الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصيـــة ITU-R P.681-7

(2009/10)

معطيات الانتشار المطلوبة لتصميم أنظمة الاتصالات البرية المتنقلة أرض–فضاء

السلسلة P

انتشار الموجات الراديوية

الاتحاد الدولي للاتصالات ITU

تمهيـــد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد لمدى 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 الكهرتقنية 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)

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

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

النشر الإلكتروني
جنيف، 2010

© ITU 2010

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

التوصيـــة ITU-R P.681-7*

معطيات الانتشار المطلوبة لتصميم أنظمة الاتصالات البرية المتنقلة أرض–فضاء

(المسألة ITU-R 207/3)

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

مجال التطبيق

تقوم هذه التوصية بالتنبؤ بمعلمات 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 معطيات 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،

توصـــي

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 يهم مصممي الأنظمة يتراوح بين 80% و99%.

* يجب أن تُرفع هذه التوصية إلى علم لجنة الدراسات 8 للاتصالات الراديوية.

ويتناول هذا الملحق المعطيات والنماذج الضرورية بالتحديد للتنبؤ بانحطاطات 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 خسارة في الإشارات التروبوسفير من جراء الغازات الجوية والمطر والضباب والسحب. وما عدا عند زوايا الارتفاع المنخفضة، فإن التوهين التروبوسفيري يكون مهملاً 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. وتتيسر طرائق تنبؤ لتقييم الامتصاص الغازي (التوصية ITU-R P.676) والتوهين المطري (التوصية ITU-R P.618). عادة، يكون التوهين بالضباب والسحب مهملاً للترددات التي تصل حتى 10 GHz.

2.2 التلألؤ

تنشأ التغيرات غير المنتظمة في سوية الإشارة المستقبلة 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 التلألؤات. ويُلاحظ 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 و2 من التوصية ITU-R P.680.

4 الحجب

1.4 نموذج الحجب الناجم عن الأشجار المنتشرة على جانبي الطريق

استُعملت قياسات للتوزيعات التراكمية للخبو عند 870 MHz و1,6 GHz و20 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 لترددات تتراوح بين 800 MHz و20 GHz، وزوايا لارتفاع المسير بين 7° وحتى 60°، ونسب مئوية للمسافة المقطوعة من 1% إلى 80%. ويقابل النموذج التجريبي حالة متوسطة للانتشار تتحرك فيها المركبات مسارات على كلا جانبي الطريق (تغطى المسارات القريبة والبعيدة عن الأشجار على جانبي الطريق). وتنطبق توزيعات الخبو المتنبأ 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).

والمعلمات 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 *GHz 1,5*، الصالح لنسب مئوية للمسافة المقطوعة مثل ($20\% \geq p \geq 1\%$) ولزوايا ارتفاع المسير المطلوبة ($60° \geq \theta \geq 20°$):

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

حيث:

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

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

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

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

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

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

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

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

ويبين الشكل 1 قيم الخبو المتجاوزة عند 1,5 GHz مقابل زوايا ارتفاع بين 10° و60° لأسرة من النسب المئوية المتساوية بين 1% و50%.

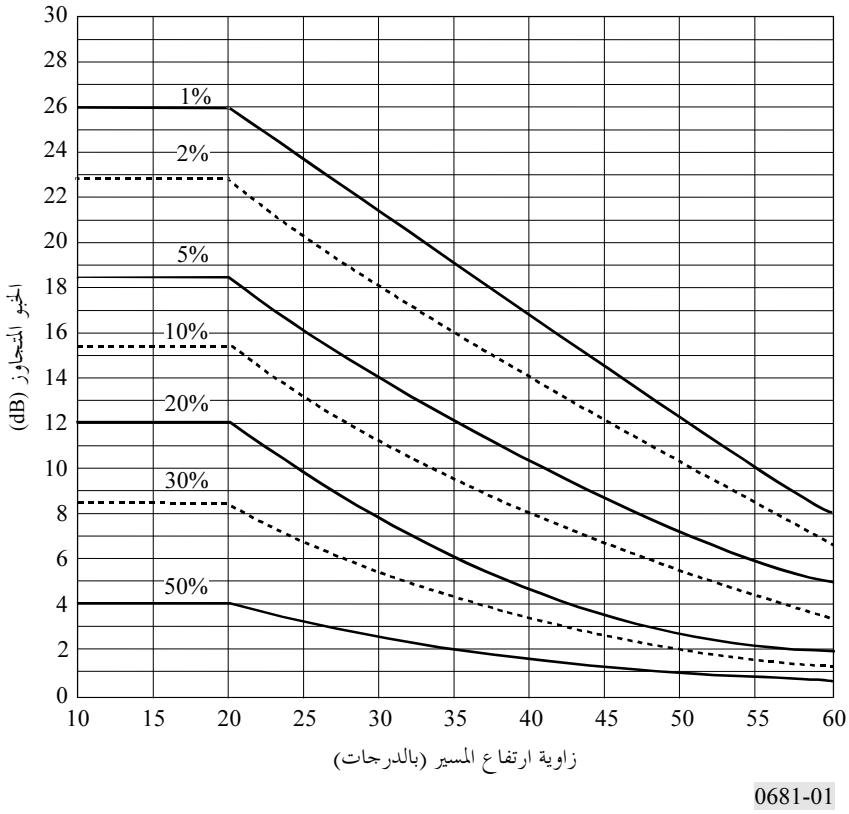
1.1.1.4 التمديد إلى زوايا ارتفاع أكبر من 60°

يمكن تمديد نموذج الحجب الناجم عن الأشجار المنتشرة على جانبي الطريق عند الترددين 1,6 GHz و2,6 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°.

الشـــكل 1

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



الجـــدول 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 بهندسة 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 المطراف 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 انحطاطاً)، 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 ($dd \geq 0{,}02$ m).

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

حيث $P(FD > dd \mid A > A_q)$ تمثل احتمال أن فترة خبو المسافة، FD، تتجاوز المسافة، dd (m)، بشرط أن يتجاوز التوهين A، التوهين A_q. وتمثل التسمية "erf" دالة الخطأ، وσ 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 أُجريت 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 للاحتمال 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% و90%). وأظهرت الاختبارات عند 30° و60° 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

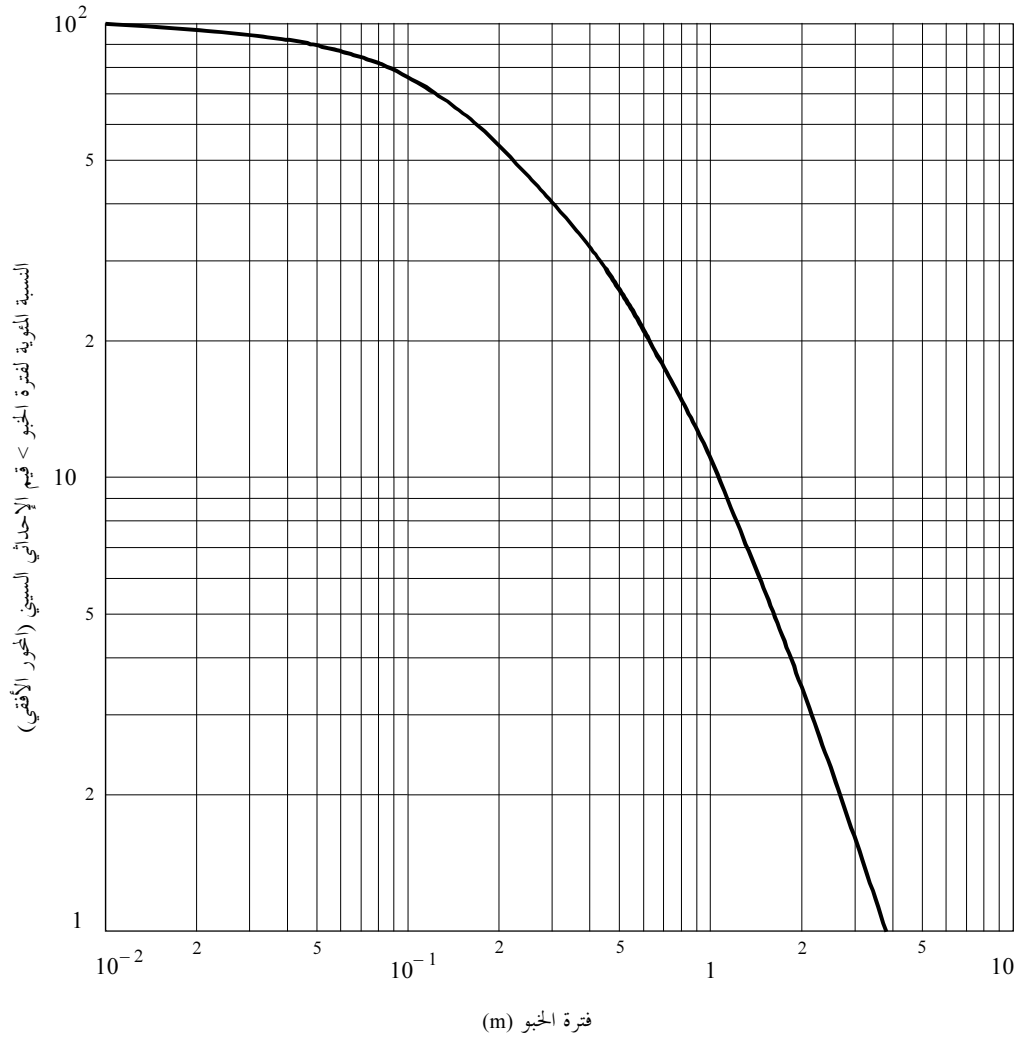
إن حالة حدوث مدة خالية من الخبو تقابل مدة مسافة dd، تُعرف على أنها المسافة التي تكون فيها سويات الخبو أقل من عتبة خبو محددة. ويُعطى نموذج الفترات الخالية من الخبو بواسطة المعادلة التالية:

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

حيث $p(NFD > dd \mid A < A_q)$ هو النسبة المئوية للاحتمال 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 وγ لطرق يكون فيها الحجب معتدلاً وكبيراً أي أن النسبة المئوية من الحجب البصري تتراوح بين 55% و75% وبين 75% و90%، على التوالي. ويُستعمل خبو مقداره 5 dB للعتبة A_q.

