L بين مطوفين منخفضي الارتفاع في البيئات السكنية التي تمثلها المعادلة (71) باستخدام خسارة المسير على طول طريق، L_r ، وخسارة المسير بين البيوت، L_b ، وخسارة الإرسال الأساسية فوق أسطح المباني، L_v . وتحسب الخسارات L_r و L_b و L_v على التوالي من خلال المعادلات من (72) إلى (74) والمعادلة (75) والمعادلات من (76) إلى (81). والحالات التي ينطبق عليها النموذج هي مناطق LoS و NLoS على حد سواء التي تتضمن مجالات فيها منعطفان أو أكثر. وتطغى خسارة المسير على طول الطريق، L_r ، على مقربة نسبية من المرسل حيث يقل عدد المنعطفات، وتتطغى خسارة المسير بين البيوت، L_b ، بازدياد المسافة بين المطوفين لأن خسارة المسير L_r على طول الطريق تزداد بزيادة عدد المنعطفات. وتطغى الخسارة الأساسية للإرسال فوق أسطح المباني، L_v ، على مبعدة نسبية من المرسل حيث تزداد خسارة المسير L_b بين البيوت بتعديع تدريع المباني والبيوت.

ويوصى بهذا النموذج للترددات في المدى 26-2 GHz. وتصل المسافة القصوى بين مطوفين، d ، إلى 1 000 m. ويتراوح المدى المطبق لزاوية الطريق بين 0 و 90 درجة. ويُضبط المدى المطبق لارتفاع هوائي المطوف ما بين 1,2 m و h_{Bmin} ، حيث h_{Bmin} هو ارتفاع أخفض مبني في المنطقة (6) m عادةً ليت مستقل في منطقة سكنية).

الشكل 10

نموذج انتشار مسارات بين مطارات تقع تحت ارتفاع سطح مبني



P.1411-10

$$(71) \quad L = -10 \log(1/10^{(L_r/10)} + 1/10^{(L_b/10)} + 1/10^{(L_v/10)})$$

$$(72) \quad L_r = \begin{cases} L_{rbc} & \text{(before corner)} \\ L_{rac} & \text{(after corner)} \end{cases}$$

$$(73) \quad L_{rbc} = 20 \log(4\pi d/\lambda)$$

$$(74) \quad L_{rac} = L_{rbc} + \sum_i (7,18 \log(\theta_i) + 0,97 \log(f) + 6,1) \cdot \left\{ 1 - \exp(-3,72 \cdot 10^{-5} \theta_i x_{1i} x_{2i}) \right\}$$

$$(75) \quad L_b = 20 \log(4\pi d/\lambda) + 30,6 \log(d/R) + 6,88 \log(f) + 5,76$$

$$(76) \quad L_v = 20 \log(4\pi d/\lambda) + L_1 + L_2 + L_c$$

$$(77) \quad L_1 = 6,9 + 20 \log \left(\sqrt{(v_1 - 0,1)^2 + 1} + v_1 - 0,1 \right)$$

$$(78) \quad L_2 = 6,9 + 20 \log \left(\sqrt{(v_2 - 0,1)^2 + 1} + v_2 - 0,1 \right)$$

$$(79) \quad v_1 = (h_{bTx} - h_{Tx}) \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)}$$

$$(80) \quad v_2 = (h_{bRx} - h_{Rx}) \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{b} + \frac{1}{c} \right)}$$

$$(81) \quad L_c = 10 \log \left[\frac{(a+b)(b+c)}{b(a+b+c)} \right]$$

وفيما يلي المعلمات ذات الصلة بهذا النموذج:

- المسافة بين مطارات (m)

λ : طول الموجة (m)	-
f : التردد (GHz)	-
θ_i : زاوية الطريق في المنعطف رقم i (بالدرجات)	-
x_{1i} : مسافة الطريق من المرسل إلى المنعطف رقم i (m)	-
x_{2i} : مسافة الطريق من المنعطف رقم i إلى المرسل (m)	-
R : متوسط المسافة المرئية (m)	-
h_{bTx} : ارتفاع أقرب مبني من المرسل في اتجاه المستقبل (m)	-
h_{bRx} : ارتفاع أقرب مبني من المستقبل في اتجاه المرسل (m)	-
h_{Tx} : ارتفاع هوائي المرسل (m)	-
h_{Rx} : ارتفاع هوائي المستقبل (m)	-
a : المسافة بين المرسل وأقرب مبني من المرسل (m)	-
b : المسافة بين أقرب المباني من المرسل والمستقبل (m)	-
c : المسافة بين المستقبل وأقرب مبني من المستقبل (m)	-

ويوضح الشكلان 11 و 12 أدناه الهندسات والمعلمات على التوالي. ويُحسب متوسط المسافة المرئية R بالمعادلات (82)-(85). وفي هذه المعادلات، n هي كثافة البناء (المبني/km²)، و m هو متوسط ارتفاع المبني من المباني التي يقل علوها عن 3 طوابق (m)، و l هو أدنى ارتفاع مبني، ويبلغ عادةً 6 (m)، و l_3 هو ارتفاع مبني من 3 طوابق، ويبلغ عادةً 12 (m).

$$(82) \quad R = \frac{1000\gamma}{nw_p(1-e^{-\gamma})} \exp\left[\frac{h_{Rx}-l}{m-l}\right]$$

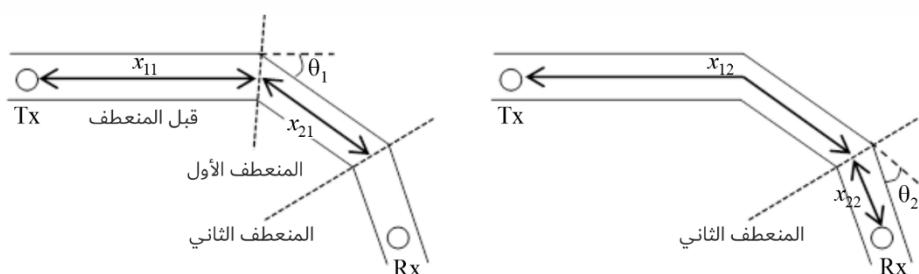
$$(83) \quad w_p = \frac{4}{\pi} w_0 \left\{ 1 - \frac{\alpha(1-e^{-\delta\gamma})}{\delta^2(1-e^{-\gamma})} \exp[-\beta h_{Rx}] \right\}$$

$$(84) \quad \gamma = \frac{l_3 - h_{Rx}}{m - l}, \quad \delta = 1 + \beta(m - l)$$

$$(85) \quad w_0 = 15 \text{ [m]}, \quad \alpha = 0.55, \quad \beta = 0.18 \text{ [m}^{-1}\text{]}$$

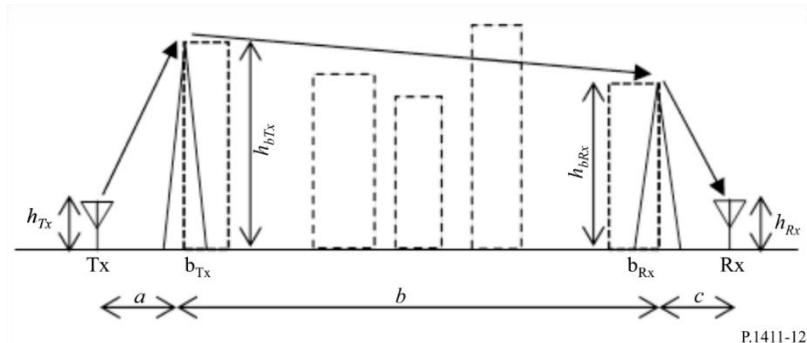
الشكل 11

هندسة الطريق ومعلماته (مثال على منعطفين)



الشكل 12

مشهد جانبي ل الهندسة مبني و معلماته



P.1411-12

4.4 معلمات مبدئية تستعمل لإجراء الحسابات المتعلقة بأي موقع عموماً

إذا كانت البيانات المتعلقة بهيكل المبني والشوارع غير معروفة (الحالات المتصلة بأي موقع عموماً)، يوصى باستعمال القيم المبدئية التالية:

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

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

$$= 0 \text{ m للسطح المبسطة}$$

$$b/2 = w$$

$$m 50 \text{ إلى} = b$$

$$.90 = \varphi$$

5.4 خسارات أخرى

1.5.4 تأثير الغطاء النباتي

لتأثيرات الانتشار من خلال الغطاء النباتي (الأشجار أساساً) أهمية في عملية التنبؤ بالانتشار عبر مسارات قصيرة خارج المبني. وعken 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. وبتأثير التوهين بشدة بالانتشار عبر عدة مسارات الناتج عن انحراف 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 الانحراف الأسلوب الرئيسي للانتشار فوق حواف الأشجار القرية من الهوائي المنخفض. وعken نمذجة أسلوب الانتشار هذا ببساطة باستعمال نموذج مثالي للانحراف على حد السكين (انظر التوصية ITU-R P.526) على الرغم من أن هذا النموذج قد يتৎقص من قدرة المجال لأنه يهمل تأثير الانتشار المتعدد بسبب قمم الأشجار وهو آلية يمكن نمذجتها بنظرية النقل الإشعاعي.

