

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R P.1407-5
(2013/09)

الانتشار عبر مسيرات متعددة
وتحديد معالم خصائصه

السلسلة P
انتشار الموجات الراديوية



تمهيد

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 المدى 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 والمظمنة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهترتقنية 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، 2015

© ITU 2015

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).

*التوصية 5-1407-R ITU

الانتشار عبر مسيرات متعددة وتحديد معالم خصائصه

(المسألة 3/203 ITU-R)

(1999-2003-2005-2007-2009-2013)

مجال التطبيق

تشرح التوصية ITU-R P.1407 طبيعة الانتشار عبر مسيرات متعددة وتحدد المعالم المناسبة للوصف الإحصائي لتأثيرات المسيرات المتعددة وتقدم أمثلة على تأثيرات الترابط فيما بين مسيرات الانتشار وحسابها.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) ضرورة تقدير تأثيرات المسيرات المتعددة على الخدمات التي تستخدم الأنظمة الرقمية؛

ب) أنه من المحبذ توحيد المصطلحات والتعابير المستخدمة في وصف المسيرات المتعددة،

توصي

- 1 باستخدام المصطلحات والتعريف الواردة في الملحق 1 لوصف مفاهيم المسيرات المتعددة على نحو متسق؛
- 2 باستخدام مفاهيم الترابط الواردة في الملحق 2 لتحليل تأثيرات الأنظمة ذات المدخلات والمخرجات المتعددة (MIMO)؛
- 3 باستعمال النماذج الواردة في الملحق 3 بالنسبة لتوليد قناة واسعة النطاق، وذلك من أجل تقييم أداء أنظمة الاتصالات.

الملحق 1

1 مقدمة

في الأنظمة الراديوية ذات الهوائيات منخفضة الارتفاع، كثيراً ما تكون هناك مسيرات غير مباشرة متعددة بين المرسل والمستقبل جراء الانعكاسات من الأشياء المحيطة بهما، وذلك بالإضافة إلى المسير المباشر عند وجود خط بصر بينهما. ولهذا الانتشار متعدد المسيرات أهمية خاصة في البيئات الحضرية، حيث تترد انعكاسات قوية عن أوجه الأبنية وأسطح الطرق المعبدة. وفي المحصلة، تتألف الإشارة المستقبلية من مجموع عناصر عدة تختلف اتساعاتها وزوايا طورها واتجاهات ورودها.

ويمكن اعتبار أن هناك نظامين للتباين المكاني الناتج في شدة الإشارة:

- أ) الخبو السريع الذي يتغير عبر مسافات من مضاعفات طول الموجة بفعل التغيرات في زوايا الطور لمختلف مكونات الإشارة في المقام الأول؛
- ب) الخبو البطيء الذي يتغير عبر مسافات أطول ويعزى أساساً إلى تغيرات في خسارة الحجب بالأشياء المحيطة.

* أدخلت لجنة الدراسات 3 للاتصالات الراديوية تعديلات صياغية على هذه التوصية في أبريل 2015، طبقاً للقرار 1 ITU-R.

وعلاوةً على ذلك، يمكن لمختلف مكونات الإشارة أن تتعرض لإزاحة دوبلر (Doppler) بمقادير مختلفة نتيجةً لحركة الأجهزة المتنقلة أو أشياء عاكسة مثل المركبات.

ويمكن وصف القناة المتنقلة ذات المسيرات المتعددة بدلالة استجابتها النبضية التي تتغير بمعدل يتوقف على سرعة حركة الجهاز المتنقل و/أو النثرات. لذلك، يجب أن يكون المستقبل قادراً على التعامل مع تشوه الإشارة الناجم عن أصداء في القناة، وكذلك مع التغيرات السريعة في طبيعة هذا التشوه. ويرد وصف مثل هذه الخصائص لقناة راديوية متنقلة في المظاهر الجانبية لتأخير القدرة وأطياف دوبلر التي يمكن الحصول عليها من قياسات سبر القناة عريضة النطاق.

وتبدي الإشارات المرسلية من وإلى المركبات المتنقلة في بيئات حضرية أو حراجية تقلبات متطرفة في الاتساع بحكم الانتشار المتعدد. وتشيع حالات خبو بمقدار 30 dB أو أكثر دون المستوى المتوسط. ويتخذ الشكل الإحصائي لشدة المجال الآنية، لدى قياسها على مسافات تبلغ بضع عشرات من أطوال الموجة، توزيع رايلي (Rayleigh) تقريباً. وتتفاوت كثيراً القيم المتوسطة للتوزيعات القطاعية الصغيرة هذه من منطقة إلى أخرى، حسب ارتفاع وكثافة وتوزيع التلال والأشجار والأبنية والهياكل الأخرى.

ومادياً، فإن معلمات الانتشار متعدد المسيرات هي عدد المسيرات المتعددة والاتساع وفارق طول المسير (التأخير) والزحزحة الدوبلرية وزاوية الوصول. ويمكن وصف خصائص هذه المعلمات من سلسلة من الاستجابات النبضية المعقدة خلال مسافة قصيرة أو فاصل زمني قصير يمكن استعمالها لتقدير دالة الانتشار الدوبلري للتأخير التي تمثل ظاهرة تعدد المسيرات في الأبعاد الثلاثة للتأخير الزائد والتردد الدوبلري والكثافة. وتعرف هذه الدالة مرشاح مستعرض خطي يكون خرجها عبارة عن مجموع الارتدادات المتعددة المتأخرة والموهنة لإشارة الدخل. ويفيد ذلك في تحقيق محاكي عتاد في شكل مرشاح مستعرض دينامي. وتستعمل دالة الانتشار هذه في تقدير المظهر الجانبي لتأخر القدرة والتردد الدوبلري الذي يمكن ربطه بزمن تماسك القناة. وبدلاً من ذلك، فإن تحويل فورييه (Fourier) للاستجابة النبضية المعقدة المتغيرة مع الزمن ينتج عنه استجابة ترددية معقدة متغيرة مع الزمن تحدد خصائص الاتساع مقابل التردد الخاصة بها الانتقائية الترددية لتعدد المسيرات، والتي تتصل بعرض نطاق الارتباط ويعطي تغيرها الزمني خصائص الخبو عند تردد معين. وترد في الفقرات 2 و3 و4 تعاريف معلمات قناة القطاع الصغير (أو الحجم الصغير). وبعد ذلك، تُستعمل إحصاءات معلمات الحجم الصغير لإيجاد دالات التوزيع التراكمية (CDF). وتغطي دالة التوزيع التراكمية للحجم المتوسط أحد طرق القياس التي تمتد بواقع عشرات إلى مئات الأمتار. وتُعتبر مجموعة البيانات المجمعة من عدد من الطرق متوسطة الحجم وصفاً واسع النطاق أو شاملاً يمثل البيئة المستطلعة، من قبيل التضاريس الجبلية وبيئة مدن وضواحيها وغرف كبيرة داخل المباني وممرات، وما إلى ذلك.

