

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R P.1816-4
(2019/08)

التنبؤ بالخواص الزمنية والمكانية للخدمات
المتنقلة البرية عريضة النطاق التي تستعمل
نطاقات ترددات الموجات الديسيمترية (UHF)
والموجات السنتمترية (SHF)

السلسلة P

انتشار الموجات الراديوية

تمهيد

يضع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد مدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها. ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهروتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في القرار ITU-R 1. وترد الاستثمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en> حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>)

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

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

النشر الإلكتروني

جنيف، 2020

© ITU 2020

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

التوصية ITU-R P.1816-4

التنبؤ بالخواص الزمنية والمكانية للخدمات المتنقلة البرية عريضة النطاق
التي تستعمل نطاقات ترددات الموجات الديسيمترية (UHF)
والموجات السنتمترية (SHF)
(المسألة ITU-R 211/3)

(2019-2015-2013-2012-2007)

مجال التطبيق

الغرض من هذه التوصية هو تقديم إرشادات بشأن التنبؤ بالخواص الزمنية والمكانية للخدمات المتنقلة البرية عريضة النطاق باستعمال مدى الترددات من 0,7 GHz إلى 9 GHz لمسافات تتراوح بين 0,5 km و 3 km بالنسبة للبيئات خارج خط البصر (NLoS) وبين 0,05 km و 3 km لبيئات خط البصر (LoS)، في البيئة الحضرية وبيئة ضواحي المدن على حد سواء.

كلمات أساسية

خصائص الانتشار عبر مسيرات متعددة، وتمديد التأخير، وعدد المسيرات المتعددة، والاتساع، واختلاف طول المسير (التأخير)، وزاوية الورد.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

(أ) أن من الضروري تقديم إرشادات إلى المهندسين المكلفين بتخطيط الخدمات المتنقلة عريضة النطاق في نطاقات الترددات UHF و SHF؛

(ب) أن الخواص الزمنية-المكانية قد تكون هامة في تقييم تأثير الانتشار متعدد المسيرات؛

(ج) أن أفضل نمذجة للخواص الزمنية-المكانية تتمثل في دراسة شروط الانتشار من مثل ارتفاع البنايات وارتفاع الهوائي، والمسافة بين محطة القاعدة والمحطة المتنقلة وعرض نطاق المستقبل،

وإذ تلاحظ

(أ) أن طرائق التوصية ITU-R P.1546 موصى بها للتنبؤ بشدة المجال، من نقطة إلى منقطة، من أجل الخدمات الإذاعية والتنقلة البرية والبحرية وبعض الخدمات الثابتة في مدى الترددات من 30 MHz إلى 3 000 MHz وفي مدى المسافات التي تتراوح بين 1 km و 1 000 km؛

(ب) أن طرائق التوصية ITU-R P.1411 موصى بها لتقييم خصائص الانتشار لأنظمة الخلاء ذات المدى القصير (إلى حد 1 km) في مدى الترددات بين 300 MHz و 100 GHz؛

(ج) أن طرائق التوصية ITU-R P.1411 موصى بها لتقدير الشكل المتوسط لخواص التأخير بالنسبة لحالة خط البصر LoS في بيئة حضرية ذات أبنية شاهقة الارتفاع من أجل خلايا صغيرة وخلايا متناهية الصغر؛

(د) أن طرائق التوصية ITU-R P.1407 موصى بها لتحديد المصطلحات المرتبطة بتعدد المسيرات وحساب تمديد التأخير والتمديد الزاوي للورد باستعمال خواص التأخير وخواص زاوية الورد على التوالي؛

هـ) أن طرائق التوصية ITU-R M.1225 موصى بها لتقييم أداء نظام الاتصالات المتنقلة الدولية لعام 2000 (IMT-2000) المتأثر بالانتشار متعدد المسيرات،

توصي

- 1 وجوب استعمال مضمون الملحق 1 لتقييم خواص التأخير في الغلاف والقدرة في الأجل الطويل بالنسبة للخدمات المتنقلة عريضة النطاق التي تستعمل نطاقات الموجات الديسيمتريّة UHF والسنتيمتريّة SHF في المناطق الحضرية ومناطق ضواحي المدن؛
- 2 استعمال مضمون الملحق 2 لتقييم خواص القدرة طويلة الأجل تبعاً لزاوية الورد عند المحطة القاعدة (BS) من أجل الخدمات المتنقلة عريضة النطاق التي تستخدم نطاقات الموجات الديسيمتريّة (UHF) والسنتيمتريّة (SHF) في المناطق الحضرية وفي ضواحي المدن؛
- 3 استعمال مضمون الملحق 3 لتقييم خواص القدرة طويلة الأجل تبعاً لزاوية الورد عند المحطة المتنقلة (MS) من أجل الخدمات المتنقلة عريضة النطاق التي تستخدم نطاقات الموجات الديسيمتريّة (UHF) والسنتيمتريّة (SHF) في المناطق الحضرية وفي ضواحي المدن.

ملاحظة - استندت دراسات التقاسم التي أجراها قطاع الاتصالات الراديوية بشأن مختلف بنود جدول أعمال المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية لعام 2019 (WRC-19) إلى نص هذه التوصية التي كانت سارية في وقت هذه الأنشطة أو في الوقت الذي أُجري فيه النشاط.

الملحق 1

1 مقدمة

تُبيّن التوصية ITU-R P.1407 أهمية خواص التأخير كما يلي.

تُعتبر خصائص الانتشار عبر مسيرات متعددة عاملاً رئيسياً في التحكم في نوعية الاتصالات المتنقلة الرقمية. وتشمل خصائص الانتشار عبر مسيرات متعددة مادياً عدد المسيرات المتعددة واتساعها واختلاف طول المسير (التأخير) وزاوية الورد. ويمكن تحديد هذه الخصائص بدالة نقل مسير الانتشار (خصائص الاتساع-لتردد) وعرض نطاق الترابط.

كما ذُكر، فإن خواص التأخير هي معلمة أساسية لتقييم خصائص تعدد المسيرات. وحالما تُنمذج المواصفة، يمكن اشتقاق معلمات تعدد المسيرات من قبيل تمديد التأخير وعرض نطاق ترابط التردد من الخواص.

وتؤثر معلمات الانتشار المتعلقة ببيئة المسير على شكل الخواص التي تتكون من موجات متعددة لها اتساعات مختلفة وأوقات تأخير مختلفة. ومن المعروف أن الموجات المتأخرة كثيراً لها اتساع منخفض نظراً للمسير الطويل الذي تجتازه. ويمكن تقريب متوسط خواص التأخير (خواص التأخير على الأجل الطويل) كدالة أُسية أو دالة قدرة كما هو مبين في أعمال سابقة.

ويتوقف عدد وفترة الموجات الواردة في خواص أي تأخير على عرض نطاق المستقبل لأن استبانة الزمن محدودة بعرض نطاق تردد المستقبل. ولتقدير خواص التأخير، ينبغي أخذ حد عرض نطاق التردد في الاعتبار. ويرتبط هذا الحد ارتباطاً وثيقاً بالطريقة المستعملة في تقسيم القدرة المستقبلية إلى موجات متعددة.

وتُعرّف خواص التأخير التي تتألف من مسيرات منفصلة بأنها خواص تأخير المسير من أجل أخذ عرض نطاق التردد أو استبانة المسير في الاعتبار.

وتُعرّف في التوصية ITU-R P.1407 مجموعات مختلفة لخواص التأخير وطرائق معالجتها كما هو موضح في الشكل 1.

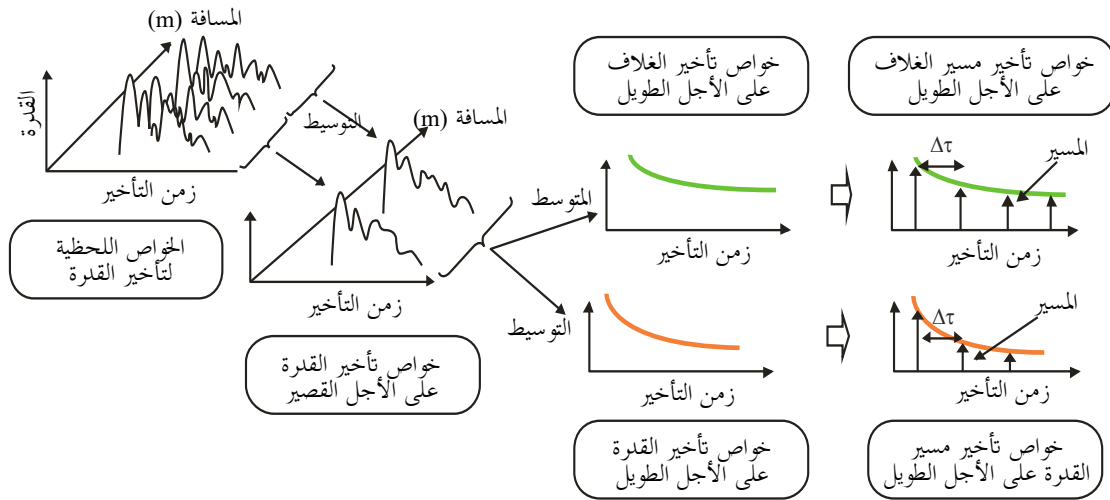
والخواص اللحظية لتأخير القدرة هي كثافة القدرة للاستجابة النبضية في لحظة معينة عند نقطة معينة ويتم الحصول على خواص تأخير القدرة قصيرة الأجل بأخذ متوسط القيم المكانية لخواص تأخير القدرة اللحظية على امتداد بضع عشرات من أطوال الموجات لكبت تباير الخبو السريع؛ ويتم الحصول على خواص تأخير القدرة طويل الأجل من خلال أخذ متوسط القيم المكانية لخواص تأخير القدرة قصيرة الأجل عند نفس المسافة تقريباً من المحطة القاعدة (BS) من أجل كبت التبايرات الناجمة عن الحجب أيضاً.