2.5.4 خسارة اختراق المبني

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

ويمكن الاطلاع على التعريف والنماذج النظرية والنتائج التجريبية المتعلقة بخسارة اختراق المباني في التوصيتين ITU-R P.2109 وITU-R P.2040.

5 نماذج تعدد المسيرات

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

1.5 مواصفة التأخير

1.1.5 تعدد التأخير في بيئات الانتشار فوق قمم أسطح المباني

تم تحديد خصائص تعدد التأخير عبر مسيرات متعددة في حالي LoS وNLoS في بيئة حضرية تتميز بمبانٍ عالية الارتفاع فيما يتعلق بخلايا صغيرة (معرفة في الجدول 3) بالإضافة إلى البيانات المقيدة عند $1980-1920$ MHz و $2170-2110$ MHz و $3750-3650$ MHz. واستخدام هوائيات شاملة الاتجاهات. وتعطى القيمة المتوسطة لجذر متوسط التربيع لتعدد التأخير S في هذه البيئة بالصيغة التالية:

$$(86) \quad S_u = \exp(A \cdot L + B) \quad \text{ns}$$

حيث A و B عبارة عن معامل قيمة جذر متوسط تربيع وقت الانتشار وتدل L على المسافة الأساسية للإرسال (dB). يعرض الجدول 10 القيم النموذجية للمعاملات بالنسبة لمسافات تتراوح بين 100 m وكيلومتر واحد استناداً إلى قياسات أجريت في مناطق حضرية.

الجدول 10

القيم النموذجية للمعاملات بالنسبة لجذر متوسط تربيع تعدد التأخير

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

واستخلصت من هذه القياسات توزيعات خصائص امتداد تعدد التأخير عبر عدة مسيرات بالنسبة للنطاق GHz 3,7 في بيئة حضرية لقيمي ارتفاع هوائي المخطة 1، 40 و 60 m وارتفاع هوائي المخطة المتنقلة 2، 2 m. كما استخلصت من القياسات توزيعات خصائص امتداد وقت الانتشار عبر مسيرات متعددة عند النطاق GHz 3,7 و عند النطاق GHz 5,2 في بيئة شبه حضرية وارتفاع هوائي المخطة 1 قدره 20 m عند قيمتين لارتفاع هوائي المخطة 2 قدرهما 2,0 و 2,8 m. ويعرض الجدول 11 قيم جذر متوسط التربيع لتعدد التأخير المقاسة عند ترددات من 1,9 GHz إلى 73 GHz في الحالتين اللتين يبلغ فيهما الاحتمال التراكمي 50% و 95%. وحساب تعدد التأخير الفعال، يُستخدم مستوى العتبة البالغ 20 dB، ما لم يُنص على خلاف ذلك.

الجدول 11

القيم النموذجية لجذر متوسط التربع لامتداد وقت الانتشار

مدد التأخير r.m.s. (ns)		ظروف القياس											المنطقة									
%95	%50	الاستقطاب	استثناء التأخير الزمني (ns)	عرض حزمة Rx (بالدرجات)	عرض حزمة Tx (بالدرجات)	المدى (m)	h2 (m)	h1 (m)	f (GHz)	السيناريو												
(¹)461	(¹)208	VV	10	(⁵)UCA	(⁴)ULA	100-1000	2	100	2,5	LoS	LoS	حضرية ذات مبان شاهقة	حضرية ذات مبان عالية الارتفاع									
(¹)513	(¹)407	(⁶)ثنائي	10	(⁵)UCA	(⁴)ULA	100-1000	2	100	2,5	NLoS												
(¹)408	(¹)232	VV	10	شامل الاتجاهات	شامل الاتجاهات	100-1000	2	60	3,7													
(¹)357	(¹)121	VV	10	شامل الاتجاهات	شامل الاتجاهات	100-1000	2	40														
(¹)1490	(¹)490	VV	16,6	شامل الاتجاهات	شامل الاتجاهات	100-1000	1,7	46	2,1-1,9	NLoS												
469	158	VV	100	شامل الاتجاهات	30	1000-200	1	12	2,5													
493	161	VV	100	شامل الاتجاهات	30	1000-200	1	12	3,5													
(¹)524	(¹)125	VV	10	شامل الاتجاهات	شامل الاتجاهات	100-1000	2	20	3,7													
(¹)577	(¹)189	VV	18,3	شامل الاتجاهات	شامل الاتجاهات	100-1000	2,8	20	5,2													
415	168	VV	100	شامل الاتجاهات	120	1000-200	1	12	5,8													
6,9	2,2	VV	0,5	شامل الاتجاهات	33	142-54	1,6	20	28,5-25,5	73-67	LoS	حضرية ذات مبان منخفضة الارتفاع / شبه حضرية	حضرية ذات مبان منخفضة الارتفاع / شبه حضرية									
28,1	9,8	HV																				
(²)40,2	(²)1,6	VV/HH	0,5	18,4	56,3	180-50	1,6	18,2	57-51													
(²)37,9	(²)2,7	VH/HV																				
(³)92,1	(³)7,5	VV/HH																				
(³)81,9	(³)4,8	VH/HV																				
(²)31,3	(²)1,7	VV/HH	0,5	14,4	40	180-50	1,6	18,2														
(²)19,2	(²)2	VH/HV																				
78,7(³)	(³)6	VV/HH																				
9,8	2	VV	0,5	شامل الاتجاهات	40	142-54	1,6	20														
159,1	74,5	VV	0,5	شامل الاتجاهات	33	77-61	1,6	20	28,5-25,5	NLoS												

ملاحظات بشأن الجدول 11:

(1) استعملت قيمة العتبة البالغة 30 dB لحساب جذر متوسط التربع لمدد التأخير.

(2) جرى تدوير هوائي المستقبل على مدار 360 درجة. ومثل القيم وقت وقوع خط تسديد هوائي المستقبل على استقامة واحدة مع اتجاه المرسل.

(3) جرى تدوير هوائي المستقبل بخطوات زاوية كل منها 5 درجات على مدار 360 درجة. ومثل القيمة لمدد التأخير اتجاهياً عند عدم وقوع خط تسديد هوائي المستقبل على استقامة واحدة مع اتجاه المرسل.

(4) هوائي صفييف خطى منتظم.

(5) هوائي صفييف دائري منتظم.

(6) متوسط قيمة VV و VH و HH.

2.1.5 تمدد التأخير في بيئات الانتشار تحت قمم أسطح المباني

1.2.1.5 حالة هوائي شامل الاتجاهات

حددت خصائص تمدد وقت الانتشار عبر مسيرات متعددة في حالة استعمال هوائي شامل الاتجاهات على خط البصر (LoS) في بيئة سكنية وحضرية عالية المباني في وجود خلايا صغيرة وخلايا دقيقة لمناطق حضرية كثيفة (انظر الجدول 3) استناداً إلى البيانات المقيدة عند ترددات تتراوح بين 0,781 GHz و 28,5 GHz. وتتبع قيمة جذر متوسط التربع لامتداد وقت الانتشار S عند المسافة d بالأمتار توزيعاً عادياً وتعطى القيمة المتوسطة بالصيغة التالية:

$$(87) \quad a_s = C_a d^{\gamma_a} \quad \text{ns}$$

ويعطى الانحراف المعياري بالصيغة التالية:

$$(88) \quad \sigma_s = C_\sigma d^{\gamma_\sigma} \quad \text{ns}$$

حيث تعتمد C_a و γ_a و C_σ و γ_σ على ارتفاع هوائي وبيئة الانتشار. ويعطى الجدول 12 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. وتم الحصول على قيم المعاملات على تردد 28,5 GHz من القياسات المأخوذة على مسافات 38-5 m في منطقة سكنية.

الجدول 12

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

σ_s		a_s		ظروف القياس						
γ_σ	C_σ	γ_a	C_a	h_2 (m)	h_1 (m)	f (GHz)	المنطقة			
0,04	102,2	0,06	1 254,3	5	5	0,781	حضرية (1)	حضرية (2)		
0,32	12	0,27	55	3,0	6,0	2,5				
0,35	5,5	0,26	23	2,7	4,0	15,75-3,35				
0,39	6,1	0,51	10	1,6						
				0,5		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	سكنية (2)	سكنية (3)		
0,48	2,0	0,32	5,9	1,6		15,75-3,35				
0,42	0,17	0,68	3,58	1,6	2,5	28,5				

(1) تستعمل قيمة للعتبة تساوي 20 dB لحساب قيمة جذر متوسط التربع لتمدد التأخير.

(2) تستعمل قيمة للعتبة تساوي 30 dB لحساب قيمة جذر متوسط التربع لتمدد التأخير.

(3) تستعمل قيمة للعتبة تساوي 25 dB لحساب قيمة جذر متوسط التربع لتمدد التأخير.

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

$$(89) \quad P(t) = P_0 + 50(e^{-t/\tau} - 1) \quad \text{dB}$$

حيث:

P_0 : قدرة النزوة (dB)

α : عامل التناقص

وتقدر t بناو ثانية (ns).

