

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R P.681-9
(2016/09)

بيانات الانتشار المطلوبة لتصميم أنظمة
الاتصالات البرية المتنقلة أرض-فضاء

السلسلة P
انتشار الموجات الراديوية



تمهيد

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

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

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

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

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

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

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

النشر الإلكتروني

جنيف، 2017

التوصية ITU-R P.681-9*

بيانات الانتشار المطلوبة لتصميم أنظمة الاتصالات البرية المتنقلة أرض-فضاء

(المسألة ITU-R 207/3)

(1990-1994-1995-1997-1999-2001-2003-2009-2015-2016)

مجال التطبيق

تقوم هذه التوصية بالتنبؤ بمعلومات الانتشار المختلفة المطلوبة لتصميم أنظمة الاتصالات البرية المتنقلة أرض-فضاء (LMSS).

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

- أ) أنه، لتصميم ملائم لأنظمة الاتصالات البرية المتنقلة أرض-فضاء، من الضروري توفر بيانات انتشار وطرائق تنبؤ مناسبة؛
- ب) أن طرائق التوصية ITU-R P.618 يوصى بها لتخطيط أنظمة الاتصالات أرض-فضاء؛
- ج) أن هناك حاجة إلى زيادة تطوير طرائق التنبؤ لتطبيقات خاصة بالأنظمة البرية المتنقلة الساتلية لتأمين دقة مناسبة في كل أقاليم العالم ولكل الظروف التشغيلية؛
- د) أن هناك، مع ذلك، طرائق تعطي دقة كافية في كثير من التطبيقات،

توصي

- 1) باعتماد الطرائق الحالية المعروضة في الملحق 1 لتخطيط أنظمة الاتصالات البرية المتنقلة أرض-فضاء، إضافة إلى تلك الموصى بها في التوصية ITU-R P.618.

الملحق 1

1 المقدمة

تختلف آثار الانتشار في الخدمة البرية المتنقلة الساتلية (LMSS) عن آثار الخدمة الثابتة الساتلية (FSS) أساساً بسبب الأهمية الكبرى للآثار الأرضية. ففي الخدمة FSS من الممكن، بوجه عام، تلافي آثار الحجب والسد والمسيرات المتعددة باستعمال هوائيات ذات اتجاهية قوية تُنصب عند مواقع غير معاقة. بيد أن الخدمة LMSS على العموم توفر نسب مئوية لتيسرية الوصلة أصغر من الخدمة FSS. غالباً ما يكون مدى التيسرية الأساسي الذي يهتم مصممي الأنظمة يتراوح بين 80% و 99%.

ويتناول هذا الملحق البيانات والنماذج الضرورية بالتحديد للتنبؤ بتدريبات الانتشار في وصلات الخدمة LMSS، التي تتضمن الآثار التروبوسفيرية والآثار الأيونوسفيرية والمسيرات المتعددة والسد والحجب. وهو يقوم على قياسات تتراوح من 870 MHz في النطاق UHF حتى 20 GHz.

2 الآثار التروبوسفيرية

1.2 التوهين

تنشأ حسارة في الإشارات التروبوسفيري من جراء الغازات الجوية والمطر والضباب والسحب. وما عدا عند زوايا الارتفاع المنخفضة، فإن التوهين التروبوسفيري يكون مهماً عند الترددات تحت 1 GHz تقريباً، وعادة يظل قليلاً عند ترددات تصل حتى حوالي 10 GHz. أما فوق 10 GHz، يمكن أن يكون التوهين كبيراً بحيث يستمر لنسب مئوية كبيرة من الوقت على عدة مسيرات. وتيسر طرائق تنبؤ لتقييم الامتصاص الغازي (التوصية ITU-R P.676) والتوهين المطري (التوصية ITU-R P.618). عادة، يكون التوهين بالضباب والسحب مهماً للترددات التي تصل حتى 10 GHz.

2.2 التألؤ

تنشأ التغيرات غير المنتظمة في سوية الإشارة المستقبلية وفي زاوية الوصول عن الاضطراب التروبوسفيري وتعدد المسيرات الجوية. ويزداد كم هذه الآثار كلما زاد التردد وقلت زاوية ارتفاع المسير، إلا أن التغيرات في زاوية الوصول التي يسببها الاضطراب لا تعتمد على التردد. ويؤثر عرض حزمة الهوائي كذلك في مقدار هذه التألؤات. ويلاحظ أن هذه الآثار تبلغ أقصاها في فصل الصيف. ترد طريقة للتنبؤ في التوصية ITU-R P.618.

3 الآثار الأيونوسفيرية

تُعالج الآثار الأيونوسفيرية على المسيرات أرض-فضاء في التوصية ITU-R P.531. وترد قيم الآثار الأيونوسفيرية لترددات في مدى من 0,1 إلى 10 GHz في الجدولين 1 و 2 من التوصية ITU-R P.680.

4 الحجب

1.4 نموذج الحجب الناجم عن الأشجار المنتشرة على جانبي الطريق

استُعملت قياسات للتوزعات التراكمية للحجب عند 870 MHz و 1,6 GHz و 20 GHz لاستنباط نموذج الحجب التجريبي الموسع الناجم عن الأشجار المنتشرة على جانبي الطريق. وتُمثل كثافة الأشجار على جانبي الطريق بواسطة النسبة المئوية للحجب البصري الناجم عن الأشجار المنتشرة على جانبي الطريق عند زاوية ارتفاع مسير مقدارها 45° في اتجاه مصدر الإشارة. ويكون هذا النموذج صالحاً عندما تكون هذه النسبة المئوية في مدى 55-75%.

1.1.4 حساب الخبو الناتج عن الحجب بواسطة الأشجار المنتشرة على جانبي الطريق

يوفر الإجراء التالي تقديرات للحجب الناجم عن الأشجار المنتشرة على جانبي الطريق لتتراوح بين 800 MHz و 20 GHz، وزوايا لارتفاع المسير بين 7° وحتى 60°، ونسب مئوية للمسافة المقطوعة من 1% إلى 80%. ويقابل النموذج التحريبي حالة متوسطة للانتشار تتحرك فيها المركبات مسارات على كلا جانبي الطريق (تغطي المسارات القريبة والبعيدة عن الأشجار على جانبي الطريق). وتنطبق توزيعات الخبو المنتبأ بها على الطرق السريعة والطرق الريفية حيث يكون مسير الانتشار في غالب الأحيان متعامداً، في معظم الأجزاء، مع صفوف الأشجار المنتشرة على جانبي الطريق والأعمدة الكهربائية، ويُفترض أن السبب الرئيسي للخبو في إشارات الخدمة LMSS هو الحجب الناجم عن أوراق الأشجار (انظر التوصية ITU-R P.833).

والمعلومات المطلوبة هي:

f : التردد (GHz)

θ : زاوية ارتفاع المسير إلى الساتل (بالدرجات)

p : النسبة المئوية للمسافة المقطوعة التي يتم خلالها تجاوز عتبة الخبو.

الخطوة 1: حساب توزيع الخبو عند 1,5 GHz، الصالح لنسب مئوية للمسافة المقطوعة مثل ($20\% \geq p \geq 1\%$) ولزوايا ارتفاع المسير المطلوبة $60^\circ \geq \theta \geq 20^\circ$:

$$(1) \quad A_L(p, \theta) = -M(\theta) \ln(p) + N(\theta)$$

حيث:

$$(2) \quad M(\theta) = 3,44 + 0,0975 \theta - 0,002 \theta^2$$

$$(3) \quad N(\theta) = -0,443 \theta + 34,76$$

الخطوة 2: تحويل توزيع الخبو عند 1,5 GHz، الصالح من أجل ($20\% \geq p \geq 1\%$)، إلى التردد المطلوب، f (GHz)، حيث $0,8 \text{ GHz} \leq f \leq 20 \text{ GHz}$:

$$(4) \quad A_{20}(p, \theta, f) = A_L(p, \theta) \exp \left\{ 1,5 \left[\frac{1}{\sqrt{f_{1,5}}} - \frac{1}{\sqrt{f}} \right] \right\}$$

الخطوة 3: حساب توزيع الخبو للنسب المئوية للمسافة المقطوعة مثل $80\% \geq p > 20\%$ لمدى الترددات $0,85 \text{ GHz} \leq f \leq 20 \text{ GHz}$:

$$(5) \quad A(p, \theta, f) = A_{20}(20\%, \theta, f) \frac{1}{\ln 4} \ln \left(\frac{80}{p} \right) \quad \text{for } 80\% \geq p > 20\%$$

$$= A_{20}(p, \theta, f) \quad \text{for } 20\% \geq p > 1\%$$

الخطوة 4: بالنسبة لزوايا ارتفاع المسير في المدى $20^\circ > \theta \geq 7^\circ$ ، يُفترض أن لتوزيع الخبو نفس القيمة التي تكون له عندما تكون $\theta = 20^\circ$.

ويبين الشكل 1 قيم الخبو المتجاوزة عند 1,5 GHz مقابل زوايا ارتفاع بين 10° و 60° لأسرة من النسب المئوية المتساوية بين 1% و 50%.

1.1.1.4 التمديد إلى زوايا ارتفاع أكبر من 60°

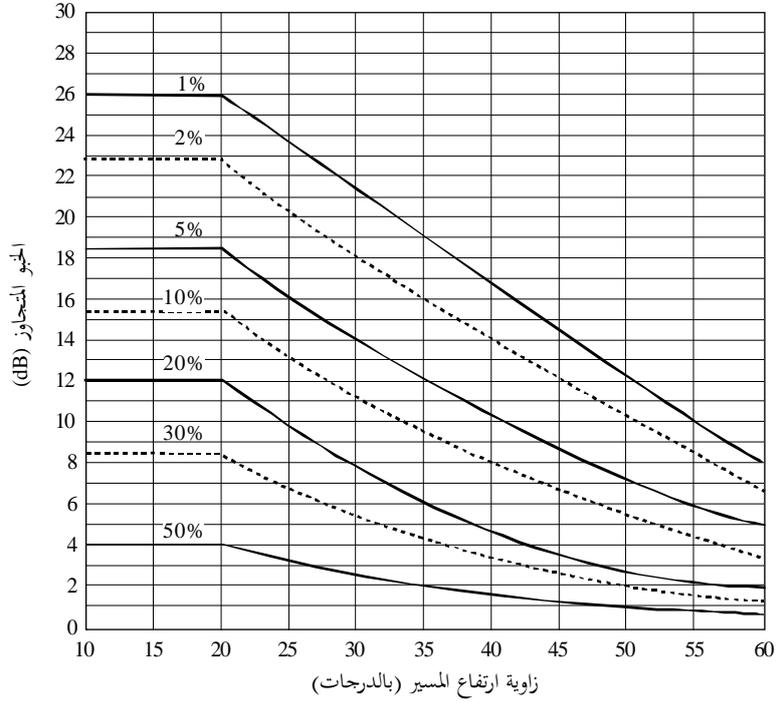
يمكن تمديد نموذج الحجب الناجم عن الأشجار المنتشرة على جانبي الطريق عند الترددين 1,6 GHz و 2,6 GHz إلى زوايا ارتفاع تزيد عن 60° بالإجراء التالي:

- تطبق المعادلات من (1) إلى (5) عند زاوية ارتفاع 60° عند الترددين أعلاه؛

- إجراء استكمال داخلي خطي بين القيمة المحسوبة لزاوية 60° وقيم الخبو لزاوية ارتفاع 80° (انظر الجدول 1)؛
- إجراء استكمال داخلي خطي بين قيم الجدول 1 وقيمة صفر عند 90°.

الشكل 1

الخبو عند 1,5 GHz الناتج عن الحجب الناجم عن الحجب على جانبي الطريق مقابل زاوية ارتفاع المسير



P.0681-01

الجدول 1

قيم الخبو المتجاوزة (dB) عند ارتفاع 80°

قيم الحجب بالأشجار		p (%)
GHz 2,6	GHz 1,6	
9,0	4,1	1
5,2	2,0	5
3,8	1,5	10
3,2	1,4	15
2,8	1,3	20
2,5	1,2	30

2.1.1.4 تطبيق نموذج الحجب الناجم عن الأشجار المنتشرة على جانبي الطريق على الأنظمة المتنقلة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض (non-GSO)

تم وضع طريقة التنبؤ السابقة من أجل الجوانب المتعلقة بمهندسة الخدمة LMSS بحيث تبقى فيها زاوية الارتفاع ثابتة. وبالنسبة للأنظمة (non-GSO)، حيث تكون زاوية الارتفاع متغيرة، يمكن حساب تيسر الوصلة بالطريقة التالية:

أ) حساب النسبة المئوية من الزمن لكل زاوية ارتفاع (أو مدى زوايا الارتفاع) التي يرى فيها المطرف المركبة الفضائية؛

- (ب) لهامش انتشار معين (المحور الرأسي في الشكل 1)، إيجاد النسبة المئوية لعدم التيسر لكل زاوية ارتفاع؛
- (ج) لكل زاوية ارتفاع، ضرب نتيجة الخطوة أ) في نتيجة الخطوة ب) وقسمة الناتج على 100، مما يعطي النسبة المئوية لعدم تيسر النظام عند هذا الارتفاع؛
- (د) جمع كل قيم عدم التيسر المتحصل عليها في ج) للحصول على عدم التيسر الإجمالي للنظام.
- إذا كان الهوائي المستعمل عند المطراف المتنقل ليس له مخطط إشعاع متناح، فإن كسب الهوائي عند كل زاوية ارتفاع يجب أن يُطرح من هامش الخبو في الخطوة ب) أعلاه.
- في حالة كوكبات السواتل متعددة الرؤية التي تستخدم ضرب متنوع من المسيرات الساتلية (مثلاً التبديل إلى المسير الأقل تردياً)، يمكن القيام بحساب تقريبي بافتراض أن المركبة الفضائية ذات أعلى زاوية للارتفاع هي المستعملة.

2.1.4 نموذج توزيع مدة الخبو

يتوقف التصميم المثالي للمستقبلات في الخدمة LMSS على معرفة الإحصائيات المرتبطة بفترات الخبو، التي يمكن تمثيلها بوحدات المسافة المقطوعة (m) أو (s). وقد أدت قياسات فترات الخبو إلى التوصل للنموذج التجريبي التالي الصالح لفترات خبو المسافة ($dd \geq 0,02 \text{ m}$).

$$(6) \quad P(FD > dd | A > A_q) = \frac{1}{2} \left(1 - \operatorname{erf} \left[\frac{\ln(dd) - \ln(\alpha)}{\sqrt{2} \sigma} \right] \right)$$

حيث $P(FD > dd | A > A_q)$ تمثل احتمال أن فترة خبو المسافة، FD ، تتجاوز المسافة، dd (m)، بشرط أن يتجاوز التوهين A ، التوهين A_q . وتمثل التسمية "erf" دالة الخطأ، و σ هي الانحراف المعياري للحد $\ln(dd)$ ، و $\ln(\alpha)$ هي القيمة المتوسطة للحد $\ln(dd)$. وتم تقدير الطرف الأيسر من المعادلة (6) بحساب النسبة المئوية لعدد "حالات حدوث الفترات" التي تتجاوز dd بالنسبة للعدد الإجمالي للأحداث التي تكون خلالها ($A > A_q$) في البيانات المتحصل عليها من قياسات أجريت في الولايات المتحدة الأمريكية وأستراليا. تتمثل أحسن قيم للانكفاء مستخرجة من هذه القياسات في ($\alpha = 0,22$) و ($\sigma = 1,215$).

ويتضمن الشكل 2 رسماً بيانياً لاحتمال P (معبراً عنه بالنسبة المئوية، p) مقابل dd لعتبة مقدارها 5 dB.

يقوم النموذج الذي تعطيه المعادلة (6) على قياسات عند زاوية ارتفاع 51° وينطبق على حجب معتدل إلى شديد (تتراوح النسبة المئوية للحجب البصري بين 55% و 90%). وأظهرت الاختبارات عند 30° و 60° اعتماداً معقولاً على زاوية الارتفاع: كلما قلت زاوية الارتفاع، كلما زادت مدة الخبو لنسبة مئوية ثابتة. فعلى سبيل المثال، تبلغ مدة الخبو عند 30° ضعفها تقريباً مقارنة بمدة الخبو عند 60° عند سوية النسبة المئوية نفسها.

3.1.4 نموذج توزيع الفترات الخالية من الخبو

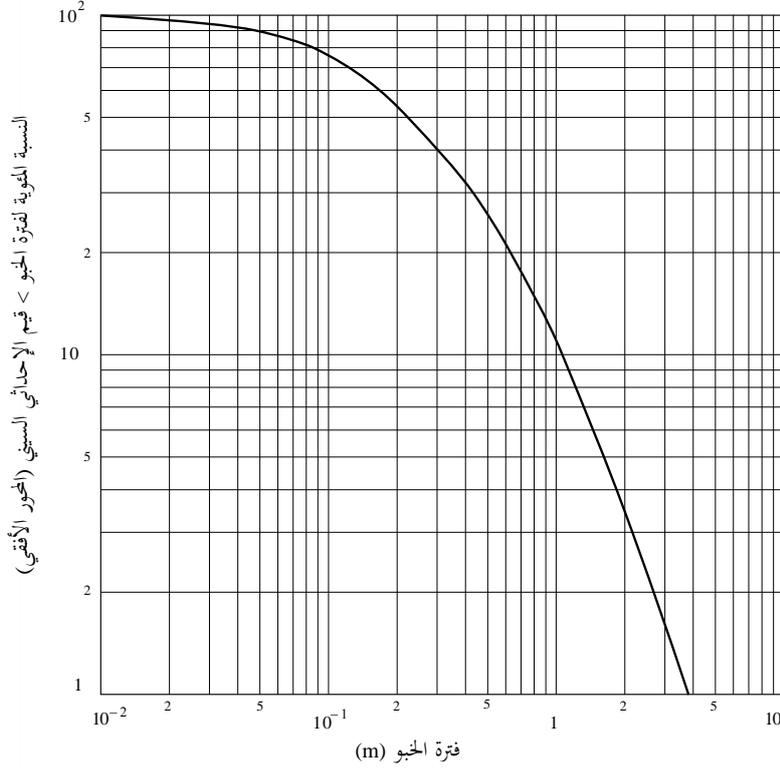
إن حالة حدوث مدة خالية من الخبو تقابل مدة مسافة dd ، تُعرف على أنها المسافة التي تكون فيها سويات الخبو أقل من عتبة خبو محددة. ويُعطى نموذج الفترات الخالية من الخبو بواسطة المعادلة التالية:

$$(7) \quad p(NFD > dd | A < A_q) = \beta (dd)^{-\gamma}$$

حيث $p(NFD > dd | A < A_q)$ هو النسبة المئوية لاحتمال الذي تتجاوز فيها مسافة مستمرة خالية من الخبو شريطة أن يكون NFD ، المسافة، dd ، الخبو أقل من العتبة A_q . ويحتوي الجدول 2 على قيم β و γ لطرق يكون فيها الحجب معتدلاً وكبيراً أي أن النسبة المئوية من الحجب البصري تتراوح بين 55% و 75% وبين 75% و 90%، على التوالي. ويُستعمل خبو مقداره 5 dB للعتبة A_q .