الشـــكل 2

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



الجـــدول 2

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

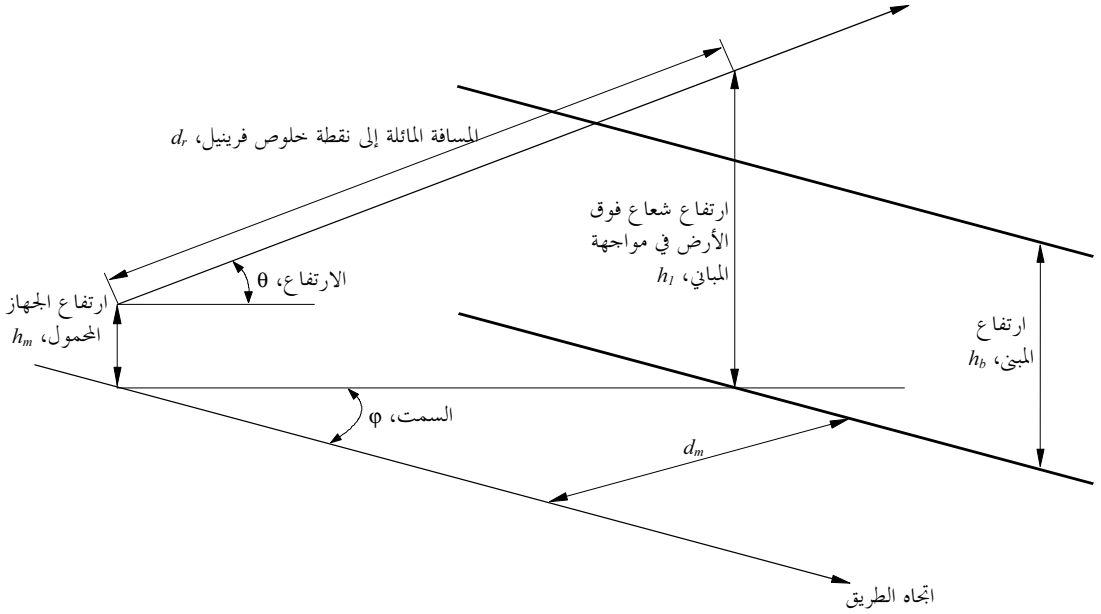
سوية الحجب	β	γ
معتدلة	20,54	0,58
قصوى	11,71	0,8371

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 توزيع ارتفاعات المباني يكون في شكل توزيع رايلي. ويبين الشكل 3 مفاهيم الهندسة الخاصة بهذا الحجب.

الشـــكل 3

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



تحسب النسبة المئوية لاحتمال السد الناجم عن المباني من العلاقة التالية:

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

حيث:

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

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

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

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

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:

$$d_r = d_m / (\sin\varphi \cdot \cos\theta) \tag{8c}$$

C_f: الخلوص المطلوب بدلالة نطاق فرينيل الأول

λ: الطول الموجي

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

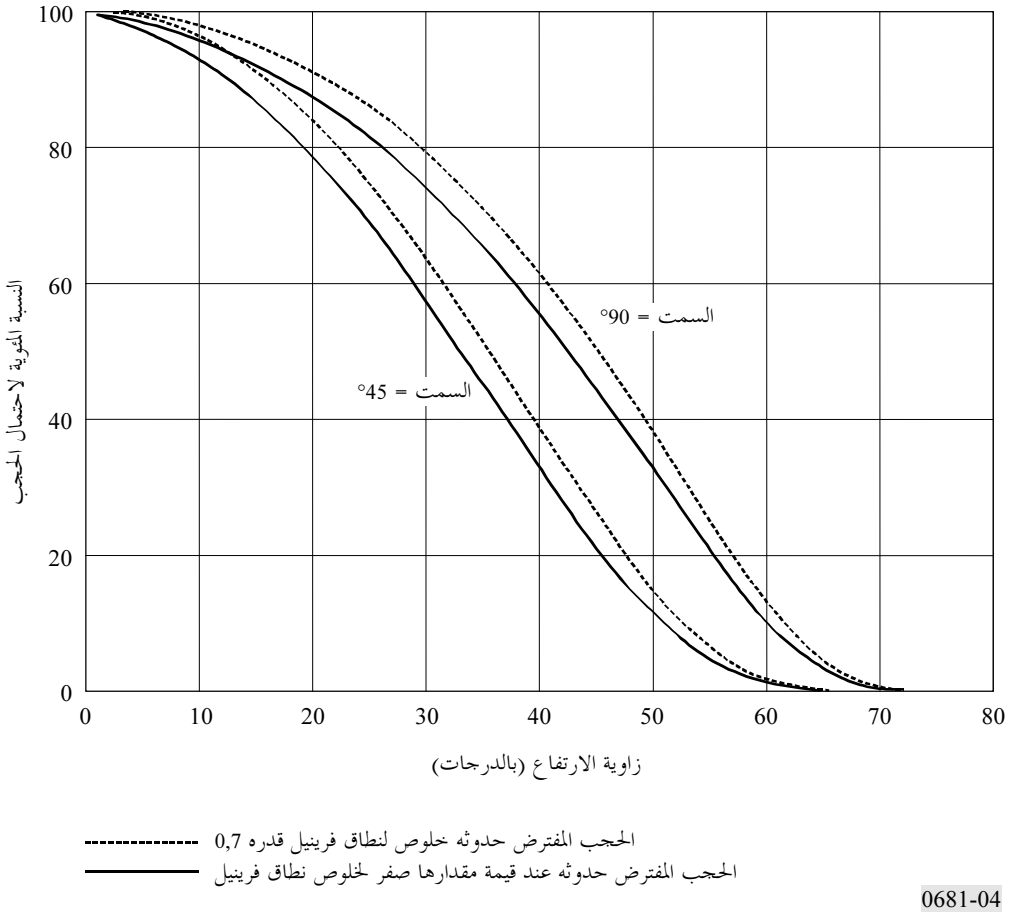
ويلاحظ أن المعادلات (8a) و(8b) و(8c) صالحة لقيم $0 < \theta < 90°$ و$0 < \varphi < 180°$. ولا ينبغي استعمال القيم الحدية الفعلية المقيدة.

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

h_b = 15 m
h_m = 1,5 m
d_m = 17,5 m
التردد = 1,6 GHz.

الشـــكل 4

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



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 السمت التي يمكن رؤية الساتل منها موزعة بانتظام، فإنه يمكن تطبيق مخطط إشعاع ارتفاع تم توسيطه بالنسبة للسمت. 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 السمت 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 المعطيات 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 تهم 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 السمت 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:

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

حيث:

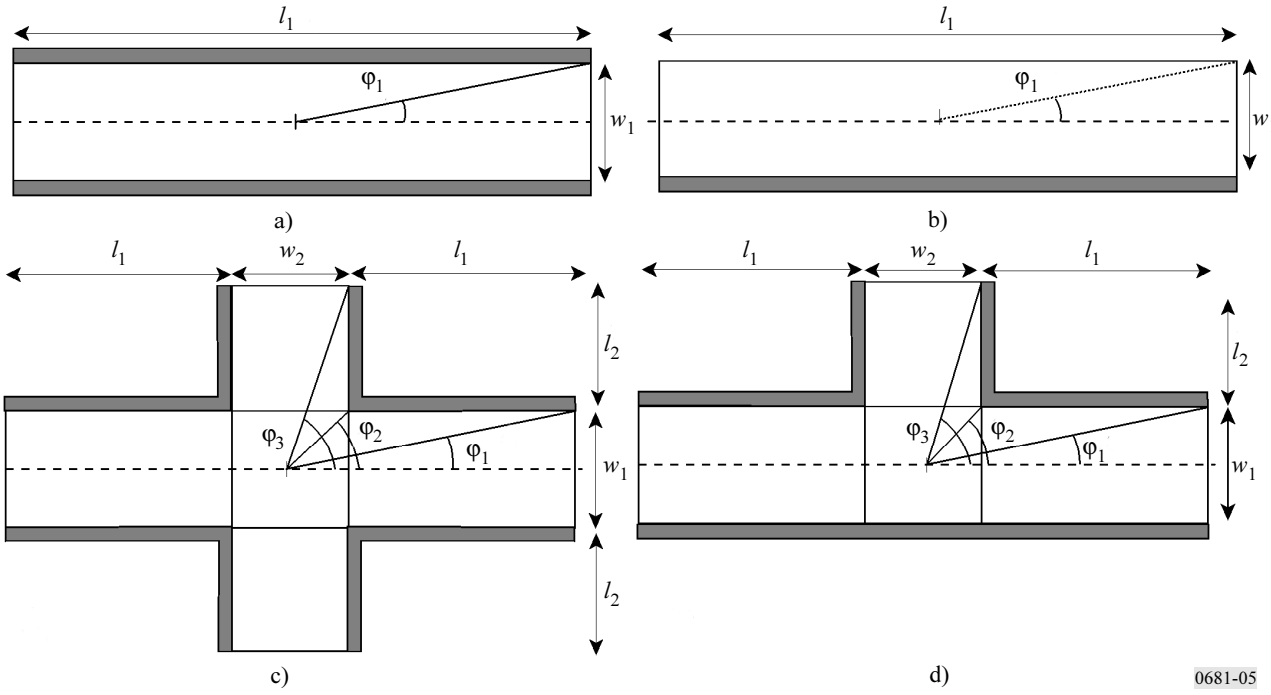
h: متوسط ارتفاع المبنى

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}، $w_{T\text{-}j}$، 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.