2 معلمات المظاهر الجانبية للتأخير

1.2 تعاريف المظهر الجانبي لتأخير القدرة

يمكن حساب المعلمات المناسبة للوصف الإحصائي لزمن التأخير الناجم عن تعدد المسيرات من أي نوع من الأنواع الثلاثة للمظاهر الجانبية لتأخير القدرة: المظهر الجانبي للتأخير اللحظي في القدرة؛ أو المظهر الجانبي لتأخير القدرة قصير الأمد؛ أو المظهر الجانبي لتأخير القدرة طويل الأمد، وهي جميعها إما متوسطات زمنية يتحصل عليها عندما يكون المستقبل متحركاً.

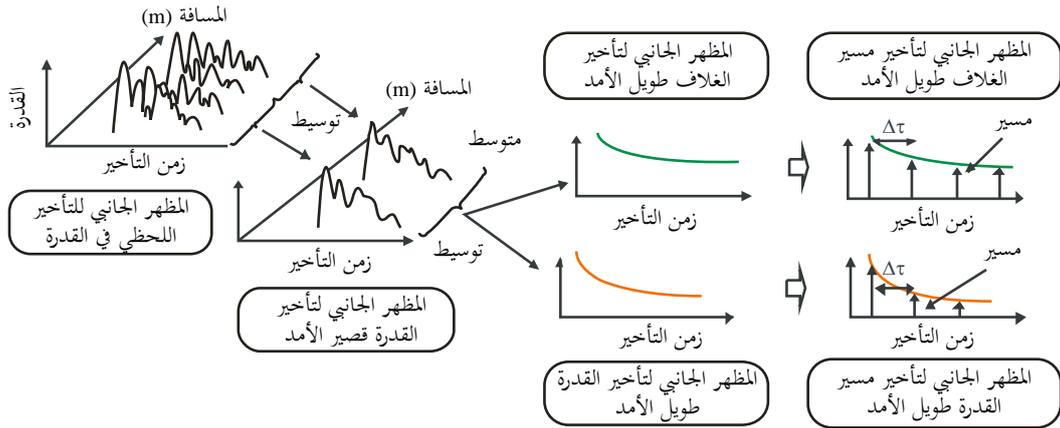
وتُقدم تعاريف المظاهر الجانبية لتأخير القدرة على النحو المبين في الشكل 1.

والمظهر الجانبي للتأخير اللحظي في القدرة هو كثافة قدرة الاستجابة النبضية عند لحظة معينة وعند نقطة معينة.

في حين يتحصل على المظهر الجانبي لتأخير القدرة قصير الأمد (بمقياس صغير) من خلال التوسيط المكاني للمظاهر الجانبية للتأخير اللحظي في القدرة عبر عدة عشرات من الأطوال الموجية داخل المدى الذي يتم فيه الحفاظ على نفس مكونات المسيرات المتعددة من أجل القضاء على التغيرات الناجم عن الخبو السريع. ويمكن التحصل عليه بدلاً من ذلك من دالة الانتشار الدوبلري للتأخير المعروضة في الشكل 2A بأخذ مجموع مربع المقدار عبر محور الزحزحة الترددية الدوبلرية، كما هو موضح في الشكل 2B.

الشكل 1

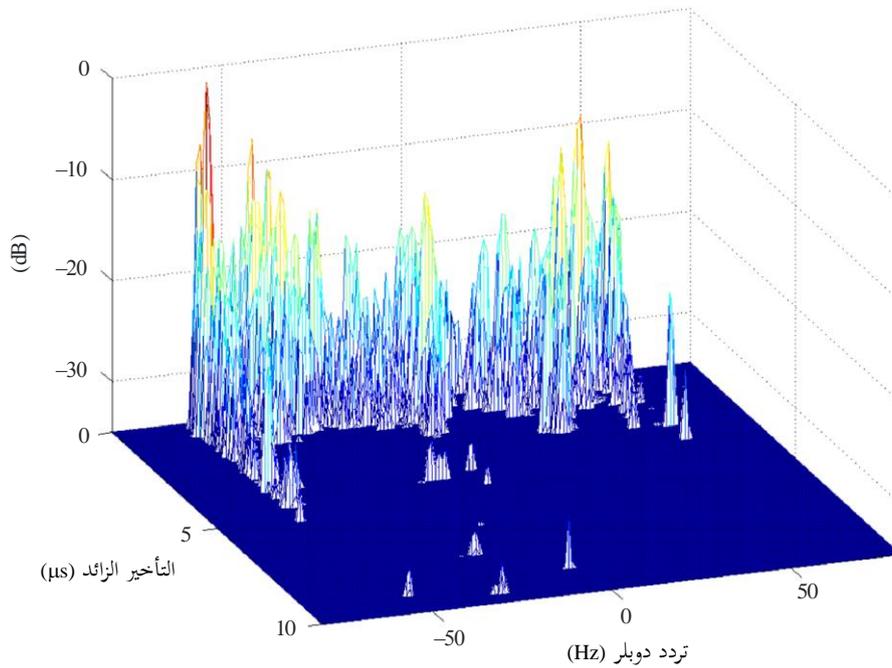
تعريف المظاهر الجانبية لتأخير القدرة



P.1407-01

الشكل 2A

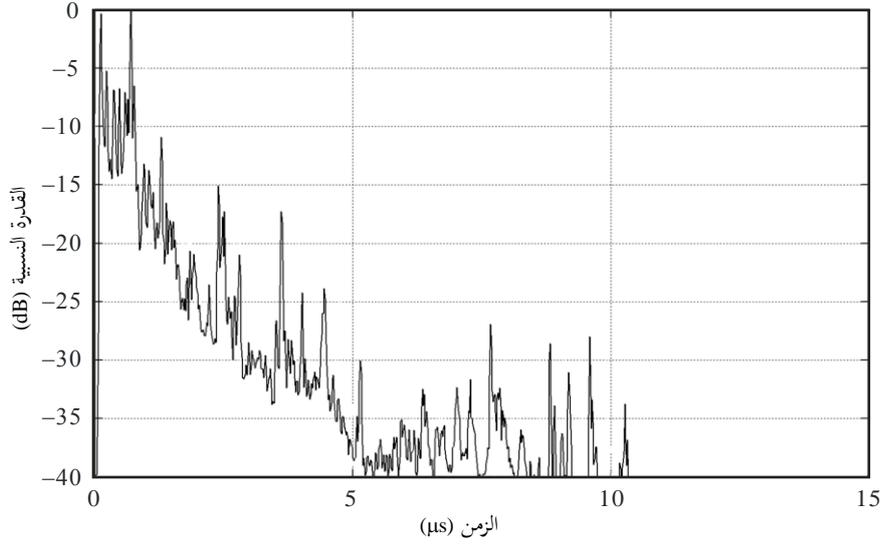
دالة الانتشار الدوبلري للتأخير



P.1407-02a

الشكل 2B

استجابة القدرة النسبية مقابل الزمن



P.1407-02b

ويتحصل على المظهر الجانبي لتأخير القدرة طويل الأمد من التوسيط المكاني للمظاهر الجانبية لتأخير القدرة قصير الأمد على نفس المسافة تقريباً من المحطة القاعدة (BS) من أجل القضاء على التغيرات الناجمة عن الحجب.