وعكن تقييم α استناداً إلى البيانات المقيسة فيما يتعلق بقيمة جذر متوسط التربع لامتداد وقت الانتشار S ، كالتالي:

$$(90) \quad \tau = 4S + 266 \quad \text{ns}$$

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

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

2.2.1.5 حالة هوائي التجاهي

في أنظمة النفاذ اللاسلكي الثابت والاتصالات بين نقاط النفاذ الخاصة بالأنظمة الشبكية اللاسلكية المتشابكة، تستخدم هوائيات الاتجاهية كهوائيات إرسال واستقبال. ويرد أدناه التأثير النمطي لاستخدام هوائيات الاتجاهية. ويقوم مخطط إشعاع هوائي عند استخدام هوائيات اتجاهية كهوائيات إرسال واستقبال بالفضاء على الموجات المتأخرة الواردة. وبالتالي يصبح امتداد وقت الانتشار صغيراً. كما تزيد القدرة المستقبلية بكسب هوائي عند استخدام هوائيات اتجاهية كهوائيات إرسال واستقبال. واستناداً إلى هذه الحقائق، تستخدم هوائيات الاتجاهية في الأنظمة اللاسلكية. ومن ثم، من المهم فهم تأثير اتجاهية هوائي في نماذج تعدد المسيرات. ويتوقع أن تستخدم أنظمة الموجات المليمترية الراديوية هوائيات اتجاهية باستقطاب واحد أو استقطاب ثنائي. ويعطي الجدول 13 قيم جذر متوسط التربع (r.m.s.) لتمدد التأخير المحسّلة على تردد يتراوح بين 25 و 73 GHz إما بواسطة هوائيات ثنائية الاستقطاب أو هوائيات مستقطبة رأسياً في الحطة 1 والحظة 2. واستُخدم مستوى عتبة 20 dB لحساب جذر متوسط التربع لتمدد التأخير.

الجدول 13

قيم جذر متوسط التربع (r.m.s) النمطية لتمدد التأخير

مقدار التأخير r.m.s. (ns)		ظروف القياس														
%95	%50	الاستقطاب	استيارة التأخير الزمياني (ns)	عرض حزمة Rx بالدرجات	عرض حزمة Tx بالدرجات	المدى (m)	h_2 (m)	h_1 (m)	f (GHz)	السيناريو	المنطقة					
43,6	3,5	VV	0,5	شامل الاتجاهات	33	140-18	1,6	3	25,5-28,5	LoS	حضرية ذات مبان منخفضة الارتفاع					
57	8,7	HV														
⁽¹⁾ 5,9	⁽¹⁾ 1,9	VV	2	10	30	400-100	1,5	4	28							
⁽¹⁾ 5	⁽¹⁾ 1,5	VV/HH	0,45	35	35	60-6	1,3	3	31,5-29,3							
⁽¹⁾ 14,3	⁽¹⁾ 6	VH/HV														
⁽¹⁾ 4,8	⁽¹⁾ 1,2	VV	2	10	30	400-50	1,5	4	38							
⁽¹⁾ 3	⁽¹⁾ 0,74	VV/HH	0,5	18,4	56,3	180-11	1,6	3	57-51							
⁽¹⁾ 7,5	⁽¹⁾ 1,7	VH/HV														
⁽²⁾ 72,9	⁽²⁾ 11,2	VV/HH														
⁽²⁾ 40,9	⁽²⁾ 8,5	VH/HV														
⁽¹⁾ 1,2	⁽¹⁾ 0,6	VV	0,22	15,4	15,4	200-20	1,5	2,4	63,1-58,7	NLoS	حضرية ذات مبان منخفضة الارتفاع					
⁽²⁾ 40,7	⁽²⁾ 6,6	VV	0,9	2,2	15,4	60-6	1,6	3								
⁽¹⁾ 3,5	⁽¹⁾ 0,6	VV/HH	0,5	14,4	40	180-11	1,6	3								
⁽¹⁾ 5,9	⁽¹⁾ 1,6	VH/HV														
⁽²⁾ 80	⁽²⁾ 8,9	VV/HH														
⁽²⁾ 39,8	⁽²⁾ 5	VH/HV														
36	2,6	VV	0,5	شامل الاتجاهات	40	140-18	1,6	3								
30,3	13,4	VV	0,5	شامل الاتجاهات	33	84-40	1,6	3	28,5-25,5							
⁽³⁾ 112,4	⁽³⁾ 48,5	VV	2	10	30	350-90	1,5	4	28							
⁽³⁾ 75,0	⁽³⁾ 25,9	VV	2	10	30	250-90	1,5	4	38							
23,7	10	VV	0,5	شامل الاتجاهات	40	84-40	1,6	3	73-67	NLoS	سكنية					
13,6	5,3	VV	0,5	شامل الاتجاهات	33	167-37	1,6	3	28,5-25,5							
15,5	9,1	HV														
15,4	7,4	VV	0,5	شامل الاتجاهات	40	167-37	1,6	3	73-67							
⁽¹⁾ 7,8	⁽¹⁾ 1,7	VV	2	10	30	350-50	1,5	4	28	LoS	حضرية ذات مبان شاهقة					
⁽¹⁾ 7,4	⁽¹⁾ 1,6	VV	2	10	30	350-20	1,5	4	38							
⁽³⁾ 177,9	⁽³⁾ 67,2	VV	2	10	30	350-90	1,5	4	28							
⁽³⁾ 151,6	⁽³⁾ 57,9	VV	2	10	30	350-90	1,5	4	38							

(1) جرى تدوير هوائي المستقبل على مدار 360 درجة في القياسات. وتمثل القيم تمدد تأخير اتجاهياً وقت وقوع خط تسديد هوائي المستقبل على استقامة واحدة مع اتجاه المرسل.

(2) جرى تدوير هوائي المستقبل بخطوات زاوية كل منها 5 درجات على مدار 360 درجة. وتمثل القيمة تمدد التأخير اتجاهياً عند عدم وقوع خط تسديد هوائي المستقبل على استقامة واحدة مع اتجاه المرسل.

(3) جرى تدوير هوائي المستقبل على مدار 360 درجة في القياسات. وتمثل القيم تمدد تأخير بعض النظر عن اصطدام الهوائي.

3.1.5 تمدد تأخير انتشار بين مطرافين يقعان على مستوى الشارع

أُعدت خصائص تمدد تأخير الانتشار متعدد المسيرات بين مطرافين يقعان على مستوى الشارع بناء على البيانات المقيدة. ويُدرج الجدول 14 قيم جذر متوسط التربع لتمدد التأخير للحالات التي تبلغ فيها نسبة الاحتمال التراكمي 50% و 95%. وقد اشتُقّت خصائص التأخير متعدد المسيرات لحالات خط البصر (LoS) والخروج عن خط البصر (NLoS) على مسافة تتراوح بين 1 و 250 m من القياسات في المناطق الحضرية ذات المباني الشاهقة والعلية الارتفاع والمنخفضة الارتفاع في نطاق التردد 3,7 GHz.

الجدول 14

قيم جذر متوسط التربع (r.m.s.) النمطية لتمدد التأخير

تمدد التأخير (ns) r.m.s.		ظروف القياس					
%95	%50	المدى (m)	ارتفاع المأوي		التردد (GHz)	السيناريو	المنطقة
			h_2 (m)	h_1 (m)			
87	29	250-1	1,9	1,9	3,7	LoS	حضرية ذات مبان شاهقة ⁽¹⁾
673	247					NLoS	
153	24					LoS	حضرية ذات مبان عالية ⁽¹⁾
272	145					NLoS	الارتفاع ⁽¹⁾
131	15					LoS	حضرية ذات مبان منخفضة ⁽¹⁾
89	64					NLoS	الارتفاع ⁽¹⁾

⁽¹⁾ تستعمل قيمة للعتبة تساوي 20 dB لحساب قيمة جذر متوسط التربع لتمدد التأخير.

2.5 البيانات الوصفية الزاوية

1.2.5 التمدد الزاوي في بيئات الانتشار تحت مستوى قمم الأسطح

حدّدت قيمة جذر متوسط التربع التمدد الزاوي المعروf في التوصية ITU-R P.1407 في اتجاه السمت في بيئة خلايا صغيرة أو خلايا دقيقة في منطقة حضرية كثيفة استناداً إلى القياسات التي أجريت عند تردد قدره 8,45 GHz. ومحطة الاستقبال مجهرة بهوائي مكافئ بفتحة نصف القدرة للحزمة تبلغ 4 درجات.

كما أُجري قياس في بيئة حضرية خلية صغيرة مزدحمة في بيئة حضرية. وقد استخلصت معاملات التمدد الزاوي استناداً إلى قياسات أجريت 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.

وأجريت القياسات أيضاً في بيئة حضرية منخفضة الارتفاع وبيئة سكنية في ظروف خط البصر وفي ظروف مغايرة لخط البصر على تردد 28,5 GHz. وتم الحصول على معاملات جذر متوسط تربع الانتشار الزاوي في اتجاهي السمت والارتفاع.

ويعرض الجدول 15 المعاملات المتحصل عليها لجذر متوسط تربع الانتشار الزاوي.