وبشأن خواص التأخير المسير طويل الأجل، يمكن تعريف مجموعتي خواص مختلفتين، أولاهما هي خواص تأخير الغلاف وتستند إلى القيمة المتوسطة لكل مواصفة تأخير، وهي تعبر عن شكل الخواص في المنطقة قيد الاعتبار كما يبين في الشكل 1. ومجموعة الخواص الأخرى هي خواص تأخير القدرة القائم على القيمة المتوسطة للقدرة لكل مجموعة من مجموعتي خواص التأخير.

وعلاوةً على ذلك، وفيما يتعلق بمجموعتي خواص التأخير للغلاف والقدرة، فإن مجموعات خواص تأخير المسير التي تتألف من مسيرات مختلفة تحدد أيضاً للحصول على التباير في عدد المسيرات حسب استبانة المسير والتي تعتمد على عرض نطاق التردد.

الشكل 1

خواص التأخير



P.1816-01

المعلومات

2

τ : الزيادة في زمن التأخير، (μs)

i : زمن التأخير الزائد المقيس باستبانة الزمن $1/B$ و $i = 0, 1, 2, \dots$ (هنا $i = 0$ يعني مسير الورد الأول دون زمن تأخير زائد و $i = k$ يعني زمن تأخير زائد قدره k/B (μs))

$\langle H \rangle$: متوسط ارتفاع المباني (5-50 m: الارتفاع فوق المستوى الأرضي للمحطة المنتقلة) (m)

h_b : ارتفاع هوائي المحطة القاعدة (5-150 m: الارتفاع فوق المستوى الأرضي للمحطة المنتقلة) (m)

d : المسافة من المحطة القاعدة (0,5-3 km للبيئات خارج خط البصر (NLoS) و 0,05-3 km للبيئات على خط البصر (LoS)) (km)

W : عرض الشارع (5-50 m)، (m)

B : معدل النبضات (0,5-50 Mcps)، (Mcps)

(يمكن تحديد عرض النطاق المشغول من معدل النبضات B ومرشاح النطاق الأساسي المستعمل)

f : تردد الموجة الحاملة (0,7-9 GHz)، (GHz)

<R> : معامل انعكاس القدرة المتوسط للجدران الجانبية للمبنى (>1)

γ_{dB} : مقدار ثابت (dB) (-16 dB - -12 dB)

γ : $10^{\gamma_{dB}/10}$

ΔL : فرق السوية بين قدرة الذروة على المسير وقدرة القطع (dB).

3 خواص التأخير على الأجل الطويل للبيئات خارج خط البصر في المناطق الحضرية وضواحي المدن

1.3 خواص تأخير الغلاف المقيس بقدرة مسير الورود الأول

تقدم خواص تأخير مسير الغلاف $PDP_{NLoS,env}(i, d)$ المقسومة على استبانة الزمن $1/B$ بقدرة مسير الورود الأول على مسافة d كما يلي:

$$(1) \quad PDP_{NLoS,env}(i, d) = 10^{PDP_{dB}(i, d)/10}$$

حيث:

$$(2) \quad PDP_{dB}(i, d) = a(i) \cdot PDP_{high}(i, d) \quad (\text{dB})$$

$$(1-2) \quad PDP_{high}(i, d) = -\{19.1 + 9.68 \log(h_b / \langle H \rangle)\} B^{\{-0.36 + 0.12 \log(h_b / \langle H \rangle)\}} d^{\{-0.38 + 0.21 \log(B)\}} \log(1 + i) \quad (\text{dB})$$

$$(2-2) \quad a(i) = \left(0.4 + (1 - 0.4) \exp\left[-0.2 \left(\frac{\langle H \rangle}{h_b}\right)^4\right] \right) + \left(\frac{\langle H \rangle}{h_b} \left(1 - \exp\left[-0.4 \left(\frac{\langle H \rangle}{h_b}\right)^2\right] \right) \right) (i / B)$$

وتقدم خواص تأخير الغلاف $PDP_{NLoS,env}(\tau, d)$ بزيادة مستمرة في زمن التأخير والمقيسة بقدرة مسير الورود الأول على مسافة d كالتالي:

$$(3) \quad PDP_{NLoS,env}(\tau, d) = PDP_{NLoS,env}(B\tau, d)$$

وتستخدم العلاقة ($\tau = i / B \Rightarrow i = B\tau$) عند اشتقاق المعادلة (3)

2.3 خواص تأخير القدرة المقيسة بقدرة مسير الورود الأول

تقدم خواص تأخير القدرة $PDP_{NLoS,pow}(i, d)$ المقسومة على استبانة الزمن $1/B$ والمقيسة بقدرة مسير الورود الأول على مسافة d كما يلي:

$$(4) \quad PDP_{NLoS,pow}(i, d) = c(i) \cdot 10^{PDP_{dB}(i, d)/10}$$

حيث:

$$(5) \quad c(i) = \begin{cases} 1 & (i = 0) \\ \min\left(0.63, \left\{0.59e^{-0.0172B} + (0.0172 + 0.0004B)\langle H \rangle\right\} e^{-\{0.077 - 0.00096B - (0.0014 - 0.000018B)\langle H \rangle\}i}\right) & (i \geq 0) \end{cases}$$

وهنا، فإن دالة $\min(x, y)$ تنتقي الحد الأدنى لقيمة x و y .

وتقدم خواص تأخير القدرة $PDP_{NLoS,pow}(\tau, d)$ بزيادة مستمرة في زمن التأخير والمقيسة بقدرة مسير الورود الأول على مسافة d كما يلي:

$$(6) \quad PDP_{NLoS,pow}(\tau, d) = PDP_{NLoS,pow}(B\tau, d)$$

3.3 أمثلة

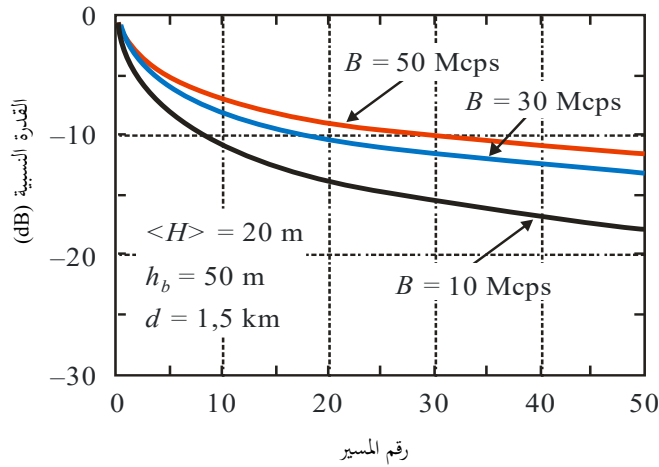
1.3.3 خواص تأخير الغلاف المقيسة بقدره مسير الورود الأول

عندما يكون ارتفاع هوائي المحطة القاعدة، h_b ، والمسافة من المحطة القاعدة، d ، ومتوسط ارتفاع المباني $\langle H \rangle$ تساوي 50 m و 1,5 km و 20 m، على التوالي، تكون خواص تأخير مسير الغلاف $PDP_{NLoS,env}(i, d)$ على النحو المبين في الشكل 2، حيث المعلمة هي معدل النبضات، B .

وعندما يبلغ متوسط ارتفاع المباني $\langle H \rangle$ ، والمسافة من المحطة القاعدة d ، ومعدل النبضات B : 20 m و 1,5 km و 10 Mcps على التوالي، فإن خواص تأخير مسير الغلاف $PDP_{NLoS,env}(\tau, d)$ تكون على النحو المبين في الشكل 3، وتكون المعلمة هي ارتفاع هوائي المحطة القاعدة، h_b .