والمظاهر الجانبية لتأخير القدرة طويل الأمد ذات الزيادة الواضحة في زمن التأخير، تتم معيارتها باستبانة زمنية قدرها $1/B$ ، حيث B هو عرض النطاق، وتعرف بأنها مظاهر جانبية لتأخير مسير قدرة طويل الأمد بدلاً من مظاهر جانبية مستمرة لتأخير القدرة. ومن ناحية أخرى، يعرف المظهر الجانبي لتأخير الغلاف طويل الأمد بأنه القيمة المتوسطة للمظاهر الجانبية لتأخير القدرة قصير الأمد عند نفس المسافة تقريباً من المحطة القاعدة؛ وهو يعبر عن شكل المظهر الجانبي للتأخير عند المنطقة المعنية.

2.2 تعاريف المعلمات الإحصائية

ترد أدناه المعلمات المناسبة للوصف الإحصائي لتأثيرات المسيرات المتعددة. ومتوسط التأخير هو المتوسط المرجح لقدرة فائض التأخيرات المقيس ويعطى بالعزم الأول للمظهر الجانبي لتأخير القدرة (مربع اتساع الاستجابة النبضية).

وامتداد التأخير الفعال ($r.m.s.$) هو الانحراف المعياري المرجح لقدرة فائض التأخيرات ويعطى بالعزم الثاني للمظهر الجانبي لتأخير القدرة. وهو يوفر مقياساً لقابلية تغيير متوسط التأخير.

ونافذة التأخير هي طول القسم المتوسط من المظهر الجانبي لتأخير القدرة الذي يحوي نسبة مئوية معينة (90% عادةً) من مجمل القدرة الموجودة في تلك الاستجابة النبضية.

ويعرف فاصل التأخير على أنه طول الاستجابة النبضية بين قيمتي فائض التأخير اللتان تشيران إلى أول مرة يتجاوز فيها اتساع الاستجابة النبضية عتبة معينة، وآخر مرة يهبط دونها.

وعدد المسيرات المتعددة أو مكونات الإشارة هو عدد الذرى في مظهر جانبي لتأخير القدرة والتي يقع اتساعها ضمن A dB من أعلى ذروة وفوق المستوى الأدنى للضوضاء.

وتقدم تعاريف المعلمات الإحصائية نسبة إلى الشكلين 3A و 3B. وجدير بالإشارة أن خصائص تأخير القدرة مبينة في الشكلين بالديسبيل، غير أن معادلات مجموع القدرة تعبر عن القدرة بوحدات خطية للقدرة.

1.2.2 القدرة الكلية

والقدرة الكلية، p_m ، للاستجابة النبضية هي:

$$(1) \quad p_m = \int_{t_0}^{t_3} p(t) dt$$

حيث:

$p(t)$: كثافة القدرة للاستجابة النبضية بوحدات خطية للقدرة

t : التأخير بالنسبة لمرجع زمني

t_0 : اللحظة التي تتجاوز فيها $p(t)$ مستوى القطع لأول مرة

t_3 : اللحظة التي تتجاوز فيها $p(t)$ مستوى القطع لآخر مرة.

2.2.2 متوسط زمن التأخير

ويعطى متوسط التأخير، T_D ، بالعزم الأول للمظهر الجانبي لتأخير القدرة:

$$(2a) \quad T_D = \frac{\int_0^{\tau_e} \tau p(\tau) d\tau}{\int_0^{\tau_e} p(\tau) d\tau} - \tau_a$$

حيث:

τ : متغير فائض تأخير زمني ويساوي $t - t_0$

τ_a : وقت ورود أول مكثف مستقبل من المسيرات المتعددة (الذروة الأولى في المظهر الجانبي)

$$t_0 - t_3 = \tau_e$$

وفي حالة خاصة عندما تكون الاستبانة الزمنية ($\Delta\tau = 1/B$)، تصبح المعادلة (2a):

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

$$\tau_i = (i-1) \Delta\tau = (i-1)/B \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

حيث $i = 1$ و N هما مؤشران عن العينة الأولى والأخيرة في المظهر الجانبي للتأخير فوق مستوى العتبة، على التوالي، و M هو المكثف الأول المستقبل من المسيرات المتعددة (الذروة الأولى في المظهر الجانبي).

ويمكن تحديد التأخيرات من العلاقة التالية:

$$(3) \quad t_i (\mu\text{s}) = 3.3 r_i \quad \text{km}$$

حيث r_i هو مجموع المسافات من المرسل إلى عاكس المسيرات المتعددة، ومن العاكس إلى المستقبل، أو هو مجمل المسافة من المرسل إلى المستقبل لـ t_{LOS} .

3.2.2 جذر متوسط التربيع لامتداد التأخير

ويعرّف جذر متوسط التربيع (r.m.s.) لامتداد التأخير بالجذر التربيعي للعزم المركزي الثاني:

$$(4a) \quad S = \sqrt{\frac{\int_0^{\tau_e} (\tau - T_D - \tau_a)^2 p(\tau) d\tau}{\int_0^{\tau_e} p(\tau) d\tau}}$$

وفي صورة مختلفة مع الاستبانة الزمنية $\Delta\tau$ ، تصبح المعادلة (4a) كالتالي:

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

4.2.2 نافذة التأخير

ونافذة التأخير، W_q ، هي طول القسم الأوسط من المظهر الجانبي لتأخير القدرة الذي يحوي نسبة مئوية معينة، q ، من القدرة الكلية:

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

حيث يعرف الحدان t_1 و t_2 بالمعادلة:

$$(6) \quad \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt = \frac{q}{100} \int_{t_0}^{t_3} p(t) dt = \frac{q}{100} P_m$$

وتنقسم القدرة خارج النافذة إلى شطرين متساويين $\left(\frac{100-q}{200}\right) P_m$.