الشكل 2

أفضل توفيق لمنحني التوزيع التراكمي للخبو جراء حجب الأشجار المنتشرة على جانبي الطريق مع عتبة مقدارها 5 dB



P.0681-02

الجدول 2

قيم انكفاء الفترات الخالية من الخبو لعتبة خبو تبلغ 5 dB عند زاوية لارتفاع المسير تساوي 51°

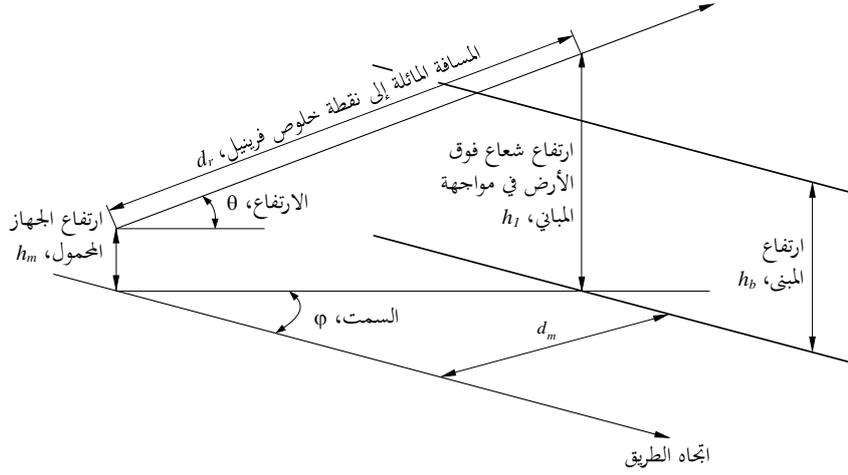
γ	β	سوية الحجب
0,58	20,54	معتدلة
0,8371	11,71	قصوى

2.4 نموذج الحجب الناجم عن المباني الموجودة على جانبي الطريق

يمكن نمذجة الحجب الناجم عن المباني الموجودة على جانبي الطريق في منطقة حضرية بفرض أن توزع ارتفاعات المباني يكون في شكل توزع رايلي. ويبين الشكل 3 مفاهيم الهندسة الخاصة بهذا الحجب.

الشكل 3

جوانب الهندسة الخاصة بنموذج الحجب الناجم عن المباني الموجودة على جانبي الطريق



P.0681-03

تُحسب النسبة المتوقعة لاحتمال السد الناجم عن المباني من العلاقة التالية:

$$(8) \quad p = 100 \exp \left[- (h_1 - h_2)^2 / 2h_b^2 \right] \quad \text{for } h_1 > h_2$$

حيث:

h_1 : ارتفاع الشعاع فوق الأرض عند واجهة المبنى ويتحصل عليها بالمعادلة:

$$(8a) \quad h_1 = h_m + (d_m \tan \theta / \sin \varphi)$$

h_2 : مسافة خلوص فرينيل المطلوبة فوق المباني، ويتحصل عليها بالمعادلة:

$$(8b) \quad h_2 = C_f (\lambda d_r)^{0,5}$$

h_b : الارتفاع الأكثر شيوعاً بين المباني (نموذج)

h_m : ارتفاع الجهاز المحمول فوق الأرض

θ : زاوية ارتفاع الشعاع الممتد إلى الساتل فوق الاتجاه الأفقي

φ : زاوية سمت الشعاع بالنسبة لاتجاه الطريق

d_m : مسافة الجهاز المحمول من واجهة المباني

d_r : المسافة المائلة من الجهاز المحمول إلى موضع على الشعاع يكون رأسياً على واجهة المبنى، ويتحصل عليه بالمعادلة:

$$(8c) \quad d_r = d_m / (\sin \varphi \cdot \cos \theta)$$

C_f : الخلوص المطلوب بدلالة نطاق فرينيل الأول

λ : الطول الموجي

وحيث، h_1 ، h_2 ، h_b ، h_m ، d_m ، d_r و λ تكون بوحدات متسقة فيما بينها و $h_2 < h_1$.

ويلاحظ أن المعادلات (8a) و (8b) و (8c) صالحة لقيم $0 < \theta < 90^\circ$ و $0 < \varphi < 180^\circ$. ولا ينبغي استعمال القيم الحدية الفعلية المقيدة.

ويبين الشكل 4 أمثلة على الحجب الناجم عن المباني الموجودة على جانبي الطريق وتم حسابه باستعمال المعادلات أعلاه بالنسبة للقيم التالية:

$$m 15 = h_b$$

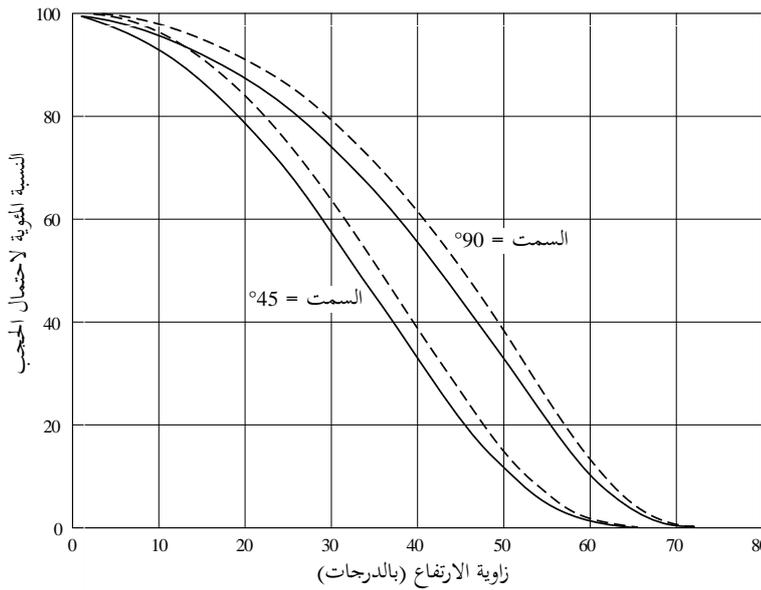
$$m 1,5 = h_m$$

$$m 17,5 = d_m$$

$$\text{التردد} = 1,6 \text{ GHz}$$

الشكل 4

أمثلة على الحجب الناجم عن المباني الموجودة على جانبي الطريق
(انظر النص من أجل الاطلاع على قيم المعلمات)



----- الحجب المفترض حدوثه خلوص لنطاق فرينيل قدره 0,7
 _____ الحجب المفترض حدوثه عند قيمة مقدارها صفر لخلوص نطاق فرينيل

P.0681-04

وفي الشكل 4، ينطبق المنحنى المتقطع عند افتراض حدوث السد إذا كان للشعاع خلوص أقل من 0,7 من النطاق الأول لفرينيل رأسياً على واجهة المبنى. والمنحنى المتصل ينطبق عندما لا يتعرض حدوث السد إلا عندما لا يكون هناك خط للبصر.

وعلى الرغم من أن النموذج يشير إلى عدم وجود سد عند زوايا الارتفاع الأعلى للمسير، ينبغي للمستعملين التنبيه إلى إمكانية حدوث حالات حجب وسد من وقت لآخر من جراء الممرات العلوية والأعمدة المعلقة وتفريعات الطرق، وما إلى ذلك.

3.4 اعتبارات خاصة للأجهزة المطرافية المحمولة باليد (السد بواسطة المستعمل)

عند استعمال أجهزة مطرافية للاتصالات تُحمل باليد، فإن رأس أو جسم المشغل في المجال القريب للهوائي يتسبب في تغيير مخطط الهوائي. وبالنسبة لحالة الأنظمة الساتلية ذات المدارات الأرضية غير المنخفضة (مدار مستقر بالنسبة للأرض، مدار أرضي عالي، مدار بالدائرة المتوسطة)، يُتوقع أن يكون مستعمل الأجهزة المطرافية المحمولة باليد متعاوناً، أي أن يضع نفسه بحيث يتفادى السد من كل من الرأس (أو الجسم) والبيئة. وبالنسبة لأنظمة LEO، لا يمكن القيام بهذا الافتراض. ويمكن تقييم تأثير الرأس (أو الجسم) بإدراج مخطط الإشعاع المعدل للهوائي (الذي يجب أن يُقاس) في حساب تيسر الوصلة كما هو مقدم في الفقرة 2.1.1.4، وبافتراض أن زوايا السمات التي يمكن رؤية الساتل منها موزعة بانتظام، فإنه يمكن تطبيق مخطط إشعاع ارتفاع تم توسيطه بالنسبة للسمات. ويمكن كذلك إجراء توسيط للحركات الصغيرة للرأس أو اليد التي تثير التغيرات الصغيرة في زاوية الارتفاع الظاهرية.

كان هذا الأثر موضع تجربة ميدانية في اليابان. ويبين الشكل 5a هندسة رأس بشري وهوائي في التجربة. فزاوية ارتفاع الساتل هي 32° وتردد الإشارة الساتلية هي 1,5 GHz. وكسب الهوائي يساوي 1 dBi والطول يساوي 10 cm. ويبين الشكل 5b تغير سوية الإشارة النسبية إزاء زاوية السم φ الواردة في الشكل 5a. ويمكن من الشكل 5b ملاحظة أن التخفيض الأقصى في سوية الإشارة الناتجة عن السد الناجم عن المستعمل يساوي حوالي 6 dB عندما تكون التجهيزات في منطقة حجب الرأس البشري.

ويُقصد من النتائج المقدمة في الشكل 5b أن تكون توضيحية فقط إذ إن البيانات تقابل زاوية ارتفاع وحيدة ومخطط إشعاع هوائي وحيد، ولا يولى أي اعتبار لآثار الانعكاس المرآوي المحتمل، مما قد يلعب دوراً مهماً في بيئة الأجهزة المحمولة باليد حيث لا تتوفر سوى اتجاهية قليلة.

ويمكن الاطلاع على بيانات الانتشار المتعلقة بالخسارة في دخل الإشارة عند الاستقبال داخل المباني والمركبات والتي تم بشكل خاص المطاريف المحمولة باليد في التوصية ITU-R P.679.

4.4 نمذجة تأثيرات سد المباني باستعمال دوال تقنيع (MKF) الشوارع

يمكن أيضاً تقدير كم تأثيرات سد المباني باستعمال دوال تقنيع الشوارع التي تبين زوايا السم والارتفاع التي يمكن لأي وصلة أن تكتمل أو لا تكتمل فيها. والدوال من هذا النمط يتحصل عليها عادة بواسطة دراسات التصوير المساحي الضوئي أو بتتبع الشعاع. ويمكن تطبيق مفهوم دوال التقنيع على سيناريوهات أبسط للحصول على عدد محدود من هذه الدوال وبالتالي يتسنى إنتاج تقديرات سريعة وتقريبية للتيسر المشترك في تشكيلات مختلفة متعددة السواتل.

ويمكن وصف منطقة حضرية معينة كتقريب أولي عن طريق زاوية تقنيع متوسطة (MKA) (بالدرجات).

وتعرف الزاوية MKA بأنها زاوية ارتفاع الساتل للتماس العابر مع قمم المباني عندما تكون الوصلة عمودية على الشارع أو رياضياً كالتالي:

$$(9) \quad MKA = \arctan \left(\frac{h}{w/2} \right) \quad \text{بالدرجات}$$

حيث:

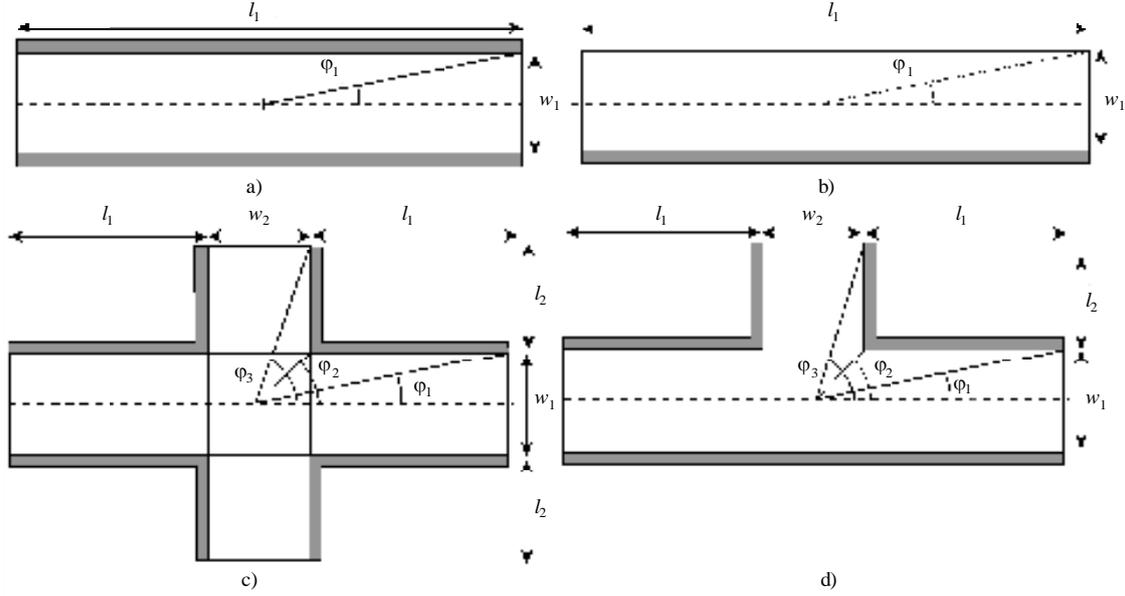
h : متوسط ارتفاع المبنى

w : متوسط عرض الشارع.

كما أنه بالإمكان افتراض سيناريو حضري مع زاوية MKA معينة بتوليفة من عدد قليل من التشكيلات النمطية (السيناريوهات الأساسية/التكوينية)، ألا وهي أودية الشوارع (scy) وتقاطعات الشوارع (scr) والتقاطعات التي على شكل حرف T (T-j) والحوائط الفردية (sw)، ولكل منها احتمال حدوث (انظر الشكل 5). وبالمثل، يمكن تعريف متجه خليط المسيرات، \vec{M} ، بأنه، مع ذكر أنه لمساحة مكتظة بالمباني، احتمالات مواجهة كل من السيناريوهات التكوينية \vec{M} (w_{sw} ، w_{T-j} ، w_{scr} ، w_{scy})، بشرط أن $\sum w_i = 1$. ويمكن الحصول على البيانات المدخلة لهذا النموذج، أي الزاوية MKA من خلال رصد البيئة أو من خرائط المدينة.

الشكل 5

السيناريوهات الأساسية/التكوينية التي تصف منطقة حضرية معينة



P.0681-05

وإذا تم الحصول على احتمالات التيسر للسيناريوهات التكوينية الأربعة تلك، يمكن تقدير التيسر الإجمالي بصورة تقريبية باعتباره المجموع المرجح لقيم التيسر في كل سيناريو:

$$(10) \quad a_T = w_{scy} a_{scy} + w_{scr} a_{scr} + w_{T-j} a_{T-j} + w_{sw} a_{sw}$$

وتم استنباط الدوال MKF لهذه السيناريوهات الأساسية الأربعة بواسطة الهندسة البسيطة بافتراض وجود المستعمل في وسط كل واحد منها (انظر الشكل 5). وبتابع نموذج انتشار بسيط (on-off) أو خط البصر - غير خط البصر (كما هو وارد في الفقرة 2.4 بالنسبة لحالة خلوص قيمته صفر لنطاق فرينيل)، يعرض الشكل 6 الدوال MKF للسيناريوهات الحضرية التكوينية الأربعة، حيث تشير الإحداثيات الرأسية إلى زوايا الارتفاع والإحداثيات الأفقية لزوايا السمت أو، بمعنى آخر، اتجاهات الشوارع، ξ ، بالنسبة للوصلة. ويشير النصف الأعلى للمستوى إلى زوايا سمت موجبة والنصف الأسفل يقابل زوايا سمت سالبة. وتبين الدالة MKF المناطق في نصف الكرة السماوي (نصف القبة السماوية) حيث يمكن لأي وصلة أن تكتمل (مساحة غير مظلمة) أو لا تكتمل (مساحة مظلمة). وتحدد الأكفة التي تحدد المناطق "المحظورة" في الدوال MKF بواسطة تقاطع ونقاط. وبين الشكل 6 الأكفة الأكثر ارتباطاً ويتحصل عليها بالمعادلات التالية:

$$(11a) \quad S_A: \theta = \tan^{-1} \left(h / \sqrt{\left(\frac{w}{2} \right)^2 \left(\frac{1}{\tan^2 \varphi} + 1 \right)} \right)$$

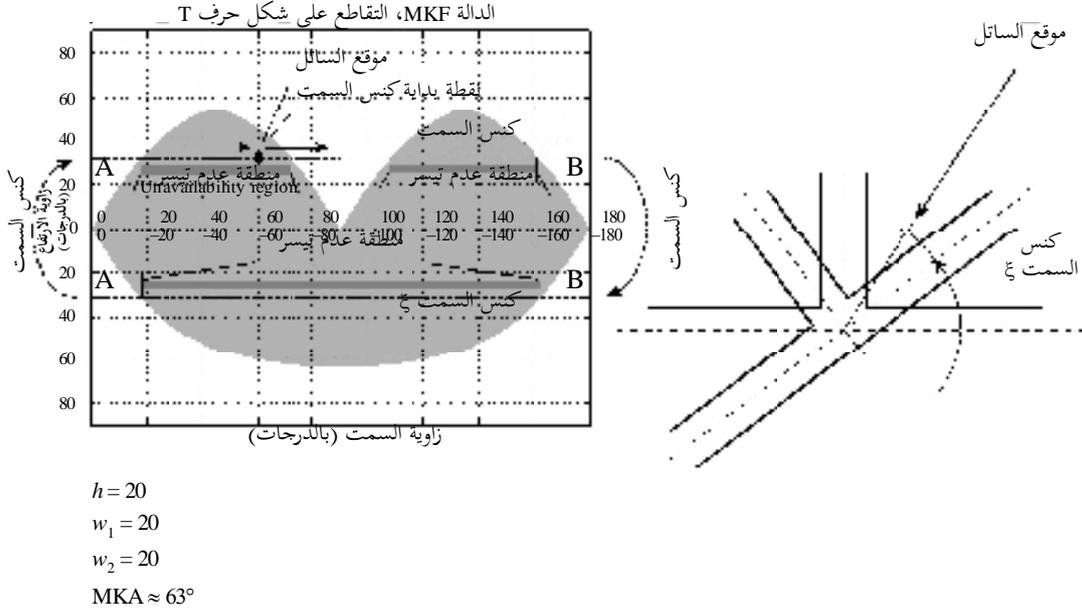
$$(11b) \quad P_A: \left(\varphi_A = 90^\circ; \theta_A = \tan^{-1} \left(\frac{h}{w/2} \right) \right)$$

$$(11c) \quad S_{B_1}: \theta = \tan^{-1} \left(h / \sqrt{\left(\frac{w_1}{2} \right)^2 \left(\frac{1}{\tan^2 \varphi} + 1 \right)} \right)$$

الدالة MKF. وبالمثل يمكن رسم مسار أي مدار غير مستقر بالنسبة إلى الأرض على أي دالة MKF. ويمكن حساب التيسر الإجمالي في هذه الحالة بمراعاة كل الاتجاهات المحتملة للشارح بالنسبة لجميع الاتجاهات المحتملة للوصلة الساتلية للمستعمل.