الشـــكل 5

السيناريوهات الأساسية/التكوينية التي تصف منطقة حضرية معينة



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

$$a_T = w_{scy}\, a_{scy} + w_{scr}\, a_{scr} + w_{T\text{-}j}\, a_{T\text{-}j} + w_{sw}\, a_{sw} \tag{10}$$

وتم استنباط الدوال MKF لهذه السيناريوهات الأساسية الأربعة بواسطة الهندسة البسيطة بافتراض وجود المستعمل في وسط كل واحد منها (انظر الشكل 5). وباتباع 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، ع، 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 مظللة) أو لا تكتمل (مساحة مظللة). وتحدد الأكفة التي تحدد المناطق "المحظورة" في الدوال MKF بواسطة تقاطع ونقاط. ويبن الشكل 6 الأكفة الأكثر ارتباطاً ويتحصل عليها بالمعادلات التالية:

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

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

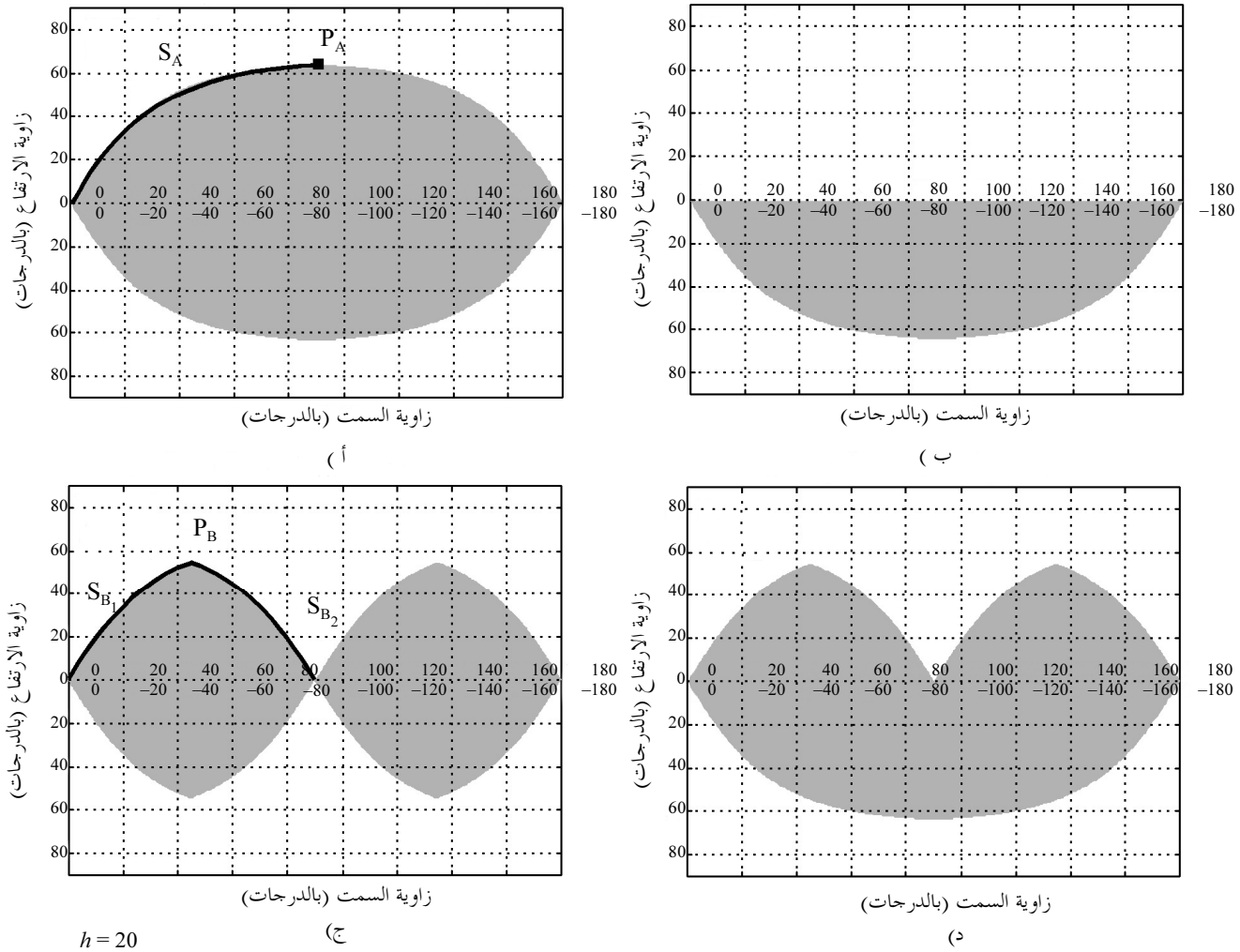
(11c) $$S_{B_1}: \quad \theta = \tan^{-1}\left(h / \sqrt{\left(\frac{w_1}{2}\right)^2 \left(\frac{1}{\tan^2 \varphi} + 1\right)} \right)$$

(11d) $$S_{B_2}: \quad \theta = \tan^{-1}\left(h / \sqrt{\left(\frac{w_1}{2}\right)^2 \left(\frac{1}{\tan^2 (90° - \varphi)} + 1\right)} \right)$$

(11e) $$P_B: \quad \left(\varphi_B = \tan^{-1}\left(\frac{w_1}{w_2}\right); \quad \theta_2 = \tan^{-1}\left(h / \sqrt{\left(\frac{w_1}{2}\right)^2 \left(\frac{1}{\tan^2 \varphi_B} + 1\right)} \right) \right)$$

الشـــكل 6

الدوال MKF للسيناريوهات: أ) أودية الشوارع وب) حائط فردي
وج) تقاطع شارع ود) تقاطع على شكل حرف T



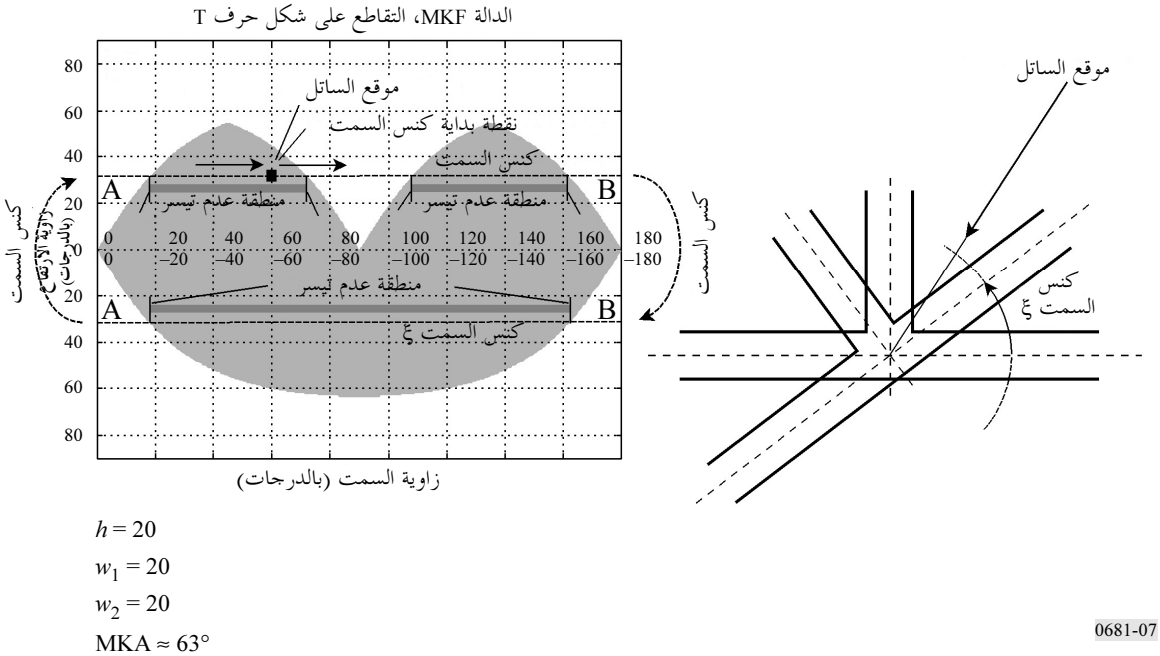
$h = 20$
$w_1 = 20$
$w_2 = 20$
MKA ≈ 63°

0681-06

ويمكن حساب التيسر بالنسبة لسيناريو أساسي معين وساتل معين في مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض (GSO) بمراعاة كل الاتجاهات المحتملة للشوارع، ع، بالنسبة للوصلة الساتلية للمستعمل. وفي الشكل 7 يظهر موقع الساتل GSO بالنسبة لتقاطع على شكل حرف T. وبالنسبة للحالة المبينة في الشكل، يمكن وصف جميع الاتجاهات المحتملة من خلال كنس كل النقاط على خط A-B يقابل زاوية ارتفاع ثابتة مع جميع الاتجاهات المحتملة للشارع. والتيسر هو الجزء من الخط المستقيم A-B في الجزء غير المظلل من 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 للشارع بالنسبة لجميع الاتجاهات المحتملة للوصلة الساتلية للمستعمل.