5.2.2 فاصل التأخير

ويعرّف فاصل التأخير، I_{th} ، على أنه الفارق الزمني بين اللحظة t_4 عندما يتجاوز اتساع المظهر الجانبي لتأخير القدرة عتبة معينة P_{th} لأول مرة، واللحظة t_5 عندما يهبط دون تلك العتبة للمرة الأخيرة:

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

6.2.2 عدد مكونات المسيرات المتعددة

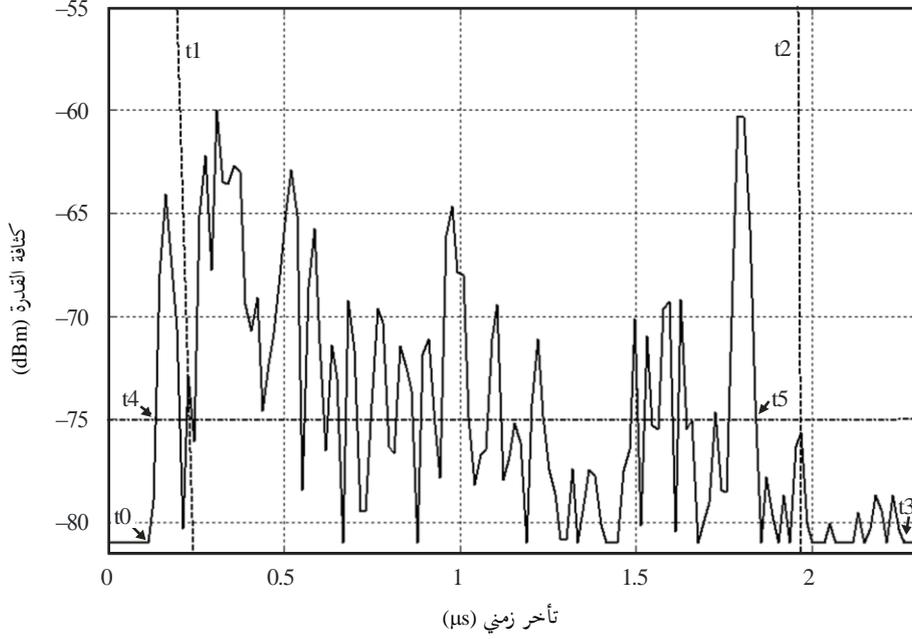
يمكن تمثيل عدد المسيرات المتعددة أو مكونات الإشارة من المظهر الجانبي للتأخير على أساس أنه عدد الذرى التي يكون اتساعها في حدود dB A من أعلى ذروة وفوق مستوى الضوضاء الأساسية، كما هو مبين في الشكل 3B.

7.2.2 القيم الموصى بها للمعلومات

ويوصى من أجل تحليل البيانات بنوافذ تأخير لنسب 50% و 75% و 90% من القدرة، وبفواصل تأخير لعنات مقدارها 9 و 12 و 15 dB دون الذروة. وتجدر الإشارة إلى أن تأثيرات الضوضاء والإشارات الطفيلية في النظام (من الترددات الراديوية حتى معالجة البيانات) يمكن أن تكون كبيرة جداً. ومن ثم، من المهم أن تحدّد عتبة الضوضاء و/أو الإشارات الطفيلية بدقة في الأنظمة وأن يُتخذ هامش السلامة فوق ذلك. ويوصى بهامش للأمان قدره 3 dB لضمان سلامة النتائج. ويوصى بأن يكون الحد الأدنى لنسبة ذروة الإشارة إلى الإشارة الطفيلية، مثلاً، 15 dB (عدا هامش الأمان البالغ 3 dB)، وأن يُستعمل ذلك كمعيار قبول قبل إدراج

الاستجابة النبضية في الإحصاءات. تعتمد العتبة المستخدمة في تحديد عدد مكونات المسيرات المتعددة على المدى الدينامي لمعدات القياس؛ وتكون القيمة النموذجية أقل من مستوى الذروة للمظهر الجانبي للتأخر بمقدار 20 dB.

الشكل 3A

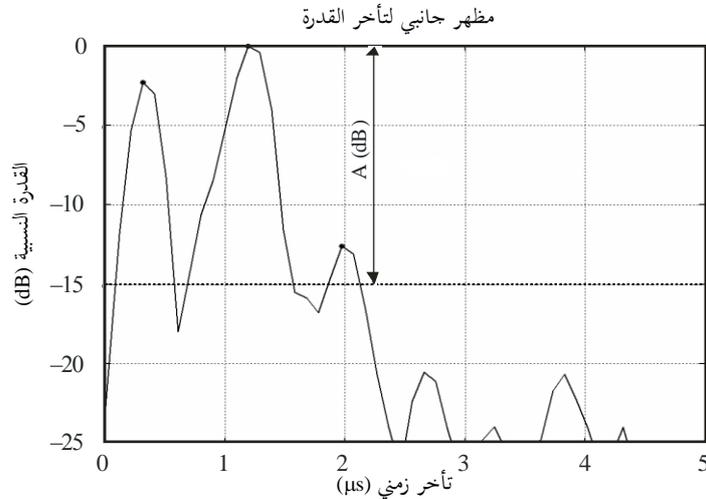


P.1407-03a

مظهر جانبي لتأخير القدرة يبيّن المعلومات التالية: تُمَيِّز نافذة التأخير، W_{90} ، الحاوية 90% من القدرة المستقبلية بين خطين عموديين متقطعين (t_2 و t_1)، ويقع فاصل التأخير، I_{15} ، الذي يحوي الإشارة فوق مستوى 15 dB دون الذروة بين t_4 و t_5 . ويشير t_3 و t_0 إلى بداية ونهاية المظهر الجانبي فوق الحد الأدنى للضوضاء.

الشكل 3B

مظهر جانبي لتأخر القدرة يبين مكونات المسيرات المتعددة فوق مستوى العتبة



P.1407-03b

3 المعلمات المتعلقة باتجاه الوصول

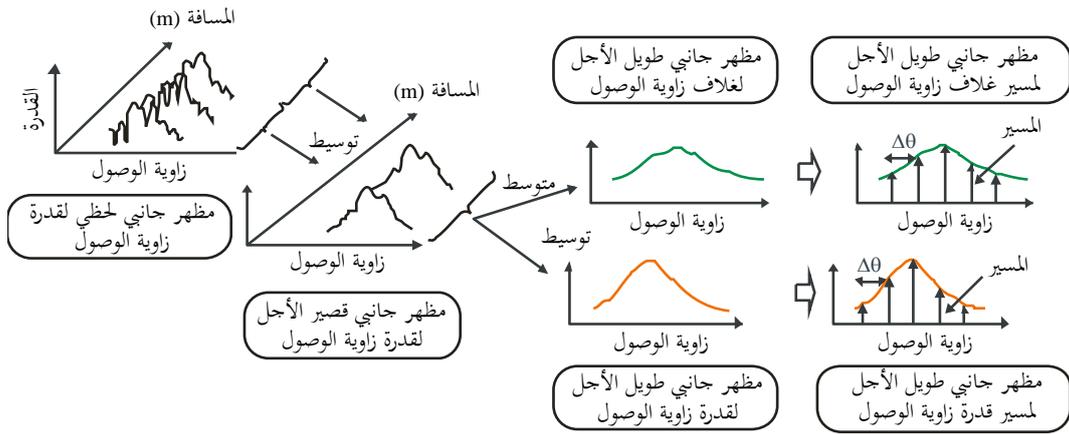
1.3 تعاريف المظاهر الجانبية لقدرة زاوية الوصول

