التوصيـــة ITU-R P.1406-1

آثار الانتشار المتعلقة بالخدمة المتنقلة البرية للأرض والخدمة الإذاعية في نطاقات الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF)

(المسألة ITU-R 203/3)

(2007-1999)

مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية معلومات عن الجوانب المختلفة للانتشار التي قد تؤثر على الخدمة المتنقلة البرية للأرض والخدمة الإذاعية. وينبغي أخذ هذه الجوانب في الاعتبار عند تصميم هاتين الخدمتين والتخطيط لهما.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) الحاجة إلى معلومات عن جوانب الانتشار التي قد تؤثر على الخدمة المتنقلة البرية للأرض والخدمة الإذاعية،

توصـــي

1 بأخذ المعلومات الواردة في الملحق 1 في الاعتبار لدى تصميم هاتين الخدمتين والتخطيط لهما.

الملحق 1

مقدمة

تقدم هذه التوصية معلومات عن الجوانب المختلفة للانتشار التي قد تؤثر على الخدمة المتنقلة البرية للأرض والخدمة الإذاعية. وينبغي أخذ هذه الجوانب في الاعتبار عند تصميم هاتين الخدمتين والتخطيط لهما.

2 التوهين الناجم عن غطاء الأرض

يرجح أن يكون هذا التوهين كبير الأهمية في الخدمة المتنقلة البرية. فهو يتوقف على نمط التضاريس وانتشار النباتات والموقع وكثافة المباني وارتفاعها. ويلخص الجدول 1 إمكانية تطبيق مختلف التوصيات الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد.

الجـــدول 1

التوصيات المتعلقة بغطاء الأرض

ITU-R P.	التطبيق
1546	تصحيح ارتفاع الهوائي
452	توهين ناجم عن العوائق
833	توهين ناجم عن النباتات (خصوصاً الأشجار)
1058	قواعد بيانات التضاريس
1146	تصحيح ارتفاع الهوائي
1812	توهين ناجم عن النباتات والعوائق

3 تغير شدة الإشارة

1.3 معلومات عامة

تتغير شدة الإشارة المستقبَلة تبعاً للوقت والموقع. وتتألف الإشارة من مكونات مباشرة ومنعرجة ومنعكسة ومنكسرة. وتتوقف نوعية الاستقبال على عوامل مختلفة مثل بيئة الاستقبال وزحزحة التردد ووقت الانتشار ونمط التشكيل. كما قد يصل أيضاً عند استقبال الإشارة المطلوبة بث غير مطلوب من مصادر أخرى على نفس الترددات أو ترددات مجاورة. وينبغي مراعاة هذا البث أيضاً عند تقدير نوعية الخدمة. وقد تكون هذه المرسلات المسؤولة عن التداخل بعيدة من المستقبل إلى حد يستدعي حساب التغير الزمني الذي ينشأ عن مختلف أشكال الانتشار غير العادي، مما قد يفرض حالة يضطر فيها إلى قبول بعض احتمالات التداخل خلال نسبة مئوية محددة من الزمن في مواقع استقبال مختلفة لقاء تشغيل الشبكة (الشبكات).

وبإيجاز يفترض تقويم نوعية الاستقبال وتحديد منطقة الخدمة تحليل الإشارات المطلوبة وغير المطلوبة تبعاً للوقت والموقع وتحديد العلاقة بينهما.

2.3 أشكال الخبو

تتناقص شدة الإشارة عندما يتعرض المستقبل لحجب الأشجار أو المباني أو العوائق أو التضاريس أو غير ذلك. فالإشارة تصل عندئذ إلى المستقبل بعد انعراجها عند هذه العوائق أو بعد انعكاسها عند عوائق أخرى. وإذا عُرف حجم العوائق وشكلها أمكن نظرياً محاولة حساب ما تسببه من خسارة إضافية في المسير. أما إذا لم تتوفر سوى معلومات عامة عن البيئة، فإن تقدير الخسارة في المسير يتم من خلال قياسات تجرى في حالات مماثلة. وفي جميع الأحوال، لا يمكن إجراء تقدير نظري على صعيد محدود ولا بد من إجرائه في هذه الحالة استناداً إلى القياسات. ويجب أن يكون مثل هذا التقدير إحصائياً في طبيعته. وهو يتألف عادة من متوسط الخسارة في المسير في منطقة معينة ومن قياس تغيراتها.

وقد تتغير الإشارة تغيراً واضحاً مع الوقت بسبب التغيرات الجوية، لكن ليس لهذا النوع من التغير أهمية كبيرة في مسافات أقل من 50 km. أما العامل الأكثر أهمية في الخدمة المتنقلة البرية فهو التغير المكاني الذي يعتبر تغيراً زمنياً بالنسبة إلى مستقبل متنقل.

ومن المفيد تقسيم التغير المكاني إلى نوعين: الخبو السريع الناجم عن تعدد المسيرات، ويحصل في بعض أطوال الموجات القليلة، والخبو البطيء الناجم عن تغيرات الحجب. ويمكن التمييز لدى تحليل القياسات بين نوعي الخبو بالطريقة التالية: إجراء عدد من القياسات في فترات منتظمة وعلى مسافة تبلغ 40 طول موجة تقريباً والحصول على قيمة متوسطة لسوية الإشارة أو لخسارة المسير فيما يتعلق بهذه المسافة. ويتطلب الحصول على متوسط دقيق بفارق 1 ديسيبل واحتمال بنسبة 90% حوالي 36 قياساً من هذا القبيل. وينبغي ألا تقل المسافة بين القياسات عن 0,8 من طول الموجة كي لا تتداخل القياسات المتجاورة؛ وهو معيار مستوفى في الشروط المذكورة أعلاه. ويكرَّر الإجراء من أجل مسافات أخرى بطول 40 موجة إلى أن تتم تغطية كامل المنطقة المعنية. وقد بيّنت التجربة أن توزيع هذه القيم المتوسطة هو توزيع لوغاريتمي عادي، وبالتالي يمكن التعبير عنه من خلال معدله أو قيمته الوسطية ونسب انحرافه النمطي. ويكون ذلك توزيع تغير شدة الإشارة الناجم عن الحجب بعد استبعاد التغير الناجم عن تعدد المسيرات.