الشـــكل 7

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



5 نماذج المسيرات المتعددة في ظروف خط البصر الصافية

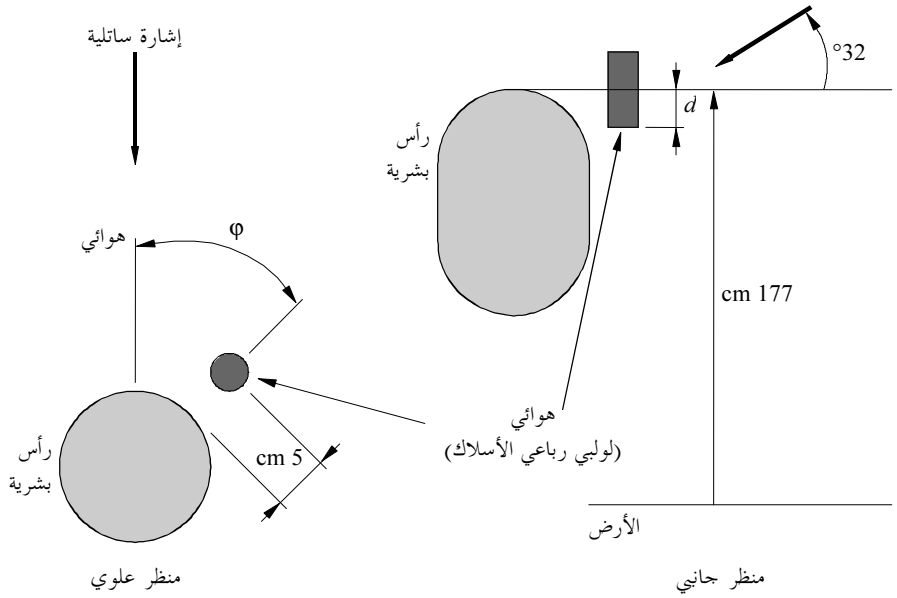
في كثير من الحالات يكون للمطراف المتنقل خط بصر صافٍ (حجب قابل للإهمال) إلى الساتل المتنقل. ويمكن مع ذلك أن يحدث انحطاط في الإشارة في هذه الظروف، نتيجة للمسيرات المتعددة التي تثيرها التضاريس الأرضية. يستقبل المطراف المتنقل الجمع المتجهي لإشارة في خط البصر وعدة إشارات عبر مسيرات متعددة. ويمكن أن تزيد إشارات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

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

- شامل الاتجاهات في السمت؛
- تغير الكسب بين ارتفاع 15° و75° أقل من 3 dB؛
- تحت الأفق (زوايا ارتفاع سالبة)، خُفض كسب الهوائي بما لا يقل عن 10 dB.

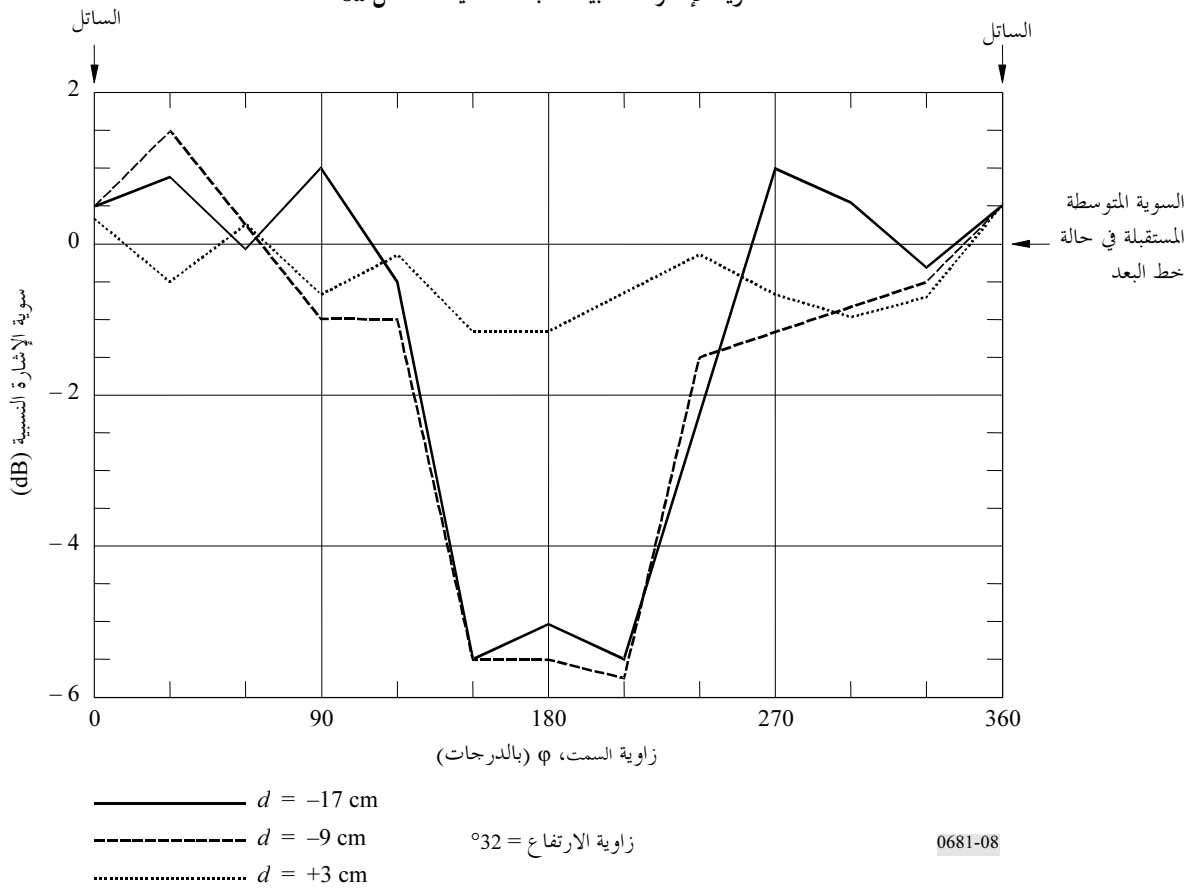
الشـــكل 8a

هندسة رأس بشرية وهوائي



الشـــكل 8b

سوية الإشارة النسبية المقابلة لتشكيلة الشكل 8a



1.5 المسيرات المتعددة في بيئة جبلية

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

$$p = a\,A^{-b} \tag{12}$$

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 وb في الجدول 3 من أجل 1,5 GHz و870 MHz. ويُلاحظ أن النموذج السابق صالح عندما يكون أثر الحجب مهملاً.

الجـــدول 3

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

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

يتضمن الشكل 9 منحنيات لتوزيعات الخبو التراكمي لزاويتي ارتفاع مسير قدرهما 30° و45° عند 1,5 GHz و870 MHz.

2.5 مسيرات متعددة على طول الطرق المحفوفة بالأشجار

أظهرت تجارب أُجريت 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 المعطيات المقيسة إلى النموذج التالي:

$$p = u \exp(-vA) \tag{13}$$

من أجل:

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

حيث:

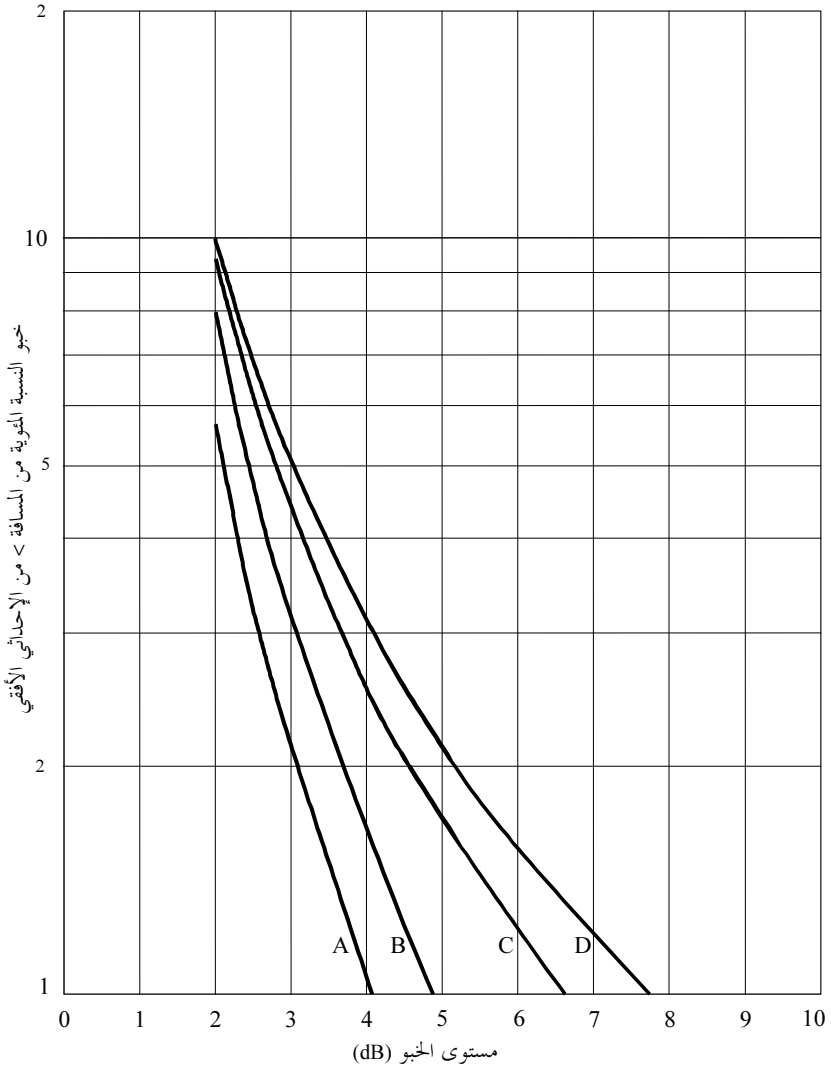
p: النسبة المئوية للمسافة التي يتم عندها تجاوز الخبو

A: عتبة الخبو المتجاوزة (dB).