يمكن حساب المعلمات المناسبة للوصف الإحصائي لزاوية وصول المسيرات المتعددة من أي نمط من ثلاثة أنماط للمظهر الجانبي لقدرة زاوية الوصول: من مظهر جانبي لحظي؛ أو مظهر جانبي قصير المدى؛ أو مظهر جانبي طويل المدى لزاوية الوصول. وتمثل هذه القيمة إما المتوسطات الزمنية المتحصل عليها عندما يكون المستقبل مستقراً وتمثل التغيرات في البيئة، أو المتوسطات المكانية المتحصلة عندما يكون المستقبل في حالة حركة.

وكما يبين الشكل 4، يتم الحصول على تعاريف المظاهر الجانبية لزاوية الوصول.

الشكل 4

تعريف المظاهر الجانبية لقدرة زوايا الوصول



P.1407-04

والمظهر الجانبي لقدرة اللحظية لزاوية الوصول هو كثافة قدرة الاستجابة النبضية عند لحظة معينة وعند نقطة معينة.

في حين يتحصل على المظهر الجانبي لقدرة زاوية الوصول قصيرة الأمد من خلال التوسيط المكاني للمظاهر الجانبية لقدرة اللحظية لزاوية الوصول عبر عدة عشرات من الأطوال الموجية داخل المدى الذي يتم فيه الحفاظ على نفس مكونات المسيرات المتعددة من أجل القضاء على التغيرات الناجم عن الخبو السريع.

ويتحصل على المظهر الجانبي لقدرة زاوية الوصول طويلة الأمد من التوسيط المكاني للمظاهر الجانبية لقدرة زاوية الوصول قصيرة الأمد على نفس المسافة تقريباً من المحطة القاعدة (BS) من أجل القضاء على التغيرات الناجمة عن الحجب.

والمظاهر الجانبية لقدرة زاوية الوصول طويلة الأمد ذات القيم الكبيرة للزاوية، تتم معايرتها بالاستبانة الزاوية للهوائي، وتعرف بأنها مظاهر مسيرات قدرة زاوية الوصول طويلة الأمد بدلاً من مظاهر جانبية مستمرة لقدرة زاوية الوصول.

ومن ناحية أخرى، يعرف المظهر الجانبي لغللاف زاوية الوصول طويل الأمد بأنه القيمة المتوسطة للمظاهر الجانبية لمسيرات قدرة زاوية الوصول قصيرة الأمد عند نفس المسافة تقريباً من المحطة القاعدة؛ وهو يعبر عن شكل المظهر الجانبي لقدرة زاوية الوصول عند المنطقة المعنية.

2.3 تعاريف المعلمات الإحصائية

يرد فيما يلي تعاريف المعلمات المناسبة للوصف الإحصائي لتأثيرات المسيرات المتعددة:

زاوية الوصول المتوسطة هي متوسط القدرة المرجحة لاتجاهات الوصول المقيسة ويعبر عنها باللحظة الأولى لطيف سمت القدرة. (ويمكن أن يطلق عليها أيضاً المظهر الجانبي الزاوي للقدرة).

والمظهر الجانبي الزاوي للقدرة هو الخاصية الزاوية للقدرة داخل سوية السمات/السوية الأفقية.

وجذر متوسط تربيع الانتشار الزاوي هو الانحراف المعياري للقدرة المرجحة لاتجاه الوصول ويعبر عنه باللحظة الثانية للمظهر الجانبي الزاوي للقدرة. وهو يعطي مقياساً للتغير في متوسط زاوية الوصول.

والنافذة الزاوية هي عرض الجزء الأوسط للمظهر الجانبي الزاوي للقدرة المحتوي على نسبة مئوية معينة معرفة من القدرة الإجمالية الموجودة في قياس ذلك المظهر الجانبي الزاوي للقدرة.

وتعرف الفترة الزاوية (أو التباعد الزاوي) بأنها عرض الاستجابة النبضية (أو عرض المظهر الجانبي الزاوي) بين قيمتين لاتجاه الوصول. وهي تحدد الزاوية الأولى التي يتجاوز فيها اتساع المظهر الجانبي الزاوي عتبة معينة والزاوية الأخيرة التي تقل فيها قيمة الاتساع عن هذه العتبة. وتعتمد العتبة المستخدمة على المدى الدينامي لجهاز القياس: تبلغ القيمة النموذجية 20 dB تحت سوية الذروة للمظهر الجانبي الزاوي.

1.2.3 القدرة الإجمالية

بفرض القدرة المستقبلية في الاتجاه θ هي $p(\theta)$.

فإن القدرة الإجمالية p_0 ، للمظهر الجانبي الزاوي تعرف بأنها القدرة فوق سوية العتبة L_0 التي تفصل بين الإشارة والضوضاء، كما هو مبين في الشكل 5:

$$(8a) \quad p_0 = \int_{\theta_0}^{\theta_3} p(\theta) d\theta$$

حيث:

θ : تقاس بالتقدير الدائري من اتجاه الإشارة الأساسية (يفترض أن تكون مستقرة داخل فترة القياس) (بالتقدير الدائري)

$P(\theta)$: قدرة المظهر الجانبي الزاوي فوق سوية العتبة L_0 ؛ حيث إن القدرة أسفل السوية L_0 ، $0 = p(\theta)$

L_0 : سوية مع هامش معين (يوصى بأن يكون 3 dB) فوق أرضية الضوضاء

θ_0 : هي زاوية الوصول عندما تتجاوز $p(\theta)$ سوية العتبة للمرة الأولى في $(-\pi, \pi)_{\theta_{max}}$

θ_3 : هي زاوية الوصول عندما تتجاوز $p(\theta)$ سوية العتبة L_0 للمرة الأخيرة في $(-\pi, \pi)_{\theta_{max}}$.