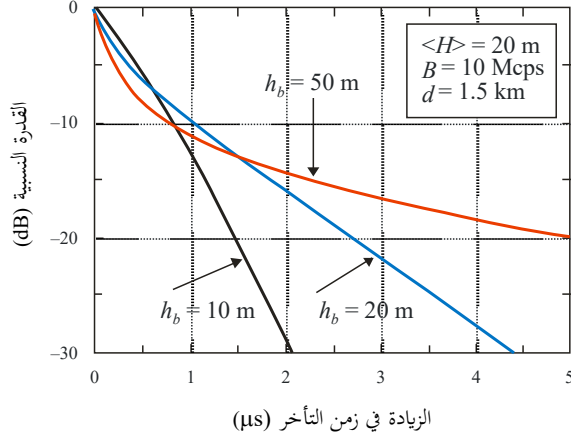
الشكل 2

خواص تأخير الغلاف $PDP_{NLoS,env}(i, d)$ للبيئات خارج خط البصر



الشكل 3

خواص تأخر الغلاف $PDP_{NLoS,env}(\tau, d)$ للبيئات خارج خط البصر



P.1816-03

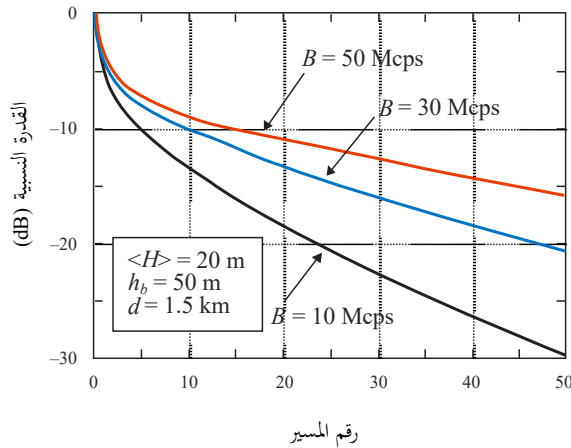
2.3.3 خواص تأخير القدرة المقيسة بقدرة مسير الورد الأول

عندما يبلغ ارتفاع هوائي المحطة القاعدة h_b ، والمسافة من المحطة القاعدة d ، ومتوسط ارتفاع المباني $\langle H \rangle$: 50 m و 1,5 km و 20 m، على التوالي، تكون خواص تأخر مسير القدرة $PDP_{NLoS,pow}(i, d)$ على النحو المبين في الشكل 4، حيث المعلمة هي معدل النبضات، B .

وعندما يبلغ متوسط ارتفاع المباني $\langle H \rangle$ ، والمسافة من المحطة القاعدة d ، ومعدل النبضات B : 20 m و 1,5 km و 10 Mcps على التوالي، فإن خواص تأخر القدرة $PDP_{NLoS,pow}(\tau, d)$ تكون على النحو المبين في الشكل 5، حيث المعلمة هي ارتفاع هوائي المحطة القاعدة، h_b .

الشكل 4

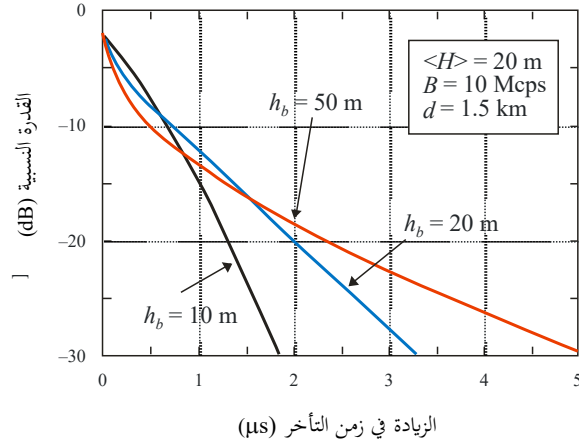
خواص تأخر مسير القدرة، $PDP_{NLoS,pow}(i, d)$ للبيئات خارج خط البصر



P.1816-04

الشكل 5

خواص تأخر القدرة $PDP_{NLoS,pow}(\tau, d)$ للبيئات خارج خط البصر



P.1816-05

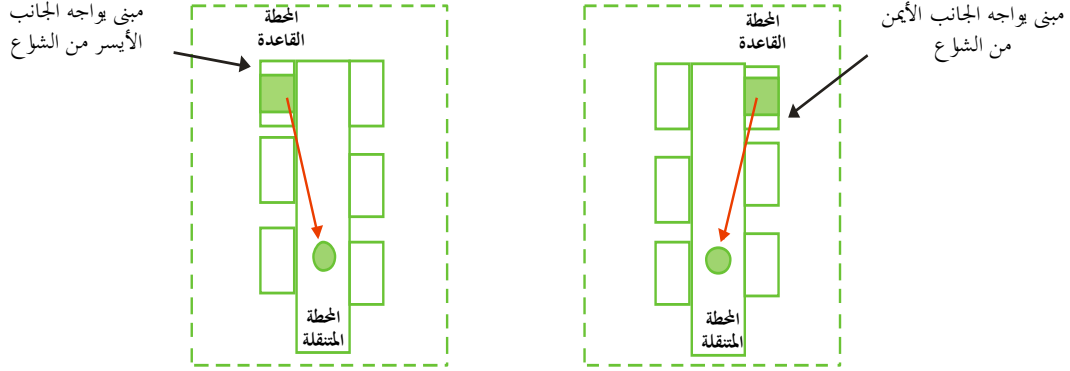
4 خواص التأخر على المدى الطويل لبيئات خط البصر في المناطق الحضرية وضواحي المدن

1.4 بيئات خط البصر قيد البحث

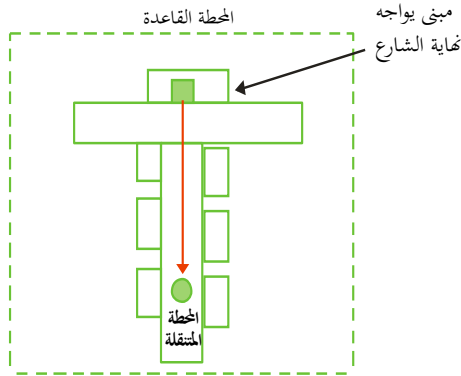
يعرض الشكل 6 بيئات خط البصر قيد البحث. ففي الشكل 6 (أ) توضع المحطة القاعدة على قمة المبنى في وسط الشارع، بحيث يمكن للمحطة القاعدة أن تلاحظ المحطة المتنقلة مباشرة. وفي الشكل 6 (ب)، توضع المحطة القاعدة عند مركز سطح المبنى تقريباً الذي يواجه نهاية الشارع وتوضع المحطة المتنقلة في وسط الشارع.

الشكل 6

بيانات خط البصر قيد البحث



(أ) المحطة القاعدة تواجه الجانب الأيمن أو الأيسر من الشارع



(ب) المحطة القاعدة تواجه نهاية الشارع P.1816-06

2.4 خواص التأخر للغلاف مقيسة بقدره مسير الورود الأول

تقدم خواص تأخر الغلاف $PDP_{LoS,env}(\tau, d)$ المقيسة بقدره مسير الورود الأول على مسافة d كما يلي:

(أ) المحطة القاعدة تواجه الجانب الأيمن أو الأيسر من الشارع

$$(1-7) \quad PDP_{LoS,env}(\tau, d) = \langle R \rangle \left(\frac{\sqrt{1+8(1000d)(300\tau)/W^2}-1}{2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,env}(\tau, d)$$

(ب) المحطة القاعدة تواجه نهاية الشارع

$$(2-7) \quad PDP_{LoS,env}(\tau, d) = \langle R \rangle \sqrt{2(1000d)(300\tau)/W^2} \cdot \left(2 - e^{-5.2(1000d)(300\tau)/W^2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,env}(\tau, d)$$

$$\approx \langle R \rangle \left(\frac{\sqrt{1+8(1000d)(300\tau)/W^2}-1}{2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,env}(\tau, d)$$

والخواص $PDP_{NLoS,env}(\tau, d)$ هنا هي خواص تأخر الغلاف للبيئات خارج خط البصر المعطاة في المعادلة (3) مقيسة بقدرة مسير الورد الأول على مسافة d . و γ مقدار ثابت يساوي من -12 dB إلى -16 dB طبقاً لبنية المدينة. و $\langle R \rangle$ هو معامل انعكاس القدرة المتوسطة للجدار الجانبي للمبنى ويساوي قيمة ثابتة تتراوح من 0,1 إلى 0,5.

ويُوصى بأن تكون قيمتا γ و $\langle R \rangle$ ، -15 dB و 0,3 (-5 dB)، على التوالي، بالنسبة للمناطق الحضرية التي يزيد فيها متوسط ارتفاع المباني $\langle H \rangle$ عن 20 m.