الشكل 7

حساب التيسر لتقاطع على شكل حرف T وساتل في مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض (GSO)



P.0681-07

5 نماذج المسيرات المتعددة في ظروف خط البصر الصافية

في كثير من الحالات يكون للمطراف المتنقل خط بصر صافٍ (حجب قابل للإهمال) إلى الساتل المتنقل. ويمكن مع ذلك أن يحدث ترددي في الإشارة في هذه الظروف، نتيجة للمسيرات المتعددة التي تثيرها التضاريس الأرضية. يستقبل المطراف المتنقل الجمع المتجهي لإشارة في خط البصر وعدة إشارات عبر مسيرات متعددة. ويمكن أن تزيد إشارات المسيرات المتعددة هذه بطريقة بناءة أو هدامة لتؤدي إلى تعزيز الإشارة أو خبوها. وتتوقف خصائص الإشارة عبر مسيرات متعددة على مقاطع الانتثار العرضية للسطوح العاكسة للمسيرات المتعددة وعددها والمسافات بينها وبين هوائي الاستقبال واستقطاب المجال ومخطط كسب هوائي الاستقبال.

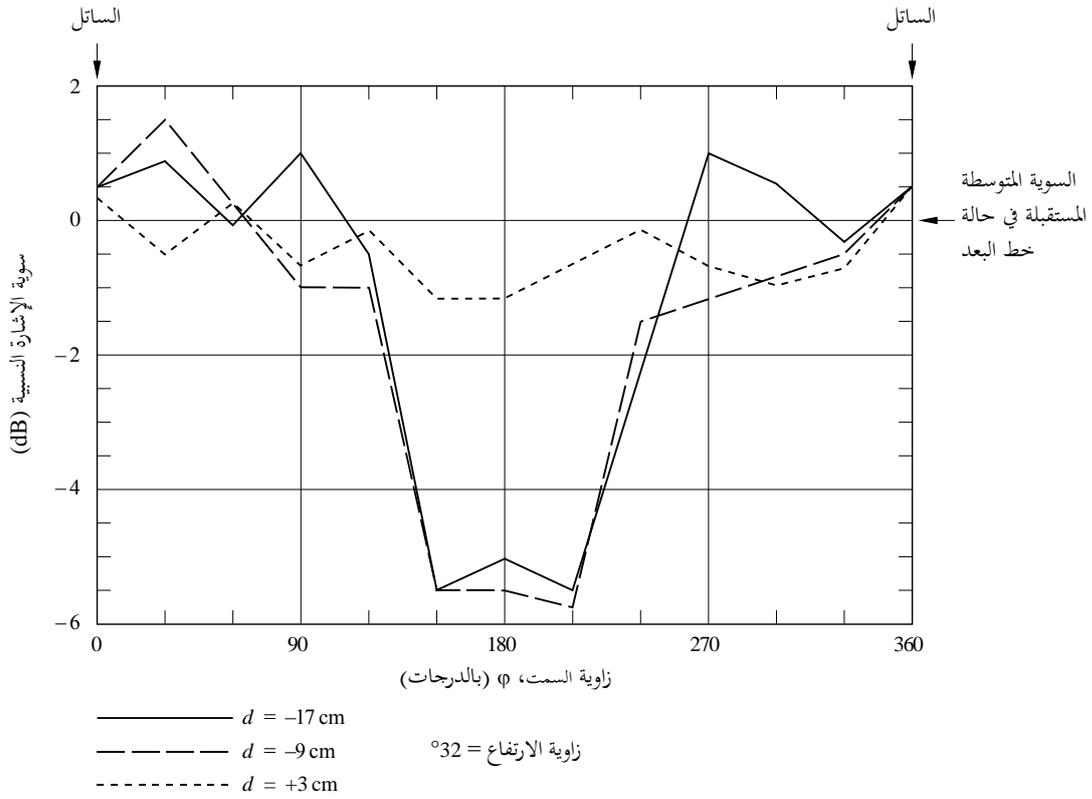
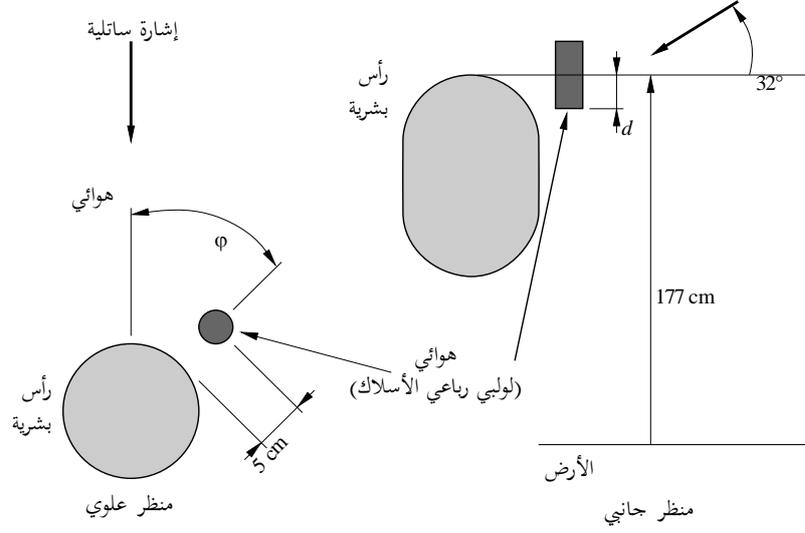
وتعتمد نماذج الترددي بسبب تعدد المسيرات المقدمة في الأقسام التالية على قياسات أُجريت باستعمال هوائي بالخصائص التالية:

- شامل الاتجاهات في السميت؛
- تغير الكسب بين ارتفاع 15° و 75° أقل من 3 dB؛
- تحت الأفق (زوايا ارتفاع سالبة)، حُفض كسب الهوائي بما لا يقل عن 10 dB.

الشكل 8

أ) هندسة رأس بشرية وهوائي

ب) الخبو عند 1,5 GHz الناتج عن الحجب على جانبي الطريق مقابل زاوية ارتفاع المسير



1.5 المسيرات المتعددة في بيئة جبلية

يُتمذج توزيع شدة الخبو الناتج عن المسيرات المتعددة في أرض جبلية بواسطة المعادلة التالية:

(12)

$$p = a A^{-b}$$

من أجل:

$$1\% < p < 10\%$$

حيث:

p : النسبة المئوية للمسافة التي يتم عندها تجاوز الخبو

A : عتبة الخبو المتجاوزة (dB).

تُبين معلمتا ضبط المنحنى a و b في الجدول 3 من أجل 1,5 GHz و 870 MHz. ويُلاحظ أن النموذج السابق صالح عندما يكون أثر الحجب مهملاً.

الجدول 3

معلمتا الضبط المثالية للتوزيع التراكمي للخبو
عبر مسيرات متعددة في أرض جبلية

الارتفاع = 45°			الارتفاع = 30°			التردد (GHz)
المدى (dB)	b	a	المدى (dB)	b	a	
4-2	2,464	31,64	7-2	1,855	34,52	0,87
5-2	2,321	39,95	8-2	1,710	33,19	1,5

يتضمن الشكل 9 منحنيات لتوزيعات الخبو التراكمي لزاويتي ارتفاع مسير قدرهما 30° و 45° عند 1,5 GHz و 870 MHz.

2.5 مسيرات متعددة على طول الطرق المحفوفة بالأشجار

أظهرت تجارب أجريت على طول طرق محفوفة بالأشجار في الولايات المتحدة الأمريكية أن الخبو عبر مسيرات متعددة يكون غير حساس نسبياً لارتفاع المسير عبر مدى زوايا من 30° إلى 60°. أدت البيانات المقيسة إلى النموذج التالي:

(13)

$$p = u \exp(-vA)$$

من أجل:

$$1\% < p < 50\%$$

حيث:

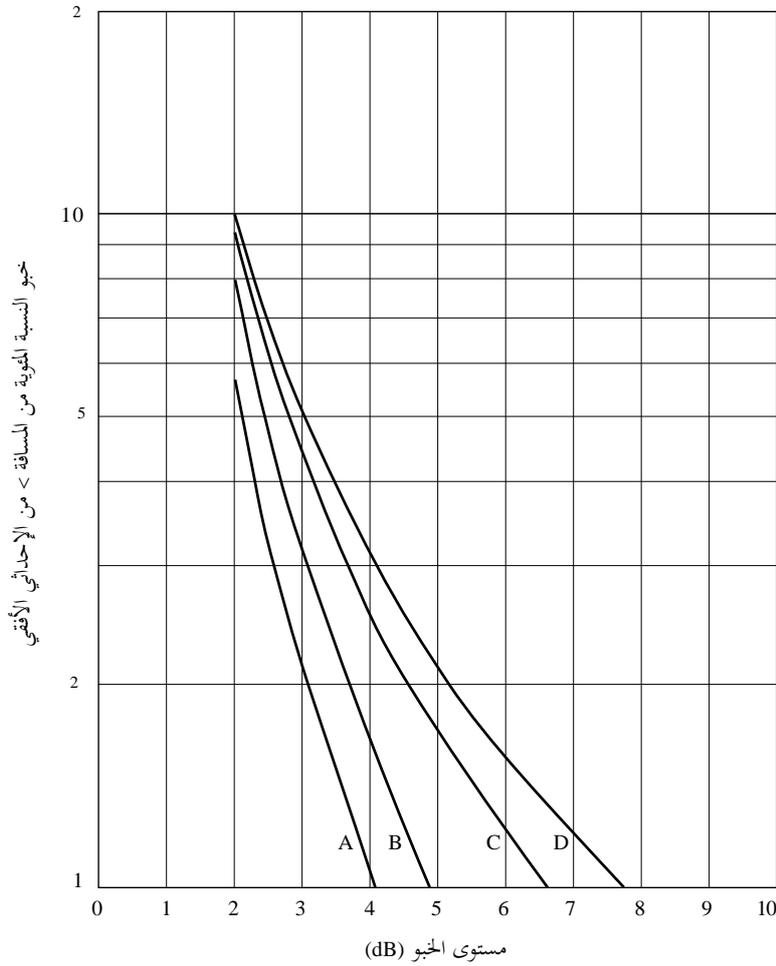
p : النسبة المئوية للمسافة التي يتم عندها تجاوز الخبو

A : عتبة الخبو المتجاوزة (dB).

نلاحظ أنه يُفترض في النموذج السابق حجب مهمل. وترد معلمتا ضبط المنحنى، u و v ، في الجدول 4.

الشكل 9

أفضل احتواء في منحنيات للتوزيع التراكمي للخبو عبر مسيرات متعددة في تضاريس جبلية



المنحنيات: A : 870 MHz ، 45°
 B : 1,5 GHz ، 45°
 C : 870 MHz ، 30°
 D : 1,5 GHz ، 30°

P.0681-09

الجدول 4

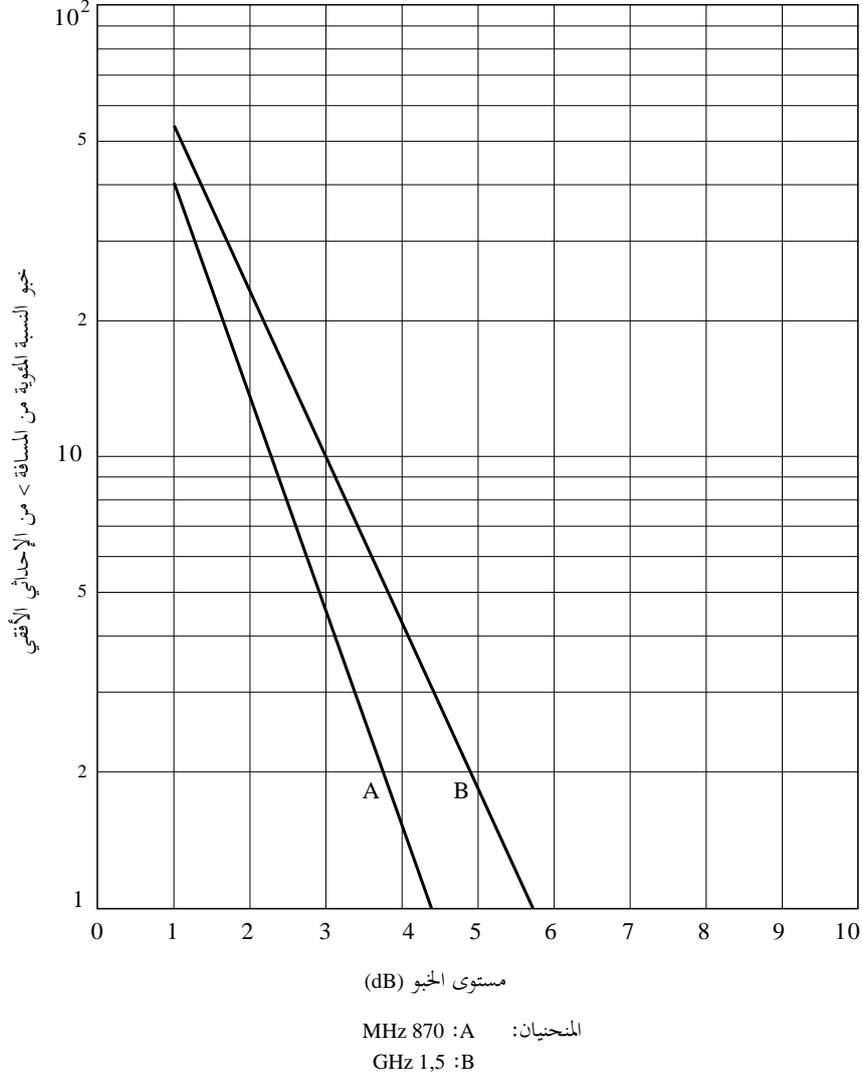
معلومات الضبط المثالية للتوزيعات التراكمية للأسية للخبو عبر مسيرات متعددة على طول طريق محفوفة بالأشجار

التردد (GHz)	u	v	مدى الخبو (dB)
0,870	125,6	1,116	4,5-1
1,5	127,7	0,8573	6-1

يتضمن الشكل 10 منحنيي التوزيعات التراكمية للخبو بالنسبة للترددين 870 MHz و 1,5 GHz. يمكن أن يحدث الخبو المعزز الناتج عن مسيرات متعددة عند زوايا الارتفاع الأقل (5° إلى 30°) حيث الانتشار الأمامي من أرض متدرجة ملساء نسبياً يمكن أن يُستقبل من مسافات أبعد.

الشكل 10

أفضل شكل لمنحني التوزيع التراكمي للخبو عبر مسيرات متعددة على طول طريق محفوفة بالأشجار



P.0681-10

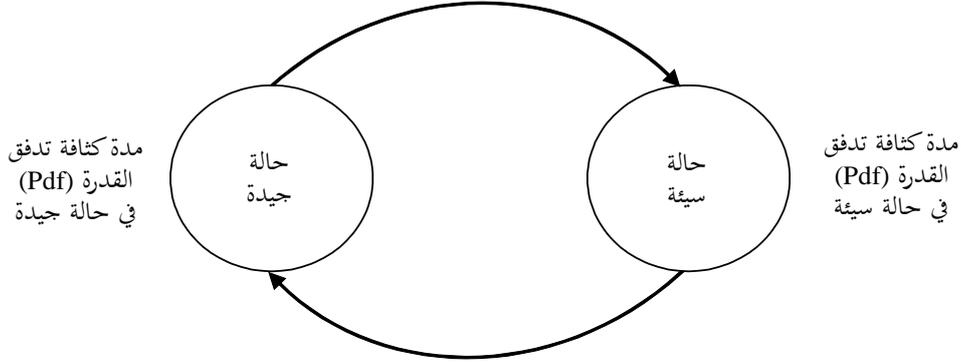
6 نموذج إحصائي لظروف الانتشار المختلطة

ترد في الفقرتين 1.4 و 5 نماذج لظروف محددة، ألا وهي، ظروف الحجب على جانبي الطريق وظروف خط البصر الخالي من العوائق في بيئة جبلية وفي بيئة الطرق المحفوفة بالأشجار. وفي البيئات الفعلية للانتشار في الخدمة LMSS، مثل المناطق الريفية والمشجرة والحضرية وشبه الحضرية (الضواحي)، يمكن حدوث خليط من ظريفي انتشار مختلفين. ودالة التوزيع التراكمي (CDF) لمستويات فردية في هذه الظروف المختلطة، يمكن حسابها استناداً إلى النموذج المحسن التالي ذي الحالتين الذي يتألف من حالة جيدة (GOOD)، بما في ذلك ظروف الحجب الطفيف، وحالة سيئة (BAD)، بما في ذلك ظروف حجب أشد (يشار إليها فيما بعد "بالنموذج الإحصائي"). واستناداً إلى الافتراضات التحليلية نفسها، يمكن أن تتولد عشوائياً سلسلة الوقت/المكان لغللاف مرگب مستوى الإشارة القدرة (يشار إليه فيما بعد "بالنموذج التوليدي"). وتقدم الفقرتان 1.6 و 2.6 أساليب الخطوة بخطوة لتنفيذ النموذجين الإحصائي والتوليدي على التوالي. ويسري كلا النموذجين بالنسبة إلى الخدمة LMSS ضيقة النطاق حيث تؤثر الاستجابة الترددية للقناة على جميع الترددات الواقعة ضمن حدود عرض نطاق الإشارة بنفس الطريقة (قنوات ترددية غير منتقاة).

ويمكن وصف التغيرات طويلة الأجل في الإشارة المستقبلية بواسطة شبه سلسلة ماركوف، بما في ذلك حالتان مميزتان، الحالة الجيدة والحالة السيئة (انظر الشكل 11). وتعتبر مدة كل حالة موزعة توزيعاً لوغاريتمياً طبيعياً. وتتبع الإشارة في الحالتين الجيدة والسيئة توزيع لoo (Loo). ويعتبر توزيع لoo أن الإشارة المستقبلية هي مجموع مكونين: إشارة المسير المباشر والمسيرات المتعددة المشتتة. ويُعتبر متوسط اتساع المسير المباشر موزعاً توزيعاً طبيعياً وأن مكون المسيرات المتعددة المشتتة يتبع توزيع رايلي (Rayleigh). ويرتبط الانحراف المعياري لاتساع المسير المباشر وأس المسيرات المتعددة خطأً بمتوسط اتساع المسير المباشر.

الشكل 11

نهج شبه سلسلة ماركوف ثنائي الحالة



P.0681-11

بالنسبة إلى التركيب العشوائي لغللاف مرَّكب القناة، ينبغي النظر في طول تلازم ثابت لاتساع المسير المباشر وينبغي النظر في طيف دوبلري (Doppler) لمكون المسيرات المتعددة المشتتة. وبين اثنين من الأحداث المتتالية (العائدة بالضرورة إلى حالات مختلفة)، يجب النظر في طول انتقال معين يتزايد/يتناقص فيه مكون المسيرات المتعددة المشتتة خطأً. وينبغي أن تكون هذه الانتقالات مهمة في التنبؤ الإحصائي لغللاف مرَّكب القناة.

وفيما يلي الخصائص الرئيسية للنموذج:

(1) يفترض النموذج حالتين: الحالة الجيدة والحالة السيئة وهما لا تتطابقان بالضرورة مع ظرف الوقوع على خط البصر وغير خط البصر.