الجدول 15

قيم جذر متوسط التربع (r.m.s.) النمطية للتمدد الزاوي

ملاحظات	s.t.d (بالدرجات)	المتوسط (بالدرجات)	ظروف القياس			
			h_2 (m)	h_1 (m)	f (GHz)	المنطقة
LoS	13,98	⁽¹⁾ 28,15	1,5	5	0,781	حضرية
LoS	11	⁽¹⁾ 30	2,7	4,4	8,45	حضرية
NLoS	18	⁽¹⁾ 41	2,7	4,4	8,45	حضرية
LoS	8,68 1,93	⁽¹⁾ 28,48 ⁽²⁾ 5,15	1,6	2,5	28,5	حضرية
NLoS	10,52 2,84	⁽¹⁾ 33,05 ⁽²⁾ 6,31	1,6	2,5	28,5	حضرية
LoS	7,18 8,31	⁽¹⁾ 20,47 ⁽²⁾ 7,61	1,6	2,5	28,5	سكنية

⁽¹⁾ التمدد الزاوي في اتجاه السمت.

⁽²⁾ التمدد الزاوي في اتجاه الارتفاع.

2.2.5 التمدد الزاوي بين مطاراتين يقعان على مستوى الشارع

أُعدت خصائص التمدد الزاوي بين مطاراتين يقعان على مستوى الشارع بناء على البيانات المقيسة. ويندرج الجدول 16 قيم جذر متوسط التربع للتمدد الزاوي للحالات التي تبلغ فيها نسبة الاحتمال التراكمي 50% و 95%. وقد اشتبك توزيع الخصائص السمعية متعددة المسيرات لحالات خط البصر (LoS) والخروج عن خط البصر (NLoS) على مسافة تتراوح بين 1 و 250 m من القياسات في المناطق الحضرية ذات المباني الشاهقة والعالية الارتفاع والمنخفضة الارتفاع في نطاق التردد 3,7 GHz. واستُخدم هوائي صفييف دائري منتظم بثمانية عناصر لكل من المرسل والمستقبل لاستخلاص البيانات الوصفية الزاوية.

الجدول 16

قيم جذر متوسط التربع (r.m.s.) النمطية للتمدد الزاوي

جذر متوسط التربع (r.m.s.) للتمدد الزاوي (بالدرجات)		ظروف القياس					
%95	%50	المدى (m)	ارتفاع الموائي		التردد (GHz)	السيناريو	المنطقة
			h_2 (m)	h_1 (m)			
46	17	250-1	1,9	1,9	3,7	LoS	حضرية ذات مبان شاهقة ⁽¹⁾
50	31					NLoS	
37	12					LoS	حضرية ذات مبان عالية الارتفاع ⁽¹⁾
61	33					NLoS	
40	12					LoS	حضرية ذات مبان منخفضة الارتفاع ⁽¹⁾
55	25					NLoS	

⁽¹⁾ تستعمل قيمة للعتبة تساوي 20 dB لحساب قيمة جذر متوسط التربع للتمدد الزاوي.

3.5 أثر عرض حزمة الهوائي

ويتوقع أن تستخدم أنظمة الموجات المليمترية الراديوية هوائيات عالية الاتجاهية و/أو تقنيات مختلفة لتشكيل الحزمة باستخدام صفائف هوائيات كبيرة للتغلب على خسارة انتشار عالية نسبياً وإنشاء وصلات اتصالات موثوقة. وما أن مكونات الانتشار عبر مسارات متعددة تتوزع بحسب زاوية ورودها، فإن المكونات الواقعة خارج فتحة حزمة الهوائي تُنبع بالاصطفاء المكاني باستعمال هوائي اتجاهي بحيث يمكن خفض تعدد التأخير والتمدد الزاوي.

1.3.5 خسارة القدرة المستقبلة بسبب عرض حزمة الهوائي

عندما يتم استقبال إشارات عرض حزمة هوائي معين، يصبح عدد مكونات الإشارة عبر مسارات متعددة أصغر مقارنة بهوائي استقبال شامل الاتجاهات. وهذا يؤدي إلى خسارة إضافية في القدرة، يمكن حسابها بواسطة المعادلة التالية:

$$(91) \quad L^{\text{beamforming}}(d, f, W_{\phi}) = L^{\text{omni}}(d, f) + \Delta L(W_{\phi}) \quad (\text{dB})$$

حيث L^{omni} هي الخسارة الأساسية للإرسال هوائي شامل الاتجاهات ويمكن حساب ΔL على النحو التالي:

$$(92) \quad \Delta L(W_{\phi}) = \eta \left(\frac{1}{W_{\phi}} - \frac{1}{360^\circ} \right) \quad (\text{dB}), \quad 10^\circ \leq W_{\phi} \leq 360^\circ$$

حيث W_{ϕ} هو عرض حزمة نصف القدرة (HPBW) هوائي اتجاهي (تكوين الحزمة). ويقدم الجدول 17 قيم η التي يتم الحصول عليها من خلال القياسات عند 28 GHz و 38 GHz في البيئة الحضرية عالية المباني.

الجدول 17

ثابت η من أجل خسارة إضافية للقدرة بسبب تكوين الحزمة بعرض حزمة W_{ϕ}

η	نطء الوصلة	التردد (GHz)	البيئة
17,70	LOS	28	بيئة حضرية عالية المباني
64,03	NLOS		
16,44	LOS		
46,49	NLOS		

2.3.5 خصائص امتداد الانتشار والتمدد الراوي

حددت خصائص وقت انتشار المسيرات المتعددة بالنسبة لحالة استخدام هوائي اتجاهي على خط البصر في بيئة حضرية عالية المباني بالنسبة لحالتي الخلية الصغرية الحضرية المزدحمة 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 هوائيات بحيث يواجه اتجاه الكسب الأقصى للهوائي بالنسبة لهوائي ما اتجاه الكسب الأقصى للهوائي الآخر. ويدرج الجدول 18 معادلة لاشتقاق معاملات بالنسبة لعرض حزمة منتصف القدرة للهوائي بالنسبة للمعادلة (87) 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 18

المعاملات النموذجية لخصائص المسافة بالنسبة لقيمة جذر متوسط تربع وقت الانتشار
في حالة استخدام هوائي التجاهي

a_s		ظروف القياس			
γ_a	C_a	h_2 (m)	h_1 (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 تساوي 20 dB لحساب قيمة جذر متوسط التربع لتمدد التأخير.

و θ تمثل هنا عرض حزمة 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.

وقد طرأت طائق التنبؤ بتأخير المسيرات المتعددة والتمدد الزاوي فيما يتعلق بعرض حزمة الهوائي على أساس القياسات في البيئات الحضرية والسكنية النموذجية على الترددات 28 و 38,5 و 38 GHz. ولاستفاق تمدد التأخير والتمدد الزاوي من فتحات حزمة هوائي تتراوح بين الضيقه والعرضية، دمجت استجابات نبضة القناة، التي جمعت باستعمال صفييف هوائيات بوقية أو دوران هوائي بوقى ضيق الفتحة، في ميادين القدرة والتأخير والزاوية.

ويعتمد تمدد التأخير (DS) الفعال على فتحة حزمة نصف القدرة للهوائي θ (بالدرجات):

$$(93) \quad DS(\theta) = \alpha \times \log_{10} \theta \quad \text{ns}$$

حيث α هو معامل تمدد التأخير الفعال ويعرف مدى θ بمترادفة $\theta \leq 360^\circ \leq 1^\circ$. ويسرد الجدول 19 القيم النموذجية للمعاملات والانحراف المعياري σ بناءً على كل ظرف قياس. وتمثل معاملات تمدد التأخير الحالات التي تكون فيها خطوط تسديد الهوائيات على استقامة واحدة بحيث تحصل على أقصى قدرة استقبال في حالات الانتشار في خط البصر وخارج خط البصر على التوالي.

الجدول 19

المعاملات النموذجية لجذر متوسط تربع تمدد التأخير

جذر متوسط التربع (r.m.s.) لتمدد التأخير		ظروف القياس								
σ (ns)	α	عرض حزمة Rx (بالدرجات)	عرض حزمة Tx (بالدرجات)	المدى (m)	h_2 (m)	h_1 (m)	السيناريو	البيئة	28	28,5
5,83	⁽¹⁾ 2,32	⁽²⁾ 10	30	400-20	1,5	4	LoS	حضرية ذات مبان منخفضة الارتفاع		
43	⁽¹⁾ 35,1			300-20			NLoS	حضرية ذات مبان شاهقة		
7,07	⁽¹⁾ 3,67			300-40			LoS	حضرية ذات مبان منخفضة الارتفاع		
38,62	⁽¹⁾ 43,19			340-80			NLoS	سكنية		
3,28	5,64	⁽³⁾ 45	شامل الاتجاهات	26-6	1,6	2,5	LoS	حضرية ذات مبان منخفضة الارتفاع		
4,55	12,13			112-58			NLoS	حضرية ذات مبان منخفضة الارتفاع		
2,47	3,98			38-5			LoS	سكنية		

الجدول 19 (تتمة)

جذر متوسط التربع (r.m.s.) لتمدد التأخير		ظروف القياس								
σ (ns)	α	عرض حزمة Rx (بالدرجات)	عرض حزمة Tx (بالدرجات)	المدى (m)	h_2 (m)	h_1 (m)	السيناريو	البيئة	f (GHz)	
7,3	⁽¹⁾ 2,14	⁽²⁾ 10	30	400-20	1,5	4	LoS	حضرية ذات مبان منخفضة الارتفاع	38	
35,51	⁽¹⁾ 30,01			200-20			NLoS			
3,15	⁽¹⁾ 1,61			340-20			LoS	حضرية ذات مبان شاهقة		
27,95	⁽¹⁾ 26,93			210-80			NLoS			

(1) القيمة صالحة عندما يتراوح مدى الزاوية θ ضمن المتراجحة $10^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$.