3.4 خواص تأخر القدرة مقيسة بقدرة مسير الورد الأول

تقدم خواص تأخر القدرة $PDP_{LoS,env}(\tau, d)$ المقيسة على مسير الورد الأول على مسافة d كما يلي:

(أ) المحطة القاعدة تواجه الجانب الأيسر أو الأيمن من الشارع

$$(1-8) \quad PDP_{LoS,pow}(\tau, d) = \langle R \rangle \left(\frac{\sqrt{1+8(1000d)(300\tau)/W^2}-1}{2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,pow}(\tau, d)$$

(ب) المحطة القاعدة تواجه نهاية الشارع

$$(2-8) \quad PDP_{LoS,pow}(\tau, d) = \langle R \rangle^{\sqrt{2(1000d)(300\tau)/W^2}} \cdot \left(2 - e^{-5.2(1000d)(300\tau)/W^2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,pow}(\tau, d)$$

$$\approx \langle R \rangle \left(\frac{\sqrt{1+8(1000d)(300\tau)/W^2}-1}{2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,pow}(\tau, d)$$

والخواص $PDP_{NLoS,pow}(\tau, d)$ هنا عبارة عن خواص تأخر القدرة للبيئات خارج خط البصر المعطاة في المعادلة (6) مقيسة بقدرة مسير الورد الأول على مسافة d ، و γ عبارة عن مقدار ثابت يتراوح بين -12 dB و -16 dB طبقاً لبنية المدينة، و $\langle R \rangle$ هي معامل انعكاس القدرة المتوسطة للجدار الجانبي للمبنى.

ويُوصى بأن تكون قيمتا γ و $\langle R \rangle$ ، كالتالي، -15 dB و 0,3 (-5 dB)، على التوالي في المناطق الحضرية التي يزيد فيها الارتفاع المتوسط للمباني $\langle H \rangle$ عن 20 m.

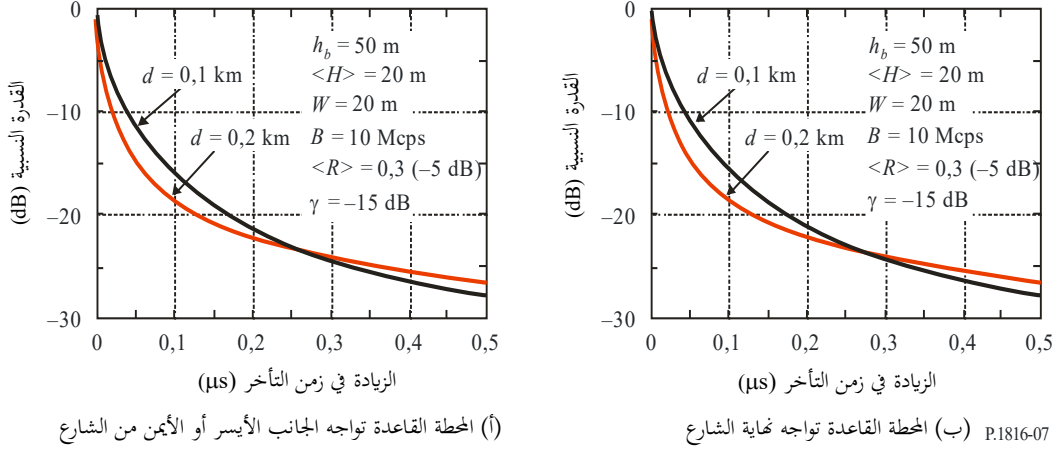
4.4 أمثلة

1.4.4 خواص تأخر الغلاف مقيسة بقدرة مسير الورد الأول

عندما يكون ارتفاع هوائي المحطة القاعدة h_b ومتوسط ارتفاع المباني $\langle H \rangle$ ومعدل النبضات B والمقداران γ و $\langle R \rangle$ كالتالي: 50 m و 20 m و 10 Mcps و -15 dB و 0,3 (-5 dB)، على التوالي، فإن خواص تأخر الغلاف، $PDP_{LoS,env}(\tau, d)$ تكون كما هو مبين في الشكل 7، حيث المعلمة المتغيرة هي المسافة من المحطة القاعدة d .

الشكل 7

خواص تأخر الغلاف، $PDP_{LoS,env}(\tau, d)$ ،
ليينات خط البصر

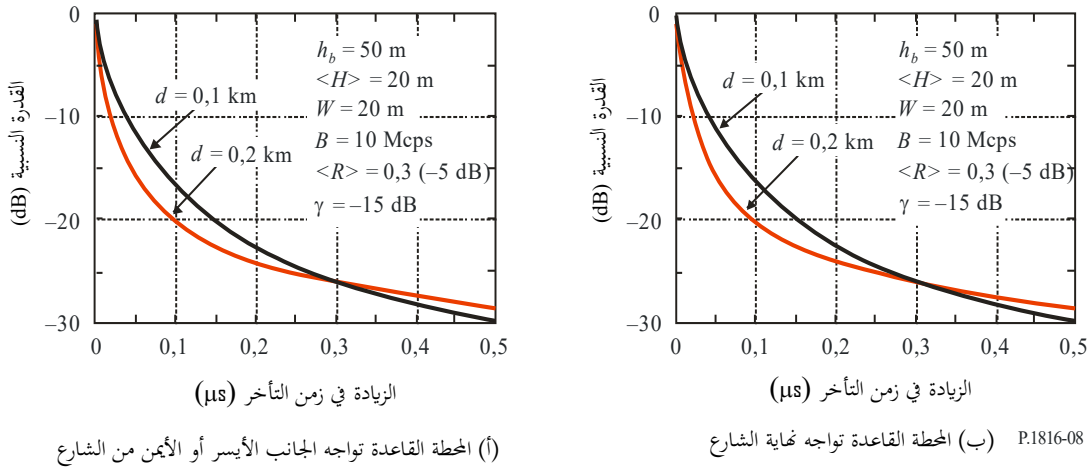


2.4.4 خواص تأخر القدرة مقيسة بقدرة مسير الورود الأول

عندما يكون ارتفاع هوائي المحطة القاعدة h_b ومتوسط ارتفاع المباني $\langle H \rangle$ ومعدل النبضات B والمقداران γ و $\langle R \rangle$ كالتالي: $m 50$ و $20 m$ و $10 Mcps$ و $15 dB$ و $0,3 (-5 dB)$ ، على التوالي، تكون خواص تأخر القدرة، $PDP_{LoS,pow}(\tau, d)$ ، على النحو المبين في الشكل 8، حيث المعلمة هي المسافة من المحطة القاعدة d .

الشكل 8

خواص تأخر القدرة، $PDP_{LoS,pow}(\tau, d)$ في بيينات خط البصر



الملحق 2

1 مقدمة

تُبيّن التوصية ITU-R P.1407 أهمية الخواص الزاوية للورود كما يلي.

تُعتبر خصائص الانتشار على مسيرات متعددة عاملاً رئيسياً في التحكم في نوعية الاتصالات المتنقلة الرقمية. وتشمل خصائص الانتشار عبر مسيرات متعددة مادياً عدد المسيرات المتعددة والانتساع واختلاف طول المسير (التأخر) وزاوية الورود. ويمكن تحديد هذه الخصائص بدالة نقل مسير الانتشار (خصائص الانتساع-التردد) وعرض نطاق الترابط.

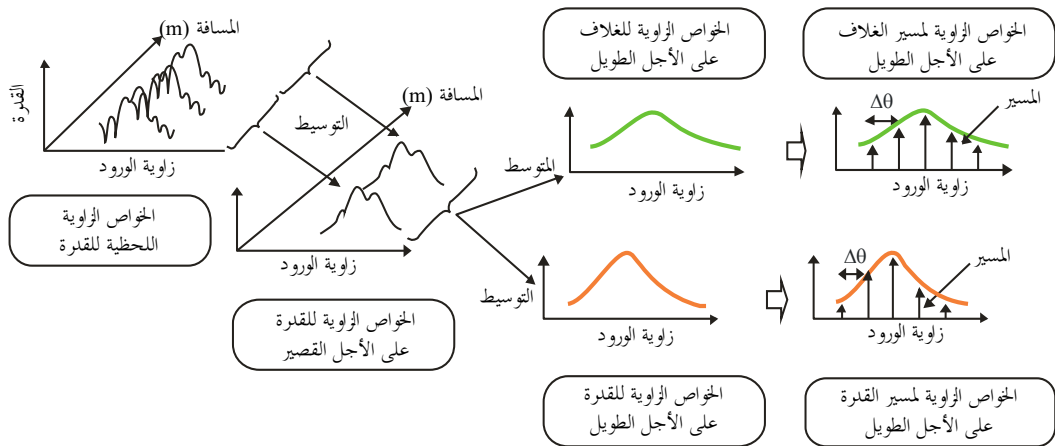
وكما ذُكر، فإن الخواص الزاوية للورود هي معلمة أساسية لتقييم خصائص المسيرات المتعددة. وحالما تُنمذج الخواص، يمكن اشتقاق معلمات تعدد المسيرات، من قبيل التمديد الزاوي للورود ومسافة الترابط المكاني، من الخواص.

وتؤثر معلمات الانتشار المتعلقة ببيئة المسير في شكل الخواص التي تتشكل بموجات متعددة لها اتساعات مختلفة وزوايا ورود مختلفة. ومن المعروف أن الموجات ذات زوايا الورود الكبيرة ذات مستوى اتساعات منخفض نظراً للمسير الطويل الذي تجتازه. وتُقرب خواص الورود الزاوي المتوسطة (الخواص الزاوية للورود على الأجل الطويل)، في أعمال سابقة، كدالة غوسية أو دالة لابلاسية، (أسية على الجانبين).