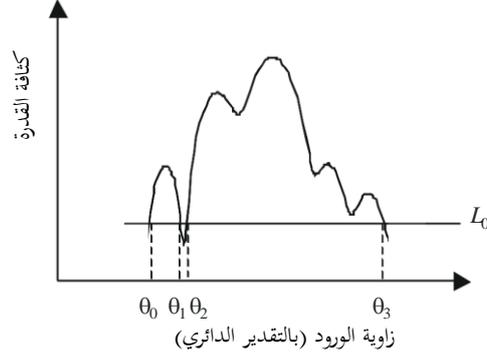
وتصبح الصورة المتفردة للمعادلة (8a) على النحو التالي:

$$(8b) \quad P_0 = \sum_{i=1}^N P(\theta_i)$$

حيث $i = 1$ و N هما رقما العينتين الأولى والأخيرة بالمظهر الجانبي الزاوي للقدرة اللتان تقعان فوق سوية العتبة، على التوالي.

الشكل 5

القدرة الإجمالية



P.1407-05

2.2.3 زاوية الوصول المتوسط

زاوية الوصول المتوسط، T_A ، يُعبّر عنها باللحظة الأولى للمظهر الجانبي الزاوي للقدرة:

$$(9a) \quad T_A = \frac{1}{P_0} \int_{\theta_0}^{\theta_3} \theta p(\theta) d\theta$$

وهناك شكل مختلف للمعادلة (9a) مع الاستبانة الزاوية $\Delta\theta$ ، تكون على النحو التالي:

$$(9b) \quad T_A = \frac{\sum_{i=1}^N \theta_i p(\theta_i)}{\sum_{i=1}^N p(\theta_i)}$$

$$\theta_i = (i-1) \Delta\theta \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

حيث $i = 1$ و N رقما العيّتين الأولى والأخيرة بالمظهر الجانبي الزاوي للقدرة اللتان تقعان فوق سوية العتبة، على التوالي.

3.2.3 جذر متوسط تربيع الانتشار الزاوي

يُعرّف متوسط جذر تربيع الانتشار الزاوي S_A لاتجاه الوصول على النحو التالي:

$$(10a) \quad S_A = \sqrt{\frac{1}{P_0} \int_{\theta_0}^{\theta_3} (\theta - T_A)^2 p(\theta) d\theta}$$

وهناك صورة مختلفة للمعادلة (10a) مع الاستبانة الزاوية $\Delta\theta$ ، تكون على النحو التالي:

$$(10b) \quad S_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\theta_i - T_A)^2 p(\theta_i)}{\sum_{i=1}^N p(\theta_i)}}$$

حيث $i = 1$ و N هما رقما العيّتين الأولى والأخيرة للمظهر الجانبي الزاوي للقدرة اللتان تقعان فوق سوية العتبة، على التوالي.

4.2.3 النافذة الزاوية

النافذة الزاوية θ_w هي عرض الجزء الأوسط للمظهر الجانبي الزاوي للقدرية الذي يحتوي على نسبة مئوية q من القدرة الإجمالية على النحو الموضح في الشكل 6:

$$(11) \quad \theta_w = \theta_{w2} - \theta_{w1}$$

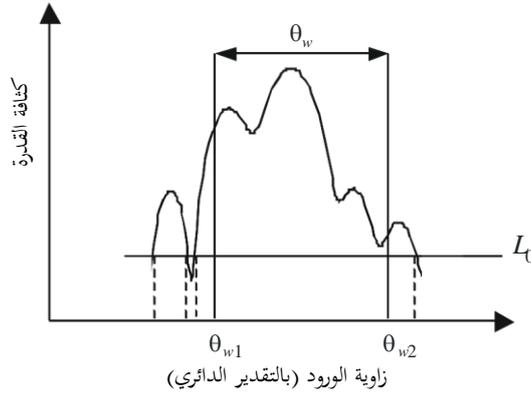
حيث يعرف الحدان θ_{w1} و θ_{w2} على النحو التالي:

$$(12) \quad \int_{\theta_{w1}}^{\theta_{w2}} p(\theta) d\theta = \frac{q}{100} \int_{\theta_0}^{\theta_2} p(\theta) d\theta = \frac{q}{100} p_0$$

وتنقسم القدرة خارج النافذة إلى جزأين متساويين $\left(\frac{100-q}{200}\right) p_0$.

الشكل 6

النافذة الزاوية



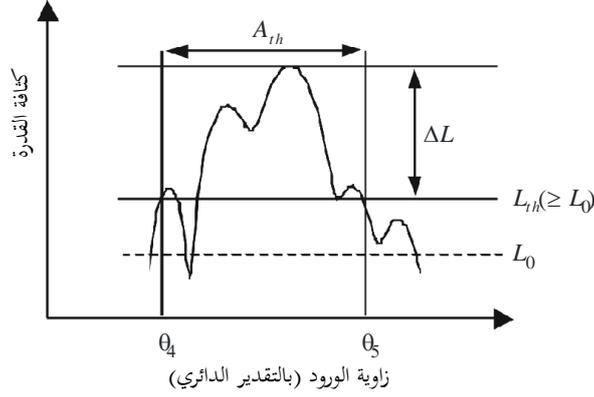
P.1407-06

5.2.3 الفترة الزاوية (التباعد الزاوي)

تُعرف الفترة الزاوية A_{th} ، بأنها الفرق الزاوي بين الزاوية θ_4 عندما يتجاوز اتساع المظهر الجانبي الزاوي للقدرية للمرة الأولى عتبة معينة L_{th} والزاوية θ_5 عندما يقل الاتساع عن هذه العتبة للمرة الأخيرة كما هو مبين في الشكل 7:

$$(13) \quad A_{th} = \theta_5 - \theta_4$$

الشكل 7
الفترة الزاوية



P.1407-07

6.2.3 مسافة الترابط المكاني

بالنسبة للقنوات متعددة المدخلات ومتعددة المخرجات (MIMO) على وجه الخصوص، يتحصل على معامل الترابط المكاني لتباينات مختلفة d من دالة النقل المعقدة المتغيرة زاوياً للمظهر الجانبي الزاوي للقدرة. ويحدد معامل الترابط المكاني $R(d)$ ، على النحو التالي:

$$(14) \quad R(d) = \frac{\int_{\theta_0}^{\theta_3} P(\theta) \exp(-j2\pi d \sin \theta / \lambda) d\theta}{\int_{\theta_0}^{\theta_3} P(\theta) d\theta}$$

حيث:

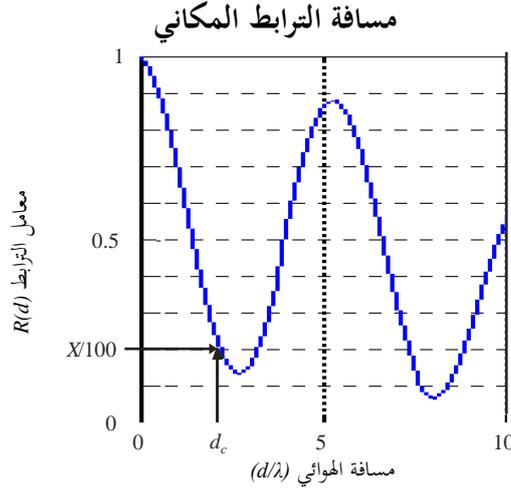
d : المسافة بالنسبة لتباينات مختلفة

λ : طول الموجة.

