التوصية ITU-R P.1407-2

الانتشار عبر مسيرات متعددة وتحديد معلمات خصائصه

(المسألة ITU-R 203/3)

(2005-2003-1999)

إن جمعية الاتصالات الراديوية التابعة للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) ضرورة تقييم تأثيرات ظواهر الانتشار عبر مسيرات متعددة على الخدمات العاملة بأنظمة رقمية؛

ب) استحسان تقييس المصطلحات والتعابير المستخدمة لتحديد خصائص الانتشار عبر مسيرات متعددة،

توصي

1 باستعمال المصطلحات والتعاريف الواردة في الملحق 1 حرصاً على اتساق وصف المفاهيم المتصلة بالانتشار عبر مسيرات متعددة.

الملحق 1

1 مقدمة

كثيراً ما يلاحظ في الأنظمة الراديوية ذات الهوائيات المنخفضة الارتفاع وجود عدة مسيرات غير مباشرة بين المرسل والمستقبل ناتجة عن الانعكاسات من الأشياء المحيطة، بالإضافة إلى المسير المباشر في حالة خط البصر. وتكون ظواهر الانتشار عبر مسيرات متعددة هامة بشكل خاص في البيئات الحضرية، حيث تكون جدران المباني وسطوح الطرق المعبدة مصدر انعكاسات شديدة. وبالتالي، فإن الإشارة المتلقاة تتألف من عدة مكونات يكون لها اتساعات وزوايا طور واتجاهات مختلفة.

ويمكن اعتبار أن التغيرية الفضائية لقوة الإشارة الناتجة عن ذلك تظهر في أسلوبين:

أ) خبو سريع يتغير على مسافات بمقدار طول الموجة يعزى أساساً إلى تغيرات زوايا الطور لمختلف مكونات الإشارة؛

ب) خبو بطيء يتغير على مسافات كبيرة يعزى أساساً إلى تغيرات تأثير الحجب بالأشياء المحيطة.

وإضافة إلى ذلك، يمكن أن تتعرض المكونات المختلفة للإشارة إلى تأثير دوبلر لدرجة لا بأس بها حسب تحرك الهاتف المتنقل أو الأشياء المعاكسة كالعربات مثلاً.

يمكن تمييز القناة متعددة المسيرات المرتبطة بالهاتف المتنقل باستجابتها النبضية التي تتغير حسب سرعة الهاتف المتنقل و/أو مسببات الانتثار. ولذا يجب أن يكون المستقبل قادراً على التعامل مع تشوه الإشارة الناتج عن الصدى في القناة والتغيرات السريعة في طبيعة هذا التشوه. وهذه الخصائص للقناة الراديوية المرتبطة بالمتنقل تصفها المظاهر الجانبية لتأخر القدرة وطيوف دوبلر التي يتم الحصول عليها من خلال قياسات السبر عريضة النطاق للقناة.

ويتغير اتساع الإشارات الموجهة إلى العربات المتنقلة أو الصادرة منها في البيئات الحضرية أو الشجرية بشكل كبير بسبب الانتثار المتعدد. وحالات الخبو بمقدار 30 dB أو أكثر دون المستوى المتوسط شائعة. وتقابل شدة المجال الآنية المقيسة على مسافات بضع عشرات أطوال الموجة، إلى حذف توزيع رايلي. وتتغير القيم المتوسطة لهذه التوزيعات على قطاع صغير تغيراً كبيراً من منطقة إلى أخرى حسب ارتفاع وكثافة وتوزع التلال والأشجار والمباني والمنشآت الأخرى.

ومعرفة خصائص الانتشار على مسيرات متعددة عامل رئيسي في التحكم بنوعية الاتصالات المتنقلة الرقمية. وتشمل خصائص الانتشار عبر مسيرات متعددة مادياً عدد المسيرات والاتساعات واختلاف طول المسير (المهلة) وزوايا الورود. ويمكن تحديد هذه الخصائص بدالة نقل مسير الانتشار (خصائص الاتساع–التردد) وعرض نطاق الترابط.