(2) تتميز مدة كل حالة بتوزيع لوغاريتمي طبيعي:

$$(14) \quad p_{\lognormal}(x) = \frac{1}{\sigma_i x \sqrt{\pi}} \exp \left[-\frac{(\ln x - \mu_i)^2}{2\sigma_i^2} \right]$$

حيث:

$i = G$ للحالات الجيدة

$i = B$ للحالات السيئة

μ_G و σ_G : المتوسط والانحراف المعياري للحالة الجيدة

μ_B و σ_B : المتوسط والانحراف المعياري للحالة السيئة

(3) يصف توزيع لoo الخبو ضمن كل حالة، حيث لا تتبَّت معالمات لoo الثلاثية:

$$\text{Fading} \sim \text{Loo}(M_{Ai}, \Sigma_{Ai}, MP_i),$$

حيث:

$i = G$ للحالات الجيدة

$i = B$ للحالات السيئة

M_{Ai} : متوسط إشارة مباشرة

Σ_{Ai} : الانحراف المعياري لإشارة مباشرة

MP_i : متوسط المسيرات المتعددة

مع كون:

$$\text{normal}(\mu_{M_A}, \sigma_{M_A}) = M_{Ai}$$

$$g_{1i}M_{Ai} + g_{2i} = \Sigma_{Ai}$$

$$h_{1i}M_{Ai} + h_{2i} = MP_i$$

ودالة كثافة احتمال لـ a هي:

$$(15) \quad p_{Loo}(x) = \frac{x}{\Sigma_{Ai} \sigma_i^2 \sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} \frac{1}{a} \exp\left[-\frac{(\ln(a) - M_{Ai})^2}{2\Sigma_{Ai}^2} - \frac{x^2 - a^2}{2\sigma_i^2}\right] I_0\left(\frac{xa}{\sigma_i^2}\right) da$$

حيث:

a : اتساع إشارة مباشرة

$2\sigma_i^2$: متوسط القدرة المستقبلية عبر المسيرات المتعددة، $MP_i = 10 \log(2\sigma_i^2)$ dB

(4) يعتمد طول الانتقال $L_{trans,i}$ بين حدث جيد وسيء على الفرق في قيم M_A ، $\Delta M_{A,i} = |M_{A,i \text{ GOOD}} - M_{A,i \text{ BAD}}|$

$$(16) \quad L_{trans,i} = f_1 \times \Delta M_{A,i} + f_2$$

ولكي لا يُنظر في القيم غير الواقعية للمتوسط M_A في الحالتين الجيدة والسيئة، ينبغي النظر في مدى احتمال مقيّدة:

• 5% - 95% للحالة الجيدة

• $[p_{B,min}, p_{B,max}]$ للحالة السيئة.

وللنظر في القيم الواقعية لمدة أحداث حالة جيدة وسيئة، يجب النظر في أدنى أطوال الحدث الممكنة:

• dur_{minG} للحالة الجيدة

• dur_{minB} للحالة السيئة.

وينبغي استخدام معلمات الدخل التالية للنموذجين الإحصائي والتوليدي.

الجدول 5

معلومات النموذج

المعلمة	الوصف
$(\mu, \sigma)_{G,B}$	المتوسط والانحراف المعياري للقانون اللوغاريتمي الطبيعي المفترض طيلة الأحداث (m)
$dur_{minG,B}$	أدنى مدة ممكنة للأحداث (m)
$(\mu_{M_{AG,B}}, \sigma_{M_{AG,B}})$	معلمتا التوزيع $M_{AG,B}$ (حيث M_A هو متوسط قيمة اتساع مسير مباشر A خلال حدث واحد) (dB)
$MP = h_{1G,B}M_A + h_{2G,B}$	أس المسير المتعدد، $MP_{G,B}$ ، (كثير حدود واحد من المرتبة الأولى لكل حالة)، (dB)
$\sum_{AG,B} = g_{1G,B}M_A + g_{2G,B}$	الانحراف المعياري للاتساع $\sum_{AG,B}$ ، (كثير حدود واحد من المرتبة الأولى لكل حالة)
$L_{corrG,B}^*$	مسافة تلازم اتساع المسير المباشر (m)
$f_1\Delta M_A + f_2$	طول الانتقال، L_{trans} (كثير حدود واحد من المرتبة الأولى لكل حالة)، (m)
$[p_{B,min}, p_{B,max}]$	مدى الاحتمالات الذي يُنظر فيه لتوزيع M_{AB}

ملاحظة: يرمز الحرف G إلى حالة جيدة فيما يرمز الحرف B إلى حالة سيئة.
* للنمذجة التوليدية حصراً.

1.6 التنبؤ بإحصاءات الخبو لوصلة ساتلية وحيدة

يقدم الإجراء التالي تقديرات لإحصاءات الخبو الإجمالي لوصلة انتشار للخدمة LMSS لترددات تصل إلى 30 GHz مع زوايا ارتفاع تتراوح بين 20° و 90°. بيد أن قيم المعلمة المقترحة الواردة هنا تحد من المدى الترددي ليكون بين 1.5 GHz و 20 GHz. ويُفترض كسب هوائي الاستقبال هنا أقل من 5 dBi تقريباً لترددات تقل عن 5 GHz و 19 dBi لترددات تزيد عن 10 GHz.

ملاحظة: جرى تبسيط أسلوب التنبؤ الإحصائي فيما يتعلق بأسلوب تركيب السلسلة الزمنية (الفقرة 2.6) لتقديم القيمة التقريبية للخبو وعامل ريس (Rice) ومجموع إحصاءات القدرة. ولتحسين الدقة، يجب أن تحسب الإحصاءات من السلاسل الزمنية المركبة عبر 100 km.

المدخلات:

- التردد (Hz)؛
- البيئة؛
- زاوية الارتفاع.

الخطوة 0: يحدد $(\mu, \sigma)_{G,B}$ و $(\mu_{M_A}, \sigma_{M_A})_{G,B}$ و $(g_1, g_2)_{G,B}$ و $(h_1, h_2)_{G,B}$ و $(dur_{min})_{G,B}$ و (f_1, f_2) من جدول معلمات المدخلات الوارد في الملحق 2. ويُنظر في الجدول المقابل لزاوية الارتفاع والتردد الأقرب لقيم الدخل.

الخطوة 1: يُحسب متوسط مدة الحالتين الجيدة والسيئة، $\langle dur \rangle_G$ و $\langle dur \rangle_B$ على التوالي، ومتوسط طول الانتقال، $\langle dur \rangle_T$:

$$(17a) \quad \langle dur \rangle_{G,B} = \exp\left(\mu_{G,B} + \frac{\sigma_{G,B}^2}{2}\right) \frac{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{\log dur_{min,B,G} - (\mu_{G,B} + \sigma_{G,B}^2)}{\sigma\sqrt{2}}\right)}{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{\log dur_{min,B,G} - \mu_{G,B}}{\sigma\sqrt{2}}\right)}$$

$$(17b) \quad \langle dur \rangle_T = f_1 \times \left(\mu_{M_A,G} - \mu_{M_A,B} - \sigma_{M_A,B}^2 \times \frac{p_N(M_{A,min}; \mu_{M_A,B}, \sigma_{M_A,B}) - p_N(M_{A,max}; \mu_{M_A,B}, \sigma_{M_A,B})}{F_N(M_{A,max}; \mu_{M_A,B}) - F_N(M_{A,min}; \mu_{M_A,B}, \sigma_{M_A,B})} \right) + f_2$$

حيث:

$p_N(x; \mu, \sigma)$ و $F_N(x; \mu, \sigma)$ هما على التوالي دالة كثافة الاحتمال ودالة التوزيع التراكمي للتوزيع العادي مع كون μ هو

المتوسط و σ الانحراف المعياري على النحو المعرّف في التوصية ITU-R P.1057.

$$(18a) \quad M_{A,min,B} = \mu_{M_{A,B}} + \sqrt{2}\sigma_{M_{A,B}} \operatorname{erf}^{-1}(2p_{B,min} - 1)$$

$$(18b) \quad M_{A,max,B} = \mu_{M_{A,B}} + \sqrt{2}\sigma_{M_{A,B}} \operatorname{erf}^{-1}(2p_{B,max} - 1)$$

الخطوة 2: يُحسب احتمال الحالتين الجيدة والسيئة و p_B و p_G :

$$(19a) \quad p_G = \frac{\langle dur \rangle_G + \langle dur \rangle_T}{\langle dur \rangle_G + \langle dur \rangle_B + 2\langle dur \rangle_T}$$

$$(19b) \quad p_B = \frac{\langle dur \rangle_B + \langle dur \rangle_T}{\langle dur \rangle_G + \langle dur \rangle_B + 2\langle dur \rangle_T}$$

الخطوة 3: يُحسب التوزيع التراكمي لمستوى الإشارة x في الحالتين الجيدة والسيئة، $P(x \leq x_0|GOOD)$ و $P(x \leq x_0|BAD)$ على النحو التالي:

$$(20a) \quad P(x \leq x_0|state) = \frac{2.7647}{\sigma_{M_A} \left(F_N(M_{A,max}; \mu_{M_A}, \sigma_{M_A}) - F_N(M_{A,min}; \mu_{M_A}, \sigma_{M_A}) \right)} \int_{M_{A,min}}^{M_{A,max}} \int_0^{x_0} \int_{a_{min}}^{a_{max}} \frac{x}{a(g_1 M_A + g_2) 10^{\frac{h_1 M_A + h_2}{10}}} \times \exp \left(-\frac{(M_A - \mu_{M_A})^2}{2\sigma_{M_A}^2} - \frac{(20 \log_{10} a - M_A)^2}{2(g_1 M_A + g_2)^2} - \frac{x^2 + a^2}{10^{\frac{h_1 M_A + h_2}{10}}} \right) I_0 \left(\frac{2ax}{10^{\frac{h_1 M_A + h_2}{10}}} \right) da dx dM_A$$

حيث

الحالة السيئة	الحالة الجيدة	المعلمة
$M_{A,min,B}$	$\mu_{M_{A,G}} - 1,645 \times \sigma_{M_{A,G}}$	$M_{A,min}$
$M_{A,max,B}$	$\mu_{M_{A,G}} + 1,645 \times \sigma_{M_{A,G}}$	$M_{A,max}$
	$10^{\frac{(1-3g_1)M_A - 3g_2}{20}}$	a_{min}
	$10^{\frac{(1+3g_1)M_A + 3g_2}{20}}$	a_{max}

يرجى ملاحظة أن σ_{M_A} يمكن أن تساوي الصفر (كما هو الحال على سبيل المثال في الحالات الجيدة من البيئات الرئيسية وشبه الحضرية وبالنسبة للترددات $(f = 10 - 20 \text{ GHz})$. وفي هذه الظروف، لا يوزع M_A عشوائياً وهو ما يغير من دالة التوزيع التراكمي (لا تكامل باستثناء M_A). وعندئذ، يصبح التوزيع التراكمي (مع $\mu_{M_A} = M_A$ هنا).

$$(20b) \quad P(x \leq x_0|state) = \frac{2 \times 8.686}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_0} \int_{a_{min}}^{a_{max}} \frac{x}{a(g_1 M_A + g_2) 10^{\frac{h_1 M_A + h_2}{10}}} \times \exp \left(-\frac{(20 \log_{10} a - M_A)^2}{2(g_1 M_A + g_2)^2} - \frac{x^2 + a^2}{10^{\frac{h_1 M_A + h_2}{10}}} \right) I_0 \left(\frac{2ax}{10^{\frac{h_1 M_A + h_2}{10}}} \right) da dx$$

الخطوة 4: يُحسب التوزيع التراكمي لمستوى الإشارة x على النحو التالي:

$$(21) \quad P(x \leq x_0) = p_G \times P(x \leq x_0|GOOD) + p_B \times P(x \leq x_0|BAD)$$

الخطوة 5: يُحسب التوزيع التراكمي لعامل رايس K (dB) في الحالتين الجيدة والسيئة، $P(K \leq K_0|GOOD)$ و $P(K \leq K_0|BAD)$ على النحو التالي:

في حالة $\sigma_{M_A} \neq 0$

$$(22a) \quad P(K \leq K_0|state) = \frac{\int_{M_{A,min}}^{M_{A,max}} \exp \left(-\frac{(M_A - \mu_{M_A})^2}{2\sigma_{M_A}^2} \right) \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{K_0 - ((1 - h_1)M_A - h_2)}{(g_1 M_A + g_2)\sqrt{2}} \right) \right] dM_A}{\sigma_{M_A} \left(F_N(M_{A,max}; \mu_{M_A}, \sigma_{M_A}) - F_N(M_{A,min}; \mu_{M_A}, \sigma_{M_A}) \right) 2\sqrt{2\pi}}$$

وفي حالة $\sigma_{M_A} = 0$ ، عندئذ

$$(22b) \quad P(K \leq K_0 | state) = \frac{1 + \operatorname{erf}\left(\frac{K_0 - ((1-h_1)M_A - h_2)}{(g_1 M_A + g_2)\sqrt{2}}\right)}{2}$$

الخطوة 6: يُحسب التوزيع التراكمي لعامل رايس K ، $P(K \leq K_0)$ ، على النحو التالي:

$$(23) \quad P(K \leq K_0) = p_G \times P(K \leq K_0 | GOOD) + p_B \times P(K \leq K_0 | BAD)$$

الخطوة 7: يُحسب التوزيع التراكمي للقدرة الكلية p_t (قدرة المسير المباشر بالإضافة إلى قدرة المسيرات المتعددة المشتتة) في الحالتين الجيدة والسيئة، $P(p_t \leq p_{t,0} | GOOD)$ و $P(p_t \leq p_{t,0} | BAD)$ على النحو التالي:

في حال $h_1 \geq 0$:

$$(24a) \quad \text{If } \frac{10 \log p_{t,0} - h_2}{h_1} < M_{A,min}, P(p_t \leq p_{t,0} | state) = 0$$

وفي حال $\frac{10 \log p_{t,0} - h_2}{h_1} \geq M_{A,min}$

and $\sigma_{M_A} \neq 0$

$$(24b) \quad P(p_t \leq p_{t,0} | state) = \frac{\int_{M_{A,min}}^{\min\{M_{A,max}, \frac{10 \log p_{t,0} - h_2}{h_1}\}} \exp\left(\frac{-(M_A - \mu_{M_A})^2}{2\sigma_{M_A}^2}\right) \left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{10 \log\left(p_{t,0} - 10^{\frac{h_1 M_A + h_2}{10}}\right) - M_A}{(g_1 M_A + g_2)\sqrt{2}}\right)\right] dM_A}{\sigma_{M_A} \left(F_N(M_{A,max}; \mu_{M_A}, \sigma_{M_A}) - F_N(M_{A,min}; \mu_{M_A}, \sigma_{M_A})\right) 2\sqrt{2\pi}}$$

في حال $h_1 \geq 0$:

$$(24c) \quad \text{If } \frac{10 \log p_{t,0} - h_2}{h_1} > M_{A,max}, P(p_t \leq p_{t,0} | state) = 0$$

في حال $\frac{10 \log p_{t,0} - h_2}{h_1} \leq M_{A,max}$ and $\sigma_{M_A} \neq 0$,

$$(24d) \quad P(p_t \leq p_{t,0} | state) = \frac{\int_{\max\{M_{A,min}, \frac{10 \log p_{t,0} - h_2}{h_1}\}}^{M_{A,max}} \exp\left(\frac{-(M_A - \mu_{M_A})^2}{2\sigma_{M_A}^2}\right) \left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{10 \log\left(p_{t,0} - 10^{\frac{h_1 M_A + h_2}{10}}\right) - M_A}{(g_1 M_A + g_2)\sqrt{2}}\right)\right] dM_A}{\sigma_{M_A} \left(F_N(M_{A,max}; \mu_{M_A}, \sigma_{M_A}) - F_N(M_{A,min}; \mu_{M_A}, \sigma_{M_A})\right) 2\sqrt{2\pi}}$$

في حالة $\sigma_{M_A} = 0$ ، عندئذ:

$$(24e) \quad P(p_t \leq p_{t,0} | state) = \frac{1 + \operatorname{erf}\left(\frac{10 \log\left(p_{t,0} - 10^{\frac{h_1 M_A + h_2}{10}}\right) - M_A}{(g_1 M_A + g_2)\sqrt{2}}\right)}{2}$$

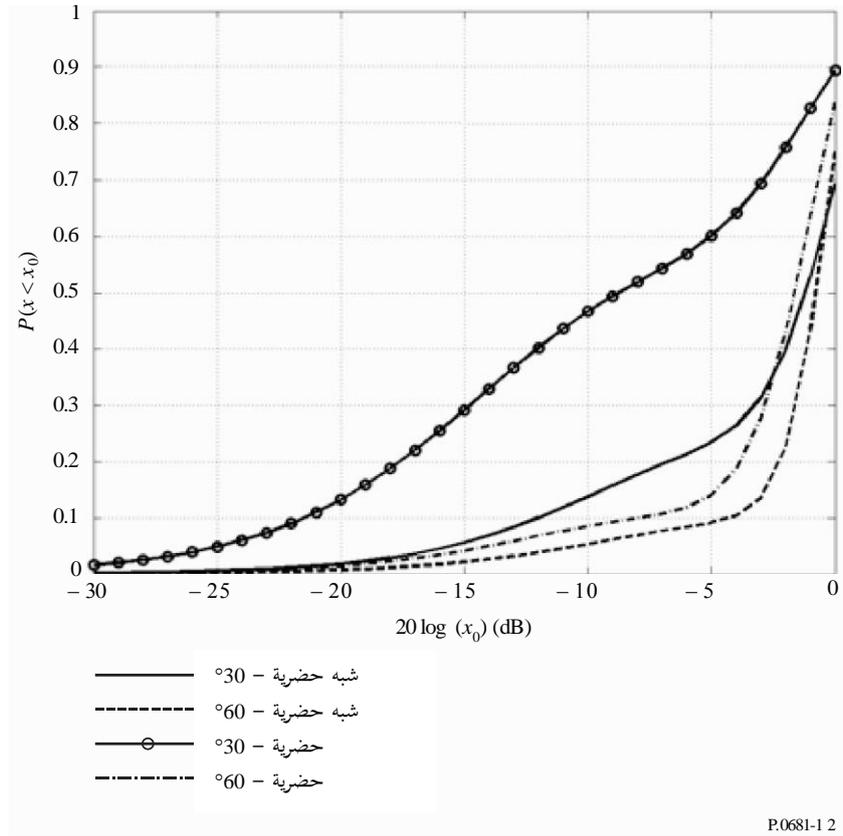
الخطوة 8: يُحسب التوزيع التراكمي للقدرة الكلية p_t ، $P(p_t \leq p_{t,0})$ ، على النحو التالي:

$$(25) \quad P(p_t \leq p_{t,0}) = p_G \times P(p_t \leq p_{t,0} | GOOD) + p_B \times P(p_t \leq p_{t,0} | BAD)$$

وتبين الأشكال 12 و 13 و 14 حساب أمثلة دالات التوزيع التراكمي (CDF) لمعلمات حضرية وشبه حضرية (أوروبا) عند زاويتي ارتفاع قدرهما 30 و 60 درجة على ترددات تتراوح بين 1,5 و 3 GHz.