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

الشـــكل 9

أفضل منحنيات للتوزيع التراكمي للخبو عبر مسيرات متعددة في أرض جبلية



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

0681-09

الجـــدول 4

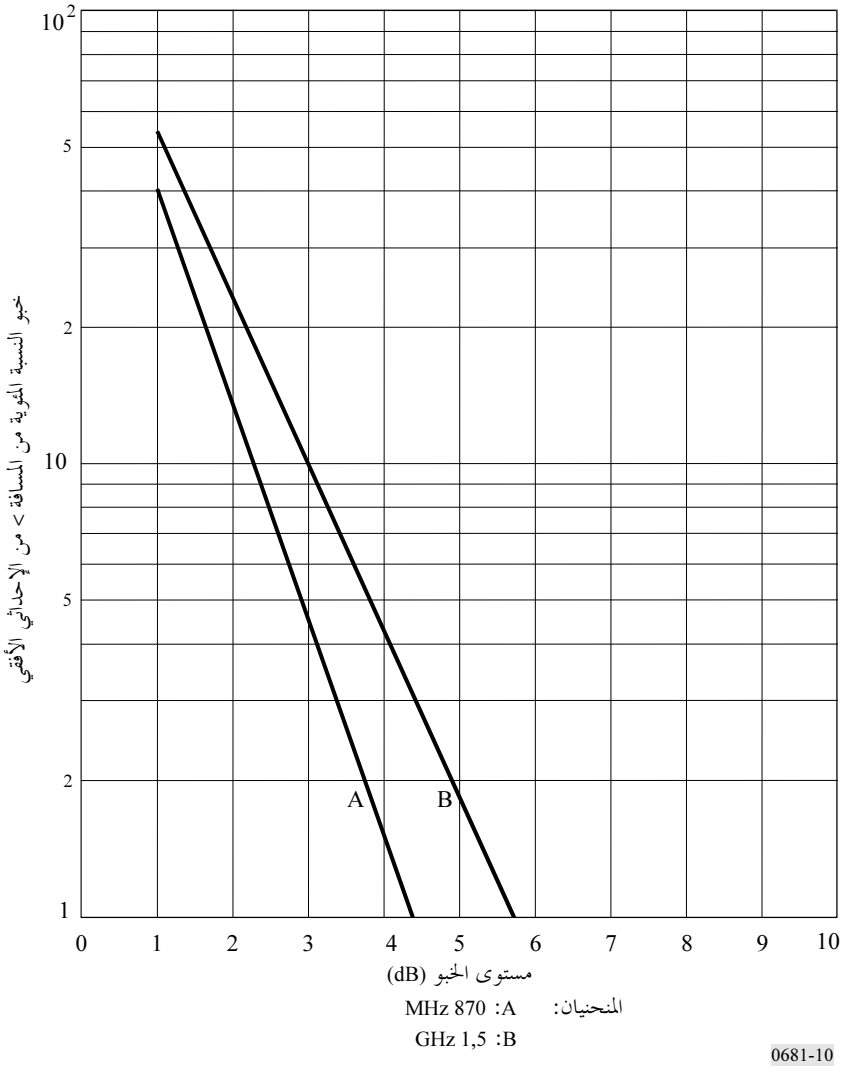
معلمات الضبط المثالية للتوزيعات التراكمية الأسية للخبو عبر مسيرات متعددة على طول طريق محفوفة بالأشجار

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 1,5 GHz و870 MHz. يمكن أن يحدث الخبو المعزز الناتج عن مسيرات متعددة عند زوايا الارتفاع الأقل (5° إلى 30°) حيث الانتشار الأمامي من أرض متدحرجة ملساء نسبياً يمكن أن يُستقبل من مسافات أبعد.

الشـــكل 10

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



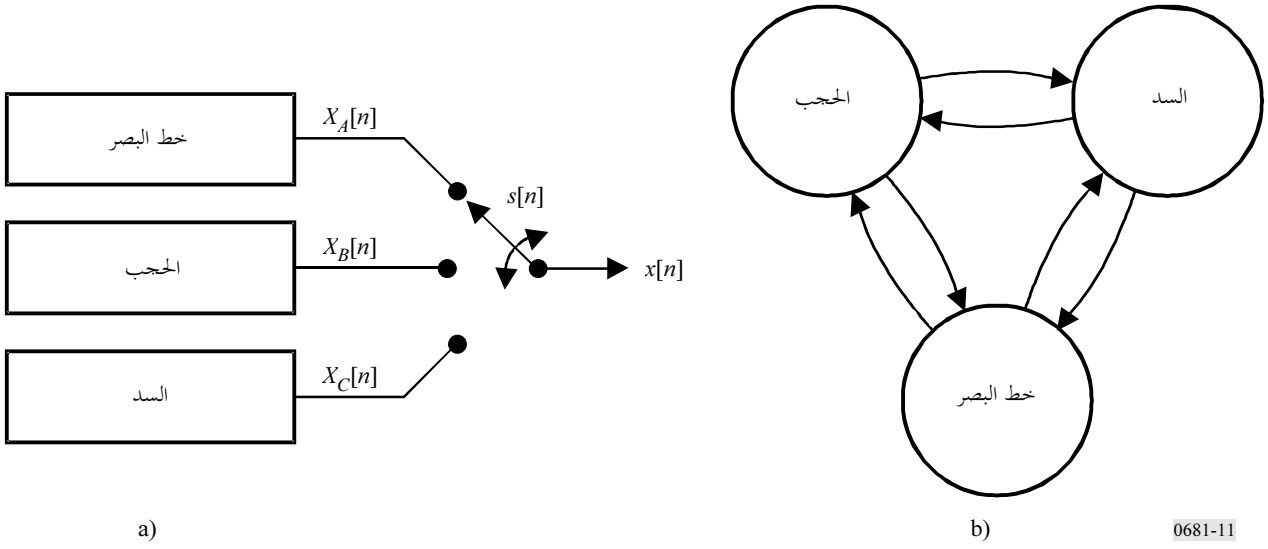
6 نموذج إحصائي لظروف الانتشار المختلطة

ترد في الفقرتين 1.4 و5 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 الحضرية وشبه الحضرية (الضواحي)، يمكن حدوث خليط من ظرفي انتشار مختلفين. ودالة التوزيع التراكمي لمستويات فردية في هذه الظروف المختلطة، يمكن حسابها استناداً إلى النموذج التالي ذي الثلاث حالات. والذي يتألف من حالة خط البصر الخالي من العوائق وحالة الحجب الطفيف وحالة السد الكامل. وهذا النموذج عبارة عن نموذج إحصائي يسري 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).

يمكن وصف التغايرات طويلة الأجل في الإشارة بواسطة سلسلة من الحالات المختلفة. ويبين الشكل 11a) الفكرة الأساسية للسلاسل المخفاة. حيث يحدد وضع المبدل أي من العمليات العشوائية $x_i[n]$ هي المرصودة عند الخرج، حيث تمثل كل عملية سيناريو انتشار معين. ويمكن نمذجة التغايرات قصيرة الأجل داخل كل حالة بنماذج قنوات ذات قيمة تماثلية. وتستخدم ثلاث حالات لتمثيل خط البصر والحجب والسد. وتمثل العملية العشوائية $s[n]$ وضع المبدل التي تحدد خصائص حالته بسلسلة شَبه سلسلة ماركوف مع مخطط الانتقال بين الحالات الواردة في الشكل 11b).

الشـــكل 11

توليد سلسلة مرصودة a) ومخطط الانتقال بين الحالات لسلسلة شَبه سلسلة ماركوف b)



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 10° و90°. بيد أن قيم المعلمات المقترحة الواردة هنا تحد من مدى التردد ليكون بين 1,5 GHz و2,5 GHz في منطقتين حضرية وشبه حضرية. وكسب هوائي الاستقبال هنا أقل من 10 dBi تقريباً.

وتعرف حالات الانتشار كالتالي:

الحالة A: ظروف خط البصر الخالي من العوائق

الحالة B: ظروف الحجب الخفيف (بواسطة أشجار و/أو عوائق صغيرة مثل أعمدة الكهرباء)

الحالة C: ظروف السد الكامل (بعوائق ضخمة مثل الجبال والمباني).

ويتعين وجود المعلمات التالية:

P_A وP_B وP_C: احتمال حدوث الحالات A وB وC

$M_{r,A}$ و$M_{r,B}$ و$M_{r,C}$: القدرة المتوسطة للمسيرات المتعددة في الحالات A وB وC

m وσ: القيمة المتوسطة والانحراف المعياري للخبو في الإشارة (dB) لمكون الموجة المباشرة في الحالة B

θ: زاوية الارتفاع (بالدرجات).

ويتحصل على القيم الموصى بها للمعلمات أعلاه بدلالة زاوية الارتفاع θ (بالدرجات) على النحو التالي:

$$P_A = 1 - a\,(90 - \theta)^2 \qquad \text{for} \quad 10° \le \theta \le 90° \tag{14a}$$

حيث:

$a = 1{,}43 \times 10^{-4}$ للمنطقة الحضرية

$= 6{,}0 \times 10^{-5}$ للمنطقة شبه الحضرية (الضواحي)

$$P_B = b\,P_C \tag{14b}$$

حيث:

$b = 1/4$ للمنطقة الحضرية

$= 4$ للمنطقة شبه الحضرية (الضواحي)

وحيث:

$$P_C = (1 - P_A)/(1 + b) \tag{14c}$$

و

$$m = -10 \text{ dB} \quad \sigma = 3 \text{ dB}$$

$$M_{r,B} = 0{,}03162\ (= -15 \text{ dB}) \quad M_{r,C} = 0{,}01\ (= -20 \text{ dB})$$

وتعتمد القيمة المقترحة للمعلمة $M_{r,A}$ على نمط المنطقة الوارد أدناه. فبالنسبة لزوايا الارتفاع التي تتراوح بين 10° و45°، يمكن الحصول على القيمة من خلال استكمال داخلي خطي أو استكمال خارجي للقيم بوحدات dB عند θ = 30° و θ = 45°.