ويتضمن الفرعان 2 و3 تعاريف معلمات القناة بالنسبة لقطاع صغير (أو مقياس محدود). وتستعمل فيما بعد معطيات إحصائية متصلة بهذه المعلمات محدودة المقياس لإنتاج دالات التوزيع التراكمي (CDF). وتغطي دالة التوزيع التراكمي متوسطة المقياس مسيراً معيناً من القياسات قدره بضع عشرات إلى بضع مئات الأمتار. وتشكل المعطيات المجمعة الصادرة عن عدة مسيرات متوسطة المقياس الخصائص واسعة المقياس أو الخصائص الإجمالية التي تمثل البيئة المعنية: أراض جبلية، منطقة حضرية، منطقة شبه حضرية، غرف كبيرة داخلية، ممرات، إلخ.

ويمكن تمييز قناة خطية متغيرة في الزمن بمرشاح خطي مستعرض. وتشكل إشارة خرج المرشاح مجموع ردود إشارات الدخل المتأخرة والمعرضة للتوهين ولتأثير دوبلر. وهكذا تُمثل القناة بدالة تمديد تأخير دوبلر المعروفة أحياناً بدالة الانتشار. وتمثل هذه الدالة ظاهرة تعدد المسيرات في الأبعاد الثلاثة: تأخر مفرط وتردد دوبلر وكثافة القدرة. وهذه الصياغة ملائمة بشكل خاص لتحقيق جهاز محاكاة في شكل مرشاح دينامي مستعرض.

2 معلمات الانتشار عبر مسيرات متعددة

1.2 تعاريف

يرد فيما يلي المعلمات المناسبة للوصف الإحصائي لتأثيرات الانتشار عبر مسيرات متعددة. *التأخر المتوسط* هو متوسط القدرة المرجحة لحالات التأخر المفرط المقيسة ويعبر عنه باللحظة الأولى للمظهر الجانبي لتأخر القدرة (القيمة التربيعية لاتساع الاستجابة النبضية).

ومتوسط جذر تربيع تمديد التأخر هو الانحراف المعياري للقدرة المرجحة لحالات التأخر المفرط ويعبر عنه باللحظة الثانية للمظهر الجانبي لتأخر القدرة. وهو بمثابة مقياس لتغيرية التأخر المتوسط.

نافذة التأخر هي طول الجزء الأوسط من المظهر الجانبي لتأخر القدرة الذي يحتوي على نسبة مئوية معينة (90% عموماً) من مجموع القدرة الموجودة في الاستجابة النبضية.

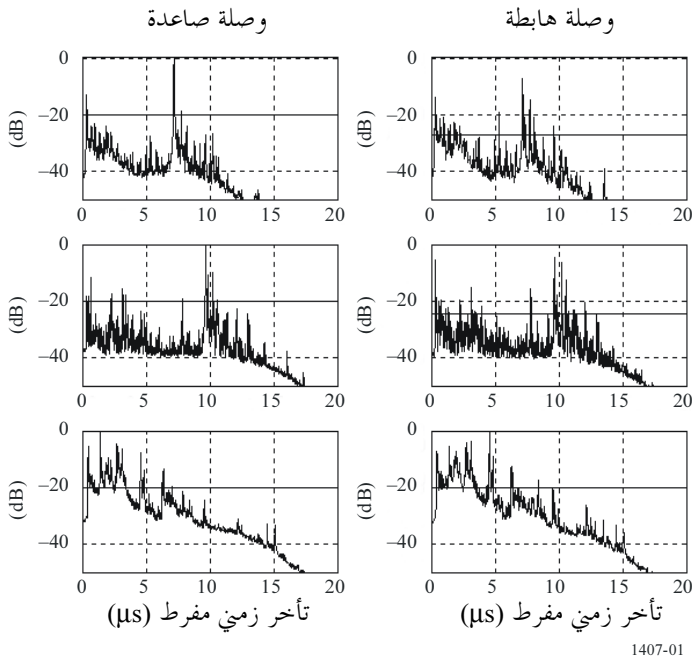
فترة التأخر تُعرَّف على أنها طول الاستجابة النبضية بين قيمتين للتأخر المفرط التي تحدد المرة الأولى التي يتجاوز فيها اتساع الاستجابة النبضية عتبة معينة، والمرة الأخيرة التي يقل فيها عن هذه العتبة. وتعتمد العتبة المستخدمة على المدى الدينامي لجهاز القياس: تبلغ القيمة النموذجية 20 dB تحت سوية الذروة للمظهر الجانبي للتأخر.