1.2.3 الحجب

أجري عدد من القياسات لتوزيع شدة الإشارة الناجمة عن الحجب. ومن المهم تحديد ما إذا كانت المنطقة موضوع الدراسة منطقة كبيرة (أي ما إذا كانت تضم جميع المسيرات من طول معين حول محطة قاعدة أو جميع المسيرات من طول معين في منطقة جغرافية ما)، أو صغيرة (أي منطقة ممتدة على بضعة مئات من الأمتار حيث لا تتغير خصائص المسير والبيئة العامة بالنسبة للمستقبل تغيراً كبيراً). وكلما اتسعت مساحة المنطقة ازدادت تغيرات الإشارة.

وفي المناطق الريفية، وفيما يتعلق بكل المسيرات بطول معين، يمكن حساب الانحراف النمطي، σ_L، لتوزيع التغير بدلالة الموقع على النحو التالي:

$$\sigma_L = 6 + 0.69 \left(\frac{\Delta h}{\lambda}\right)^{1/2} - 0.0063 \left(\frac{\Delta h}{\lambda}\right) \quad \text{dB} \quad \text{for } \Delta h/\lambda < 3\ 000$$

$$\sigma_L = 25 \quad \text{dB} \quad \text{for } \Delta h/\lambda > 3\ 000 \tag{1}$$

حيث:

Δh: تغير ارتفاع بين الأعشار (m)

λ: طول الموجة (m)

$\lambda = 300/f$

f: التردد (MHz).

وفي المناطق الحضرية المسطحة، يمكن تقدير الانحراف النمطي في منطقة واسعة باستعمال المعادلة التالية:

$$\sigma_L = 5.25 + 0.42 \log (f/100) + 1.01 \log^2 (f/100) \quad \text{dB} \tag{2}$$

وتصلح هذه المعادلة لمدى ترددات يتراوح بين 100 MHz إلى 3 000 MHz.

أما الانحراف النمطي للتغير تبعاً للموقع في المناطق الصغيرة فمعروف بدرجة أقل. ويُعتقد أنه يرتبط بغطاء الأرض لكن ماهية هذه العلاقة غير واضحة. ويبدو أن الانحراف النمطي يتناقص كلما ازدادت المسافة الفاصلة من المرسل، غير أن ذلك غير واضح دائماً. وتلخص الصيغة (3) تقريباً بعض القياسات التي أجريت في الموجات الديسيمترية (UHF) لمسافات تصل إلى 50 km ولجميع أنواع التغطية الأرضية مع الإبقاء على علاقة الترابط مع التردد الواردة في المعادلة (2).

$$\sigma_L = 2.7 + 0.42 \log (f/100) + 1.01 \log^2 (f/100) \quad \text{dB} \tag{3}$$

وتتضمن التوصية ITU-R P.1546 صيغة تجريبية مختلفة لمثل هذا الخبو الناجم عن الحجب.

2.2.3 الخبو الناجم عن تعدد المسيرات

يتحدد تغير الإشارة على صعيد بضعة أطوال موجات تبعاً لآثار الانتشار متعدد المسيرات. وبما أنه يتوقع وجود مكونة واحدة على الأقل منعكسة على سطح الأرض، فإن آثار الانتشار متعدد المسيرات ترصد دائماً عملياً. وتتيح آثار الانتشار متعدد المسيرات عموماً تحديد ما إذا كانت القناة قناة "رايلي" أو "رايس".

والإشارة المستقبَلة في الحالة الأولى هي مجموع مكونات عديدة لعمليات خبو متفرقة ويمكن تمثيلها باستعمال توزيع "رايلي" (انظر التوصية ITU-R P.1057). وستكون هذه القناة قناة نموذجية في خدمة متنقلة خلوية ضيقة النطاق تعمل في بيئة حضرية تكثر فيها العوائق ولا تقع في خط البصر مع المرسل.

وتقابل قناة "رايس" الحالة التي يكون فيها لدى إحدى مكونات الإشارة المستقبلة، كتلك المصاحبة لمسير خط البصر مع المرسل مثلاً، قدرةً ثابتة طوال وقت الخبو في المسيرات المتعددة. وفي هذه الحالة، يمكن رسم نموذج الخبو الكلي للإشارة باستعمال توزيع "ناكاغامي رايس" (انظر التوصية ITU-R P.1057). وغالباً ما يعتمد هذا التوزيع في صياغته على المعلمة K ("عامل رايس") التي تتحدد بأنها النسبة بين قدرة الجزء الثابت من الإشارة وقدرة الجزء العشوائي منها. وعندما تكون $K = 0$ يصبح التوزيع توزيع رايلي.

3.3 الانعكاسات المحلية

قد تكون الموجات الراديوية التي تصل إلى مستقبل متنقل موجات منعكسة من سطح الأرض أو من أشياء قريبة مثل المباني والأشجار والعربات. والموجة المنعكسة من سطح الأرض موجة مباشرة تُنتج إشارة مستقبَلة تتغير بتغير ارتفاع هوائي المستقبل. أما الموجات المنعكسة من أشياء قريبة، فلها اتساعات وأطوار عشوائية.