(2) جرى تدوير هوائي بزاوية 10° حول 360 درجة عند المستقبل.

(3) استُعمل في المستقبل صفييف من 16 هوائيًّا بوقِيًّا، لكل منها فتحة حزمة سمتية زاويتها 45° .

ويعتمد التمدد الزاوي (AS) الفعال على فتحة حزمة نصف القدرة للهوائي θ (بالدرجات):

$$(94) \quad AS(\theta) = \alpha \times \theta^\beta \quad \text{بالدرجات}$$

حيث α و β هما معاملاً التمدد الزاوي الفعال ويعرَّف مدى θ بمتراجحة $10^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$. ويُسرد الجدول 20 القيم النمطية للمعاملات والانحراف المعياري σ بناءً على كل ظرف قياس. وتمثل معاملات التمدد الزاوي الحالات التي تكون فيها خطوط تسديد الهوائيات على استقامة واحدة بحيث تحصل على أقصى قدرة انتشار في حالات الانتشار في خط البصر وخارج خط البصر على التوالي.

الجدول 20

المعاملات النمطية للتمدد الزاوي الفعال

جذر متوسط التربع (r.m.s.) للتمدد الزاوي (بالدرجات)			ظروف القياس								
σ (بالدرجات)	β	α	عرض حزمة Rx (بالدرجات)	عرض حزمة Tx (بالدرجات)	المدى (m)	h_2 (m)	h_1 (m)	السيناريو	البيئة	f (GHz)	
2,1	0,39	1,84	⁽¹⁾ 10	30	400-20	1,5	4	LoS	حضرية ذات مبان منخفضة الارتفاع	28	
3,42	0,84	0,42			300-20			NLoS			
1,45	0,34	1,98			300-40			LoS	حضرية ذات مبان شاهقة		
2,47	0,89	0,38			340-80			NLoS			
1,5	0,36	1,76	⁽¹⁾ 10	30	400-20	1,5	4	LoS	حضرية ذات مبان منخفضة الارتفاع	38	
3,39	0,91	0,33			200-20			NLoS			
1,95	0,38	1,7			340-20			LoS	حضرية ذات مبان شاهقة		
3,3	1,03	0,23			210-80			NLoS			

(1) جرى تدوير هوائي بزاوية 10° درجات حول 360 درجة عند المستقبل.

4.5 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 ترتكز على تقنيات الفصل والتركيب. وكما هو محدد في التوصية ITU-R P.1407، يمكن تمثيل عدد مكونات الإشارة انتلاقاً من المظهر الجانبي للتأخير باعتباره عدد الذري التي يكون اتساعها ضمن A dB من أعلى ذروة وفوق سوية الضوضاء الخلفية.

1.4.5 بيانات انتشار أخرى فوق أسطح المباني

يبين الجدول 21 النتائج بشأن عدد مكونات الإشارة بالنسبة إلى بيانات ما فوق مستوى قمم أسطح المباني من قياسات أجريت في سيناريوهات مختلفة كأنواع البيانات و نطاقات التردد وارتفاعات الهوائيات.

الجدول 21

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

العدد الأقصى من المكونات						المدى (m)	ارتفاع الهوائي (m)		التردد (GHz)	استبابة التأخير الزمني (ns)	نطاق 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	200	حضرية
13	3	3	2	2	2	590-150	2,7	55	3,35	20	
12	3	3	2	2	2	590-150	2,7	55	8,45	20	
4	2	2	1	2	1	1 500-200	1	12	2,5	175	
5	1	2	1	2	1	1 500-200	1	12	3,5	175	شبه حضرية
5	3	3	1	2	1	5 000-0	2,7	40	3,67	50	
5	4	5	3	2	1	1 500-200	1	12	5,8	100	

فيما يتعلق بالقياسات الموصوفة في الفقرة 1.1.5، ترد قيم نافذة فارق الإمهال بالنسبة لأقوى 4 مكونات إزاء أول مكون واصل الاتساع النسبي لكل منها في الجدول 22.

الجدول 22

نافذة فارق الإمهال بالنسبة لأقوى 4 مكونات إزاء أول مكون واصل والاتساع النسبي لكل منها

التأخير الزمني الزائد (μ s)									المدى (m)	ارتفاع الم WAVI (m)		التردد (GHz)	استبابة التأخير الزمني	نط البيئة
الرابع		الثالث		الثاني		الأول			h_2	h_1				
%95	%80	%95	%80	%95	%80	%95	%80	1 600-100	1,7	46	2,1-1,9	ns 200	حضارية	
3,26	2,35	2,93	1,74	1,98	1,1	1,43	0,5							
9,8-	9,1-	9,6-	8,5-	9-	7,3-	0	0	القدرة النسبية إزاء أقوى مكون (dB)						

2.4.5 بيئات الانتشار ما دون مستوى قمم أسطح المباني

يعرض الجدول 23 نتائج عدد مكونات الإشارة بالنسبة إلى بيئات ما دون مستوى قمم أسطح المباني من قياسات أجريت في سيناريوهات مختلفة كأ النوع البيئات و نطاقات التردد وارتفاعات الهوائيات.

الجدول 23

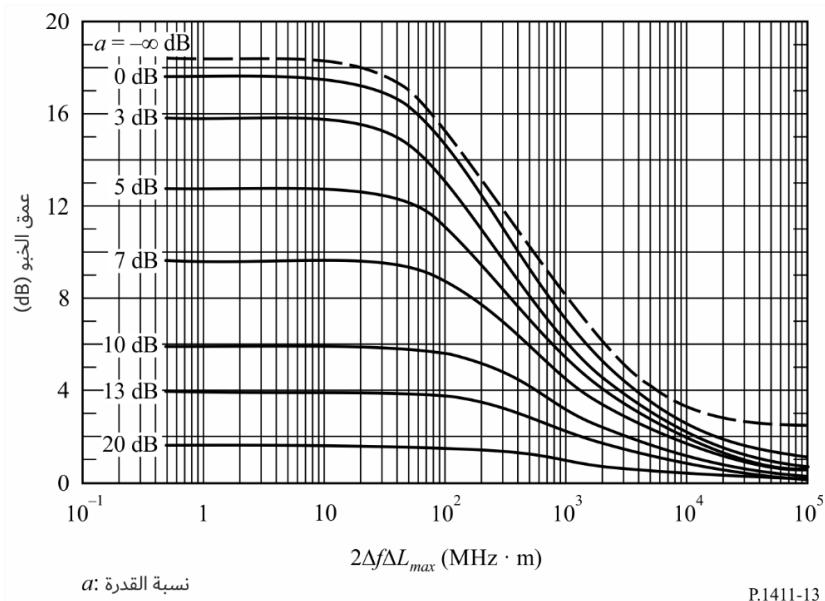
العدد الأقصى من مكونات الإشارة بالنسبة إلى بيئات ما دون مستوى قمم أسطح المباني

العدد الأقصى من المكونات						(m)	ارتفاع المائي (m)		التردد (GHz)	استبانة التأخير الزمني (ns)	نطط 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 1 000-0	1,6	4	3,35	20	حضرية
9	5	4	2	3	2		1,6	4	8,45	20	
6	4	3	2	3	1		1,6	4	15,75	20	
8	4	4	2	2	1		1,6	4	3,35	20	سكنية
5	4	3	2	3	1	200-0 1 000-0	1,6	4			
10	6	4	2	3	2						
3	2	2	2	2	2	480-0	2,7	4			