وتُعرّف في التوصية ITU-R P.1407 خواص زاوية مختلفة للورود وطرائق معالجتها - وحسب هذه التوصية، تكون الخواص الزاوية للورود عند المحطة القاعدة على النحو المبين في الشكل 9 - والخواص الزاوية اللحظية لورود القدرة عبارة عن كثافة قدرة الاستجابة النبضية لزاوية الورود في لحظة معينة وعند نقطة معينة ويتحصّل على الخواص الزاوية لورود القدرة على الأجل القصير بأخذ القيمة المكانية المتوسطة للخواص الزاوية لورود القدرة اللحظية عبر بضع عشرات من أطوال الموجات من أجل كبت التغيرات الناجمة عن الحبو السريع؛ ويتم الحصول على الخواص الزاوية لورود القدرة على الأجل الطويل بأخذ القيم المكانية المتوسطة للخواص الزاوية لورود القدرة على الأجل القصير عند نفس المسافة تقريباً من المحطة القاعدة من أجل كبت التغيرات الناجم عن الحجب.

الشكل 9

الخواص الزاوية للورود



المعلومات 2

- h_b : ارتفاع هوائي المحطة القاعدة (20-150 m: الارتفاع فوق المستوى الأرضي للمحطة المتنقلة)، (m)
- $\langle H \rangle$: متوسط ارتفاع المباني (5-50 m: الارتفاع فوق المستوى الأرضي للمحطة المتنقلة)، (m)
- d : المسافة من المحطة القاعدة (0,5-3 km للبيئات خارج خط البصر و0,05-3 m لبيئات خط البصر)، (km)
- W : عرض الشارع (5-50 m)، (m)
- B : معدل النبضات (0,5-50 Mcps)، (Mcps)
- (يمكن حساب عرض النطاق المشغول من معدل النبضات B ومرشاح النطاق الأساسي المطبق)
- f : تردد الموجة الحاملة (0,7-9 GHz)، (GHz)
- $\langle R \rangle$: معامل انعكاس القدرة المتوسطة للجدار الجانبي للمبنى (> 1)
- γ_{dB} : مقدار ثابت (من -16 dB إلى -12 dB)، (dB)
- γ : $10^{\gamma_{dB}/10}$
- ΔL : فارق السوية بين قدرة مسير الذروة وقدرة القطع، (dB).

3 الخواص الزاوية لورود السمات على الأجل الطويل عند المحطة القاعدة في بيئة خارج خط البصر في المناطق الحضرية وضواحي المدن

1.3 الخواص الزاوية للورود عند المحطة القاعدة مقيسة بالقدرة القصوى للمسير

يتحصل على الخواص الزاوية لورود قدرة السمات عند المحطة القاعدة، $AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d)$ ، المقيسة بالقدرة القصوى للمسير على مسافة d كالتالي:

$$(9) \quad AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) = \left(1 + \frac{|\Delta\theta|}{a(d)}\right)^{-\beta(d)}$$

حيث:

$$(10) \quad a(d) = -0,2d + 2,1 \left\{ \left(\frac{\langle H \rangle}{h_b} \right)^{0,23} \right\}$$

$$\beta(d) = (-0,015\langle H \rangle + 0,63)d - 0,16 + 0,76 \log(h_b)$$

وتمثل زاوية الورود القصوى للسمات عند المحطة القاعدة، a_M ، (بالدرجات) كالتالي:

$$(11) \quad a_M = -\varsigma \cdot d + \eta$$

حيث ζ و η مقداران ثابتان ويمثلان بدلالة ارتفاع المحطة القاعدة، h_b ، ومتوسط ارتفاع المباني $\langle H \rangle$ ، ومستوى العتبة ΔL (dB) كالتالي:

$$\zeta = \begin{cases} (-7.67 + 0.98\Delta L) \cdot \exp\left(\frac{\langle H \rangle}{h_b} \cdot (2.66 - 0.18\Delta L)\right) & (\Delta L \leq 15) \\ 7 & (\Delta L > 15) \end{cases} \quad (12)$$

$$\eta = (-35.8 + 41.1 \log(\Delta L)) \cdot \exp\left(\frac{\langle H \rangle}{h_b} \cdot (1.76 - 0.034\Delta L)\right)$$

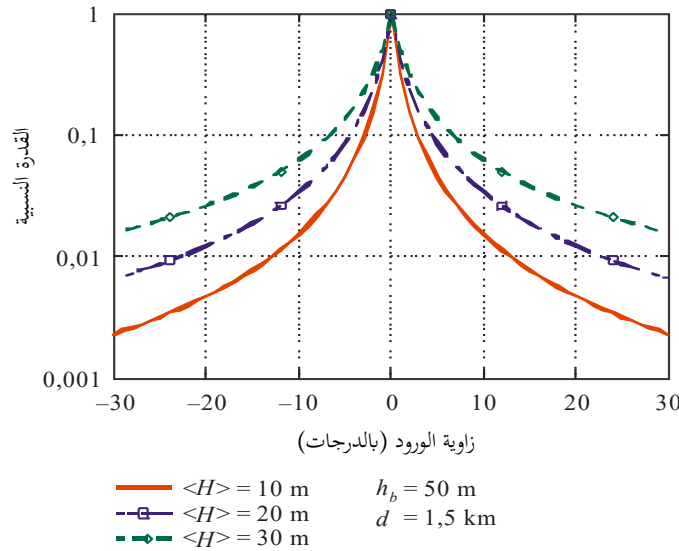
وحسب الدراسات التجريبية، تطبق المعادلة (9) على ترددات الموجات الحاملة التي تتراوح بين 0,7 و 9 GHz.

2.3 أمثلة

عندما يكون ارتفاع هوائي المحطة القاعدة، h_b ، والمسافة من المحطة القاعدة، d ، و 50 m و 1,5 km، على التوالي، فإن الخواص الزاوية لورود قدرة السمات، $AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d)$ للبيئات خارج خط البصر تكون على النحو المبين في الشكل 10، حيث تكون المعلمة المتغيرة هنا، متوسط ارتفاع المباني $\langle H \rangle$.

الشكل 10

الخواص الزاوية لورود السمات عند المحطة القاعدة للبيئات خارج خط البصر



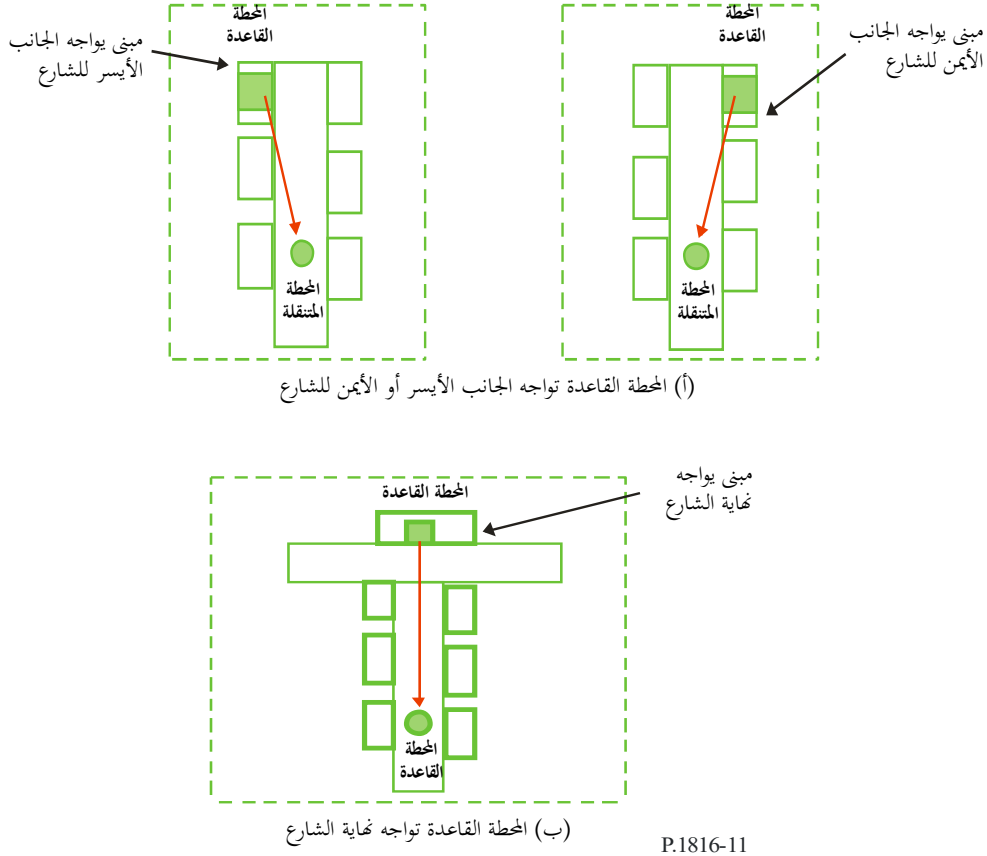
4 الخواص الزاوية لورود السمات على الأجل الطويل عند المحطة القاعدة لبيئات خط البصر في المناطق الحضرية وضواحي المدن

1.4 بيئات خط البصر قيد البحث

يعرض الشكل 11 بيئات خط البصر قيد البحث. ففي الشكل 11(أ)، توضع المحطة القاعدة على قمة مبنى يواجه الجانب الأيسر أو الأيمن للشارع فيما توضع المحطة المتنقلة في وسط الشارع؛ ويكون للمحطة القاعدة خط بصر مباشر مع المحطة المتنقلة. وفي الشكل 11(ب)، توضع المحطة القاعدة بشكل تقريبي في مركز سطح مبنى يواجه نهاية الشارع، فيما توضع المحطة المتنقلة في وسط الشارع.