عرض نطاق الترابط يُعرَّف على أنه نطاق الترددات الذي تكون من أجله دالة الترابط الذاتي لدالة النقل فوق عتبة معينة؛ وتبلغ القيمة النموذجية لهذه العتبة 0,5.

2.2 مناقشة

يمكن حساب المعلمات المناسبة للوصف الإحصائي لتأثيرات الانتشار عبر مسيرات متعددة إما من المظاهر الجانبية لتأخر القدرة الآنية أو من المظاهر الجانبية لتأخر القدرة المتوسطة التي تمثل إما القيم المتوسطة للوقت التي يتم الحصول عليها عندما يكون المستقبل مستقراً ويمثل التحرك في البيئة أو القيم الفضائية المتوسطة التي يتم الحصول عليها عندما يكون المستقبل في حالة حركة. وترد أمثلة عن ذلك في الشكل 1 تم الحصول عليها باستعمال مركبة حيث تم الحصول على المظاهر الجانبية المتوسطة باستعمال مركبة مستقرة وتم الحصول على المظهرين الجانبيين الآخرين باستعمال مركبة في حالة حركة. ويجب حساب القيمتين المتوسطتين على أساس عدد من الاستجابات النبضية ضمن وقت التكامل المتماسك للقناة المعرف بالمدة الزمنية (أو الفاصل الفضائي) التي لم تتحرك خلالها مكونات المسيرات المتعددة بقدر يبلغ ± نصف قيمة ثنائي التأخر الزمني (أو ثنائي المدى).

الشكل 1



المظاهر الجانبية لتأخر القدرة فيما يتعلق بنطاقات التردد بتقسيم مزدوج للأنظمة UMTS ذات القيم المتوسطة للوقت (المظهر الجانبي الأوسط) والقيم الفضائية المتوسطة (المظاهر الجانبية العليا والسفلى). ويتم تقييس المظاهر الجانبية لإظهار كثافة القدرة النسبية كدالة للقيمة τ. وتبين الخطوط الأفقية فترة التأخر بمقدار 20 dB.

تحسب *الطاقة الكلية* P_m للاستجابة النبضية بالصيغة التالية:

$$P_m = \int_{t_0}^{t_3} P(t)\mathrm{d}t \tag{1}$$

حيث:

$P(t)$: كثافة القدرة للاستجابة النبضية

t: تأخر بالنسبة إلى وقت مرجعي

t_0: اللحظة التي تتجاوز فيها $P(t)$ سوية القطع لأول مرة

t_3: اللحظة التي تتجاوز فيها $P(t)$ سوية القطع لآخر مرة.

ويمثل التأخر المتوسط T_D باللحظة الأولى للمظهر الجانبي لتأخر القدرة:

$$T_D = \frac{\int_0^{\tau_e} \tau P(\tau)\ \mathrm{d}\tau}{\int_0^{\tau_e} P(\tau)\ \mathrm{d}\tau} - \tau_a \tag{2a}$$

حيث:

τ: متغير التأخر المفرط الذي يساوي $t_0 - t$

τ_a: لحظة الوصول للمكونة الأولى متعددة المسيرات المستقبلة (الذروة الأولى للمظهر الجانبي)

$$t_0 - t_3 = \tau_e$$

وتصبح المعادلة (2a) في شكلها المتميز كالتالي:

$$T_D = \frac{\sum_{i=1}^{N} \tau_i P(\tau_i)}{\sum_{i=1}^{N} P(\tau_i)} - \tau_M \quad (2b)$$

حيث: $i = 1$ وN يشكلان دليلي العينتين الأولى والأخيرة للمظهر الجانبي على التوالي للتأخر فوق سوية العتبة، وتكون M دليل المكونة الأولى متعددة المسيرات المستقبلة (الذروة الأولى للمظهر الجانبي).