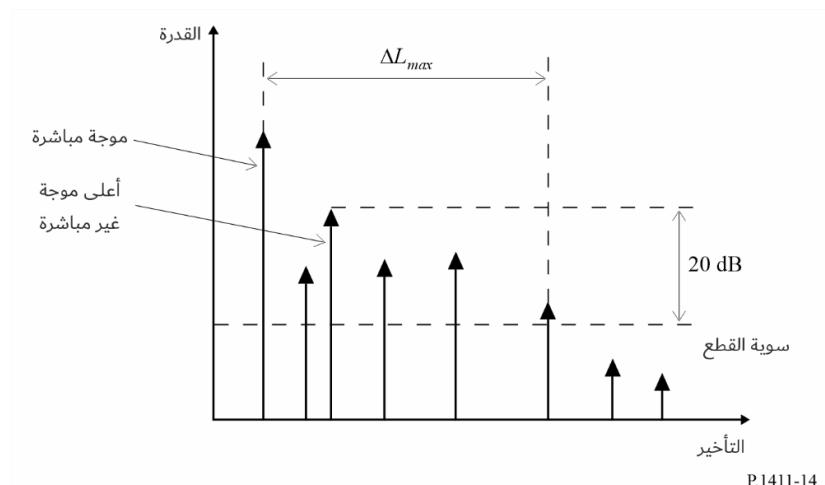
5.5 خصائص الخبو

يُعبّر عن عمق الخبو، الذي يعرّف بالفرق بين القيمة 50% والقيمة 1% في الاحتمال التراكمي لسويات الإشارة المستقبلة، بدلالة ناتج $(2\Delta f\Delta L_{max}) MHz \cdot m$ عرض النطاق المستقبل البالغ $2\Delta f MHz$ والفرق الأقصى في أطوال مسیر الانتشار ΔL_{max} كـما هو موضح في الشكل 13. وتدل ΔL_{max} على الفرق الأقصى في أطوال مسیر الانتشار بين المكونات التي تكون سويتها أعلى من العتبة التي تقل بقدر 20 dB عن أعلى سوية للموجات غير المباشرة كما هو موضح في الشكل 14. وتدل a المعبر عنها بالديسيبل في هذا الشكل على نسبة قدرة الموجات المباشرة إلى مجموع الموجات غير المباشرة، وتمثل $a = \frac{1}{10 \log_{10}(\Delta L_{max})}$ حالة انتشار خلاف خط البصر. وعندما تكون $2\Delta f\Delta L_{max} \geq 10 m MHz$ ، تتبع سويات الإشارة المستقبلة في حالة الانتشار في خط البصر والانتشار خلاف خط البصر توزيع رايلي وتوزيع ناكاغامي-رايس المقابلين لمنطقة خبو نطاق ضيق. وعندما تكون أعلى من $10 m MHz$ ، تقابل منطقة خبو نطاق واسع، حيث يصبح عمق الخبو أقل ولا تتبع سويات الإشارة المستقبلة لا توزيع رايلي ولا توزيع ناكاغامي-رايس.

الشكل 13

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

الشكل 14

موجز حساب ΔL_{max} 

6 خصائص الاستقطاب

يختلف تميز الاستقطاب المتقطع (XPD) كما جاء تعريفه في التوصية ITU-R P.310 بين منطقي الانتشار LoS و NLoS في بيئة الخلايا الصغيرة بالمجاالت السنتيمترية (SHF) لمنطقة حضرية مزدحمة. وتبين القياسات قيمة متوسطة لتميز الاستقطاب المتقطع قدرها 13 dB للمسيرات LoS و 8 dB للمسيرات NLoS و انحراف معياري قدره 3 dB للمسيرات LoS و 2 dB للمسيرات NLoS في مدى الموجات السنتيمترية. وتتفق القيم المتوسطة لتميز الاستقطاب المتقطع بالمجاالت السنتيمترية في المناطق المكشوفة والمناطق الحضرية مع قيم انتشار الموجات الديسيمترية الواردة في التوصية ITU-R P.1406. وفي التقرير ITU-R P.2406، يبلغ تميز الاستقطاب المتقطع، المقاس في نطاقي الترددات الملييمترية 51-57 GHz و 67-73 GHz في بيئة حضرية منخفضة الارتفاع، قيمة متوسطة قدرها 16 dB ملکون في خط البصر بتغير قدره 3 dB، و 9 dB في مسيرات خارج خط البصر بتغير قدره 6 dB.

بيانات الانتشار وطرق التنبؤ لنهج تشكيل المسير

7

تصنيف شكل المسير

1.7

في المناطق المأهولة بالسكان فيما عدا المناطق الريفية، يمكن تصنیف شكل المسير للقنوات اللاسلكية إلى تسع فئات كما هو مبين في الجدول 24. ويستند التصنیف بشكل كامل إلى بيئة حقيقة لانتشار الموجات. وبتحليل توزيع ارتفاع المبني وكثافة المباني للموقع التمثيلية المختلفة باستخدام قاعدة بيانات نظام المعلومات الجغرافية (GIS).

الجدول 24

تصنيف شكل المسير بالنسبة لقناة MIMO

الكثافة	تشكيل المسير	
فوق %35	كثافة عالية (HRHD)	مبان عالية الارتفاع (m 25 ~)
%35 ~ 20	كثافة متوسطة (HRMD)	
أقل من 20%	كثافة منخفضة (HRLD)	
فوق %35	كثافة عالية (MRHD)	مبان متوسطة الارتفاع (m 25 ~ m 12)
%35 ~ 20	كثافة متوسطة (MRMD)	
أقل من 20%	كثافة منخفضة (MRLD)	
فوق %35	كثافة عالية (LRHD)	مبان منخفضة الارتفاع (أقل من m 12)
%35 ~ 20	كثافة متوسطة (LRMD)	
أقل من 20%	كثافة منخفضة (LRLD)	

طريقة النمذجة الإحصائية

2.7

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

وتحدد النماذج من أجل حالة $h_r > h_1$. وترتدد تعريف f و d و h_r و h_1 و Δh_1 في الشكل 2 ومثل B_d كثافة المبني. ويصلح نجع تشكيل المسير للقيم التالية للمعلمات:

$$\begin{aligned}
 & \text{MHz 6 000 إلى 800} & :f \\
 & \text{m 800 إلى 100} & :d \\
 & \text{m 60 إلى 3} & :h_r \\
 & \Delta h_1 + h_r & :h_1 \\
 & \text{m 20 حتى} & : \Delta h_1 \\
 & \text{m 3 من إلى 1} & :h_2 \\
 & .45 \% \text{ إلى 10} & :B_d
 \end{aligned}$$

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

$$(95) \quad P(h) = \frac{h}{\mu^2} \exp\left(-\frac{h^2}{2\mu^2}\right)$$

ولاستخلاص المعلمات الإحصائية لتوزيع رايلي بشكل مسیر معین، يوصى باستعمال قاعدة البيانات GIS المتاحة. وبالنسبة للأوضاع الأفقية للمبني، يمكن افتراض أنها موزعة بانتظام.

ويجري حساب انتشار الموجات لكل حالة من حالات توزيع المبني باستخدام طريقة تتبع الشعاع. ويوصى باستخدام خمس عشرة مرآة انعكاس ومرتين انكسار من أجل المحاكاة. ومن المهم أيضًا مراعاة اختراق المبني. ويوصى بضبط القدرة المستقبلة بصورة سليمة لمراعاة اختراق المبني. وللحصول على معلمات النموذج، ينبغي إجراء عمليات المحاكاة لعدد كافٍ من المرات لكل شكل من أشكال المسيرات، ويوصى بعدد أربع مرات على الأقل. وبالنسبة لكل مرة من مرات المحاكاة، ينبغي وضع عدد كافٍ من المستقبلات في منطقة الحساب للحصول على بيانات ذات مغزى إحصائيًا. ويوصى بوجود 50 مستقبلًا على الأقل في كل تقسيم فرعي للمسافة طوله 10 m. وينبغي ضبط ارتفاعي هوائي الإرسال والاستقبال على قيم مناسبة. ويوصى بضبط قيمتي ثابت الكهربائية والموصولة على $R_e = 7,0$ S/m 0,015 بالنسبة للمبني، و $R_e = 2,6$ S/m 0,012 للأراضي المسطحة.

الجدول 25

معلومات توزيع ارتفاع المبني من أجل النمذجة الإحصائية

متوسط ارتفاع المبني (m)	مدى توزيع ارتفاع المبني (m)	معلمة رايلي μ	تشكيل المسير
34,8	78,6~12,3	18	HRHD
34,4	70,8~12,5		HRMD
34,2	68,0~13,2		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

نموذج الخسارة الأساسية للإرسال 3.7

يحدد نموذج الخسارة الأساسية للإرسال في هذه التوصية بالمعادلين:

$$(96) \quad L_b = L_0 + 10 \cdot n \cdot \log_{10}(d) + S \quad (\text{dB})$$

$$(97) \quad L_0 = -27.5 + 20 \cdot \log_{10}(f) \quad (\text{dB})$$

حيث n أنس الخسارة الأساسية للإرسال. W قيمة عشوائية تمثل الانتشار العشوائي حول خط الانقلاب بالتوزيع النظامي ويرمز للانحراف المعياري للقيمة S بالرمز σ . ووحدات σ و d هي MHz، على التوالي.

وتعرض معلمات الخسارة الأساسية للإرسال من أجل الحالات النمطية الخاصة بعدد تسعة أشكال من أشكال المسيرات من النمذجة الإحصائية عند تردد $3,705 \text{ GHz}$ في الجدول 26. ويتم ضبط القيم الواردة في الجدول فيما يتعلق بجميع المستقبلات القائمة على ارتفاع 2 m على طول المسير على مسافات تتراوح بين 100 m و 800 m .