وكما يبين الشكل 8، فإن مسافة الترابط المكاني d_c تُعرّف بأنها مسافة القطع الأولى التي يساوي عندها $|R(d)|$ النسبة $x\%$ في $|R(d=0)|$.

$$(15) \quad |R(d_c)| / |R(0)| = x/100$$

الشكل 8

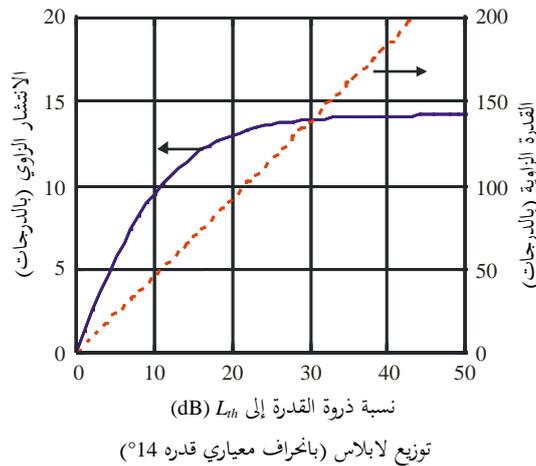


P.1407-08

7.2.3 المعلمات الموصى بها

يوصى بأن تسمح النوافذ الزاوية لقدرات 50% و75% و90%، وكذلك الفترات الزاوية لعتبات قدرها 9 و12 و15 dB أسفل الذروة، ومسافات ترابط قدره 50% و90%، بتحليل مفصل للبيانات. وعلاوةً على ذلك، من المفيد الإشارة إلى أن تأثيرات الضوضاء والإشارات الهامشية في النظام (من المعالجة من ترددات راديوية إلى بيانات) يمكن أن تكون كبيرة جداً. ومن ثم، فإنه من المهم تحديد عتبة الضوضاء و/أو عتبة الإشارات الهامشية للأنظمة بصورة دقيقة مع فرض هامش أمان فوقهما. ويُوصى بهامش أمان قدره 3 dB ولضمان سلامة النتائج يُوصى باستخدام حد أدنى من نسبة الذروة إلى الإشارة الهامشية قدره 15 dB (مع استبعاد هامش الأمان البالغ 3 dB) كمعيار استثنائي يجد من المظاهر الجانبية الزاوية المتضمنة في الإحصائيات. ويبين الشكل 9 مثالاً لتأثير تحديد قيمة الحد الأدنى لنسبة الذروة إلى $L_{th}(\Delta L)$. ويُفترض في هذا الشكل أن المظهر الجانبي للقدررة على شكل توزيع لابلاس (Laplace) (توزيع أُسِّي مزدوج). مع انتشار زاوي بمقدار 14 درجة؛ ويتم حساب الانتشار الزاوي والفترة الزاوية كالتين في النسبة ذروة القدررة إلى L_{th} . ويبين هذا الرقم أن هذه المعلمات تتعرض لتغيرات واضحة حتى بالنسبة للقيم المتماثلة في الأساس. بيد أنه يجب تحديد القيمة المستخدمة ل (ΔL) في التقييم الإحصائي.

الشكل 9

مثال لتأثير الحد الأدنى لنسبة ذروة إلى $L_{th}(\Delta L)$ 

P.1407-09

4 معلمات تغيرات الإشارة المستقبلية

1.4 تعريف تغيرات الإشارة المستقبلية بدلالة الزمن والتردد

يمكن قياس تغيرات الإشارة المستقبلية في الزمن والتردد من الكسب الدوري عبر نطاق التردد المعني خلال فترة زمنية قصيرة أو من تحويل فورييه للاستجابات النبضية قصيرة الأجل. والاستجابة الترددية المتغيرة مع الزمن بالمقياس الصغير الناتجة، $H(f,t)$ ، الموضحة في الشكل 10، يمكن استعمالها لتوليد دالة متوسط التغيرات للقناة $R_H(f, f'; t, t')$ كما هو وارد في المعادلة (16)، حيث E هي التوقع:

$$(16) \quad R_H(f, f'; t, t') = E\{H(f, t)H^*(f', t')\}$$

وطبقاً لفرضية الانتثار غير المترابط الثابت على نطاق واسع (WSSUS)، فإن الدالة الواردة في المعادلة (16) تصبح دالة في الاختلاف في التردد Δf ، والاختلاف في الزمن، Δt ، $R_H(\Delta f, \Delta t)$.

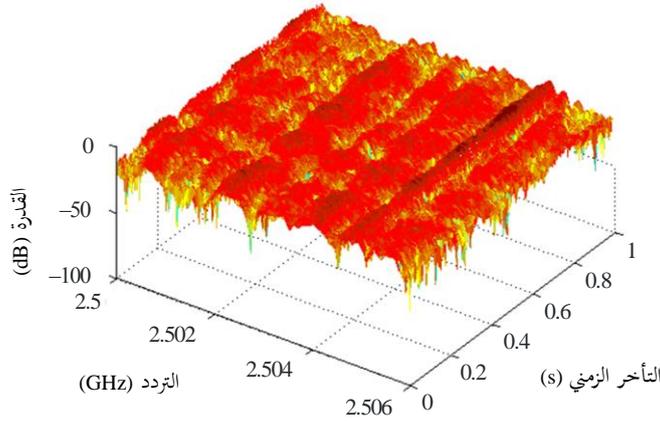
ويعبر عن درجة الترابط بدالة معايرة لرحضة التردد ورحضة الزمن ترد أدناه في المعادلة (17).

$$(17) \quad \rho(\Delta f, \Delta t) = \frac{R_H(\Delta f, \Delta t)}{\sqrt{E\{|H(f, t)|^2\}E\{|H(f+\Delta f, t+\Delta t)|^2\}}}$$

وتعرف المعلمات المتعلقة بدالة متوسط التغيرات الواردة في المعادلة (16) والدالة $H(f,t)$ في الفقرة 2.4.