وينتج من التداخلات الإيجابية والسلبية بين الموجة المباشرة ومختلف الموجات المنعكسة مخطط تداخل لا تقل فيه المسافة بين القيم الصغرى عن نصف طول الموجة.

وهنالك موجات منعكسة كثيرة في المدن أو الغابات. وتتوزع شدة المجال الآني المقيسة في مسافات تبلغ بضع عشرات من أطوال الموجات حسب توزيع "رايلي" تقريباً.

ويؤدي نمط التداخل إلى الخبو السريع في المستقبلات المتنقلة، وقد تسبب الانعكاسات الصادرة عن عربات متنقلة خبواً حتى في المستقبلات الثابتة.

كما أن الخبو الذي يبلغ مقدار 30 dB أو أكثر دون السوية المتوسطة شائع الانتشار.

وللانعكاسات المحلية آثار مفيدة مثل إتاحة الإرسال إلى حد ما في مناطق شديدة الحجب.

4.3 ترابط الإشارات

يعتبر ترابط القدرة المتوسطة المستقبَلة الواردة من مصادر مختلفة عاملاً هاماً في تقدير نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل، C/I.

وبافتراض أن C هي قدرة الموجة الحاملة المطلوبة (dB) وC_m قيمتها المتوسطة وσ_C انحرافها النمطي وبافتراض I القدرة (dB) الواردة من مصدر التداخل وI_m وσ_I قيمتها المتوسطة وσ_I انحرافها النمطي، فإن النسبة C/I المتوسطة $(C/I)_m$ تكون:

$$(C/I)_m = C_m - I_m \quad \text{dB} \tag{4}$$

وهذه النسبة مستقلة عن معامل الترابط.

ويكون الانحراف النمطي للنسبة C/I، $\sigma_{C/I}$:

$$\sigma_{C/I} = \sqrt{\sigma_C^2 + \sigma_I^2 - 2\rho\sigma_C\sigma_I} \tag{5}$$

حيث ρ هو معامل الترابط. وفي الحالة $\sigma = \sigma_I = \sigma_C$، تصبح المعادلة (5) كالتالي:

$$\sigma_{C/I} = \sigma\sqrt{2(1-\rho)} \tag{6}$$

وتدل معاملات الترابط الناتجة عن مجموعات اعتيان بيانات القدرة المستقبلة على أنه لا يوجد ترابط كبير واضح فيما يتعلق بالاستقبال من جهات متعاكسة. أما عندما يكون اختلاف زاوية الورود عند المستقبل المتنقل صغيرة فإن علاقات الترابط تصبح كبيرة. وتتراوح القيم النمطية للمعامل ρ في مصادر بمواقع مشتركة بين 0,8 و0,9 في المناطق الزراعية والكثيفة بالأشجار. ويقل الترابط عن ذلك عموماً في المناطق الحضرية (يكون ρ بين 0,4 و0,8). أما في المناطق الجبلية فالترابط عادة منخفض جداً. غير أن قيماً $\rho < 0,8$ رصدت في حالات استثنائية حتى في المناطق الجبلية.

4 امتداد وقت الانتشار

هناك أنواع كثيرة من الأنظمة الراديوية، خصوصاً تلك التي تستخدم التقنيات الرقمية، حساسة للانتشار متعدد المسيرات. الذي يحدث في الإشارة بسبب خصائص المسير. وهذه الظاهرة سببها عدد من الإشارات المنعكسة التي تصل بعد الإشارة المباشرة. ويمكن تحديد الاستجابة النبضية للقناة (CIR) استناداً إلى قيم اتساع ووقت انتشار هذه الإشارات. ويمكن استنتاج عدة معلمات تصف قناة الانتشار استناداً إلى الاستجابة CIR (انظر التوصية ITU-R P.1407).

ومن المعلمات الهامة قيمة متوسط الجذر التربيعي (r.m.s.) لامتداد وقت الانتشار، S، الواردة في المعادلتين (3) و(4) في التوصية ITU-R P.1407. وهناك قياس مفيد لامتداد وقت الانتشار هو وقت الانتشار متعدد المسيرات، T_m، حيث:

$$T_m = 2\,S \tag{7}$$

وتتوقف معرفة أي من المعلمتين المذكورتين أعلاه أفضل في التنبؤ بأداء النظام على نمط التشكيل المستخدم.

1.4 التأثير على أداء النظام

ثمة ظواهر مختلفة مسؤولة عن نسبة الخطأ في البتات. وهي تختلف باختلاف النسبة بين امتداد وقت الانتشار ومدة الرمز. وينتج عن الإشارات متعددة المسيرات تغيراً سريعاً للطور تبعاً للموقع والتردد. وفيما يخص مخططات التشكيل القائمة على نوع من التشكيل الزاوي مثل التشكيل التفاضلي بزحزحة الطور (DPSK)، فإن تغيرات الطور هذه مسؤولة عن الأخطاء المعروفة باسم المستعصية والتي لا تزول حتى بوجود نسب عالية من الإشارة إلى الضوضاء. وطالما كان وقت الانتشار أقل من مدة الرمز، فإن الأخطاء المستعصية تتوقف على وقت الانتشار أكثر مما تتوقف على الشكل الدقيق لاستجابة النبضة. ولكن إذا تجاوز وقت الانتشار مدة الرمز يحصل تداخل بين الرموز، وهو أمر يرتبط أكثر بشكل الاستجابة CIR.