الجدول 26

معلومات الخسارة الأساسية للإرسال لعدد تسعه أشكال المسيرات عند تردد GHz 3,705

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 تربع وقت الانتشار كدالة في المسافة. ويستخلص جذر متوسط تربع وقت الانتشار عبر مسيرات توسيع فيها الحالة NLoS على مسافات من 100 إلى 800 m بنمذجتها كدالة في المسافة من المعادلة:

$$(98) \quad DS = A \cdot d^B \quad (\text{ns})$$

وتد معلومات وقت الانتشار لحالات نمطية لعدد تسعه أشكال المسير من النمذجة الإحصائية عند التردد GHz 3,705 في الجدول 27. ويبلغ ارتفاع المستقبل 2 m ويتم تحريك الأجزاء البعيدة بشكل جيد للحصول على المعلومات السليمة.

الجدول 27

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

وقت الانتشار (ns)		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 بالمعادلين:

$$(99) \quad ASD = \alpha \cdot d^\beta \quad (\text{بالدرجات})$$

$$(100) \quad ASA = \gamma \cdot d^\delta \quad (\text{بالدرجات})$$

وتعرض معلمات الانتشارين ASD و ASA للحالات النمطية لعدد 9 أشكال المسيرات من النمذجة الإحصائية عند التردد 3,705 GHz في الجدولين 28 و 29.

الجدول 28

معلومات الانتشار ASD لعدد تسعة 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 29

معلومات الانتشار ASA لعدد تسعة 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

نموذج الارتباط المتبادل لقناة متعددة الوصلات

8

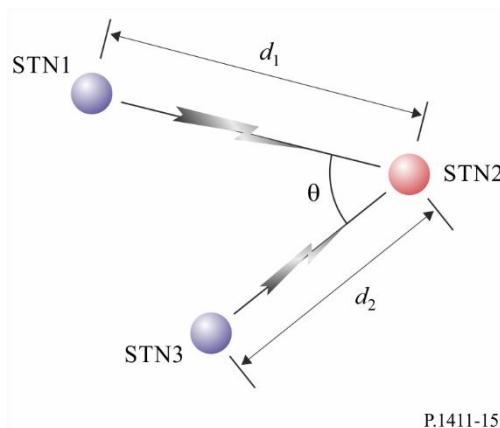
تعريف المعلمات

1.8

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 15 شكل هندسي لقناة متعددة الوصلات، وتستعمل المعلمتان التاليتان، أي زاوية الفصل والمسافة النسبية، من أجل النمذجة الهندسية لقناة متعددة الوصلات.

الشكل 15

مخطط للوصلات المتعددة



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

$$(101) \quad \tilde{d} = \log_{10} \frac{d_1}{d_2}$$

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

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

$$(102) \quad 0^\circ < \theta < 180^\circ, \quad -0.3 \leq \tilde{d} \leq 0.3$$

الارتباط المتبادل للمعلمات الزمانية المكانية طويلة الأمد

2.8

تتضمن المعلمات الزمانية المكانية طويلة الأمد لنموذج الارتباط المتبادل:

- خبو الحجب (SF) -
- عامل K (KF) -
- تمدد التأخير (DS) -
- تمدد زاوية الوصول (ASA) -
- تمدد زاوية الانطلاق (ASD) -

ويتحصل على نماذج الارتباط المتبدال بين المعلمات الزمانية المكانية طويلة الأمد بين الوصلة STN2-STN3 و STN2-STN1 و STN2-DS و STN2-ASA و STN2-KF و DS-ASA و DS-KF و ASD-ASA و ASD-KF من المعادلين التاليين.

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

$$(103) \quad \rho_{(SF,KF,DS,ASA)}(\theta) = A \cdot \exp(-\theta^2/B)$$

$$(104) \quad \rho_{(ASD)}(\theta) = A \cdot \ln(\theta) + B$$

ويعرض الجدول 30 المعاملات النمطية لكل نموذج من نماذج الارتباط المتبدال بدلالة زاوية الفصل والتحصل عليها من قياسات في بيئة سكنية نمطية عند التردد 3,7 GHz.

الجدول 30

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

معامل الارتباط المتبدال				ارتفاع الهوائي			التردد (GHz)	المنطقة	المعلمة
B		A		h_2 (m)	h_1 (m) و h_3				
انحراف معياري	متوسط	انحراف معياري	متوسط						
89	619	$2-10 \times 4,3$	0,749	2	25	3,7	سكنية	خبو 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 المتبدال (ρ) للمعلمات SF و KF و DS و ASA و ASD بين وصلتين بدلالة المسافة النسبية كالتالي:

$$(105) \quad \rho_{(SF,KF,DS,ASA)}(\tilde{d}) = A \cdot \exp(-|\tilde{d}|/B)$$

$$(106) \quad \rho_{ASD}(\tilde{d}) = A \cdot |\tilde{d}| + B$$

ويعرض الجدول 31 المعاملات النمطية لكل نموذج من نماذج الارتباط المتبدال بدلالة المسافة النسبية والتحصل عليها استناداً إلى قياسات أجريت في بيئة سكنية نمطية عند تردد 3,7 GHz.

الجدول 31

المعاملات النمطية لنماذج الارتباط المتبدال للمعلمات الزمانية المكانية طويلة الأمد بالنسبة لمسافة النسبية

معامل الارتباط المتبدال				ارتفاع الهوائي			التردد (GHz)	المنطقة	المعلمة
B		A		h_2 (m)	h_1 (m) و h_3				
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	خبو 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) للمعلمات SF و DS و KF و ASA و ASD بين وصلتين بالنسبة لزاوية الفصل والمسافة النسبية كالتالي:

$$(107) \quad \rho_{(SF, KF, DS, ASA, ASD)}(\theta, \tilde{d}) = A \cdot \exp\left(-\frac{\theta^2}{B}\right) \cdot \exp\left(-\frac{\tilde{d}^2}{C}\right)$$

ويعرض الجدول 32 المعاملات النمطية لنموذج الارتباط المتبادل لكل نماذج الارتباط المتبادل بدلالة الارتباط المتبادل بدلالة زاوية الفصل والمسافة النسبية والتحصل عليه استناداً إلى قياسات أجريت في بيئات سكنية نمطية عند التردد 3,7 GHz.

الجدول 32

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

معامل الارتباط المتبادل						ارتفاع المواتي		التردد (GHz)	المنطقة	المعلمة
C		B		A		h_2 (m)	h_3 و h_1 (m)			
انحراف معياري	متوسط	انحراف معياري	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	خبو الحجب
$2^{-10 \times 4,2}$	0,21	5,9	22,48	$2^{-10 \times 6,4}$	0,28					معامل 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 STN1-STN2، $h_i(\tau_i)$ عند التأخير τ_i وللاستجابة النبضية لقناة الوصلة STN2-STN3، $h_i(\tau_i)$ عند التأخير τ_i يمكن حسابه كالتالي:

$$(108) \quad c_{h_i h_j}(\tau_i, \tau_j) = \text{Real}\{E[(h_i(\tau_i) - \bar{h}_i(\tau_i))(h_j(\tau_j) - \bar{h}_j(\tau_j))^*]\}$$

حيث * تقلل موقع إزاحة معينة ويلاحظ أن عينات التأخير للاستجابات النبضية للقنوات ذات القدرة التي تدرج في المدى الدينامي (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:

$$(109) \quad c_{h_i h_j}(\tau_i, \tau_j) = \text{Real}\left\{\frac{E[(h_i(\tau_i) - \bar{h}_i(\tau_i))(h_j(\tau_j) - \bar{h}_j(\tau_j))^*]}{\sqrt{E[(h_i(\tau_i) - \bar{h}_i(\tau_i))^2]}\sqrt{E[(h_j(\tau_j) - \bar{h}_j(\tau_j))^2]}}\right\}$$

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

الارتباط المتبادل الأقصى للخبو قصير الأمد (τ_i, τ_j) -

$$(110) \quad \rho_{Fmax} = \max\{c_{h_i h_j}(\tau_i, \tau_j)\}$$

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

-

$$(111) \quad \rho_{Fmin} = \min\{c_{h_i h_j}(\tau_i, \tau_j)\}$$

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

-

$$(112) \quad \rho_{Fstd} = \sqrt{\frac{I}{T_i T_j} \int (c_{h_i h_j}(\tau_i, \tau_j) - c_{h_i h_j, \text{mean}})^2 d\tau_i d\tau_j}$$

حيث T_i و T_j تمثلان المدتين 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.

وتعطى نماذج الارتباط المتبادل (ρ_F) للخبو المنخفض بين وصلتين بالنسبة لزاوية الفصل بالمعادلة:

$$(113) \quad \rho_F(\theta) = A \cdot \ln(\theta) + B$$

ويعرض الجدول 33 المعاملات النمطية لنماذج الارتباط المتبادل بالنسبة لزاوية الفصل والمتحصل عليها استناداً إلى قياسات أجريت في بيئات سكنية نموذجية عند التردد 3,7 GHz.

الجدول 33

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 لمسافة النسبية من المعادلة:

$$(114) \quad \rho_F(\tilde{d}) = A \cdot \exp(-|\tilde{d}|/B)$$

ويعرض الجدول 34 المعاملات النمطية للدلائل الارتباط المتبادل بالنسبة لمسافة النسبية والمتحصل عليها استناداً إلى قياسات أجريت في بيئات سكنية نموذجية عند التردد 3,7 GHz.