الشكل 11

بيانات خط البصر قيد البحث



2.4 الخواص الزاوية للورود عند المحطة القاعدة مقيسة بالقدرة القصوى للمسير

يتحصّل على الخواص الزاوية للورود قدرة السمّت عند المحطة القاعدة، $AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d)$ ، المقيسة بالقدرة القصوى للمسير على مسافة d كما يلي:

(أ) المحطة القاعدة تواجه الجانب الأيسر أو الأيمن للشارع

1' المحطة القاعدة تواجه الجانب الأيمن للشارع كما هو مبين في الشكل 11(أ)

$$AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d) = \begin{cases} \gamma \cdot AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) & (\Delta\theta \geq 0) \\ \langle R \rangle^{1000d|\Delta\theta|\pi/(180W)} + \gamma \cdot AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) & (\Delta\theta < 0) \end{cases} \quad (1-13)$$

2' المحطة القاعدة تواجه الجانب الأيسر للشارع كما هو مبين في الشكل 11(أ)

$$AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d) = \begin{cases} \langle R \rangle^{1000d|\Delta\theta|\pi/(180W)} + \gamma \cdot AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) & (\Delta\theta \geq 0) \\ \gamma \cdot AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) & (\Delta\theta < 0) \end{cases} \quad (2-13)$$

(ب) المحطة القاعدة تواجه نهاية الشارع

$$AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d) = \langle R \rangle^{1000d|\Delta\theta|\pi/(180W)} + \gamma \cdot AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) \quad (3-13)$$

وتكون الخواص $AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d)$ هنا، هي الخواص الزاوية لورود السمات عند المحطة القاعدة لبيئات خارج خط البصر، المتحصّل عليها من المعادلة (9) مقيسة بالقدرة القصوى للمسير على مسافة d والمقدار γ هو مقدار ثابت يتراوح بين -12 dB و-16 dB حسب بنية المدينة، و $\langle R \rangle$ هو معامل انعكاس القدرة المتوسطة من الجدار الجانبي للمبنى وهو قيمة ثابتة تتراوح بين 0,1 و0,5. ويلاحظ أن المعادلتين (1-13) و(2-13) متماثلتين بشكل كبير بالنسبة لزاوية الورود عند المحطة القاعدة.

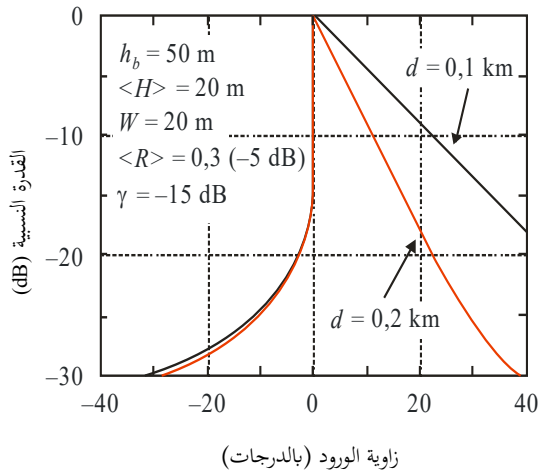
ويُوصى بأن تكون قيمتا γ و $\langle R \rangle$ و-15 dB و0,3 و(5- dB)، على التوالي في المناطق الحضرية التي يزيد فيها متوسط ارتفاع المباني $\langle H \rangle$ عن 20 m.

3.4 أمثلة

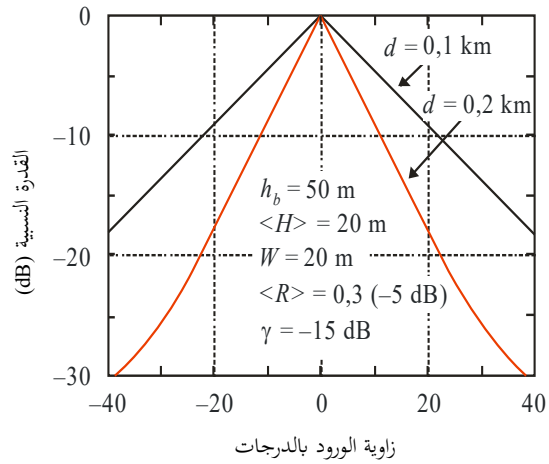
عندما يكون ارتفاع هوائي المحطة القاعدة h_b متوسط ارتفاع المباني $\langle H \rangle$ وعرض الشارع W ، كالتالي، 50 m و30 m و20 m، على التوالي، وتكون قيمتا $\langle R \rangle$ و γ كالتالي: 0,3 و(5- dB) و-15 dB على التوالي، فإن الخواص الزاوية لورود قدرة السمات عند المحطة المنتقلة، $AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d)$ في الحالة الممثلة في الشكل 11 لبيئات خارج خط البصر على النحو المبين في الشكل 12، حيث المعلمة المتغيرة هنا هي المسافة من المحطة القاعدة، d .

الشكل 12

الخواص الزاوية لورود السمات $AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d)$ ، لبيئات خارج خط البصر



(أ) المحطة القاعدة تواجه الجانب الأيسر أو الأيمن للشارع



(ب) المحطة القاعدة تواجه نهاية الشارع P.1816-12

5 الخواص الزاوية لورود الارتفاع على الأجل الطويل عند المحطة القاعدة في بيئة خارج خط البصر في المناطق الحضرية وضواحي المدن

1.5 المعلومات

d : المسافة من محطة قاعدة (0,2-3 km لبيئة خارج خط البصر)، (km).

إن المعلومات الأخرى هي نفس المعلومات الواردة في الفقرة 2.

2.5 الخواص الزاوية للورود عند المحطة القاعدة مقيسة بالقدرة القصوى للمسير

يُتَّحَصَل على الخواص الزاوية للورود قدرة الارتفاع عند المحطة القاعدة، $AOD_{NLoS,pow}^V(\Delta\theta, d)$ ، المقيسة بالقدرة القصوى للمسير على مسافة d على النحو التالي:

$$(14) \quad AOD_{NLoS,pow}^V(\Delta\theta_V, d) = \text{Exp}[-|\Delta\theta_V| / \sigma_V(d)]$$

$$(15-1) \quad \sigma_V(d) = \frac{(h_b - \langle H \rangle) \cdot k_x}{(h_b - \langle H \rangle)^2 + (1000d)^2} \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right) \quad (h_b \gg \langle H \rangle)$$

$$(15-2) \quad k_x = \begin{cases} 320 \cdot \left(\frac{h_b}{\langle H \rangle} \right)^{-1.14} & (\Delta\theta_V < 0) \\ 59 \cdot \left(\frac{h_b}{\langle H \rangle} \right)^{-0.56} \cdot \left\{ 1 + 5.5 \cdot \text{Exp} \left[- \left(\left(\frac{h_b}{\langle H \rangle} \right) - 1 \right)^{1.4} \right] \right\} & (\Delta\theta_V \geq 0) \end{cases}$$

ومن ناحية أخرى، يجب النظر في الاتجاهية الرأسية للهوائي $G^V(\Delta\theta_V)$ لهوائي المحطة القاعدة إذا تقرر تقدير بيانات الخواص الزاوية للورود الارتفاع المقاسة على نحو دقيق.