ويمكن تحديد حالات التأخر بواسطة العلاقة التالية:

$$t_i(\mu s) = 3{,}3 r_i \qquad \text{km}$$

حيث r_i هي مجموع المسافات التي تفصل بين المرسل والعاكس متعدد المسيرات من جهة وبين العاكس والمستقبل من جهة أخرى، أو المسافة الكلية التي تفصل بين المرسل والمستقبل من أجل t_{Los}.

ويحدد جذر متوسط التربيع لتمديد التأخر S بالقيمة التربيعية المتوسطة للحظة المركزية الثانية:

$$S = \sqrt{\frac{\int_0^{\tau_e} (\tau - T_D - \tau_a)^2 P(\tau)\, \mathrm{d}\tau}{\int_0^{\tau_e} P(\tau)\, \mathrm{d}\tau}} \quad (3)$$

أو في شكلها المتميز:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (\tau_i - T_D - \tau_M)^2 P(\tau_i)}{\sum_{i=1}^{N} P(\tau_i)}} \quad (4)$$

وتدل نافذة التأخر W_q على مدة الجزء المتوسط للمظهر الجانبي لتأخر القدرة الذي يتضمن نسبة مئوية معينة، q من القدرة الكلية:

$$W_q = (t_2 - t_1) \quad (5)$$

حيث يتم تحديد الحدين t_1 وt_2 كالتالي:

$$\int_{t_1}^{t_2} P(t)\, \mathrm{d}t = \frac{q}{100} \int_{t_0}^{t_3} P(t)\, \mathrm{d}t = \frac{q}{100} P_m \quad (6)$$

وتقسم الطاقة خارج النافذة إلى جزأين متساويين $\left(\frac{100-q}{200}\right)P_m$.

وتعرّف الفواصل الزمنية للتأخر I_{th}، بأنها فاصل زمني بين اللحظة t_4 حيث يتجاوز لأول مرة اتساع المظهر الجانبي لتأخر القدرة عتبة معينة P_{th} واللحظة t_5 حيث يصبح هذا الاتساع لآخر مرة أقل من هذه العتبة:

$$I_{\text{th}} = (t_5 - t_4) \tag{7}$$

يعطي تحويل فورييه لكثافة القدرة للاستجابة النبضية الترابط الذاتي $C(f)$ لدالة النقل:

$$C(f) = \int_0^{\tau_e} P(\tau)\ \exp(-j\,2\,\pi f \tau)\,\mathrm{d}\,\tau \tag{8}$$

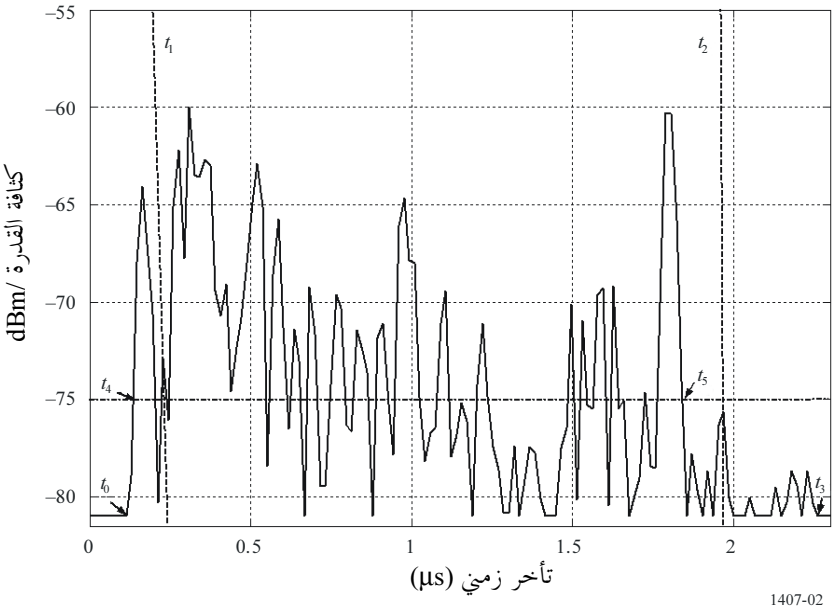
وتقدر المعادلة (8) عرض نطاق الترابط في حالة القناة بتوزيع رايس بأقل مما هو عليه. وبالنسبة إلى هذه القنوات يكون تقييم عرض نطاق الترابط الذاتي أدق باستعمال دالة ترابط الترددات المتباعدة، التي يحصل عليها بواسطة دالة النقل المعقدة المتغيرة بحسب الوقت عن طريق حساب معامل الترابط لمختلف المباعدات بين الترددات.