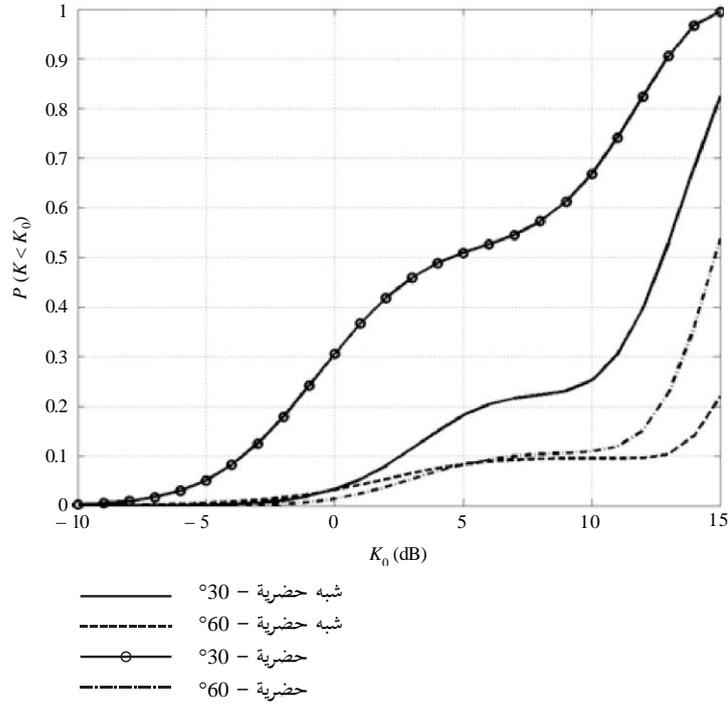
الشكل 12

أمثلة محسوبة لعمق الخبو في منطقتين حضرية وشبه حضرية عند زاويتي ارتفاع 30° و 60°
(أوروبا؛ نطاق التردد 3-1,5 GHz؛ كسب الهوائي > 5 dBi)



الشكل 13

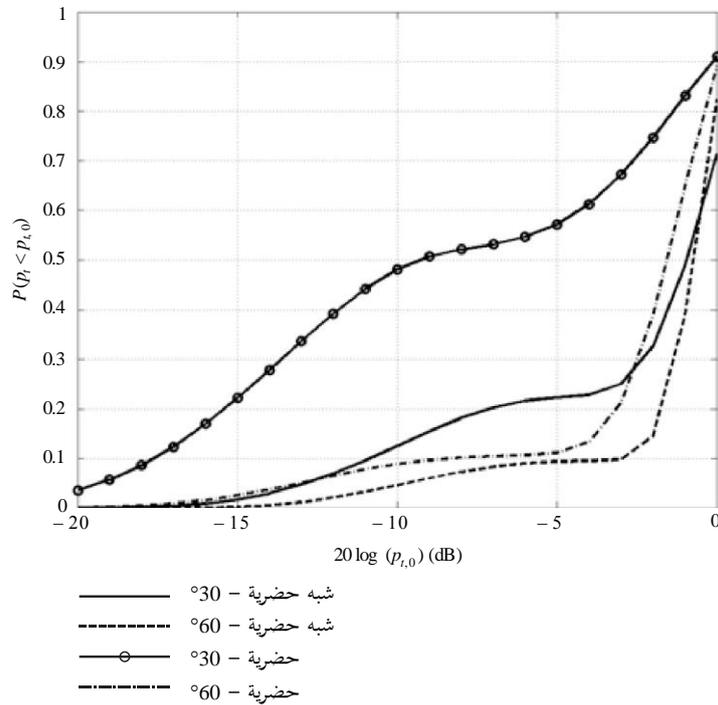
أمثلة محسوبة لعمق الخبو في منطقتين حضرية وشبه حضرية عند زاويتي ارتفاع 30° و 60°
(أوروبا؛ نطاق التردد 3-1,5 GHz؛ كسب الهوائي > 5 dBi)



P.0681-1 3

الشكل 14

أمثلة محسوبة لعمق الخبو في منطقتين حضرية وشبه حضرية عند زاويتي ارتفاع 30° و 60°
(أوروبا؛ نطاق التردد 3-1,5 GHz؛ كسب الهوائي ≥ 5 dBi)



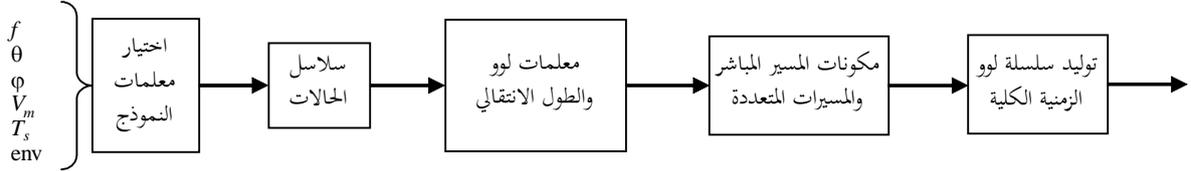
P.0681-1 4

2.6 تركيب السلسلة الزمنية لغللاف مركب الخبو

يتطلب تقييم أداء مستقبلات الخدمة LMSS تركيباً عشوائياً لسلسلة زمنية واقعية لغللاف مركب الخبو. وينبغي استعمال نموذج حالتي شبه ماركوف المحسن لمحاكاة التغيرات الزمنية في قناة LMSS لساتل وحيد في مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض. ويتضمن الشكل 15 المخطط الوظيفي للمحاكي من أجل توليد السلاسل الزمنية/المكانية لغللاف القدرة المستقبلية.

الشكل 15

المخطط الوظيفي للمحاكي



P0681-1 5

وتتولد السلسلة الزمنية لغللاف مركب القدرة خطوة بخطوة على النحو التالي:

المدخلات:

- التردد f (Hz)؛
- زاوية الارتفاع θ (°)؛
- السمّت/توجه المسير φ (°)؛
- البيئة؛
- وقت أخذ العينات T_s (s)؛
- السرعة المتحركة v_m ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).

الخطوة 0: تُختار معلمات النموذج $(\mu, \sigma)_{G,B}$ و $(\mu_{MA}, \sigma_{MA})_{G,B}$ و $(g_1, g_2)_{G,B}$ و $(h_1, h_2)_{G,B}$ و $(dur_{min})_{G,B}$ و $(L_{corr})_{G,B}$ و (f_1, f_2) و $conf_{B,min}$ و $conf_{B,max}$ حسب المدخلات. ويُنظر في الجدول المقابل لزاوية الارتفاع والتردد الأقرب لقيم الدخل. ويرد مثال على معلمات النموذج في الجدول 5.

الخطوة 1: توليد سلسلة الحالة. تتكون سلسلة الحالة من أحداث جيدة وأحداث سيئة. وتتولد مدة كل حدث بتوزيع لوغاريتمي طبيعي.

فإذا سُحبت قيمة أخفض من dur_{min} ، ينبغي القيام بعمليات سحب عشوائي جديدة حتى تعلو القيمة على قيمة المعلمة.

$$\text{State_duration}_G \sim \text{lognormal}(\mu_G, \sigma_G)$$

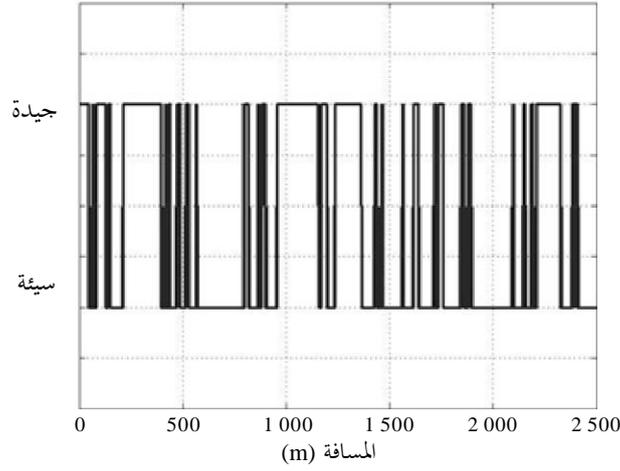
$$\text{State_duration}_B \sim \text{lognormal}(\mu_B, \sigma_B)$$

ويبين الشكل 16 مثلاً على سلسلة الحالة بأحداث جيدة وسيئة ذات فترات مختلفة.

الشكل 16

مثال على سلسلة الحالة

سلسلة حالة شبه ماركوف



P.0681 -16

الخطوة 2: توليد ثلاثية معلمات لـ (M_A, Σ_A, MP) لكل حالة والأطوال الانتقالية (L_{trans}) بين الحالات. فإذا سُحبت قيمة M_A من المدى $[\mu_{M_A,G} - 1,645\sigma_{M_A,G}; \mu_{M_A,G} + 1,645\sigma_{M_A,G}]$ لحالة جيدة ومن المدى $[\mu_{M_A,B} + \sqrt{2}\sigma_{M_A,B} \operatorname{erf}^{-1}(2p_{B,min} - 1); \mu_{M_A,B} + \sqrt{2}\sigma_{M_A,B} \operatorname{erf}^{-1}(2p_{B,max} - 1)]$ لحالة سيئة، ينبغي القيام بعمليات سحب عشوائي جديدة حتى تقع القيمة ضمن هذا المدى.

الجدول 6

أحداث سيئة	أحداث جيدة
$M_{ABi} = \text{Normal}(\mu_{M_A,B}, \sigma_{M_{AB}})$	$M_{AGi} = \text{Normal}(\mu_{M_A,G}, \sigma_{M_{AG}})$
$\Sigma_{ABi} = g_{1B} * M_{ABi} + g_{2B}$	$\Sigma_{AGi} = g_{1G} * M_{AGi} + g_{2G}$
$MP_{Bi} = h_{1B} * M_{ABi} + h_{2B}$	$MP_{Gi} = h_{1G} * M_{AGi} + h_{2G}$

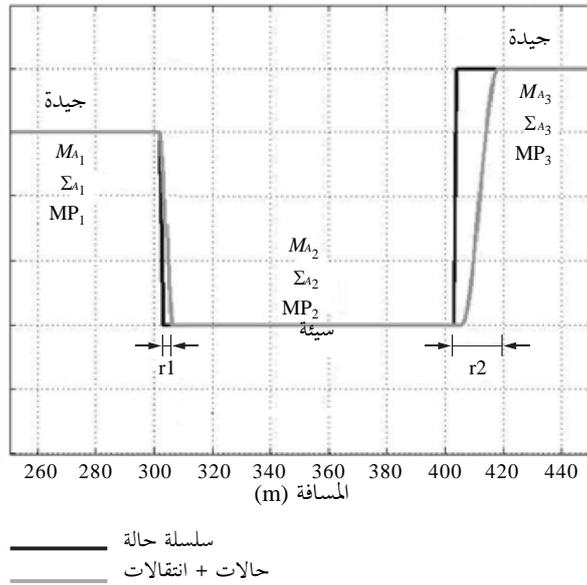
إضافة الأطوال الانتقالية (L_{trans}) بين الحالات (انظر الشكل 17):

$$(26) \quad L_{trans} = f_1 |M_{Ai} - M_{Ai+1}| + f_2 \quad (m)$$

الشكل 17

مثال ثلاثية معلمات لـ α لكل حالة وإدراج الأطوال الانتقالية بين الحالات

سلسلة حالة



P.0681-17

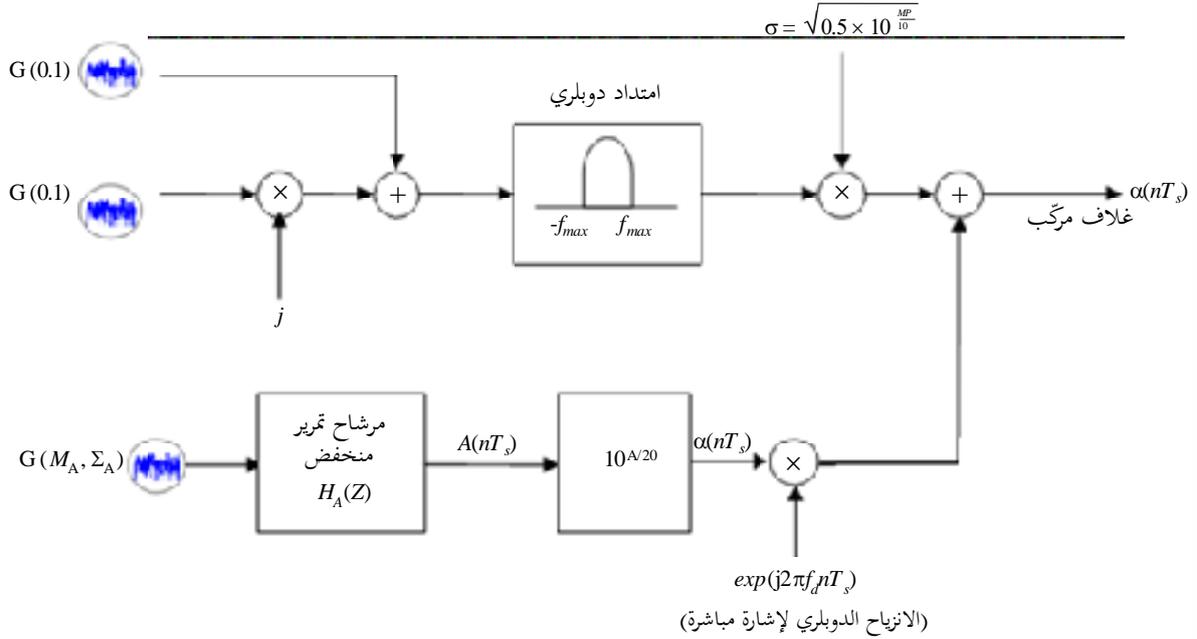
الخطوة 3: توليد سلسلة لـ α الزمنية الكلية

يمكن إنتاج تغيرات إشارة معقدة باستخدام مولد سلسلة لـ α الزمنية. ويظهر تنفيذه في الشكل 18. وسيجري تحديث معلمات الدارة لتوليد سلسلة زمنية في كل حالة.

وضمن انتقال، يجري الاستكمال الداخلي خطأً (dB) لمعلمات لـ α المسحوبة عن الحالات الجيدة والسيئة حول الانتقال.

الشكل 18

مولد سلسلة لولو الزمنية



P.0681 -18

تولد السكة العليا تغيرات سريعة متعددة المسيرات، فيما تُبْطِئ السكة السفلى، وهي الإشارة المباشرة، التغيرات.

وفي السكة العليا، تمرر سلسلتان غاوسيتان (Gaussian) بمتوسط صفري وبانحراف وحدة معياري ويفرق طور متعامد عبر مرشاح دوبلري لوحدة الطاقة. وبعد القولية الدوبلرية، تُضرب السلسلة المعقدة الناتجة بالمعلمة σ ، حيث $2\sigma^2$ هي قيمة متوسط جذر التغيرات متعددة المسيرات.

وتحاكي السكة السفلى تغيرات اتساع وطور الإشارة المباشرة. وفي خطوة أولى، يتولد التوزيع الغاوسي ذو المتوسط M_A (dB) والانحراف المعياري Σ_A (dB). وفي الخطوة الثانية، تُحوّل السلسلة، في وحدات dB، إلى وحدات خطية.

وفي الخطوة الثالثة، يجري إدخال تغيرات الطور في الإشارة المباشرة. ويفترض أنها تتغير خطياً مما يؤدي إلى خط طيفي دوبلري ثابت يعتمد على السرعة الموجهة النسبية للساتل المتنقل، وعلى زاوية الورد والسمت والارتفاع بالنسبة إلى المسار المتنقل.

ويعطى تردد الخط الطيفي الدوبلري بما يلي:

$$(27) \quad f_d = (f \times v_m / c) \cos \phi \cdot \cos \theta$$

وتُحكّم التغيرات السريعة بالامتداد الدوبلري الذي يعزى أساساً إلى حركة المطراف. وحسب المخطط الإشعاعي للهوائي، يجب استخدام نموذج جيكس (Jakes) لتوليد تغيرات سريعة.

ويعرّف مرشاح جيكس بما يلي:

$$(28) \quad \begin{cases} S(f) = \frac{K}{\pi f_m \sqrt{1 - (f/f_m)^2}} & \text{for } |f| < f_m \\ S(f) = 0 & \text{for } |f| \geq f_m \end{cases}$$

حيث $f_m = v_m \times f / c$ و K هي معلمة التقييس التي تضمن عدم تغيير الاصطفاء لقدرة العملية.

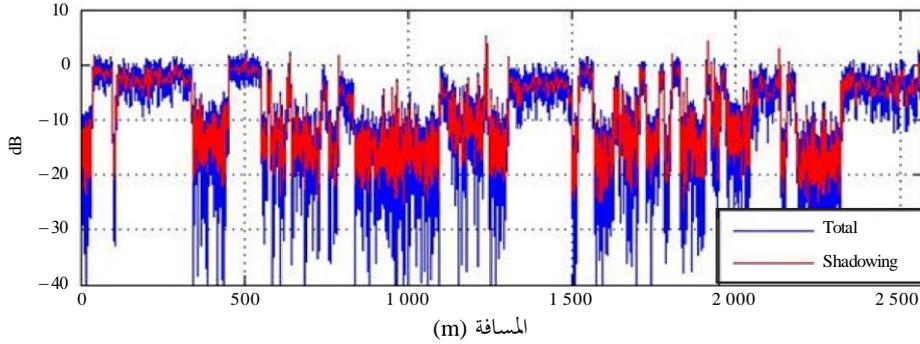
ويكون تعرض اتساع الإشارة المباشرة للتغيرات أبطأ من التغيرات التي تعزى إلى تعدد المسيرات الناجم عن الحجب. وفي هذا التنفيذ، يتميز معدل تبدل التغيرات البطيئة بطول التلازم، L_{corrG} ، للحالات الجيدة أو L_{corrB} ، للحالات السيئة. ويكون مسافة أخذ العينات لتعدد المسيرات $v_m T_s$ ، تولد سلسلة الحجب الزمنية المتلازمة باستخدام مرشاح التمرير المنخفض العددي التالي:

$$(29) \quad H_A(Z) = \frac{\sqrt{1-\rho_s^2}}{1-\rho_s Z^{-1}} \text{ with } \rho_s = \exp\left(\frac{-v_m T_s}{L_{corr}}\right)$$

ويبين الشكل 19 مثال على السلسلة الزمنية المتولدة (المحوّلة إلى سلسلة مكانية).

الشكل 19

مثال على السلسلة المكانية المتولدة



P.681-1 9

7 نموذج عريض النطاق فيزيائي إحصائي لظروف الانتشار المختلط

في الفقرة 6، ورد نموذج إحصائي ضيق النطاق للخدمة LMSS في بيئات مختلفة. وبالنسبة للخدمة LMSS عريضة النطاق ذات قناة انتشار متعددة المسيرات حيث تتأثر الترددات المختلفة الواقعة ضمن عرض نطاق الإشارة بشكل مختلف باختلاف القناة (قنوات انتقائية التردد)، فإن نموذجاً مثيراً يقوم على تنفيذ مرشاح خطي مستعرض يكون خرجة بمثابة مجموع الأشكال المتأخرة والمتخالفة الطور لإشارة الدخل (نموذج عريض النطاق) يكون أكثر ملاءمة. وترد التعاريف الخاصة بالمصطلحات المتعلقة بالانتشار في مسيرات متعددة في التوصية ITU-R P.1407.