وبالنسبة للمنطقة الحضرية:

$$M_{r,A} = 0.158\,(= -8 \text{ dB}) \qquad \text{for } \theta = 30°$$

$$= 0.100\,(= -10 \text{ dB}) \qquad \text{for } \theta \ge 45°$$

وبالنسبة للمنطقة شبه الحضرية:

$$M_{r,A} = 0.0631\,(= -12 \text{ dB}) \qquad \text{for } \theta = 30°$$

$$= 0.0398\,(= -14 \text{ dB}) \qquad \text{for } \theta \ge 45°$$

ويجري الإجراء الخاص بالحساب خطوة بخطوة على النحو التالي:

الخطوة 1: حساب التوزيع التراكمي لمستوى الإشارة x في الحالة A (حيث $x = 1$ لمكون الموجة المباشرة):

$$f_A(x \le x_0) = \int_0^{x_0} \frac{2x}{M_{r,A}} \exp\left(-\frac{1 + x^2}{M_{r,A}}\right) I_0\left(\frac{2x}{M_{r,A}}\right) \mathrm{d}x \tag{15}$$

حيث I_0 عبارة عن دالة بيسيل معدلة من النوع الأول والدرجة الصفرية.

الملاحظة 1 – هذا التوزيع عبارة عن توزيع ناكاغامي رايس تكون فيه $a = 1$ و$2\sigma^2 = M_{r,A}$ ويرد وضعه في التوصية ITU-R P.1057.

الخطوة 2: حساب التوزيع التراكمي لمستوى الإشارة x في الحالة B:

$$f_B(x \le x_0) \frac{6.930}{\sigma M_{r,B}} \int_0^{x_0} x \int_\varepsilon^\infty \frac{1}{z} \exp\left[-\frac{[20\log(z) - m]^2}{2\sigma^2} - \frac{x^2 + z^2}{M_{r,B}}\right] I_0\left(\frac{2xz}{M_{r,B}}\right) \mathrm{d}z\,\mathrm{d}x \tag{16}$$

حيث ε قيمة صغيرة جداً لا تساوي صفراً (يقترح وضع ε = 0,001).

الملاحظة 1 – يعرف هذا التوزيع بتوزيع لو.

الخطوة 3: حساب التوزيع التراكمي لمستوى الإشارة x في الحالة C:

$$f_C(x \le x_0) = 1 - \exp\left(-\frac{x_0^2}{M_{r,C}}\right) \tag{17}$$

الملاحظة 1 – هذا التوزيع عبارة عن توزيع رايلي تكون فيه $2q^2 = M_{r,C}$ ويرد وصفه في التوصية ITU-R P.1057.

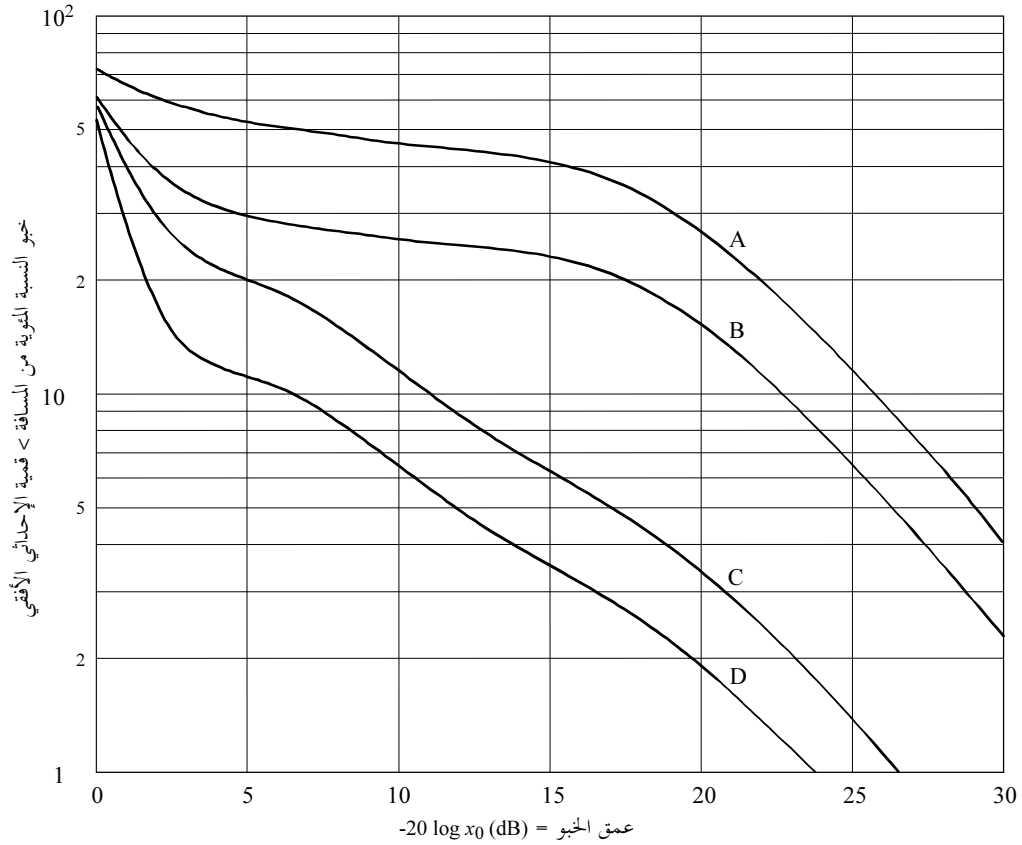
الخطوة 4: ويمكن الحصول على دالة التوزيع التراكمي (CDF)، عندما يكون مستوى الإشارة x أقل من مستوى العتبة x_0 مع احتمال P في ظروف الانتشار المختلط كالتالي:

$$P(x \le x_0) = P_A\ f_A + P_B\ f_B + P_C\ f_C \tag{18}$$

ويبين الشكل 12 أمثلة محسوبة للدوال CDF لقيم المعلمات الواردة أعلاه مع احتمالات معبر عنها بنسب مئوية من الوقت.

الشـــكل 12

أمثلة محسوبة لعمق الخبو في منطقتين حضرية وشبه حضرية عند زاويتي ارتفاع 30° و45°
(نطاق التردد 2,5-1,5 GHz؛ كسب الهوائي ≥ 10 dBi)



المنحنيات: A: حضرية، 30°
B: حضرية، 45°
C: شبه حضرية، 30°
D: شبه حضرية، 45°

0681-12

2.6 التنبؤ بإحصاءات فترة استمرار الحالة لوصلة وحيدة

تحتاج محاكاة وتقييم أداء مستقبلات الخدمة LMSS الإلمام بالفترة الزمنية أو المسافة المنقضية في كل حالة من الحالات الثلاث المصنفة كحالات مفتوحة ومع حجب ومع السد. ويمكن استعمال توزيعات فترة استمرار الحالة إلى جانب احتمالات تغير الحالة في نموذج حالة شبه ماركوف لمحاكاة قناة LMSS لساتل وحيد في مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض.

واستخلص توزيع فترة استمرار الحالة D (m) لكل من الحالات الثلاث A وB وC من مجموعة من القياسات على جانبي الطريق عند 1,5 GHz تقريباً مع سواتل مستقرة بالنسبة إلى الأرض في المملكة المتحدة خلال شهور الشتاء. وأخذت القياسات في ضواحي لندن في بيئة مختلفة: بيئة شبه حضرية ذات خليط من المساحات المفتوحة والطرق المحفوفة بأشجار قليلة ومنازل من طابقين؛ وبيئة كثيفة الأشجار. وكانت زاوية الارتفاع للساتل 29° لمجموعة واحدة من القياسات في المنطقتين شبه الحضرية وكثيفة الأشجار (شبه حضرية (I) وكثيفة الأشجار) و13° لمجموعة ثانية من هذه القياسات (شبه حضرية (II)). وكان الهوائي عبارة عن هوائي شامل الاتجاهات منصوب على شاحنة. تم تطبيق قيمتين للعتبة مقدارها 5 و10 dB لمستوى القدرة المتوسطة المحلية لترتيب القياسات طبقاً للحالات الثلاث (انظر الجدول 5).

واستناداً إلى مقارنة مع فترات الخبو واللاخبو الواردة في الفقرة 1.4، تكون توزيعات فترة استمرار الحالة كالتالي:

توزيع القانون الأسي لفترة استمرار الحالة A هو:

$$P_A(D \le d) = 1 - \beta d^{-\gamma} \tag{19}$$

حيث تعتمد المعلمتان β وγ على درجة الحجب البصري و $d > \beta^{1/\gamma}$.

وتوزيع فترتي استمرار الحالتين B وC عبارة عن نموذج لوغاريتمي عادي ينطبق على $d \ge 0{,}1$ (m) وهو كالتالي:

$$P_{B,C}(D \le d) = (1 + \text{erf}[(\ln(d) - \ln(\alpha))/\sqrt{2\sigma}])/2 \tag{20}$$

حيث σ الانحراف المعياري للحد $\ln(d)$ و$\ln(\alpha)$ هو القيمة المتوسطة للحد $\ln(d)$ ودالة الخطأ تكون على النحو الوارد في التوصية ITU-R P.1057.

ويعرض الجدول 5 القيم المشتقة للمعلمات لتوزيعات فترة استمرار الحالات الثلاث واحتمالات تغير الحالات المقابلة.