2.4 الإشارات المتأخرة بسبب مصادر الانتشار المحلية

غالباً ما ترصد إشارات ذات تأخر طفيف في المناطق التي تتوزع فيها مصادر الانتشار المحلية بشكل منتظم. وتحدث عادة هذه الإشارات في المدن والضواحي حيث لا يوجد أي من العاكسات الكبيرة الواقعة على مسافات بعيدة (الجبال، الهضاب) في خط البصر. ويؤدي التوزيع المنتظم للإشارات المنتشرة عادة إلى استجابات نبضية متجانسة (انظر أيضاً التوصية ITU-R P.1238). وإضافة إلى الجزء المتجانس من الاستجابة النبضية، تُسجَّل أحياناً أصداء قوية تصدر عن مبان كبيرة وتسبب استجابة نبضية متجانسة. ومن ناحية أخرى، ترصد استجابات نبضية غير متجانسة عند نقاط تقاطع الطرقات.

وتتراوح القيم r.m.s. النمطية المسجلة لوقت الانتشار في المناطق الحضرية والضواحي بين 0,8 µs و3 µs. وقد تتطلب الأنظمة عالية معدل البيانات معرفة أدق لاستجابة النبضة. ويتضمن الحساب الدقيق لشدة مجال الإشارات متعددة المسيرات تقنية رسم الأشعة أو إطلاق الأشعة إلى جانب استخدام بيانات عالية الاستبانة للمباني.

3.4 الإشارات المتأخرة بسبب مصادر الانتشار الكبيرة البعيدة

ترصد الإشارات مع تأخير كبير في المناطق التي تضم جبالاً قرب منطقة مستوية واسعة كالسهول أو الوديان. ويظهر هذا الأمر بوضوح عندما تجاور منطقة مستوية واسعة سلسلة جبلية واحدة مما يحد من الآثار التصحيحية المحتملة التي قد توفرها سلاسل جبال أخرى. وقد رصدت قيم نمطية وصلت إلى 25 µs تقريباً.

وينبغي حساب شدة الإشارة المباشرة بالطريقة المناسبة كما تحددها التوصية ITU-R P.1144 مع مراعاة حدود الصلاحية المحددة في هذه التوصية. ويمكن حساب شدة الإشارات المنعكسة باستعمال المعادلة (8):

$$P_{rs} = \frac{P_t G_t G_r}{32\pi^3}\left(\frac{\lambda}{r_1 r_2}\right)^2 \Gamma A \cdot \cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2 \tag{8}$$

حيث:

P_{rs}: قدرة الإشارة المستقبلة

P_t: قدرة المرسل عند الخرج

G_t: الكسب الفعال لهوائي المرسل (بما فيه خسارة الخط وتلك الناجمة عن الترشيح)

G_r: الكسب الفعال لهوائي المستقبل (بما فيه خسارة الخط وتلك الناجمة عن الترشيح)

λ: طول الموجة مقدراً بنفس وحدات المسافتين r_1 وr_2

r_1، r_2: المسافتان الفاصلتان بين مستوي الانتثار (سطح الجبل) وكل من المرسل والمستقبل

Γ: الانعكاسية في مستوي الانتثار

A: مساحة مستوي الانتثار مقدرة بنفس الوحدات (مربعة) للمسافتين r_1 وr_2

θ_1، θ_2: زاويتان حادتان تتشكلان بين الخط المتعامد على مستوي الانتثار والشعاعين المتوجهين إلى المرسل وإلى المستقبل.

لا تدخل المعادلة (8) في حسابها الزاوية الرأسية لكنها ينبغي أن تكون على درجة من الدقة لأغراض الخدمة المتنقلة البرية. كما ينبغي الإشارة إلى أن هذه المعادلة تكون أقل دقة في وجود المجاري وغيرها من الظواهر الانكسارية. وقد يتعذر في الحالات القصوى تطبيقها بالكامل لأن عاكساً كان يؤخذ في الحسبان لم يعد في خط البصر أو على العكس من ذلك لأن جبلاً لم يكن عادة في خط البصر أصبح يقع الآن في هذا الخط.

ومن قبيل البساطة وسرعة الحساب، يُعتبر كل من سلسلة الجبال مستوياً واحداً للانتثار ويكون التوجه السمتي توجه قمة السلسلة. وتعادل المساحة A مساحة جزء السلسلة الواقع داخل فتحات نصف القدرة لحزم هوائي الإرسال وهوائي الاستقبال، على السواء. وهي منطقة غير محجوبة عن أي من الهوائيين. وتحسب المعلمات r_1 وr_2 وθ_1 وθ_2 بدءاً من مركز الجزء المذكور من سلسلة الجبال.

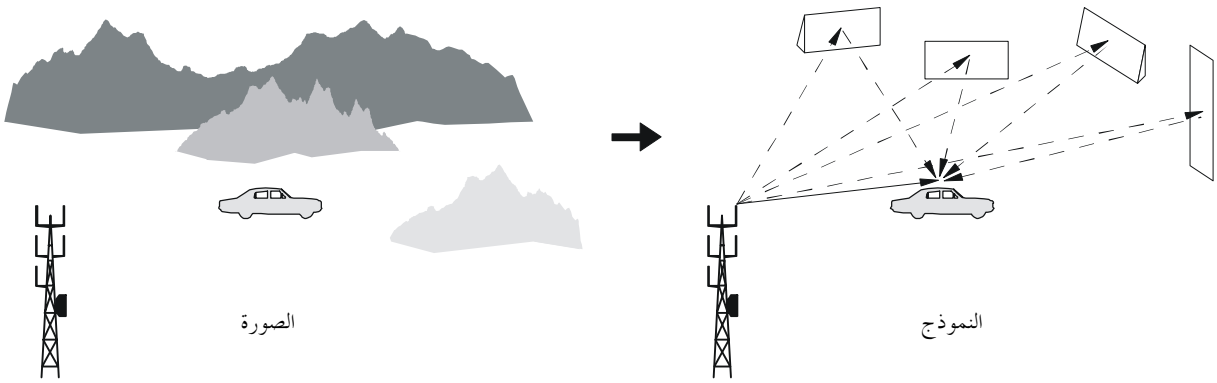
وإذا حُجب جزء من سلسلة الجبال العاكسة عن محطة الإرسال أو الاستقبال بسبب سلسلة جبال أقرب بحيث تنقسم السلسلة الأبعد من الجبال إلى أقسام مختلفة، فإن الحساب يجري على الأجزاء غير المحجوبة باعتبارها سلاسل جبال منفصلة. ويوضح الشكل 1 هذا المفهوم.