والنموذج مقدم بالنسبة للحالة التي يقوم عليها ساتل بالإرسال من موقع معروف إلى مستقبل على الأرض، حيث يمكن حساب زاوية الارتفاع ϵ والسمت ϕ بالنسبة إلى اتجاه وموضع المستقبل. ويمكن تطبيق النموذج للترددات من 1 و 2 GHz وهو صالح للأنظمة عريضة النطاق ذات عرض النطاق الذي يصل إلى 100 MHz. ويقوم النموذج على معلمات محددة وعشوائية وبمقدوره توليد متجهات تتضمن متتاليات زمنية معقدة الغلاف للإشارة المباشرة والانعكاسات، مع متجهات تأخير المسير المقابلة. والمعلمات التي تحدد السلوك العشوائي للنموذج تشتت من قياسات يتحصل عليها في سيناريو معين. وتستند هندسة النموذج على تمثيل تكميلي للبيئة.

ويتألف نموذج القناة من توليفة من الأجزاء التالية (وضعت لدعم محاكاة سلوك الانتشار الواقعي لكثير من سيناريوهات الانتشار مثار الاهتمام، وقد تم تأكيد صلاحيتها من خلال تحليل تجريبي قائم على بيانات مقاسة):

- حجب الإشارة مباشرة:
- وحدة واجهة المنزل
- وحدة الأشجار
- وحدة أعمدة الإنارة
- وحدة الانعكاسات.

ويوضح الشكل 20 هيكل النموذج، بما في ذلك الإشارات الداخلة والوسيط والخارجة المتغيرة مع الزمن:

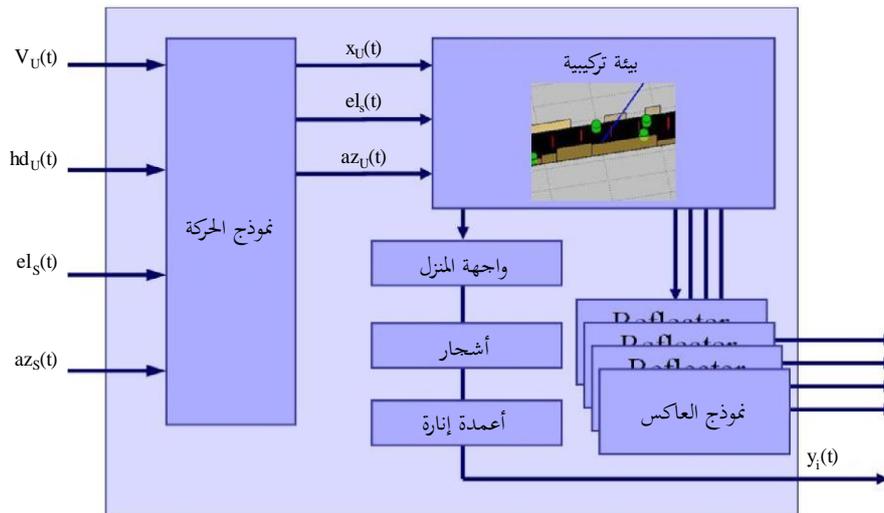
- $v_u(t)$: سرعة المستعمل
- $hd_u(t)$: وجهة المستعمل
- $el_s(t)$: زاوية ارتفاع الساتل
- $az_s(t)$: زاوية سمت الساتل
- $x_u(t)$: موضع المستعمل على المحور السيني (المحوران ص و ع ثابتان فرضاً)
- $az_u(t)$: زاوية سمت المستعمل
- $y_i(t)$: إشارات الخرج، حيث تختص كل i بإشارة ثابتة وانعكاسات.

ويوضح الشكل 21 آليات الانتشار المتبعة في النموذج والبيئة التركيبية.

ويصلح هيكل النموذج للعديد من السيناريوهات: مركبة في منطقة حضرية، مشاة في منطقة حضرية، مركبة في منطقة شبه حضرية، مشاة في منطقة شبه حضرية. وقد وضع النموذج من قياسات أجريت على سيناريوهات حضرية وشبه حضرية في مدينة ميونخ بألمانيا وحوها. وثمة برمجية لتنفيذ النموذج متاحة على موقع الويب للجنة الدراسات 3 للاتصالات الراديوية. هناك وصف كامل لتنفيذ النموذج واستعماله في التقرير النموذجي الفيزيائي الإحصائي ذي الصلة للخدمة LMSS لقطاع الاتصالات الراديوية على موقع الويب الخاص بلجان دراسات قطاع الاتصالات الراديوية.

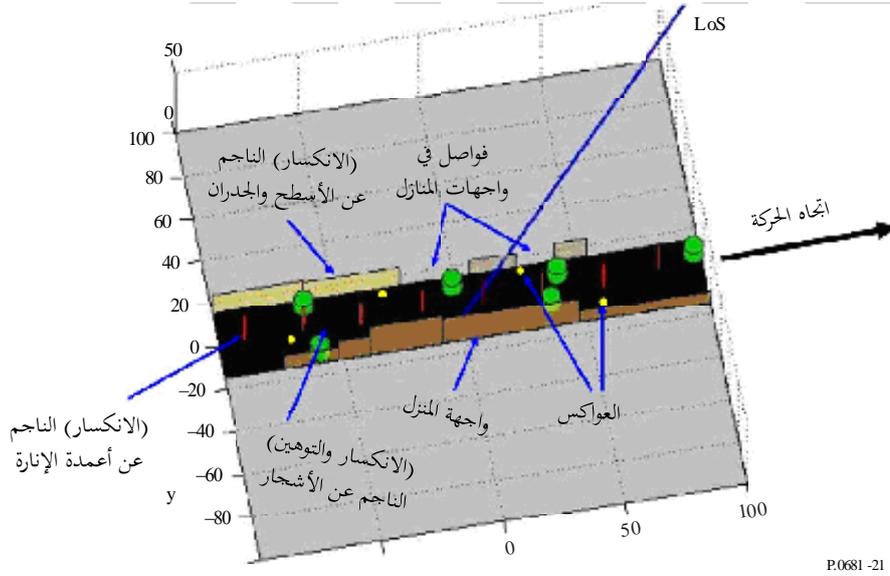
الشكل 20

هيكل النموذج



الشكل 21

آليات الانتشار والبيئة التركيبية



P.0681-21

1.7 مدخلات النموذج

لكل عينة مدخلة، يجب تقديم بعض القيم لمدخلات النموذج:

- زاوية ارتفاع الساتل
- زاوية سمت الساتل
- سرعة المستعمل
- اتجاه المستعمل.

ويلاحظ أن أقصى سرعة للمستعمل محدودة بتردد اعتيان الاستجابة النبضية للقناة:

$$(30) \quad v < \frac{c_0 f_{smp}}{2f_c}$$

حيث:

f_{smp} : تردد الاعتيان

f_c : تردد الموجة الحاملة

c_0 : سرعة الضوء.

ويوصى بمراعاة عامل معقول للاعتيان المفرط وليكن 4.

2.7 خرج النموذج

خرج النموذج عبارة عن متجه N لقيم تأخير للمسير τ_i وقيم مركبة للمتجه N عبارة عن $A_i(t)$ لكل لحظة زمنية. ويتحصل على الاستجابة النبضية المكافئة لقناة النطاق الأساسي من المعادلة:

$$(31) \quad h(t, \tau) = \sum_{i=1}^N A_i(t) \delta(\tau - \tau_i(t))$$

حيث t و τ تشيران إلى محوري الزمن والتأخير على التوالي. ويلاحظ أن التأخير في المسير $\tau_i(t)$ عبارة عن متغير مع الزمن ويمكن أن تصل قيمه إلى قيم اعتباطية.

3.7 استعمال خرج النموذج

يفرض أن $s(t)$ هي إشارة النطاق الأساسي المكافئة المرسل، وبالتالي يمكن حساب الإشارة المستقبلية $r(t)$ بالأسلوب الاعتيادي، عن طريق الإشارة المرسل مع الاستجابة النبضية للقناة كالتالي:

$$(32) \quad r(t) = s(t) * h(t, \tau)$$

ويجري تحديث الاستجابات النبضية للقناة باعتبارها خرج للنموذج بمعدل يعطيه التردد f_{samp} .

8 تنوع السواتل

في الأجزاء السابقة، جرى تناول وصلات لساتل وحيد. ولتحسين التيسر، يمكن لأنظمة ساتلية متعددة استخدام وصلات متنوعة. ويجري هنا تناول تجميع/تبديل الإشارات من السواتل المختلفة. وهناك حالتان يجري تناولهما، ألا وهما، الحالة غير المترابطة، حيث يفترض أن تأثيرات الخبو التي تطول الإشارات المستقبلية من السواتل المرئية غير مترابطة والحالة المترابطة، والتي توجد فيها درجة معينة من الترابط. وفي الحالتين، يفترض أن تغيرات الإشارات الصادرة على المسيرات المتعددة غير مترابطة.

1.8 الحالة غير المترابطة

لدى النموذج الوارد في الفقرة 6 القدرة على تقييم تأثيرات تنوع السواتل في حالة وجود كوكبات ساتلية متعددة الرؤية (أي التبديل إلى أقل المسيرات تشوهاً). وبالنسبة للأنظمة المستقرة بالنسبة إلى الأرض، فإن احتمالات حدوث كل حالة لكل وصلة ساتلية، أي P_{BADn} و P_{GOODn} ($n = 1, 2, \dots, N$)؛ N هو عدد السواتل المرئية) تعتمد على زاوية ارتفاع كل ساتل θ_n وبناء عليه، فإن احتمالات حدوث الحالة بعد تنوع اختبار الحالتين، $P_{BAD:div}$ و $P_{GOOD:div}$ تعطى بالمعادلات:

$$(33a) \quad P_{GOOD:div} = 1 - \prod_{n=1}^N [1 - P_{GOODn}(\theta_n)]$$

$$(33b) \quad P_{BAD:div} = 1 - P_{GOOD:div}$$

وفي حالة المدارات غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض مثل المدار الأرضي المنخفض (LEO) والمدار الأرضي المتوسط (MEO)، فإن احتمالات حدوث الحالات المختلفة لكل وصلة ساتلية تتغير مع الزمن حسب زاوية ارتفاع الساتل المتغيرة مع الزمن. والاحتمالات المتوسطة لحدوث الحالتين، أي $\langle P_{GOOD:div} \rangle$ و $\langle P_{BAD:div} \rangle$ ، بعد تشغيل تنوع السواتل بدءاً من الزمن t_1 حتى الزمن t_2 تكون كالتالي:

$$(34) \quad \langle P_{i:div} \rangle = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} P_{i:div}(t) dt \quad (i = GOOD, BAD)$$

2.8 حالة الارتباط

في كثير من الحالات، تمثل بعض أحداث الخبو التي تؤثر على وصلتين بتباعد زاوي معين قدر ما من الارتباط يتحتم تقديره كمياً للحصول على تقديرات أدق للتيسر الإجمالي المتوقع في نظام متعدد السواتل. ويستعمل معامل الارتباط المتبادل للخبو لهذا الغرض. ويمكن لهذه المعلمة أن تأخذ قيمة تتراوح بين ± 1 بدءاً من القيمة الموجبة القريبة جداً من $+1$ لتباعد زاوي صغير لتصل إلى قيمة سالبة للتباعد الزاوي الأكبر.

1.2.8 التقدير الكمي لمعامل الارتباط المتبادل للخبو في مناطق حضرية

يرد هنا وصف لنموذج ثلاثي الأجزاء للتقدير الكمي لمعامل الارتباط المتبادل بين أحداث الخبو في المناطق الحضرية. وتستعمل هنا هندسة مقبولة للمنطقة الحضرية هندسة "مجرى الشارع". والهدف هو التحديد الكمي لمعامل الارتباط المتبادل $\rho(\gamma)$ ، حيث γ التباعد الزاوي بين وصلتين منفصلتين بين الساتل والجهاز المتنقل في مجرى الشوارع، حيث يعبر عنه بدلالة الزاوية MKA الخاصة بكل وصلة.

ويبين الشكل 22 هندسة هذا النموذج حيث:

θ_1, θ_2 : زاويتا ارتفاع الساتل

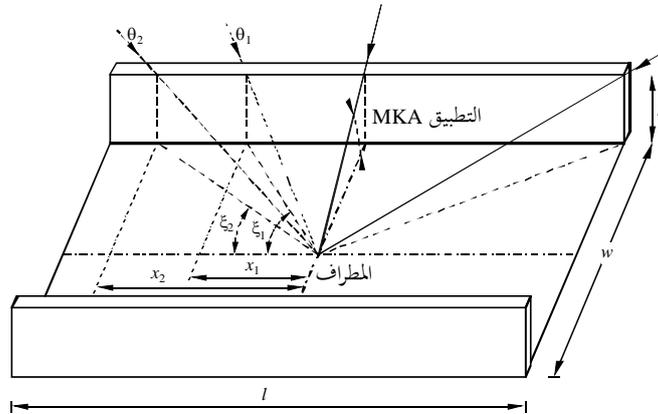
w : متوسط عرض الشارع

h : متوسط ارتفاع المبنى

l : طول الشارع محل البحث.

الشكل 22

هندسة مجرى الشارع



P.0681 - 22

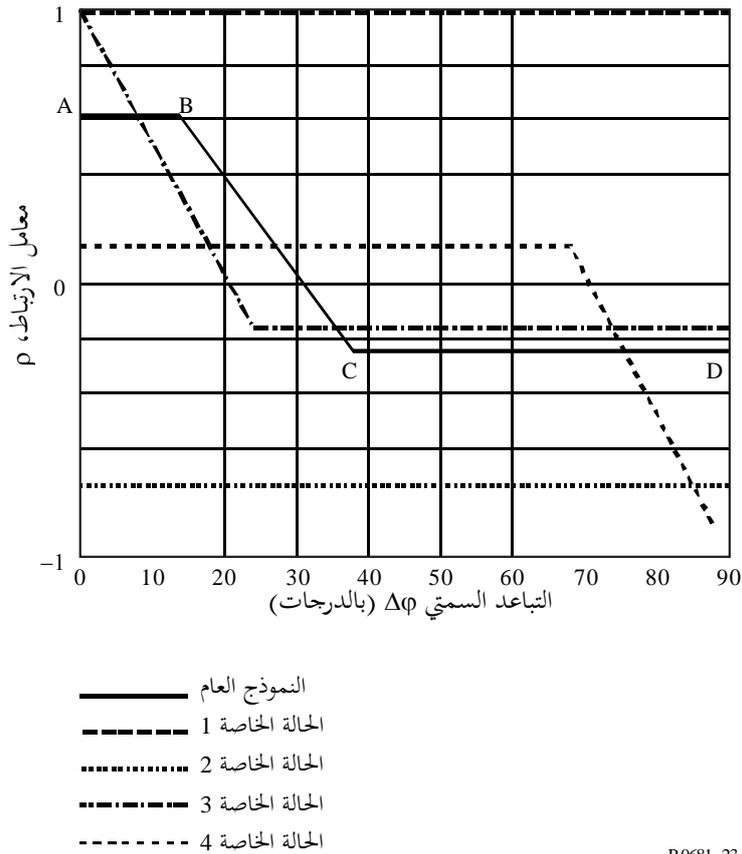
والتباعد الزاوي بين الوصلتين γ يمكن التعبير عنه بدلالة زاويتين أكثر اعتياداً: زاويتا ارتفاع الساتلية، θ_i و θ_j والتباعد السمعي $\Delta\varphi$ ، أي أن معامل الارتباط المتبادل للخبو يمكن التعبير عنه كالتالي: $\rho(\theta_i, \theta_j, \Delta\varphi)$.

والنتائج النمطية المتحصل عليها بهذا النموذج، يرد تمثيلها بيانياً في الشكل 23، حيث يبين السلوك العام مع نموذج ثلاثي الأجزاء يحدد النقاط A و B و C و D. وإضافة إلى هذا النموذج العام، هناك حالات خاصة عديدة يجري فيها دمج نقطتين أو أكثر من النقاط الأربع.

ويبين الشكل 22 أنه يوجد عادة وبوجه عام فص رئيسي لقيم موجبة متناقصة للارتباط المتبادل مع التباعد السمعي الصغير (عادة $\Delta\varphi > 30^\circ$)، في حين أن هذا المعامل يمثل الثبات عند قيمة سالبة ثابتة مع القيم الأكبر للتباعد السمعي $\Delta\varphi$. ويتيح الفص قيماً قصوى أكبر عندما يكون الساتلان على زاويتي ارتفاع متماثلين. ومع زيادة الفارق بين زاويتي الارتفاع ($\theta_j \ll \theta_i$)، فإن الفص يتيح قيماً قصوى أقل بكثير.

الشكل 23

نموذج معامل الارتباط المتبادل ثلاثي الأجزاء



P.0681-23

وقد تم أيضاً تعريف الحالات الخاصة لهذا النموذج ثلاثي الأجزاء: تحدث الحالة 1 عندما يكون كلا الساتلين فوق الزاوية MKA لأي تباعد سمّي. وفي هذه الحالة، يأخذ معامل الارتباط قيمة موجبة ثابتة تبلغ $+1$ لأي $\Delta\phi$. وهذه ليست حالة وثيقة الصلة، لأنه في هذه الحالة، لا توجد ضرورة لتنوع السواتل. والحالة 2، تحدث عندما يكون هناك ساتل فوق MKA دائماً والآخر تحته (فيما عدا عند نهايتي مجرى الشارع). وفي هذه الحالة، يأخذ معامل الارتباط قيمة ثابتة سالبة. والحالة الخاصة 3 تحدث عندما يكون الساتلان على نفس الارتفاع. وفي هذه الحالة، يبدأ فص الارتباط نزوله من قيمة قصوى قدرها $+1$ (أي أن الساتلين على نفس الموقع). وتنطبق هذه الحالة الخاصة على تلك الأنظمة القائمة على سواتل مستقرة بالنسبة إلى الأرض، تبعد عن بعضها بتباعدات كبيرة في السمّت ولكن على ارتفاعات متماثلة إلى حد كبير. وفي الختام، تحدث الحالة الخاصة 4 للسواتل ذات الارتفاعات البالغة الاختلاف ($\theta_j \ll \theta_i$). وهنا يمتد فص الارتباط عبر مدى أوسع بكثير من التباعدات السمّية وإن كان يعطي قيم ارتباط موجبة صغيرة.

وتجدر الإشارة إلى أنه نتيجة لهندسة السيناريو (مجرى الشارع) وبافتراض أن المستعمل يتمركز في وسط الشارع، فإن قيم الارتباط تكون متجانسة للأرباع الأربعة للتباعد $\Delta\phi$ ؛ وهذا هو السبب في ظهور ربع واحد فقط في الشكل 23.

وبالنسبة إلى الشكل 22، تستعمل بيانات المدخلات التالية في النموذج: زاويتا ارتفاع الساتلين θ_1 و θ_2 (بالدرجات)، متوسط ارتفاع المبنى، h (m)، متوسط عرض الشارع w (m)، طول الشارع موضع البحث، l (m). وينصح تبني قيمة كبيرة للمعلمة الأخيرة، أي $200 \leq l$ m. كما يفترض أن تكون $\theta_1 \leq \theta_2$. وتفترض استبانة التباعد الزاوي للنموذج 1° وتسري لجميع نطاقات التردد على الرغم من أنها تكون أدق في النطاقات فوق 10 GHz.