الجـــدول 5

معلمات لتوزيعات فترة استمرار الحالة واحتمالات تغير الحالة

	الحالة A		الحالة B		الحالة C		احتمالات التغير					
البيئة	β	γ	α	σ	α	σ	$P_{A\to B}$	$P_{A\to C}$	$P_{B\to A}$	$P_{B\to C}$	$P_{C\to A}$	$P_{C\to B}$
شبه حضرية (I)	0,88	0,61	1,73	1,11	2,62	0,98	1	0	0,65	0,35	0	1
شبه حضرية (II)	0,83	0,66	1,89	0,93	3,28	1,04	1	0	0,65	0,35	0	1
كثيفة الأشجار	0,60	0,84	2,05	1,05	1,55	1,02	1	0	0,42	0,58	0	1

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 مثمراً يقوم على تنفيذ مرشاح خطي مستعرض يكون خرجه 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 و2 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 تشتق من قياسات يتحصل عليها في سيناريو معين. وتستند هندسة النموذج على تمثيل تركيبي 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 13 هيكل النموذج، بما في ذلك الإشارات الداخلة والوسيطة والخارجة المتغايرة 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 وع ثابتان فرضاً)

$az_u(t)$: زاوية سمت المستعمل

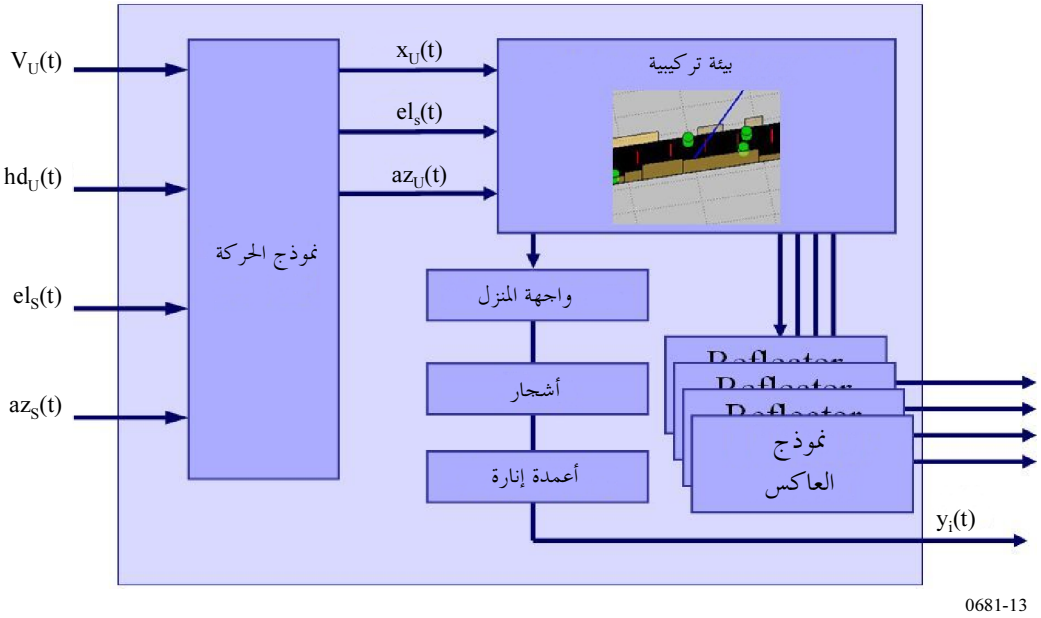
$y_i(t)$: إشارات الخرج، حيث تختص كل i بإشارة ثابتة وانعكاسات.

ويوضح الشكل 14 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 وحولها. 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.

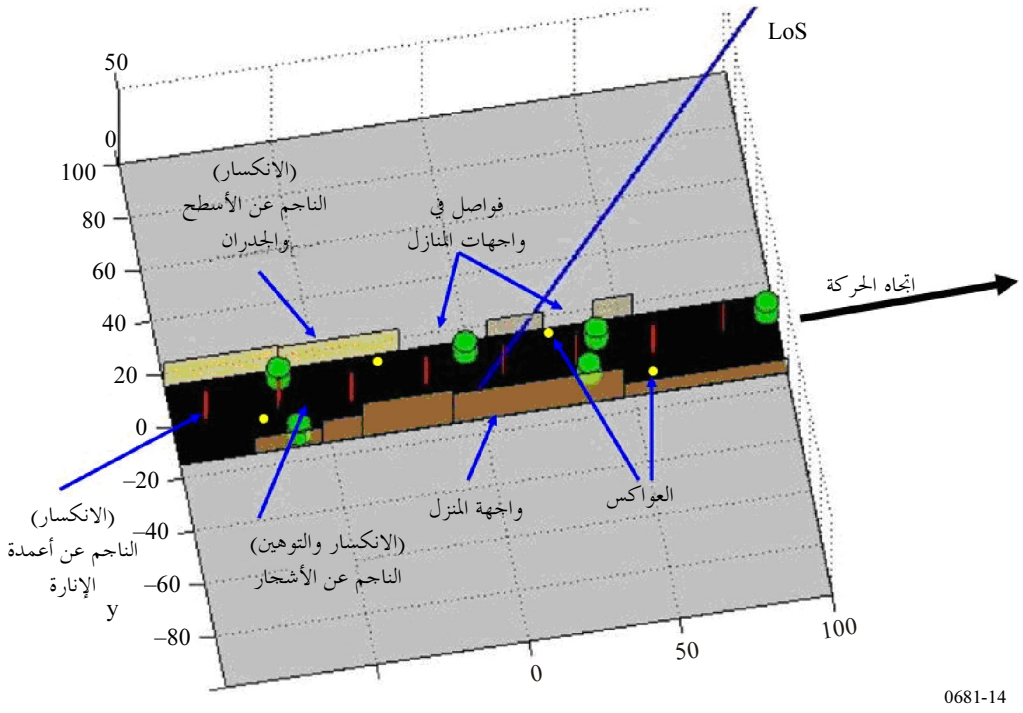
الشـــكل 13

هيكل النموذج



الشـــكل 14

آليات الانتشار والبيئة التركيبية



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:

$$v < \frac{c_0 f_{samp}}{2 f_c} \tag{21}$$

حيث:

f_{samp}: 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:

$$h(t,\tau) = \sum_{i=1}^{N} A_i(t)\delta(\tau - \tau_i(t)) \tag{22}$$

حيث t وτ 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

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

$$r(t) = s(t) * h(t, \tau) \tag{23}$$

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 المستقبلة من السواتل المرئية غير مترابطة والحالة المترابطة، والتي توجد فيها درجة معينة من الترابط. وفي الحالتين، يفترض أن تغايرات 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_{An} وP_{Bn} وP_{Cn} (n = 1، 2، ...، N؛ N هو عدد السواتل المرئية) تعتمد على زاوية ارتفاع كل ساتل θ_n وبناء عليه، فإن احتمالات حدوث الحالة بعد تنوع اختبار الحالة، $P_{A:div}$ و$P_{B:div}$ و$P_{C:div}$ تعطى بالمعادلات:

$$P_{A:div} = 1 - \prod_{n=1}^{N} [1 - P_{An}(\theta_n)] \tag{24a}$$

$$P_{B:div} = 1 - P_{A:div} - P_{C:div} \tag{24b}$$

$$P_{C:div} = \prod_{n=1}^{N} [P_{Cn}(\theta_n)] \tag{24c}$$

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 الحالات، أي $\langle P_{A:div} \rangle$ و$\langle P_{B:div} \rangle$ و$\langle P_{C:div} \rangle$، بعد تشغيل تنوع السواتل بدءاً من الزمن t_1 حتى الزمن t_2 تكون كالتالي:

$$\langle P_{i:div} \rangle = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} P_{i:div}(t)\, dt \qquad (i = A, B \text{ or } C) \tag{25}$$

وبإحلال $P_{A:div}$ و$P_{B:div}$ و$P_{C:div}$ (الخاصة بحالة المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض) أو $\langle P_{A:div} \rangle$ و$\langle P_{B:div} \rangle$ و$\langle P_{C:div} \rangle$ (الخاصة بحالة المدار غير المستقر بالنسبة إلى الأرض) محل P_A وP_B وP_C في المعادلة (11)، فإن دالة التوزيع التراكمي بعد تنوع السواتل لاختيار الحالة يمكن حسابها بطريقة مماثلة. وفي هذه الحالة، ينبغي الإبقاء على قيم المعلمات الأخرى ثابتة عند الزاوية $\theta = 30°$ للاستعمال المؤقت.

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 قيماً 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 15 هندسة هذا النموذج حيث:

θ_1، θ_2: زاويتا ارتفاع الساتل

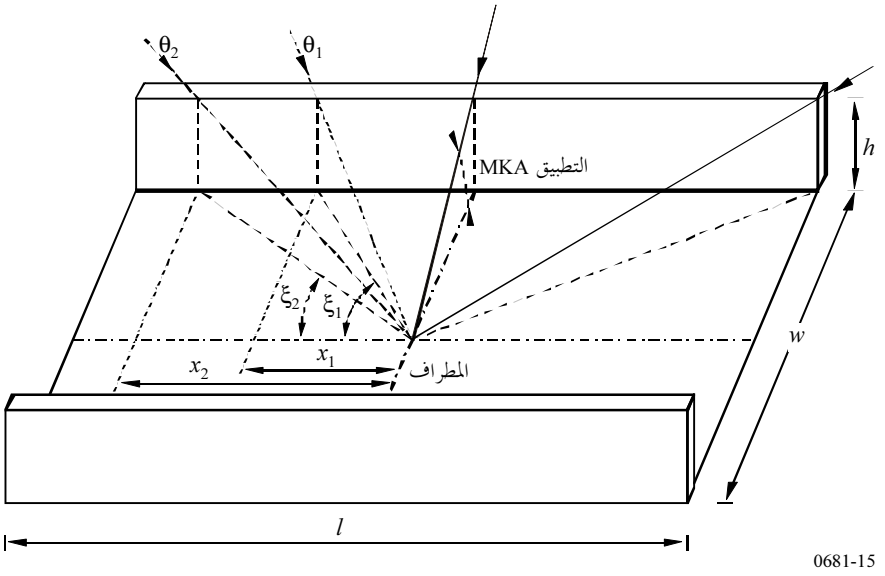
w: متوسط عرض الشارع

h: متوسط ارتفاع المبنى

l: طول الشارع محل البحث.