الجدول 34

المعاملات النمطية لنماذج الارتباط المتبادل للخبو قصير الأمد بالنسبة لمسافة 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					
$5-10 \times 7,1$	5,1	$3-10 \times 2,8$	0,628	2	25	3,7	سكنية	أقصى
$1-10 \times 1,0$	3,75	$3-10 \times 5,7$	0,626-					أدنى
$5-10 \times 7,1$	5,1	$4-10 \times 7,1$	0,401					انحراف معياري

9 خصائص الانتشار في البيئات عالية الدوبلرية

إن المسافة التي يمكن من خلالها تقدير البيانات الوصفية لمتوسط تأخير القدرة ومعلمات القناة ذات الصلة مثل جذر متوسط التربع (r.m.s.) لتمدد التأخير، تتعلق بسرعة السيارة وعرض نطاق القياس.

1.9 سيناريوهات للقطارات عالية السرعة

في سيناريوهات القطارات عالية السرعة، تجري القطارات بسرعات عالية ما يؤدي إلى إزاحات دوبليرة عالية تقابل سرعات تبلغ حوالي $km/h 200$ ($m/s 55$) أو أكثر وذلك بسبب تشتت ما ومسافات قصيرة يمكن أن تُعتبر الخصائص العشوائية للوصلة ثابتة خلالها. وفي مدى التردد للموجات المليمترية، قد تحدث إزاحات دوبليرة أكبر بكثير ومسافات ثابتة أصغر من نطاقات التردد الأقل حتى عندما تكون سرعة قطار ما أبطأ.

وتكون الوصلات الراديوية للقطارات من وصلات مباشرة حيث يقع الهوائي داخل القطار أو وصلات ترحيل حيث يقع الهوائي أعلى القطار. وقد حللت قياسات قناة راديوية أجريت على طول خط السكة الحديدية في بيجين، الصين على تردد 2.650 MHz و 1.890 MHz باستخدام استبانة 18 MHz لشفرة Gold التي ترسلها شبكة الاتصالات الراديوية أو مسbar قناة بعرض نطاق 50 MHz على التردد 2.350 MHz لتقدير المسافة التي يمكن خلالها أن تُعتبر القناة ومعلمات القناة المقابلة ثابتة. وبالإضافة إلى ذلك، أُجريت قياسات القناة على طول مسار اختبار للسكك الحديدية في أوسونغ، كوريا، عند 28 GHz باستخدام مسbar قناة بعرض نطاق 500 MHz، وحللت لتقدير المسافة الثابتة ومعلمات القناة المقابلة.

وللقطارات عدد من السيناريوهات الخاصة التي تشمل الجسر (جسر خط السكك الحديدية)، والثلم (هيكل ضيق شبه مغلق مغطى بالنباتات على جدران منحدرة على جانبي القطار)، والتضاريس الجبلية، ومحطة القطار، والأنفاق

ويبين الجدول 35 المسافة التي قُدرت القناة ثابتة عبرها في سيناريوهات الجسر والثلم والنفق للوصلات مباشرة ووصلات الترحيل ومتوسط المسافة المقابلة.

الجدول 35

مسافة ثابتة لسيناريوهات القطار عالي السرعة

سيناريو القياس	خطة التغطية	التردد (MHz)	سرعة القطار (km/h)	المسافة الثابتة (m)	متوسط المسافة (m)
جسر	وصلة مباشرة	⁽¹⁾ 2.650	285	5-3,4	4,2
	وصلة ترحيل	⁽¹⁾ 1.890	285	3,5-1,9	2,8
		⁽³⁾ 28 000	170	0,24-0,05	0,11
	وصلة ترحيل	⁽²⁾ 2.350	200	0,51	0,51
نفق	وصلة ترحيل	⁽³⁾ 28 000	170	0,39-0,06	0,17

⁽¹⁾ بلغ عرض نطاق القياس 18 MHz

⁽²⁾ بلغ عرض نطاق القياس 50 MHz

⁽³⁾ بلغ عرض نطاق القياس 500 MHz.

استُخدمت القياسات لتقييم قيم جذر متوسط التربع (r.m.s.) لتمدد التأخير عند عتبة 20 dB وعامل K صغير النطاق على النحو المدرج في الجدول 36 لسيناريوهات الجسر والثلم.

الجدول 36

جذر متوسط التربيع (r.m.s.) لتمدد التأخير وعامل K لسيناريوهات القطار عالي السرعة

عامل K (dB)		جذر متوسط التربيع (r.m.s.) لتمدد التأخير (ns)		ظروف القياس						
%95	%50	%95	%50	المدى (m)	ارتفاع الهوائي		التردد (MHz)	خطة التغطية	السيناريو	
					h_2 (m)	h_1 (m)				
9	4	210	101	1 000–200	10	30	2 650	وصلة مباشرة	جسر	
15	8	120	29	1 000–200	10	30	1 890	وصلة ترحيل		
16,3	14,5	104,3	22,4	450-1	4,2	5	28 000	وصلة ترحيل		
11	4	171	38	1 000–100	3	14	2 350	وصلة ترحيل		
13,3	10,6	190,5	70,4	450-1	4,2	5	28 000	وصلة ترحيل	نفق	

سيناريوهات للمركبات عالية السرعة

2.9

في بيئات الطرق السريعة، يمكن للمركبات السير بسرعة حوالي 100 km/h ($27,8 \text{ m/s}$). وتحدث العديد من هذه المركبات عالية السرعة انتشارات متحركة تؤدي إلى إزاحات دوبليبة عالية.

وعلى غرار القطارات عالية السرعة، يمكن أن تكون الوصلات الراديوية في سيناريو الاتصال بين مركبة وبنية تحتية وصلة مباشرة أو وصلة ترحيل اعتماداً على ما إذا كان الهوائي داخل المركبة أو فوقها. وفي سيناريو الاتصال من مركبة إلى مركبة، هناك حالات تتحرك فيها المركبات في الاتجاه نفسه وعندما تواجه المركبات الأخرى بعضها البعض في الممرات المعاكسة أو تمر من الخلف. ويمكن إنشاء إزاحات دوبليبة بسرعة نسبية تبلغ $\pm 200 \text{ km/h}$ عندما تسير السيارة المستقبلة بسرعة 100 km/h وتتحرك السيارة المرسلة في الاتجاه المعاكس بالسرعة نفسها.

ويعطي الجدول 37 المسافة التي تم فيها تقدير أن القناة كانت مستقرة من أجل وصلة ترحيل في بيئة طريق سريع.

أُجريت القياسات في بيئة طريق سريع في يوجو، جمهورية كوريا، عند $5,9 \text{ GHz}$ (مع عرض نطاق قدره 100 MHz) وعند 28 GHz (مع عرض نطاق قدره 500 MHz). وجد بالإشارة إلى أن قياسات نطاقي التردد هذين أُجريت بشكل منفصل وبطريقة مستقلة.

الجدول 37

مسافة ثابتة لسيناريوهات المركبات عالية السرعة

مسافة متوسطة (m)	مسافة تقابل حالة مستقرة (m)	سرعة المركبة (km/h)	التردد (GHz)	خطة التغطية	السيناريو
0,86	1,68-0,38	100	⁽¹⁾ 5,9	وصلة ترحيل	مركبة إلى بنية تحتية
0,12	0,25-0,06	100	⁽²⁾ 28		
0,30	1,2-0,13	100	⁽³⁾ ⁽¹⁾ 5,9	وصلة ترحيل	مركبة إلى مركبة

⁽¹⁾ بلغ عرض نطاق القياس 100 MHz .

⁽²⁾ بلغ عرض نطاق القياس 500 MHz .

⁽³⁾ المرسل والمستقبل يتنقلان في اتجاهين معاكسين، على التوالي.

فيما يخص القياسات عند 5,9 GHz، بلغت العتبة 20 dB. وفيما يخص القياسات عند 28 GHz، بلغت عتبة قيم جذر متوسط التربيع لتمدد التأخير 25 dB. ويرد في الجدول 38 قيم جذر متوسط التربيع لتمدد التأخير وقيم عامل K صغير النطاق.

الجدول 38

جذر متوسط التربيع لتمدد التأخير وعامل K لسيناريوهات المركبات عالية السرعة

عامل K (dB)		جذر متوسط التربيع (r.m.s.) لتمدد التأخير (ns)		ظروف القياس						
%95	%50	%95	%50	المدى (m)	ارتفاع الهوائي		التردد (GHz)	خطة التغطية	السيناريو	
					h_2 (m)	h_1 (m)				
15,7	7,5	552	13	1 000-30	1,7	7	5,9	وصلة ترحيل	مركبة إلى بنية تحتية	
13,1	10,2	293,5	6,3	500-100	2	11	28			
16,2	8,6	742	19	1 000-30	1,7	1,7	⁽¹⁾ 5,9	وصلة ترحيل	مركبة إلى مركبة	

⁽¹⁾ المرسل والمستقبل ينتقلان في اتجاهين معاكسين، على التوالي.