وتبين عمليات الرصد أن قيم الانعكاس، Γ، تتراوح بين 0,001 و0,2 (−30 dB و−7 dB). وفي الجبال المكسوة بالأشجار قليلاً ما تتجاوز الانعكاسية 0,05 (−13 dB). أما في الجبال العارية فلا تتجاوز الانعكاسية غالباً 0,2 (−7 dB).

وينبغي أن تراعي حسابات الإشارة المنعكسة جميع الخسارات الناجمة عن العوائق والتي تدخل في حسابات الإشارة المباشرة.

الشـــكل 1

نموذج الإشارة المباشرة والإشارات المنعكسة



5 آثار الهوائي

1.5 آثار الاستقطاب

1.1.5 ظاهرة إزالة الاستقطاب في البيئة المتنقلة البرية

قد يزول استقطاب جزء من الطاقة المرسلة في البيئة المتنقلة البرية بسبب انعراج الموجات الراديوية أو انعكاسها. ويستحسن مراعاة هذا الأثر لإزالة الاستقطاب باستعمال عامل تمييز الاستقطاب المتقاطع (XPD) كما تحدده التوصية ITU-R P.310.

وتبين قياسات التمييز XPD عند التردد 900 MHz ما يلي:

- يرتبط التمييز XPD قليلاً بالمسافة؛
- يتراوح متوسط التمييز XPD في المناطق الحضرية والسكنية بين 5 dB و8 dB، ويتجاوز 10 dB في المناطق المفتوحة؛
- متوسط الترابط بين الاستقطاب الأفقي والاستقطاب العمودي يساوي 0.

تزداد قيمة التمييز XPD بتناقص التردد لتصل إلى 18 dB عند التردد 35 MHz.

والتمييز XPD موزع حسب التوزيع اللوغاريتمي العادي مع انحراف نمطي مرتبط نوعاً ما بالتردد. ويبلغ متوسط التباين بين النسبتين 10% و90% (في مدى الترددات 30 MHz - 1 000 MHz) حوالي 15 dB. ولم يُرصد إلا تباين طفيف فيما يتعلق بالاستقطاب الأولي في الوضعين الأفقي والعمودي.

وثمة نوعان للتغير الناجم عن الوقت لآثار إزالة الاستقطاب. الأول منهما هو التغير البطيء الذي ينتج عن تغير الخاصيات الكهربائية للأرض بتغير الظروف الجوية. ويزداد هذا الأثر ظهوراً عند الترددات المنخفضة. أما النوع الثاني فينجم عن حركة الأشجار التي تؤدي إلى ظاهرة خبو الاستقطاب، وقد يصل اتساعها إلى عدة وحدات ديسيبل حتى بوجود رياح معتدلة جداً.

2.1.5 تنوع الاستقطاب

نظراً لكمية الانتثار الهائلة في المناطق الحضرية والسكنية والقيم المنخفضة للتمييز XPD الناتجة، يشكل تنوع الاستقطاب تقنيةً مفيدة لتحسين الاستقبال. وقد يكون أبسط الخيارات هو استعمال استقطابين خطيين متعامدين عند محطة القاعدة.

وهناك تنوع استقطاب آخر هو الاستقطاب الدائري عند المحطة القاعدة والاستقطاب الخطي عند المطراف المتنقل. وعلى الرغم من أن هذا النوع يبدد 3 dB من الاستقطاب، لكنه يفيد من إزالة الاستقطاب الناجمة عن الانتثار ومن استقبال إشارة ذات سوية ثابتة في بيئة المطراف المتنقل.

2.5 كسب الارتفاع: المحطة القاعدة والمطراف المتنقل

يشير كسب الارتفاع إلى تغير شدة الإشارة المرسلة بتغير ارتفاع الهوائي. وعلى الرغم من أن هذه الشدة تزداد عادة بازدياد الارتفاع (كسب الارتفاع الموجب)، فإنها قد تتناقص أيضاً بازدياد الارتفاع (كسب الارتفاع السالب). وفي غياب العوائق المحلية، تتفاعل الإشارة المباشرة مع الشعاع المنعكس على سطح الأرض والصادر عن نفس المرسل. ويعادل تغير شدة المجال الناتج في الاتجاه العمودي سلسلة من القيم القصوى والدنيا نظراً لأن هندسة المسير تُنتج إشارتين متعاقبتين واحدة داخل الطور وأخرى خارجه.