الشـــكل 15

هندسة مجرى الشارع



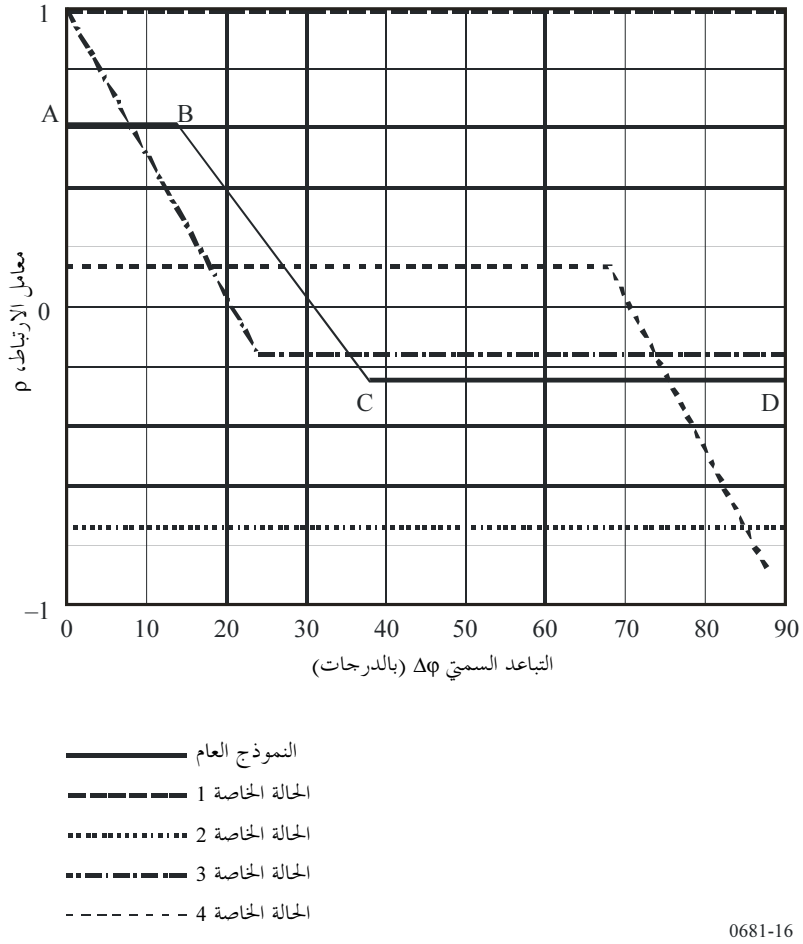
والتباعد الزاوي بين الوصلتين γ يمكن التعبير عنه بدلالة زاويتين أكثر اعتياداً: زاويتا ارتفاع الساتلية، θ_i وθ_j والتباعد السمتي $\Delta\varphi$، أي أن معامل الارتباط المتبادل للخبو يمكن التعبير عنه كالتالي: $\rho(\theta_i, \theta_j, \Delta\varphi)$.

والنتائج النمطية المتحصل عليها بهذا النموذج، يرد تمثيلها بيانياً في الشكل 16، حيث يبين السلوك العام مع نموذج ثلاثي الأجزاء يحدد النقاط A وB وC وD. وإضافة إلى هذا النموذج العام، هناك حالات خاصة عديدة يجري فيها دمج نقطتين أو أكثر من النقاط الأربع.

ويبين الشكل 16 أنه يوجد عادة وبوجه عام فص رئيسي لقيم موجبة متناقصة للارتباط المتبادل مع التباعد السمتي الصغير (عادة $\Delta\varphi < 30^\circ$)، في حين أن هذا المعامل يمثل الثبات عند قيمة سالبة ثابتة مع القيم الأكبر للتباعد السمتي $\Delta\varphi$. ويتيح الفص قيماً قصوى أكبر عندما يكون الساتلان على زاويتي ارتفاع متماثلين. ومع زيادة الفارق بين زاويتي الارتفاع ($\theta_j << \theta_i$)، فإن الفص يتيح قيماً قصوى أقل بكثير.

الشـــكل 16

نموذج معامل الارتباط المتبادل ثلاثي الأجزاء



وقد تم أيضاً تعريف الحالات الخاصة لهذا النموذج ثلاثي الأجزاء: تحدث الحالة 1 عندما يكون كلا الساتلين فوق الزاوية MKA لأي تباعد سمتي. وفي هذه الحالة، يأخذ معامل الارتباط قيمة موجبة ثابتة تبلغ +1 لأي Δφ. 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 السمت ولكن على ارتفاعات متماثلة إلى حد كبير. وفي الختام، تحدث الحالة الخاصة 4 للسواتل ذات الارتفاعات البالغة الاختلاف ($\theta_j << \theta_i$). وهنا يمتد فص الارتباط عبر مدى أوسع بكثير من التباعدات السمتية 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 Δφ؛ وهذا هو السبب في ظهور ربع واحد فقط في الشكل 16.

وبالنسبة إلى الشكل 15، تستعمل بيانات المدخلات التالية في النموذج: زاويتا ارتفاع الساتلين θ_1 وθ_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 $l \geq 200$ 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 وB وC وD:

الخطوة 1: حساب قيم المساعدة x_1، x_2، M_1 وM_2 والزاويتين ξ_1 وξ_2 (انظر الشكل 15):

$$x_1 = \sqrt{\left(\frac{h}{\tan\theta_1}\right)^2 - \left(\frac{w}{2}\right)^2} \quad \text{and} \quad x_2 = \sqrt{\left(\frac{h}{\tan\theta_1}\right)^2 - \left(\frac{w}{2}\right)^2} \tag{26}$$

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

$$\xi_1 = \text{round}\left(\arctan\frac{w/2}{x_1}\right) \quad \text{and} \quad \xi_2 = \text{round}\left(\arctan\frac{w/2}{x_2}\right) \tag{27}$$

$$M_1 = \frac{\xi_1 + 0.5}{90} \quad \text{and} \quad M_2 = \frac{\xi_2 + 0.5}{90} \tag{28}$$

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

الخطوة 2: حساب معلومات مساعدة تتعلق بالنقطتين A وD للنموذج.

النقطة A:

$$N_{11} = 4\xi_1 + 2 \quad N_{00} = 360 - 4\xi_2 - 2 \quad N_{01} = 4(\xi_2 - \xi_1) \quad N_{10} = 0 \tag{29}$$

النقطة D:

- إذا كانت $\xi_1 + \xi_2 \geq 90$،

$$N_{11} = 0 \quad N_{00} = 360 - 4\xi_1 - 4\xi_2 - 4 \quad N_{01} = 4\xi_2 + 2 \quad N_{10} = 4\xi_1 + 2 \tag{30a}$$

- إذا كانت $\xi_1 + \xi_2 < 90$،

$$N_{11} = 4\xi_1 + 4\xi_2 + 4 - 360 \quad N_{00} = 0 \quad N_{01} = 360 - 4\xi_1 - 2 \quad N_{10} = 360 - 4\xi_2 - 2 \tag{30b}$$

الخطوة 3: حساب معامل الارتباط المتبادل عند النقطتين A وD:

$$\rho_{A,D} = \frac{1}{359}\,\frac{N_{11}(1-M_1)(1-M_2) + N_{00}(0-M_1)(0-M_2) + N_{10}(1-M_1)(0-M_2) + N_{01}(0-M_1)(1-M_2)}{\sigma(\theta_1)\,\sigma(\theta_2)} \tag{31}$$

$$\sigma^2(\theta_1) = \frac{(4\xi_1 + 2)(1-M_1)^2 + (360 - 4\xi_1 - 2)(0-M_1)^2}{359} \tag{32a}$$

$$\sigma^2(\theta_2) = \frac{(4\xi_2 + 2)(1-M_2)^2 + (360 - 4\xi_2 - 2)(0-M_2)^2}{359} \tag{32b}$$

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

$$\text{Azimuth}_{\text{Point B}} = \xi_2 - \xi_1 \quad \text{بالدرجات} \tag{33}$$

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

- بالدرجات $\text{Azimuth}_{\text{Point C}} = \xi_1 - \xi_2$ If $\xi_1 + \xi_2 \le 90$, (34a)
- بالدرجات $\text{Azimuth}_{\text{Point C}} = 180 - \xi_1 - \xi_2$ If $\xi_1 + \xi_2 > 90$, (34b)

الخطوة 6: هذه هي الحالة التي تقع فيها عادة ظروف خط البصر لزاوية 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:

$$\rho = \left(\frac{N_{11}}{180} - 1 \right) \tag{35}$$

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 التغايرات الصادرة عن المسيرات المتعددة في شكل توزيع 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 وp_2 ومعامل ارتباط متبادل للخبو ρ، فإن عدم احتمال التيسر الإجمالي بعد تنوع السواتل يتحصل عليه من العلاقة:

$$p_0 = \rho \sqrt{p_1(1 - p_1)} \sqrt{p_1(1 - p_2)} + p_1 p_2 \tag{36}$$

ويكون احتمال التيسر هو $1 - p_0$. والقيم الصالحة للمعامل ρ في المعادلة (36) محدودة بتلك التي تعطي قيماً غير سالبة لعدم احتمال التيسر، p_0. ويمكن حساب الاحتمالين p_1 وp_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 السمت 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 الأقنعة ذاتها. ويوضح الشكل 17 حساب تيسر نظام يتألف من ساتلين مستقرين بالنسبة إلى الأرض. ويشير الخطان A-B وC-D إلى مساري الكنس الواجب اتباعهما لحساب التيسر المشترك. ويشير الخط A-B إلى كنس سمتي مقداره 360º عند زاوية الارتفاع θ_1 المقابل للساتل 1 فيما يشير الخط C-D إلى كنس سمتي مقداره 360º عند زاوية الارتفاع θ_2 للساتل 2. ولمراعاة الارتباط المتبادل للسد المحتمل، يجب تنفيذ الكنس السمتي البالغ 360º مع الحفاظ على التباعد السمتي، $\Delta\varphi$، 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 كنس قدرها 360º 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 للنتائج المتحصل عليها في كل نقطة. ومن شأن قيمة قدرها 1 دقيقة للمتغير ΔT وتساوي T_{obs} مع فترة الكوكبة أن يعطي نتائج مناسبة.

الشـــكل 17

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