ويتعين اتباع الخطوات التالية لحساب قيم معامل الارتباط المتبادل وقيم التباعد السمتي المقابلة لنقاط النموذج A و B و C و D:

الخطوة 1: حساب قيم المساعدة x_1, x_2, M_1, M_2 والزواويتين ξ_1 و ξ_2 (انظر الشكل 22):

$$(35) \quad x_1 = \sqrt{\left(\frac{h}{\tan \theta_1}\right)^2 - \left(\frac{w}{2}\right)^2} \quad \text{and} \quad x_2 = \sqrt{\left(\frac{h}{\tan \theta_1}\right)^2 - \left(\frac{w}{2}\right)^2}$$

- إذا كانت $0 < x_{1,2}$ ، انتقل إلى الخطوة 6. وتحدث هذه الحالة عندما يكون الساتل 1 و/أو الساتل 2 في ظروف خط البصر دائماً لأي تباعد سميتي.

- إذا كانت $x_{1,2} < l/2$ ، تجعل $x_{1,2} = l/2$. وتحدث هذه الحالة عندما تكون هناك رؤية للساتل 1 و/أو الساتل 2 عند طرفي الشارع فقط.

$$(36) \quad \xi_1 = \text{round}\left(\arctan \frac{w/2}{x_1}\right) \quad \text{and} \quad \xi_2 = \text{round}\left(\arctan \frac{w/2}{x_2}\right)$$

$$(37) \quad M_1 = \frac{\xi_1 + 0,5}{90} \quad \text{and} \quad M_2 = \frac{\xi_2 + 0,5}{90}$$

حيث تعني "round" التقريب إلى أقرب قيمة صحيحة (بالدرجات).

الخطوة 2: حساب معلومات مساعدة تتعلق بالنقطتين A و D للنموذج.

النقطة A:

$$(38) \quad N_{11} = 4\xi_1 + 2 \quad N_{00} = 360 - 4\xi_2 - 2 \quad N_{01} = 4(\xi_2 - \xi_1) \quad N_{10} = 0$$

النقطة D:

- إذا كانت $\xi_1 + \xi_2 \geq 90$ ،

$$(39a) \quad N_{11} = 0 \quad N_{00} = 360 - 4\xi_1 - 4\xi_2 - 4 \quad N_{01} = 4\xi_2 + 2 \quad N_{10} = 4\xi_1 + 2$$

- إذا كانت $\xi_1 + \xi_2 < 90$ ،

$$(39b) \quad N_{11} = 4\xi_1 + 4\xi_2 + 4 - 360 \quad N_{00} = 0 \quad N_{01} = 360 - 4\xi_1 - 2 \quad N_{10} = 360 - 4\xi_2 - 2$$

الخطوة 3: حساب معامل الارتباط المتبادل عند النقطتين A و D:

$$(40) \quad \rho_{A,D} = \frac{1}{359} \frac{N_{11}(1-M_1)(1-M_2) + N_{00}(0-M_1)(0-M_2) + N_{10}(1-M_1)(0-M_2) + N_{01}(0-M_1)(1-M_2)}{\sigma(\theta_1)\sigma(\theta_2)}$$

$$(41a) \quad \sigma^2(\theta_1) = \frac{(4\xi_1 + 2)(1-M_1)^2 + (360 - 4\xi_1 - 2)(0-M_1)^2}{359}$$

$$(42b) \quad \sigma^2(\theta_2) = \frac{(4\xi_2 + 2)(1-M_2)^2 + (360 - 4\xi_2 - 2)(0-M_2)^2}{359}$$

الخطوة 4: عند النقطة B، يكون معامل الارتباط هو نفسه عند النقطة A ويتحصل على التباعد السمتي $\Delta\varphi$ ، من:

$$(43) \quad \text{Azimuth}_{\text{Point B}} = \xi_2 - \xi_1 \quad \text{بالدرجات}$$

الخطوة 5: عند النقطة C، يكون معامل الارتباط هو نفسه عند النقطة D ويتحصل على التباعد السمّي $\Delta\varphi$ ، من:

$$(44a) \quad \text{If } \xi_1 + \xi_2 \leq 90, \quad \text{Azimuth}_{\text{point C}} = \xi_1 - \xi_2 \quad \text{بالدرجات} \quad -$$

$$(44b) \quad \text{If } \xi_1 + \xi_2 > 90, \quad \text{Azimuth}_{\text{point C}} = 180 - \xi_1 - \xi_2 \quad \text{بالدرجات} \quad -$$

الخطوة 6: هذه هي الحالة التي تقع فيها عادة ظروف خط البصر لزوايا ارتفاع واحدة أو كليهما. ويحسب معامل الارتباط هنا بطريقة تختلف قليلاً عن الخطوة 3:

- إذا كان كلا الساتلين مرئياً، يكون معامل الارتباط المتبادل ثابتاً ويساوي +1 لأي قيمة للتباعد $\Delta\varphi$.

- إذا كان المرئي عادة هو ساتل واحد من الاثنين، فإن معامل الارتباط المتبادل يكون ثابتاً ويعطى بالمعادلة:

$$(45) \quad \rho = \left(\frac{N_{11}}{180} - 1 \right)$$

حيث $N_{11} = 4\xi_1 + 2$ وتحسب ξ_1 على النحو الوارد في الخطوة 1.

2.2.8 حسابات التيسر

بمجرد توافر معامل الارتباط المتبادل، يمكن حساب تحسينات التيسر الناجمة عن استعمال تنوع السواتل. وترد هنا العلاقات المستخدمة في حساب تيسر النظام بالنسبة لحالة تنوع ساتلين. ونظراً إلى الهوامش الصغيرة (أو مديات التحكم في القدرة) التي تستخدم عادة في الأنظمة الساتلية المتنقلة الأرضية، فإنه لا يراعى إلا تأثيرات الحجب فقط. وتعد هذه بمثابة افتراضية عمل واقعية نظراً إلى أن أحداث التيسر ستقابل الوصلات في ظروف خط البصر وهي الحالة التي تكون فيها التغيرات الصادرة عن المسيرات المتعددة في شكل توزع رايس وبالتالي صغيرة إلى حد ما. وفي حالة ظروف الخبو (كثيف أو خفيف)، تكون الوصلات في حالة انقطاع، حتى وإن أدت المسيرات المتعددة إلى زيادات كبيرة في الإشارة.

وبافتراض وصلتين بتباعد زاوي مع احتمالي عدم تيسر p_1 و p_2 ومعامل ارتباط متبادل للخبو ρ ، فإن عدم احتمال التيسر الإجمالي بعد تنوع السواتل يتحصل عليه من العلاقة:

$$(46) \quad p_0 = \rho \sqrt{p_1(1-p_1)} \sqrt{p_1(1-p_2)} + p_1 p_2$$

ويكون احتمال التيسر هو $1 - p_0$. والقيم الصالحة للمعامل ρ في المعادلة (46) محدودة بتلك التي تعطي قيمة غير سالبة لعدم احتمال التيسر، p_0 . ويمكن حساب الاحتمالين p_1 و p_2 ، للمناطق الحضرية باستعمال النموذج الوارد في الفقرة 2.4.

وتحتاج الحسابات الكلية لفترة زمنية معينة أو خلال الفترة الكاملة للكوكبة إلى حساب متوسطات مرجحة عبر كل المواقع (زوايا السمّت وزوايا الارتفاع) للساتلين بالنسبة للجهاز المطرافي للمستعمل.

3.8 نمذجة تأثيرات تنوع السواتل باستعمال دوال التقنيع

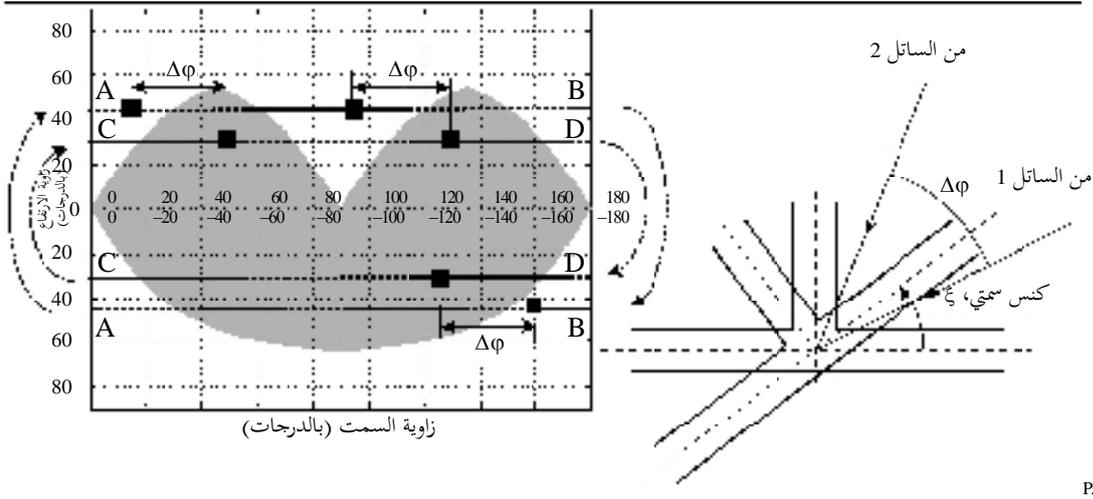
يمكن استعمال دوال التقنيع المعرفة في الفقرة 4.4 في حساب تيسر السواتل المتعددة. والارتباط الجزئي المحتمل لتأثيرات السد بين الوصلات المختلفة مدرج بالفعل في هندسة الأفق ذاتها. ويوضح الشكل 24 حساب تيسر نظام يتألف من ساتلين مستقرين بالنسبة إلى الأرض. ويشير الخطان A-B و C-D إلى مساري الكنس الواجب اتباعهما لحساب التيسر المشترك. ويشير الخط A-B إلى كنس سمّي مقداره 360° عند زاوية الارتفاع θ_1 المقابل للساتل 1 فيما يشير الخط C-D إلى كنس سمّي مقداره 360° عند زاوية الارتفاع θ_2 للساتل 2. ولمراعاة الارتباط المتبادل للسد المحتمل، يجب تنفيذ الكنس السمّي البالغ 360° مع الحفاظ على التباعد السمّي، $\Delta\varphi$ ، بين الساتلين.

ويمكن كذلك تمديد استعمال دوال التقنيع الخاصة بالشوارع لتطول العديد من السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض وإلى حالة الكوكبات غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض، وفي الحالة الأخيرة، ستتناول الدراسة الحساب المتكرر لمحاور كس قدرها 360° لاتجاه الشارع لعدد كبير بما فيه الكفاية من اللقطات الفوتوغرافية للكوكبة الساتلية. وتشير أي نقطة في هذا السياق إلى المواقع اللحظية (زوايا سمت وزوايا ارتفاع) للسواتل المختلفة فوق زاوية ارتفاع تشغيلية دنيا، θ_{min} . وبتحديد فاصل متدرج مناسب، ΔT ، وفترة رصد، T_{obs} ، يمكن حساب التيسر كمتوسط زمني للاتجاه المرجح للشارع المتحصل عليها في كل نقطة. ومن شأن قيمة قدرها 1 دقيقة للمتغير ΔT وتساوي T_{obs} مع فترة الكوكبة أن يعطي نتائج مناسبة.

الشكل 24

حساب التيسر الإجمالي للنظام بالنسبة لكوكبة تتألف من ساتلين مستقرين
بالنسبة إلى الأرض بالنسبة إلى تقاطع على شكل حرف T

الدالة MKF، التقاطع على شكل حرف T



الملحق 2

1 مقدمة

ترد فيما يلي معلمات الدخل للنماذج الإحصائية والتوليدية ضيقة النطاق، التي جاء وصفها في الفقرة 6 من الملحق 1، في مدىات مختلفة من الترددات والبيئات. وتتلخص مجموعات المعلمات المتاحة في الجداول من 7 إلى 10. وتُعرض المعلمات باتباع نسق الجدول 7:

الجدول 7

نسق بيانات معلمات الدخل

التردد/البيئة/زاوية الارتفاع (°)		
تفاصيل مفيدة عن المنطقة أو الجهاز المستخدم لتوصيف القناة		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
μ_B, σ_B	μ_G, σ_G	$(\mu, \sigma)_{G,B}$
dur_{minB}	dur_{minG}	$dur_{minG,B}$
$\mu_{M_{A,B}}, \sigma_{M_{A,B}}$	$\mu_{M_{A,G}}, \sigma_{M_{A,G}}$	$(\mu_{M_{A,GB}}, \sigma_{M_{A,GB}})$
h_{1B}, h_{2B}	h_{1G}, h_{2G}	$MP_{G,B}$
g_{1B}, g_{2B}	g_{1G}, g_{2G}	$\Sigma_{AG,B}$
$L_{corr,B}$	L_{corrG}	$L_{corrG,B}^*$
f_1, f_2		$f_1 \Delta M_A + f_2$
مدى الاحتمالات الذي يُنظر فيه لتوزع $M_{A,B}$		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

ملاحظة: يرمز الحرف G إلى حالة جيدة فيما يرمز الحرف B إلى حالة سيئة.
* للنمذجة التوليدية حصراً.

الجدول 8

معلمات النموذج لترددات تتراوح بين 1.5 و 3 GHz

زاوية الارتفاع (°)					البيئة
70	60	45	30	20	حضرية
70	60	45	30	20	شبه حضرية
70	60	45	30	20	قروية
70	60	45	30	20	ريفية مشجرة
70	60	-	30	20	سكنية

الجدول 9

معلومات النموذج لترددات تتراوح بين 3 و 5 GHz

زاوية الارتفاع (°)					البيئة
70	60	45	30	20	حضرية
70	60	45	30	20	شبه حضرية
70	60	45	30	20	قروية
70	60	45	30	20	ريفية مشجرة
70	60	-	30	20	سكنية

الجدول 10

معلومات النموذج لترددات تتراوح بين 10 و 20 GHz

زاوية الارتفاع (°)	البيئة
34	حضرية
34	ريفية

2 ترددات تتراوح بين 1,5 و 3 GHz

1.2 بيئة حضرية

°20 / حضرية / GHz 2,2		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
3,689 0,9796	2,0042 1,2049	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
10,3114	3,9889	$dur_{minG,B}$
-18,1771 3,2672	-3,3681 3,3226	$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$
1,1411 4,0581	0,1739 -11,5966	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,2502 -1,2528	0,0036 1,3230	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
0,9680	0,9680	$L_{corrG,B}$
0,0870 2,8469		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min} , p_{B,max}]$

°30 / GHz 2,2 حضريّة		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
2,7582 1,2210	2,7332 1,1030	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
5,7276	7,3174	$dur_{minG,B}$
-17,4276 3,9532	-2,3773 2,1222	$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$
0,9175 -0,8009	0,0941 -13,1679	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,1484 0,5910	-0,2811 0,9323	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
1,4731	1,4731	$L_{corrG,B}$
0,1378 3,3733		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

°45 / GHz 2,2 حضريّة		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
2,9108 1,2602	3,0639 1,6980	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
6,0	10,0	$dur_{minG,B}$
-15,4844 3,3245	-1,8225 1,1317	$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$
0,9434 -1,7555	-0,0481 -14,7450	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,0798 2,8101	-0,4643 0,3334	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
1,7910	1,7910	$L_{corrG,B}$
0,0744 2,1423		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

°60 / GHz 2,2 حضريّة		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
2,0211 0,6568	2,8135 1,5962	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
1,9126	10,0	$dur_{minG,B}$
-14,1435 3,2706	-1,5872 1,2446	$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$
0,6975 -7,5383	-0,5168 -17,4060	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
0,0422 3,2030	-0,1953 0,5353	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
1,7977	1,7977	$L_{corrG,B}$
-0,1285 5,4991		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

°70 / حضرية / GHz 2,2		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
2,1012 1,0341	4,2919 2,4703	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
4,8569	118,3312	$dur_{minG,B}$
-12,9383 1,7588	-1,8434 0,5370	$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$
2,5318 16,8468	-4,7301 -26,5687	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
0,3768 8,4377	0,5192 1,9583	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
2,0963	2,0963	$L_{corrG,B}$
-0,0826 2,8824		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

بيئة شبه حضرية 2.2

°20 / شبه حضرية / GHz 2,2		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
2,2657 1,3812	2,2201 1,2767	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
2,5585	2,2914	$dur_{minG,B}$
-13,8808 2,5830	-2,7191 1,3840	$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$
1,0136 0,5158	-0,3037 -13,0719	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,1441 0,7757	-0,1254 0,7894	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
0,9290	0,9290	$L_{corrG,B}$
0,2904 1,0324		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

°30 /GHz 2,2 شبه حضرية / 30		
معلومات		كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا
المعلمة	سيئة	جيدة
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,4521 0,7637	3,0138 1,4161
$dur_{minG,B}$	5,9087	8,3214
$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$	-11,9823 3,4728	-0,7018 1,2107
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0,6200 -7,5485	-0,6543 -14,6457
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,1644 0,2762	-0,1333 0,8992
$L_{corrG,B}$	1,7135	1,7135
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,1091 3,3000	
$[p_{B,min}, p_{B,max}]$	[0,1 ; 0,9]	

°45 /GHz 2,2 شبه حضرية / 45		
معلومات		كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا
المعلمة	سيئة	جيدة
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,2414 0,7884	4,5857 1,3918
$dur_{minG,B}$	4,3132	126,8375
$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$	-10,3806 2,3543	-1,1496 1,0369
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0,0344 -14,2087	0,2148 -17,8462
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0,0662 3,5043	0,0729 1,0303
$L_{corrG,B}$	3,2293	3,2293
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,5766 0,7163	
$[p_{B,min}, p_{B,max}]$	[0,1 ; 0,9]	

°60 /GHz 2,2 شبه حضرية / 60		
معلومات		كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا
المعلمة	سيئة	جيدة
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	1,9922 0,7132	3,4124 1,4331
$dur_{minG,B}$	3,1213	19,5431
$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$	-12,1436 3,1798	-0,7811 0,7979
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0,4372 -8,3651	-2,1102 -19,7954
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,2903 -0,6001	-0,2284 0,2796
$L_{corrG,B}$	2,0215	2,0215
$f_1 \Delta M_A + f_2$	-0,4097 8,7440	
$[p_{B,min}, p_{B,max}]$	[0,1 ; 0,9]	

°70 /GHz 2,2 / شبه حضرية		
معلومات		كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا
المعلمة	سيئة	جيدة
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,1012 1,0341	4,2919 2,4703
$dur_{minG,B}$	4,8569	118,3312
$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$	-12,9383 1,7588	-1,8434 0,5370
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	2,5318 16,8468	-4,7301 -26,5687
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0,3768 8,4377	0,5192 1,9583
$L_{corrG,B}$	2,0963	2,0963
$f_1 \Delta M_A + f_2$	-0,0826 2,8824	
$[p_{B,min}, p_{B,max}]$	[0,1 ; 0,9]	

3.2 بيئة قروية

°20 /GHz 2,2 / قروية		
معلومات		كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا
المعلمة	سيئة	جيدة
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,2328 1,3788	2,7663 1,1211
$dur_{minG,B}$	2,8174	6,5373
$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$	-15,2300 5,0919	-2,5017 2,3059
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0,9971 0,8970	0,0238 -11,4824
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,0568 1,9253	-0,2735 1,3898
$L_{corrG,B}$	0,8574	0,8574
$f_1 \Delta M_A + f_2$	0,0644 2,6740	
$[p_{B,min}, p_{B,max}]$	[0,1 ; 0,9]	