وعلى الصعيد العملي، وخاصة فيما يتعلق بالمرسلات المتنقلة، تميل الإشارات المنعكسة الصادرة عن العوائق أو غيرها إلى التقليل إلى أبعد حد من أثر ظاهرة الشعاعين هذه، ويمكن إهمالها تماماً في غالبية الحالات فوق التردد 200 MHz. ومن ناحية أخرى، يتبين أن زيادة ارتفاع الهوائي تحد فقط من التوهين الفعلي الناجم عن العوائق؛ الأمر الذي يبين أن الإشارة المستقبلة

تتناسب طرداً مع الارتفاع. ونظراً للعلاقة القائمة بين ارتفاع الهوائي والتوهين الناجم عن العوائق في هذه الطريقة، يمكن تصنيف شكل الكسب المتصل بالارتفاع الناتج من حيث نمط الغطاء الأرضي، كما هو وارد في التوصية ITU-R P.370. وفي طرائق التنبؤ الأخرى، وخاصة تلك التي تستخدم قاعدة بيانات عن التضاريس، غالباً ما يكون ارتفاع الهوائي مرتبطاً مباشرة بحساب التوهين الناجم عن العوائق.

وفيما يتعلق بالمحطات القاعدة التي تعمل بترددات تحت 200 MHz وفي مناطق مفتوحة، يمكن أحياناً رصد ظاهرة الشعاعين مما يستدعي إعادة توجيه الهوائي تفادياً لكسب ارتفاع سالب. ويصعب التنبؤ بهذه الظاهرة بصورة دقيقة نظراً لضرورة المعرفة الدقيقة لتضاريس الأرض عند نقطة الانعكاس. أما في التردد فوق 200 MHz، فإن هذه المشكلة بالذات تتضاءل بسبب تناقص طول الموجة إلى أن تختفي عند الموجات الديسيمترية (UHF) وما فوق.

3.5 الترابط والتنوع المكاني

التنوع المكاني مفيد عملياً للهوائيات التي تصل معاملات ترابطها إلى 0,7 تقريباً. وذلك يجعل عموماً استقبال المطاريف المحمولة المتنقلة متعذراً تقريباً. غير أن هناك عدداً من التقنيات في حالة المحطة القاعدة يمكنها خفض الترابط بين الهوائيات. والتقنيتان الأكثر جدوى عملياً هما تقنية الفصل الرأسي وتقنية الفصل الأفقي.

ومن أجل خفض معامل الترابط إلى 0,7 أو أقل، يجب أن تساوي مسافة فصل الهوائيات المتباعدة رأسياً نحو 17 طول موجة أو تزيد عنها. ويمكن أن يكون الفصل الأفقي أكثر فعالية تبعاً للتوجيه النسبي لمستوي الهوائي مقابل اتجاه حركة المطراف المتنقل. وإذا كان المستوي الرأسي بين الهوائيات متعامداً مع اتجاه حركة المطاريف المتنقلة، فإن معامل الترابط سيكون تقريباً نفس المعامل كما في حالة الفصل الرأسي. ويمكن فصل الهوائيات الأفقية، في حالة التوجيه الأمثل، بمسافات تباعد قصيرة لا تتجاوز 8 أطوال الموجة. وينبغي الانتباه إلى أنه لا يمكن الاحتفاظ بالتوجيه الأمثل إلا في حالات خاصة مثل حالة الأنظمة التي تستخدم هوائيات قطاعية.

4.5 الكسب القابل للتحقيق في هوائي مطراف متنقل على متن عربة

نظراً لأن المحطات المتنقلة على متن عربات تعمل عادة في بيئة متعددة المسيرات، فمن غير المستغرب ألا يتواءم كسب هوائي المطراف المتنقل في معظم الحالات مع الكسب المعياري المسجل في المخطط. وعلاوة على ذلك، فإن زاوية الورود الرأسية، حتى في ظروف عدم تعدد المسيرات وفي خط البصر ليست، أفقية بالضرورة. وهناك في الحقيقة حالات عملية تتجاوز فيها زاوية الورود الرأسية 10°. وفي هذه الحالة، قد لا تقابل هذه الزاوية أي فص من الفصوص أو أنها تقابل فصاً ثانوياً بدلاً من الفص الرئيسي لمخطط إشعاع هوائي المطراف المتنقل في المستوي الرأسي.

وقد أظهرت اختبارات القياس التي أجريت على هوائيات المطاريف المتنقلة ذات الكسب الثابت بمعدل 3 dB و5 dB نسبة إلى هوائي رأسي أحادي القطب $\lambda/4$ أن قيم كسبها الفعلي نادراً ما تقابل القيم المسجلة في مخططات الإشعاع. وفي حالات تعدد المسيرات أو الجو الصافي عندما تكون زوايا ورود مرتفعة ($< 2°$)، يصل الكسب الفعلي لكل من الهوائيين إلى ما يقارب 1,5 dB نسبة إلى هوائي رأسي أحادي القطب $\lambda/4$ في مدى مسافات تصل إلى 55 km على الأقل. ويمكن تحقيق كسب كامل في حالات الجو الصافي وفي زوايا ارتفاع منخفضة.

6 آثار المطاريف المحمولة

1.6 التوهين الناجم عن دخول المباني

يتحدد التوهين الناجم عن الدخول في المباني بأنه الفرق بين الإشارة المقيسة في مستوى الشارع خارج المبنى والإشارة مقيسة داخل المبنى. ولا تتناول هذه الفقرة إلا التوهين الناجم عن المبنى في حد ذاته. إذ إن قيم توهين أخرى قد تنتج بعد دخول المبنى عن البناء الداخلي ومحتوياته، وهذا الجانب تتناوله التوصية ITU-R P.1238 بالدراسة.

وقد تختلف قيم التوهين الناجم عن الانتشار جراء الدخول إلى مبنى ما اختلافاً كبيراً تبعاً لنمط المبنى ومواد البناء. كما أن لتردد الإشارة وزاوية ورودها تأثيراً كبيراً أيضاً. ونتيجة لذلك فقد تتراوح قيم التوهين من عدة وحدات ديسيبل إلى عدة عشرات منها.