ويمكن الإشارة إلى الخواص الزاوية للورود قدرة الارتفاع عند المحطة القاعدة والذي يراعي الاتجاهية الرأسية للهوائي، لهوائي المحطة القاعدة $AOD_{NLoS,pow}^{V,ant}(\Delta\theta_V, d)$ ، على النحو التالي:

$$(16) \quad AOD_{NLoS,pow}^{V,ant}(\Delta\theta_V, d) = \int_{-\pi}^{\pi} G^V(\Theta) \cdot AOD_{NLoS,pow}^V(\Delta\theta_V - \Theta, d) d\Theta$$

يُتَّحَصَل عليها تقريباً بواسطة دالة لابلاس على النحو التالي.

$$(17) \quad AOD_{NLoS,pow}^{V,ant}(\Delta\theta_V, d) = \text{Exp}[-|\Delta\theta_V| / \sigma_V^{ant}(d)]$$

حيث:

$$(18) \quad \sigma_V^{ant}(d) = \sqrt{\sigma_V^2(d) + \sigma_{vant}^2 / 2}$$

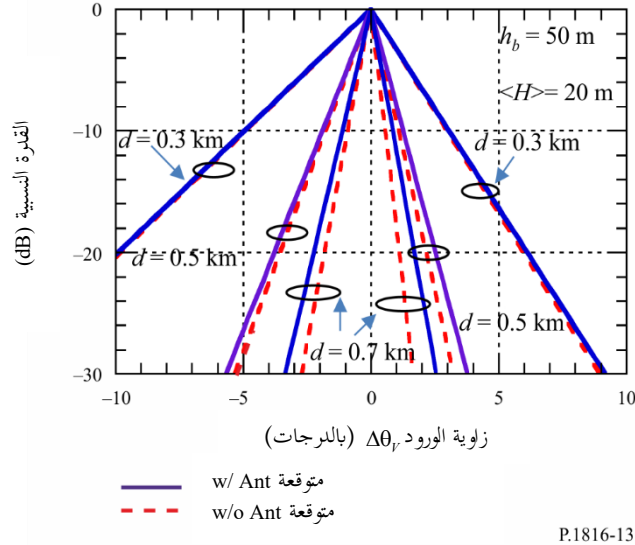
وهنا σ_{vant} هو الانحراف المعياري للاتجاهية الرأسية للهوائي $G^V(\Delta\theta_V)$

3.5 مثال

عندما يبلغ ارتفاع هوائي المحطة القاعدة h_b ، 50 m، ومتوسط ارتفاع المبنى $\langle H \rangle$ 20 m، و σ_{vant} الهوائي 0,5 درجة، فإن الخواص الزاوية للورود قدرة الارتفاع عند المحطة القاعدة لبيئات خارج خط البصر $AOD_{NLoS,pow}^V(\Delta\theta_V, d)$ و $AOD_{NLoS,pow}^{V,ant}(\Delta\theta_V, d)$ تكون على النحو المبين في الشكل 13، وحيث تكون المعلمة هي المسافة من محطة القاعدة d .

الشكل 13

مثل لخواص الزاوية لورود الارتفاع المتوقع $AOD_{NLoS, pow}^V(\Delta\theta_V, d)$ و $AOD_{NLoS, pow}^V(\Delta\theta_V, d)$ لبيئات خارج خط البصر



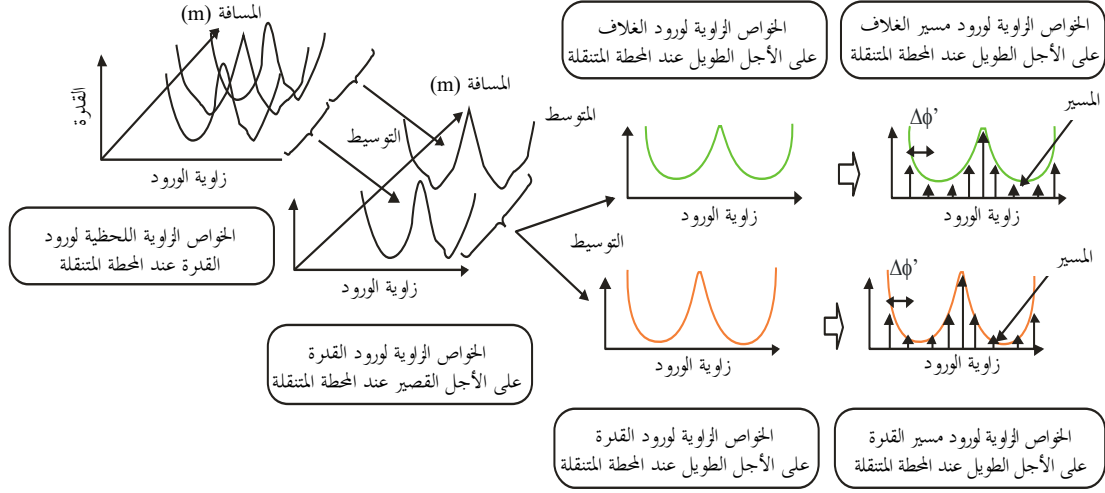
الملحق 3

1 مقدمة

تُعرّف الخواص الزاوية للورود عند المحطة المتنقلة كما هو مبين في الشكل 14 بالرجوع إلى التوصية ITU-R P.1407. والخواص الزاوية اللحظية للورود القدرة عبارة عن كثافة قدرة الاستجابة النبضية فيما يتعلق بزاوية الورود عند لحظة معينة وعند نقطة معينة. ويتحصّل على الخواص الزاوية للورود القدرة على الأجل القصير من التوسيط المكاني للخواص الزاوية اللحظية للورود القدرة عبر عدة عشرات من أطوال الموجة من أجل كبت التغيرات الناجمة عن الخبث السريع؛ فيما يتحصّل على الخواص الزاوية للورود القدرة على الأجل الطويل من التوسيط المكاني لهذه الخواص على الأجل القصير على نفس المسافة من المحطة القاعدة تقريباً وذلك لكبت التغيرات الناجمة عن الحجب.

الشكل 14

الخواص الزاوية للورود عند المحطة المتنقلة



P.1816-14

المعلومات

2

h_b : ارتفاع هوائي المحطة القاعدة (5-150 m: الارتفاع فوق المستوى الأرضي للمحطة المتنقلة)، (m)

$\langle H \rangle$: متوسط ارتفاع المباني (5-50 m: الارتفاع فوق المستوى الأرضي للمحطة المتنقلة)، (m)

d : المسافة من المحطة القاعدة (0,5-3 km) للبيئات خارج خط البصر، (km)

W : عرض الشارع (5-50 m)، (m)

B : معدل النبضات (0,5-50 Mcps)، (Mcps)

(يمكن حساب عرض النطاق المشغول من معدل النبضات B ومرشاح النطاق الأساسي المطبق)

f : تردد الموجة الحاملة (0,7-9 GHz)، (GHz)

Θ : زاوية الطريق (0-90 درجة: الزاوية الحادة بين اتجاه محطة متنقلة واتجاه الطريق)، (بالدرجات)

h_s : متوسط ارتفاع المباني عبر الطريق (4-30 m)، (m)

φ' : زاوية الورود (-180-180 درجة: زاوية الورود عندما تضبط زاوية الطريق على الدرجة صفر)، (بالدرجات)

$\langle R \rangle$: معامل انعكاس القدرة المتوسطة للجدار الجانبي للمبنى (> 1)

γ_{dB} : مقدار ثابت (من -16 dB إلى -12 dB)، (dB)

γ : $10^{\gamma_{dB}/10}$

3 الخواص الزاوية للورود على المدى الطويل عند المحطة المتنقلة في المناطق الحضرية وضواحي المدن

1.3 الخواص الزاوية للورود عند المحطة القاعدة

يُحصَل على الخواص الزاوية للورود القدرة عند المحطة القاعدة، $AOA_{NLoS,pow}(\varphi')$ ، كالتالي:

$$AOA_{NLoS,pow}(\varphi') = \frac{1}{\sqrt{\cos\left(\varphi' \cdot \frac{\pi}{180}\right)^2 + \sin\left(\varphi' \cdot \frac{\pi}{180}\right)^2 / \eta^2}} \quad (19)$$

حيث:

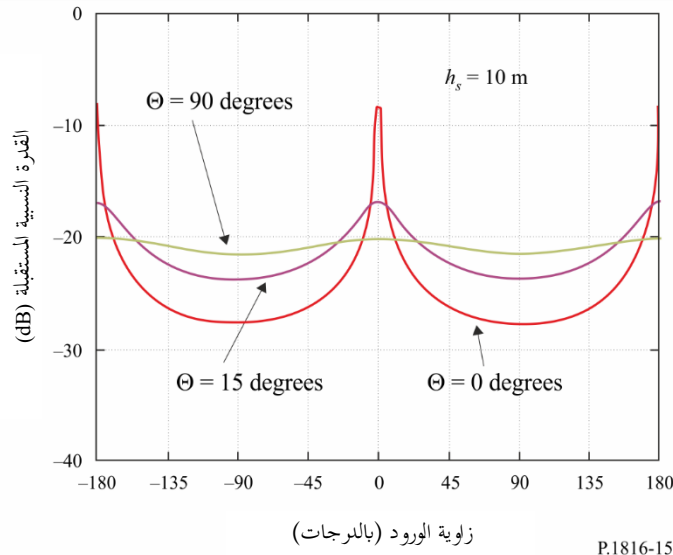
$$\eta = \text{Min}\left(1, \left[2,6 / h_s^{0,5} \cdot \{1 - \exp(-0,03 \cdot \Theta)\} + 0,05\right]^{1,5}\right) \quad (20)$$

2.3 مثال

عندما يكون متوسط ارتفاع المباني عبر الطريق، h_s ، 10 m، فإن الخواص الزاوية للورود القدرة عند المحطة المتنقلة، $AOA_{NLoS,pow}(\varphi')$ ، تكون كما هو مبين في الشكل 15، حيث المعلمة المتغيرة هنا هي زاوية الطريق، Θ .