ويعرّف عرض نطاق الترابط B_x باعتباره التردد الذي من أجله $|C(f)|$ تساوي x % من $C(f=0)$.

ولتحليل المعطيات يوصى باستعمال نوافذ التأخر من أجل 50% و75% و90% من القدرة وفواصل زمنية للتأخر من أجل عتبات تبلغ 9 dB و12 dB و15 dB دون قيمة الذروة وعرض نطاق الترابط من أجل 50% و90% من الترابط. وجدير بالملاحظة أن تأثيرات الضوضاء والإشارات الهامشية في النظام (من التردد الراديوي إلى معالجة المعطيات) قد تكون هامة جداً. ولذا من المهم تحديد عتبة الضوضاء و/أو الإشارات الهامشية للأنظمة تحديداً دقيقاً والحفاظ على هامش للسلامة فوق هذه العتبة. ويوصى بهامش سلامة قدره 3 dB، ولضمان سلامة النتائج يوصى باستعمال قيمة دنيا لنسبة الذروة إلى الإشارة الهامشية تبلغ 15 dB مثلاً (باستثناء هامش السلامة البالغ 3 dB) كمعيار للقبول قبل إدراج استجابة نبضية في الإحصاءات.

يوضح الشكل 2 مثالاً لاستعمال بعض المصطلحات المحددة أعلاه.

الشكل 2



المظهر الجانبي لتأخر القدرة الذي يوضح المعلمات التالية: نافذة التأخر W_{90} التي تتضمن 90% من القدرة المستقبلة المحددة بين الخطوط النقطية العمودية (t_1 وt_2)، والفاصل الزمني للتأخر، I_{15} الذي يتضمن الإشارة فوق السوية 15 dB دون الذروة يقع بين t_4 وt_5. ويبين t_0 وt_3 بداية ونهاية المظهر الجانبي فوق عتبة الضوضاء.

3 المعلمات المتعلقة باتجاه الورود

لنفترض أن $P(\theta)$ هي القدرة المستقبلة (W) باتجاه θ، حيث θ هي الزاوية (rad) المقيسة اعتباراً من اتجاه الإشارة الرئيسية (التي يفترض أن تكون ثابتة أثناء فترة القياس). عندئذ يحدد جذر متوسط التربيع للتمديد الزاوي σ_θ باتجاه الورود كالتالي:

$$\sigma_\theta = \sqrt{\frac{1}{P_0}\int_{-\pi}^{\pi}(\theta-\bar{\theta})^2 P(\theta)\,\mathrm{d}\theta} \tag{9}$$

حيث:

$$P_0 = \int_{-\pi}^{\pi} P(\theta)\,\mathrm{d}\theta \tag{10}$$

و

$$\bar{\theta} = \frac{1}{P_0}\int_{-\pi}^{\pi}\theta\, P(\theta)\,\mathrm{d}\theta \tag{11}$$

حيث يتم تقييم جميع قيم التكامل من أجل القيم االتي تفوق عتبة الضوضاء الخلفية للقياسات.