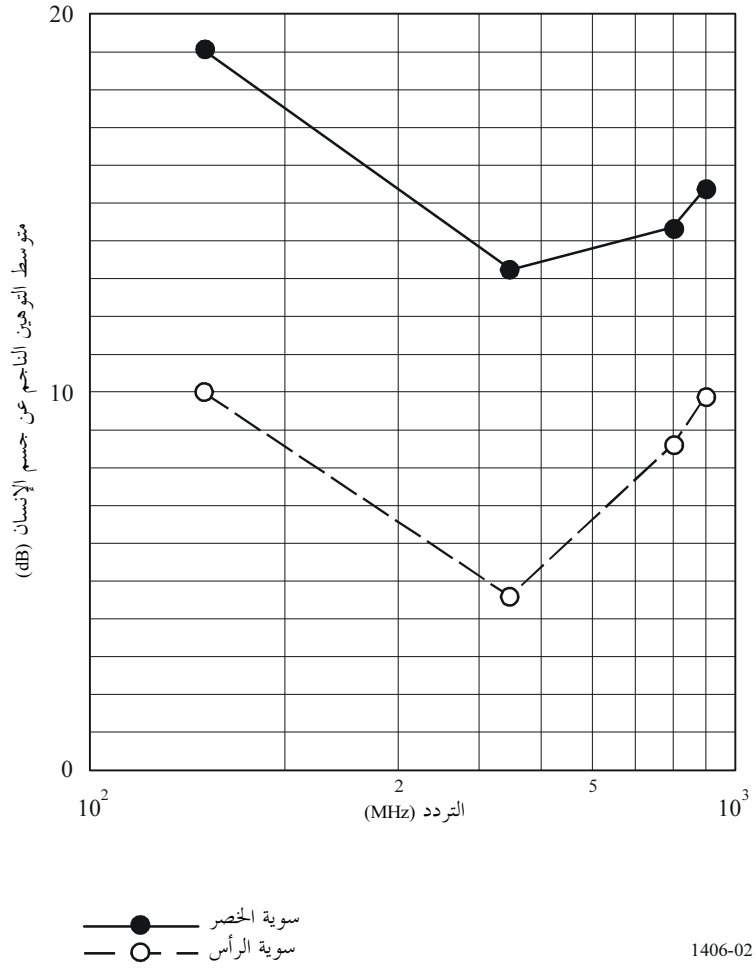
وتقوم عدة منظمات بإجراء بحوث دقيقة عن قيم التوهين هذه. ولربما بالإمكان التوصل يوماً ما إلى تحديد مجموعة من الفئات الفرعية للمباني تتميز كل فئة منها بخصائص وقيم توهين استناداً إلى الإحصاءات.

2.6 التوهين الناجم عن جسم الإنسان

قد يؤدي وجود الأجسام البشرية في المجال المحيط بمرسل مستقبل محمول أو هاتف خلوي أو مستقبل استدعاء راديوي إلى انحطاط في الأداء الفعال للهوائي، وكلما اقترب الهوائي من الجسم ازداد الانحطاط. كما أن هذه الظاهرة مرتبطة بالتردد، كما يبين الشكل 2 الذي يستند إلى دراسة حديثة مفصلة للمرسلات المستقبلات المحمولة العاملة في الترددات الأربعة الأكثر استعمالاً.

الشـــكل 2

توهين نمطي ناجم عن جسم الإنسان في مرسل مستقبل محمول



ولا يمكن الكلام عن "توهين ناجم عن جسم الإنسان" بشكل حصري عندما يتعلق الأمر بمستقبلات الاستدعاء الراديوي لأن هوائياتها مدمجة فيها. ولهذا السبب، فإن حساسية مستقبل الاستدعاء الراديوي تتحدد عادة من خلال شدة المجال (وعادة بالوحدات $\mu V/m$). غير أنه من المستحسن معرفة مقدار الكسب الذي يوفره هوائي مدمج عادي عند استخدام جهاز الاستدعاء الراديوي عند سوية الحضر. ويبين الجدول 2 هذه القيم المسجلة في جهاز يعمل بثلاثة ترددات مختلفة.

الجـــدول 2

كسب مستقبل استدعاء راديوي

التردد (MHz)	كسب الهوائي (dB)
160	25–
460	22–
930	19–

7 الانتشار الموجَّه

يمكن أن يوصف الانتشار بأنه "موجه" في كل مرة لا تستطيع فيها الجبهة الموجية أن تنتشر انتشاراً ثلاثي الأبعاد. وكمثال على الانتشار "الموجه" هناك المجرى التروبوسفيري والاتصالات في "أخاديد الشوارع" وتقنية خط الإرسال ومنها خصوصاً تقنيات الدليل الموجي.

وتتناول الفقرة 1.7 بالدراسة الانتشار في الأنفاق الذي لا بد من مراعاته عند دخول الإشارة الراديوية أحد طرفي النفق أو عندما يطلقها هوائي ما داخل النفق. أما الفقرة 2.7 فتتناول الموضوع ذي الصلة الوثيقة وهو خطوط التغذية التي تعاني من التسرب.

1.7 الانتشار في الأنفاق

الأنظمة الراديوية ضرورية عادة في أنفاق الطرقات والسكك الحديدية لخدمات الإذاعة والمهاتفة المتنقلة وأيضاً في المناجم أو في المرافق الأخرى القائمة تحت سطح الأرض، وذلك لأغراض السلامة ولأسباب تشغيلية.