الشكل 15

الخواص الزاوية للورود القدرة عند المحطة المتنقلة لبيئات خط البصر



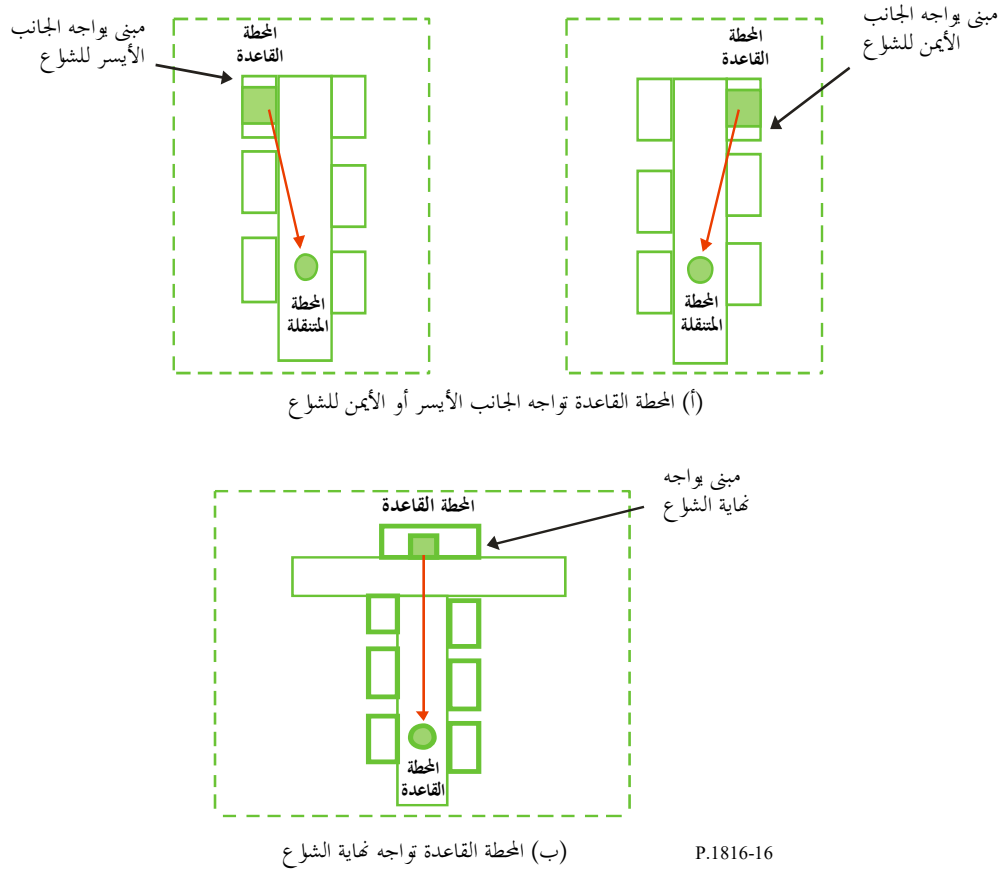
4 الخواص الزاوية للورود على الأجل الطويل عند المحطة القاعدة لبيئات خط البصر في المناطق الحضرية وضواحي المدن

1.4 بيئات خط البصر قيد البحث

يعرض الشكل 16 بيئات خط البصر قيد البحث. ففي الشكل 16(أ)، توضع المحطة القاعدة على قمة مبنى يواجه الجانب الأيسر أو الأيمن للشارع فيما توضع المحطة المتنقلة في وسط الشارع؛ ويكون للمحطة القاعدة خط بصر مباشر مع المحطة المتنقلة. وفي الشكل 16(ب)، توضع المحطة القاعدة بشكل تقريبي في مركز سطح مبنى يواجه نهاية الشارع، فيما توضع المحطة المتنقلة في وسط الشارع.

الشكل 16

بيئات خط البصر قيد البحث



2.4 الخواص الزاوية للورود عند المحطة القاعدة

يتحصّل على الخواص الزاوية للورود القدرة عند المحطة القاعدة، $AOA_{LoS,pow}(\varphi', d)$ ، كما يلي:

(أ) المحطة القاعدة تواجه الجانب الأيسر أو الأيمن للشارع

'1' المحطة القاعدة تواجه الجانب الأيمن للشارع كما هو مبين في الشكل 16(أ)

$$AOA_{LoS,pow}(\varphi', d) = \begin{cases} \langle R \rangle^{1000d|\varphi'| \pi / (180W)} + \gamma \cdot AOA_{NLoS,pow}(\varphi') & (\varphi' \geq 0) \\ \langle R \rangle^{(1000d|\varphi'| \pi / (180W))^{-1}} + \gamma \cdot AOA_{NLoS,pow}(\varphi') & (\varphi' < 0) \end{cases}$$

(1-21)

'2' المحطة القاعدة تواجه الجانب الأيسر للشارع كما هو مبين في الشكل 15 (أ)

$$(2-21) \quad AOA_{LoS,pow}(\varphi', d) = \begin{cases} \langle R \rangle^{(1000d|\varphi'| \pi / (180W))^{-1}} + \gamma \cdot AOA_{NLoS,pow}(\varphi') & (\varphi' \geq 0) \\ \langle R \rangle^{1000d|\varphi'| \pi / (180W)} + \gamma \cdot AOA_{NLoS,pow}(\varphi') & (\varphi' < 0) \end{cases}$$

(ب) المحطة القاعدة تواجه نهاية الشارع

$$(3-21) \quad AOA_{LoS,pow}(\varphi', d) = \langle R \rangle^{1000d|\varphi'| \pi / (180W)} + \gamma \cdot AOA_{NLoS,pow}(\varphi')$$

وتكون الخواص $AOA_{NLoS,pow}(\varphi', d)$ هنا، هي الخواص الزاوية للورود عند المحطة المتنقلة لبيئات خارج خط البصر، المتحصّل عليها من المعادلة (19) والمقدار γ هو مقدار ثابت يتراوح بين -12 dB و -16 dB حسب بنية المدينة، و $\langle R \rangle$ هو معامل انعكاس القدرة المتوسطة من الجدار الجانبي للمبنى وهو قيمة ثابتة تتراوح بين 0,1 و 0,5. ويلاحظ أن المعادلتين (1-21) و (2-21) متماثلتان بشكل كبير بالنسبة لزاوية الورود عند المحطة المتنقلة.

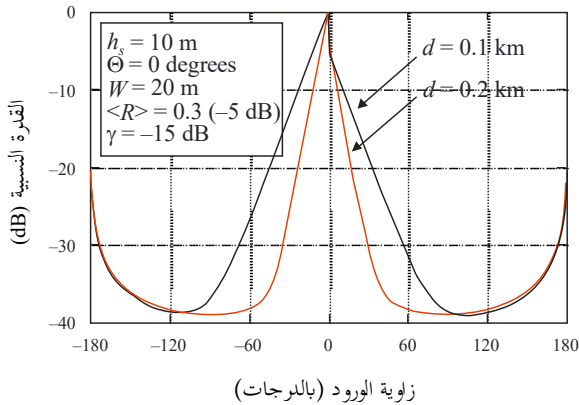
ويُوصى بأن تكون قيمتا γ و $\langle R \rangle$ -15 dB و -5 dB، وعلى التوالي في المناطق الحضرية التي يزيد فيها متوسط ارتفاع المباني $\langle H \rangle$ عن 20 m.

3.4 أمثلة

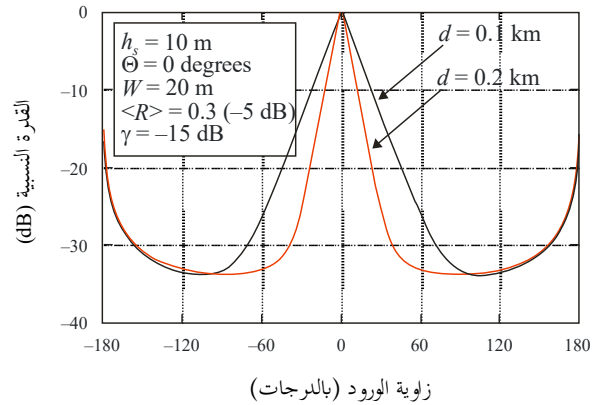
عندما يكون متوسط ارتفاع المبنى على الطريقة h_s ، وزاوية الطريق، Θ ، وعرض الشارع، W ، كالتالي، 10 m و 0 درجة و 20 m، على التوالي، وتكون قيمتا $\langle R \rangle$ و γ كالتالي: 0,3 (-5 dB) و -15 dB، فإن الخواص الزاوية للورود القدرة عند المحطة المتنقلة، $AOA_{LoS,pow}(\varphi', d)$ في الحالة الممثلة في الشكل 16 لبيئات خارج خط البصر على النحو المبين في الشكل 17، حيث المعلمة المتغيرة هنا هي المسافة من المحطة القاعدة، d .

الشكل 17

الخواص الزاوية للورود عند المحطة المتنقلة لبيئات خط البصر



(أ) المحطة القاعدة تواجه الجانب الأيسر أو الأيمن للشارع



(ب) المحطة القاعدة تواجه نهاية الشارع