°30 /GHz 2,2 / قروية		
معلومات		كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا
المعلمة	سيئة	جيدة
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	1,8980 1,0505	2,4246 1,3025
$dur_{minG,B}$	2,4696	5,4326
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-15,1583 4,0987	-2,2284 1,4984
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0,9614 0,3719	-0,3431 -14,0798
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-0,0961 1,3123	-0,2215 1,0077
$L_{corrG,B}$	0,8264	0,8264
$f_1 \Delta M_A + f_2$	-0,0576 3,3977	
$[p_{B,min}, p_{B,max}]$	[0,1 ; 0,9]	

°45 / قروية / GHz 2,2		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
1,8509 0,8736	2,8402 1,4563	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
2,6515	10,4906	$dur_{minG,B}$
-12,6718 3,1722	-1,2871 0,6346	$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$
0,8329 -3,9947	-0,0222 -16,7316	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,0980 1,3381	-0,3905 0,4880	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
1,4256	1,4256	$L_{corrG,B}$
-0,0493 5,3952		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min} , p_{B,max}]$

°60 / قروية / GHz 2,2		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
1,7192 1,1420	3,7630 1,2854	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
2,5981	17,6726	$dur_{minG,B}$
-9,5399 2,0732	-0,5364 0,6115	$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$
-0,4454 -16,8201	-0,1418 -17,8032	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
0,0609 2,5925	-0,2120 0,7819	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
0,8830	0,8830	$L_{corrG,B}$
-0,8818 10,1610		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min} , p_{B,max}]$

°70 / قروية / GHz 2,2		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
1,5673 0,5948	4,0717 1,2475	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
2,1609	30,8829	$dur_{minG,B}$
-8,3686 2,5603	-0,3340 0,6279	$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$
0,1788 -9,5153	-1,6253 -19,7558	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,0779 1,1209	-0,4438 0,6355	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
1,5633	1,5633	$L_{corrG,B}$
-0,3483 5,1244		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min} , p_{B,max}]$

بيئة ريفية مشجرة 4.2

ريفيّة مشجرة / GHz 2,2 / 20°		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
1,9587 1,5465	2,1597 1,3766	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
1,3934	2,0744	$dur_{minG,B}$
-10,6615 2,6170	-0,8065 1,5635	$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$
0,8440 -1,4804	-0,9170 -12,1228	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,1069 1,6141	-0,0348 0,9571	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
0,8845	0,8845	$L_{corrG,B}$
0,0550 2,6383		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min} , p_{B,max}]$

ريفيّة مشجرة / GHz 2,2 / 30°		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
2,3791 1,1778	2,5579 1,2444	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
2,2800	3,5947	$dur_{minG,B}$
-10,4240 2,4446	-1,3214 1,6645	$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$
0,6278 -4,8146	-1,0445 -14,3176	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,0451 2,2327	-0,1656 0,7180	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
1,0942	1,0942	$L_{corrG,B}$
0,0256 3,8527		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min} , p_{B,max}]$

ريفيّة مشجرة / GHz 2,2 / 45°		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
2,5382 1,1291	3,1803 1,3427	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
3,3683	6,7673	$dur_{minG,B}$
-10,2891 2,3090	-0,9902 1,0348	$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$
0,3386 -9,7118	-0,4235 -16,8380	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,0460 2,1310	-0,1095 0,6893	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
2,3956	2,3956	$L_{corrG,B}$
0,2803 4,0004		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min} , p_{B,max}]$

ريفيه مشجرة / GHz 2,2 / °60		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
2,1955 1,1115	2,9322 1,3234	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
1,6512	5,7209	$dur_{minG,B}$
-9,9595 2,2188	-0,6153 1,1723	$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$
0,2666 -9,0046	-1,4024 -16,9664	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,0907 1,4730	-0,2516 0,5353	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
1,7586	1,7586	$L_{corrG,B}$
0,1099 4,2183		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

ريفيه مشجرة / GHz 2,2 / °70		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
1,8445 0,8874	3,8768 1,4738	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
2,9629	16,0855	$dur_{minG,B}$
-6,7769 2,1339	-0,7818 0,7044	$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$
-0,3723 -14,9638	-2,9566 -20,0326	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,1822 0,1163	-0,2874 0,4050	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
1,6546	1,6546	$L_{corrG,B}$
-0,3914 6,6931		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

°20 / GHz 2,2 / سكنية		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
1,7136 1,1421	2,5818 1,7310	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
1,6385	9,2291	$dur_{minG,B}$
-10,8315 2,2642	-0,8449 1,3050	$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$
0,8589 -2,4054	-0,3977 -12,3714	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,1804 0,8553	0,0984 1,3138	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
1,1578	1,1578	$L_{corrG,B}$
0,0994 2,4200		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

°30 / GHz 2,2 / سكنية		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
1,8414 0,9697	3,2810 1,4200	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
2,7681	14,4825	$dur_{minG,B}$
-11,1669 2,4724	-1,3799 1,0010	$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$
-0,1030 -13,7102	-0,8893 -16,4615	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,1025 1,7671	-0,2432 0,6519	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
1,9053	1,9053	$L_{corrG,B}$
0,0196 3,9374		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

°60 / GHz 2,2 / سكنية		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
3,277 1,260	3,255 1,287	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
7,81	6,47	$dur_{minG,B}$
-2,32 2,06	0 0,30	$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$
-1,496 -22,894	-2,024 -19,454	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,361 -0,119	0,273 0,403	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
3,84	3,84	$L_{corrG,B}$
-1,591 12,274		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

°70 / سكنية / GHz 2,2		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
3,4534 0,9763	4,3291 0,7249	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
8,9481	27,3637	$dur_{minG,B}$
-1,6084 0,5817	-0,1625 0,3249	$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$
-0,3976 -22,7905	0,6321 -21,5594	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,0796 0,1939	0,1764 0,4135	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
1,6854	1,6854	$L_{corrG,B}$
3,0127 6,2345		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

3 ترددات تتراوح بين 3 و 5 GHz

1.3 بيئة حضرية

°20 / حضرية / GHz 3,8		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
3,6890 0,9796	2,5467 1,0431	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
10,3114	5,2610	$dur_{minG,B}$
-19,4022 3,2428	-2,7844 2,6841	$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$
0,9638 -0,9382	0,1757 -12,9417	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
0,0537 4,5670	-0,2044 1,5866	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
1,4243	1,4243	$L_{corrG,B}$
0,1073 1,9199		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

°30 / حضرية / GHz 3,8		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
2,2627 1,4901	2,0158 1,2348	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
2,0749	4,5491	$dur_{minG,B}$
-17,9098 2,9828	-3,7749 2,2381	$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$
0,8250 -2,5833	-0,1564 -15,1531	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,0741 2,1406	-0,0343 1,0602	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
0,8999	0,8999	$L_{corrG,B}$
0,2707 -0,0287		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min} , p_{B,max}]$

°45 / حضرية / GHz 3,8		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
2,6314 1,1210	2,3005 1,6960	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
6,0	10,0	$dur_{minG,B}$
-15,3926 3,2527	-1,4466 1,1472	$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$
0,9509 -1,2462	0,1550 -13,6861	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
0,0363 4,4356	0,1666 1,2558	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
1,6424	1,6424	$L_{corrG,B}$
0,2517 -0,3512		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min} , p_{B,max}]$

°60 / حضرية / GHz 3,8		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
1,8892 0,8982	2,4546 1,9595	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
1,9126	10,0	$dur_{minG,B}$
-14,4922 3,4941	-1,6655 0,8244	$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$
0,4501 -9,6935	-0,4887 -17,2505	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
0,1202 4,8329	-0,3373 0,3285	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
2,3036	2,3036	$L_{corrG,B}$
0,0025 1,4949		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min} , p_{B,max}]$

°70 / حضرية / GHz 3,8		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
1,5170 1,1057	2,8354 2,4631	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
3,6673	67,5721	$dur_{minG,B}$
-14,2294 5,4444	-1,0455 0,2934	$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$
0,0908 -15,8022	-3,0973 -20,7862	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
0,0065 3,1520	0,0808 0,8952	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
2,2062	2,2062	$L_{corrG,B}$
0,0755 2,1426		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

2.3 بيئة شبه حضرية

°20 / شبه حضرية / GHz 3,8		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
2,5873 1,3919	2,8194 1,6507	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
4,4393	11,1083	$dur_{minG,B}$
-17,0970 2,9350	-4,8136 1,9133	$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$
0,8991 -2,4082	-0,4500 -17,9227	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
0,0582 4,0347	-0,1763 0,8244	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
1,2571	1,2571	$L_{corrG,B}$
0,0727 2,8177		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

°30 / شبه حضرية / GHz 3,8		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
2,7375 0,6890	2,9226 1,3840	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
7,7356	6,7899	$dur_{minG,B}$
-15,3022 2,9379	-1,9611 1,8460	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
0,5146 -8,9987	0,2329 -15,0063	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
0,0880 4,4692	0,0334 1,3323	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
1,6156	1,6156	$L_{corrG,B}$
0,1281 2,3949		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

°45 /GHz 3,8 شبه حضرية		
معلومات		كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا
المعلمة	سيئة	جيدة
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,3715 1,3435	4,3019 0,8530
$dur_{minG,B}$	9,5511	36,1277
$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$	-5,6373 2,9302	-1,2730 0,9286
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-0,7188 -21,0513	0,2050 -17,5670
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,2896 -0,3951	0,0074 0,7490
$L_{corrG,B}$	1,1191	1,1191
$f_1 \Delta M_A + f_2$	-0,9586 10,8084	
$[p_{B,min}, p_{B,max}]$	[0,1 ; 0,9]	

°60 /GHz 3,8 شبه حضرية		
معلومات		كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا
المعلمة	سيئة	جيدة
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	1,9128 0,6869	2,8958 1,7061
$dur_{minG,B}$	2,9398	13,9133
$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$	-13,1811 2,6228	-1,1987 1,0492
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0,6911 -6,0721	-1,6501 -18,9375
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0,0598 3,7220	-0,1369 0,4477
$L_{corrG,B}$	3,0619	3,0619
$f_1 \Delta M_A + f_2$	-0,0419 5,8920	
$[p_{B,min}, p_{B,max}]$	[0,1 ; 0,9]	

°70 /GHz 3,8 شبه حضرية		
معلومات		كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا
المعلمة	سيئة	جيدة
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	1,4778 0,7033	4,1684 1,0766
$dur_{minG,B}$	1,8473	42,0185
$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$	-10,2225 1,8417	0,1600 0,5082
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0,3934 -9,6284	-3,4369 -18,1632
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,1331 0,7223	-1,1144 0,9703
$L_{corrG,B}$	2,5817	2,5817
$f_1 \Delta M_A + f_2$	-0,1129 4,0555	
$[p_{B,min}, p_{B,max}]$	[0,1 ; 0,9]	

°20 / قروية / GHz 3,8		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
1,9451 1,4293	2,0262 1,2355	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
1,9624	2,2401	$dur_{minG,B}$
-16,5697 4,0368	-3,1324 1,8929	$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$
1,0921 1,6440	-0,4368 -15,1009	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,0325 2,4452	-0,0423 1,2532	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
0,8380	0,8380	$L_{corrG,B}$
0,0590 1,5623		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

°30 / قروية / GHz 3,8		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
1,7813 1,2802	2,4504 1,1061	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
2,1484	2,3941	$dur_{minG,B}$
-15,4143 4,5579	-1,8384 1,7960	$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$
0,8549 -2,2415	-0,5582 -14,4416	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,0761 1,6768	-0,4545 0,8188	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
0,9268	0,9268	$L_{corrG,B}$
-0,0330 2,7056		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

°45 / قروية / GHz 3,8		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
1,2738 1,1539	2,2910 1,4229	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
0,7797	2,8605	$dur_{minG,B}$
-12,1063 2,9814	-0,0018 1,1193	$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$
0,6537 -4,5948	-1,2023 -14,0732	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,0815 1,6693	-0,1033 0,9299	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
0,9288	0,9288	$L_{corrG,B}$
0,0002 1,9694		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

°60 / قروية / GHz 3,8		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
1,0920 1,2080	3,0956 1,3725	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
0,7934	8,1516	$dur_{minG,B}$
-12,1817 3,3604	-0,5220 1,0950	$\mu_{M_{A,GB}}, \sigma_{M_{A,GB}}$
1,1006 0,5381	0,0831 -16,8546	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,0098 2,4287	0,0411 1,1482	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
1,2251	1,2251	$L_{corrG,B}$
-0,0530 2,7165		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

°70 / قروية / GHz 3,8		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
1,4165 0,4685	3,9982 1,3320	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
2,5168	28,3220	$dur_{minG,B}$
-11,9560 1,5654	-1,3403 0,7793	$\mu_{M_{A,GB}}, \sigma_{M_{A,GB}}$
0,5663 -6,8615	-0,4861 -19,5316	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,2903 -1,2715	-0,2356 0,7178	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
1,4378	1,4378	$L_{corrG,B}$
-0,0983 3,9005		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

°20 / ريفية مشجرة / GHz 3,8		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
2,0290 1,5493	2,0294 1,4280	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
1,5269	1,7836	$dur_{minG,B}$
-14,3363 2,7753	-3,2536 1,6159	$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$
0,8186 -2,9963	-0,5718 -16,1382	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,0822 1,7660	-0,0805 0,9430	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
1,0863	1,0863	$L_{corrG,B}$
0,1263 1,4478		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min} , p_{B,max}]$

°30 / ريفية مشجرة / GHz 3,8		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
2,2051 1,5741	2,1218 1,4895	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
2,1289	2,4539	$dur_{minG,B}$
-12,8884 3,0097	-1,5431 1,8811	$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$
0,6635 -4,6034	-0,7288 -14,1626	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,0634 2,3898	-0,1241 0,9482	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
1,3253	1,3253	$L_{corrG,B}$
0,0849 1,6324		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min} , p_{B,max}]$

°45 / ريفية مشجرة / GHz 3,8		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
2,4017 1,1315	3,1803 1,3427	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
3,5668	6,7673	$dur_{minG,B}$
-11,3173 2,7467	0,0428 1,6768	$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$
0,2929 -9,7910	-0,9948 -14,4265	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,0387 2,6194	-0,1377 1,0077	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
2,0419	2,0419	$L_{corrG,B}$
0,1894 2,1378		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min} , p_{B,max}]$

°60 / ريفية مشجرة / GHz 3,8		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
2,2113 1,1254	2,4961 1,4379	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
1,9001	3,7229	$dur_{minG,B}$
-12,3044 2,3641	-1,0828 1,0022	$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$
0,5456 -6,4660	-1,2973 -16,6791	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,0443 2,3029	-0,1187 0,6254	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
1,9038	1,9038	$L_{corrG,B}$
0,1624 1,8417		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

°70 / ريفية مشجرة / GHz 3,8		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
2,1470 1,0038	2,8382 1,3804	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
1,9195	6,8051	$dur_{minG,B}$
-11,5722 2,3437	-0,8923 0,9455	$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$
0,3459 -9,5399	-1,3425 -17,5636	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,0275 2,6238	-0,1210 0,6444	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
2,1466	2,1466	$L_{corrG,B}$
0,0593 2,8854		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

بيئة سكنية 5.3

°20 / سكنية / GHz 3,8		
كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
2,1969 0,9865	2,9050 1,7236	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
2,2901	10,7373	$dur_{minG,B}$
-14,4036 3,0396	-1,4426 1,2989	$\mu_{M_{A}GB}, \sigma_{M_{A}GB}$
0,5813 -6,9790	0,4875 -13,5981	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,0911 2,1475	0,1343 1,8247	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
1,2788	1,2788	$L_{corrG,B}$
0,2334 0,7612		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min}, p_{B,max}]$

°30 / GHz 3,8 / سكنية		
معلومات		كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا
المعلمة	سيئة	جيدة
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	1,8403 0,9268	2,7334 1,6971
$dur_{minG,B}$	1,8073	10,2996
$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$	-12,9855 2,8149	-0,9996 1,0752
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	0,3553 -9,9284	0,3407 -14,8465
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0,0501 3,8667	-0,0413 1,2006
$L_{corrG,B}$	1,7072	1,7072
$f_1\Delta M_A+f_2$	0,0443 2,2591	
$[p_{B,min}, p_{B,max}]$	[0,1 ; 0,9]	

°60 / GHz 3,8 / سكنية		
معلومات		كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا
المعلمة	سيئة	جيدة
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,5534 1,7143	3,4044 1,3980
$dur_{minG,B}$	4,7289	10,4862
$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$	-2,3787 0,8123	0,4640 0,7060
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-2,3834 -24,6987	0,3710 -19,6032
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	0,0172 0,7237	0,0332 0,5053
$L_{corrG,B}$	1,8017	1,8017
$f_1\Delta M_A+f_2$	3,1149 3,5721	
$[p_{B,min}, p_{B,max}]$	[0,1 ; 0,9]	

°70 / GHz 3,8 / سكنية		
معلومات		كسب الهوائي > 5 dBi / قياسات أجريت بواسطة طائرة حوامة داخل وحول مدينة نمطية متوسطة الحجم في فرنسا
المعلمة	سيئة	جيدة
$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$	2,5188 1,3166	2,9223 1,0267
$dur_{minG,B}$	7,2801	7,3764
$\mu_{M_AGB}, \sigma_{M_AGB}$	-2,3703 1,5998	-0,1628 0,5104
$h_{1G,B}, h_{2G,B}$	-1,0228 -22,4769	0,1590 -20,4767
$g_{1G,B}, g_{2G,B}$	-0,0986 0,2879	0,1137 0,4579
$L_{corrG,B}$	1,3531	1,3531
$f_1\Delta M_A+f_2$	-0,0538 5,1204	
$[p_{B,min}, p_{B,max}]$	[0,1 ; 0,9]	

ترددات تتراوح بين 10 و 20 GHz 4

بيئة ريفية 1.4

°34 / ريفية / GHz 11,7		
كسب الهوائي = 19 dBi / قياسات أجريت بواسطة ساتل حول مدينة نمطية كبيرة في ألمانيا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
-0,4722 1,7232	1,7663 1,9350	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
0,8	0,9	$dur_{minG,B}$
-16 10,4	0,05 0	$\mu_{M_A GB}, \sigma_{M_A GB}$
0,87 -14,26	0 -40,25	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,21 0	0 0,39	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
0,5	0,5	$L_{corrG,B}$
0,088 1,21		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,9]		$[p_{B,min} , p_{B,max}]$

بيئة شبه حضرية 2.4

°34 / ريفية / GHz 11,7		
كسب الهوائي = 19 dBi / قياسات أجريت بواسطة ساتل حول مدينة نمطية كبيرة في ألمانيا		معلومات
سيئة	جيدة	المعلمة
-0,8026 1,288	1,0125 1,6944	$\mu_{G,B}, \sigma_{G,B}$
1,1	1,5	$dur_{minG,B}$
-5,4 7,3	-0,02 0	$\mu_{M_A GB}, \sigma_{M_A GB}$
0,69 -15,97	0 -38,17	$h_{1G,B}, h_{2G,B}$
-0,21 0	0 0,39	$g_{1G,B}, g_{2G,B}$
0,5	0,5	$L_{corrG,B}$
0,036 0,80		$f_1 \Delta M_A + f_2$
[0,1 ; 0,6]		$[p_{B,min} , p_{B,max}]$