ويمكن التعبير عن الانتشار في نفق على درجة من الانتظام باستخدام نظرية الدليل الموجي. وتبعاً للتردد، تنتقل الموجات الراديوية على طول النفق بالأسلوب العرضاني الكهربائي (TE) أو الأسلوب العرضاني المغنطيسي (TM)، حيث تكون المكونات الكهربائية والمغنطيسية على التوالي عرضانية حصراً نسبة إلى محور النفق. ولكل أسلوب تردد حرج لا يتم الانتشار دونه. وينتشر كل أسلوب فوق مستوى تردده الحرج بمعاملي انتشار وطور خاصين به. ويحدد أسلوب التردد الأدنى تردد القطع في الدليل الموجي، وهو التردد الذي لا يتم عملياً دونه أي انتشار. وفيما يتعلق بالدليل الموجي المستطيل، يعادل تردد القطع طول موجة يساوي ضعف عرض الضلع الأطول للمستطيل. وفيما يتعلق بنفق غير منتظم الشكل، فإن طول موجة مساوياً لمحيط المقطع العرضاني للنفق يمثل قيمة تقريبية مفيدة.

وفيما يتعلق بأنفاق النقل والأنفاق المأهولة العادية، تعمل الخدمات الراديوية في الموجات المترية (VHF) عادة فوق تردد القطع وتعمل الخدمات في الموجات الديسيمترية (UHF) على موجات أعلى بكثير.

ويمكن أيضاً تفسير الانتشار داخل النفق في ترددات أعلى بكثير من تردد القطع باستعمال نظرية الأشعة. ويكون ذلك عادة أكثر ملاءمة، إذ إن طول الموجة يصبح صغيراً جداً بالمقارنة مع المقطع العرضاني للنفق. ويوفر النفق ذو الجوانب المصقولة نسبة إلى طول الموجات انتشاراً من خلال انعكاسات الجدران في زوايا التماس التي تُظهر معظم المواد عندها معاملات انكسار مرتفعة. وبسبب التنوع الكبير لمسيرات الانعكاس المتاحة، فإن النتيجة تتسم بخصائص المسارات المتعددة مع خبو رايلي ورايس.

وينتج عن وجود عوائق في نفق أن الموجات الراديوية ذات التردد الذي يتجاوز كثيراً تردد القطع تنتشر عموماً بزوايا كبيرة وتقطع بذلك عملية الانعكاسات عند زوايا تماس الورود. ويحدث التوهين الناجم عن الانعراج مباشرة بعد العائق بسبب الحجب.

وتتباين معدلات التوهين الخاصة المتعلقة بالانتشار في الأنفاق تبايناً كبيراً. وهي تتأثر خصوصاً بالعوامل غير المنتظمة والتغييرات في اتجاه النفق والعوائق، بما في ذلك الحركة. وتتراوح أشكال التوهين في نفق طريق عادي بين 0,1 و1 dB/m، وقد تسجل قيماً خارج هذا المدى. ونظراً لتواجد عدة أساليب تعمل فوق التردد الحرج، فإن معدلات التوهين قد تتزايد أو تتناقص بازدياد التردد تبعاً للظروف.

2.7 خطوط التغذية المتسربة

غالباً ما تستعمل الخطوط المتسربة لمواجهة العوائق التي تعترض الانتشار داخل الأنفاق. وهي تشكل عموماً الطريقة العملية الوحيدة لتأمين خدمات تعمل دون تردد القطع، للإذاعة على الموجات الهكتومترية مثلاً.

إذا كانت الخدمات الراديوية منقولة في كبلات متحدة المحور موضوعة على طول النفق وبعيدة نوعاً ما عن جوانبه، وإذا كان الموصل الخارجي مثقوباً، فإن بعض الطاقة تتسرب من هذا الموصل الخارجي على شكل موجة من النمط الكهرمغنطيسي العرضاني بين الكبل متحد المحور الخارجي وجدران النفق. وتسمى هذه العملية تحويل الأسلوب. كما تسبب حالات عدم الانتظام في نظام الكبل متحد المحور/النفق، بما فيه تركيب خطوط التغذية، تحويل أسلوب أيضاً. وتستعمل بعض الأنظمة، من أجل ضبط تحويل الأسلوب، مقاطع تغذية دون تسرب مزودة من مكان لآخر بأجهزة تحويل أسلوب منفصلة.

وتصميم أنظمة الخطوط المتسربة مسألة متخصصة. وثمة مشكلة على الصعيد العملي تكمن في أن الخسارة الناجمة عن الاقتران بين الخطوط المتسربة والمطاريف المتنقلة عالية عندما تركب خطوط التغذية قرب جوانب النفق، علماً بأن اعتبارات حيز الخلوص تحول عموماً دون تركيب الخطوط بعيداً عن الجوانب.

8 التغيرات حسب الزمن

تتغير شدة مجال الإشارة المستقبلة بتغير الزمن إضافة إلى تأثير الموقع وطبيعة التضاريس.

ويقدم الجدول 3 قيم الانحراف النمطي، σ_t، للتغير الناجم عن الزمن.

الجـــدول 3

الانحراف النمطي σ_t

النطاق		σ_t (dB)			
	d (km)	50	100	150	175
الموجات المترية (VHF)	البر والبحر	3	7	9	11
الموجات الديسيمترية (UHF)	البر	2	5	7	
	البحر	9	14	20	

وقد تحدث ظاهرة الانتشار الموجّه في بعض الظروف الراديوية الجوية وقد تؤدي إلى زيادات كبيرة في شدة الإشارة ينجم عنها تداخلات (انظر التوصية ITU-R P.452). غير أن هذه التأثيرات متقطعة وقصيرة الأمد.