الشكل 10

دالة التردد المتغير مع الزمن بمقياس صغير



P.1407-10

2.4 تعريف المعلمات الإحصائية

1.2.4 عرض النطاق المماسك أو ترابط التردد

بالنسبة للقنوات WSSUS التي يسود فيها مكون مسيرات متعددة، يتحصل على النطاق المماسك (الترابط) من المعادلة (18a). وبالنسبة للمظاهر الجانبية لتأخر القدرة التي تبرز بنية كبيرة من المسيرات المتعددة، يمكن تقدير عرض النطاق المماسك من تحويل فورييه $C(f)$ لكثافة القدرة للاستجابة النبضية $p(\tau)$ على النحو التالي في المعادلة (18b):

$$(18a) \quad R_H(\Delta f) = R_H(\Delta f, \Delta t)|_{\Delta t=0}$$

$$(18b) \quad C(f) = \int_0^{\tau_c} P(\tau) \exp(-j2\pi f\tau) d\tau$$

ويعرف عرض نطاق الترابط، B_x ، بالتردد الذي يكون فيه $|R_H(\Delta f)|$ أو $|C(f)|$ يساوي %x من $R_H(\Delta f = 0)$ أو $C(f = 0)$.

2.2.4 الزمن المتناسك أو ترابط الزمن

بالنسبة للانتشار WSSUS، يقدر الزمن المتناسك من الترابط الزمني للقناة كالتالي في المعادلة (19).

$$(19) \quad R_H(\Delta t) = R_H(\Delta\omega, \Delta t)|_{\Delta\omega=0}$$

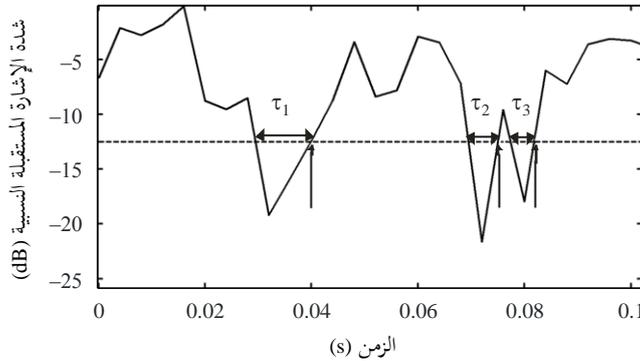
ويعرف الزمن المتناسك، T_x ، بأنه الفاصل الزمني الذي يكون فيه $|R_H(\Delta t)|$ مساوياً %x من $|R_H(\Delta t = 0)|$.

3.2.4 معدل قطع المستوى ومتوسط فترة الخبو

يتحصل على معدل قطع المستوى (LCR) ومتوسط فترة الخبو (AFD) من التغيرات في شدة الإشارة المستقبلية عند تردد وحيد كدالة في الزمن أو المسافة، أو من اتساع دالة التردد المتغير مع الزمن عند تردد وحيد مقاس كدالة في الزمن أو المسافة. وبالنسبة لفاصل زمني معين، يكون المعدل LCR هو عدد المرات التي تقطع فيها الإشارة المستقبلية مستوى معين، في حين يكون متوسط فترة الخبو (AFD)، الفترة الزمنية التي تقضيها الإشارة تحت هذا المستوى المحدد. فمثلاً، بالنسبة لمستوى يبلغ -12,5 dB، يوضح الشكل 11 المعدل LCR والمتوسط AFD حيث تشير الأسهم مزدوجة الرؤوس إلى الزمن الذي تظل فيه الإشارة تحت المستوى، في حين تشير الأسهم الرأسية إلى الأزمنة التي يقطع فيها المستوى المحدد في الاتجاه الموجب.

الشكل 11

شدة الإشارة المستقبلية مقابل الزمن



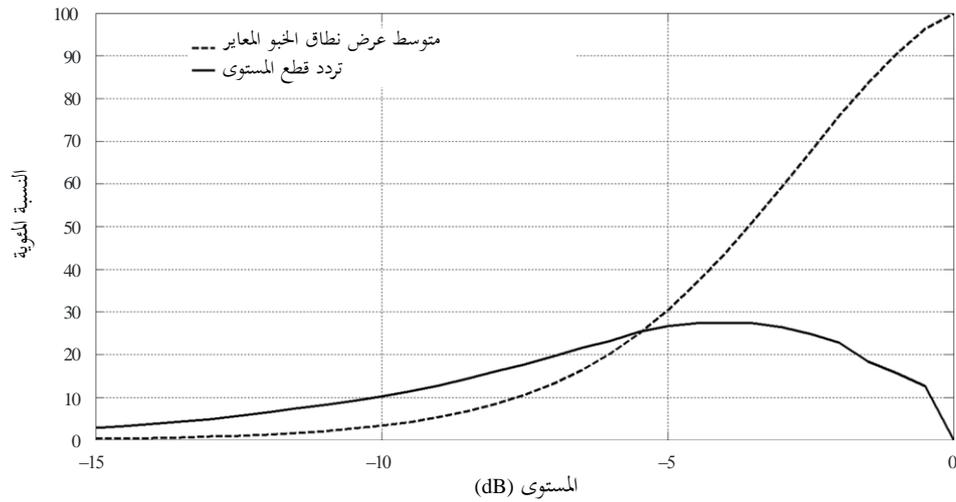
P.1407-11

4.2.4 تردد قطع المستوى ومتوسط عرض نطاق الخبو

يتحصل على تردد قطع المستوى (LCF) ومتوسط عرض نطاق الخبو (AFBW) من التغيرات في شدة الإشارة المستقبلية كدالة في التردد أو من اتساع دالة التردد المتغير مع الزمن عند لحظة زمنية وحيدة، كما هو مبين في الشكل 11، بعد أن يستعاض عن محور الزمن بمحور التردد. وبالنسبة لعرض نطاق معين، فإن التردد LCF يكون عدد المرات التي تقطع فيها الإشارة المستقبلية مستوى معين وAFBW هو متوسط مدى الترددات التي يقع أسفل المستوى المحدد. ويوضح الشكل 12 المعلمتين المحسوبيتين لمستوى عتبة يتراوح بين -15 dB و 0 dB.

الشكل 12

متوسط عرض نطاق الخبو المعايير وتردد قطع المستوى



P.1407-12

5.2.4 المعلومات الموصى بها

يعرف عرض نطاق الترابط بنطاق الترددات التي تكون فيه دالة الترابط الأوتوماتي لدالة التحويل فوق عتبة معينة؛ والقيم النمطية للعتبة هي: 0,5 و 0,9. ويقدر المعدل LCR عادة بعدد مرات قطع المستوى لكل ثانية فيما يقدر التردد LCF بعدد مرات قطع المستوى لكل MHz.

الملحق 2

1 المقدمة

يوضح هذا الملحق بعض نتائج حساب معاملات الترابط من مظهر جانبي زاوي للقدرة وتأثير معاملات الترابط على ساعات القنوات متعددة المدخلات متعددة المخرجات (MIMO).

2 حساب معاملات الترابط المكاني

تم استخدام التعريف الوارد في المعادلة (14) بالملحق 1 لحساب الترابط المكاني. ويقدم هذا الملحق باختصار النتيجة ويوضح كيف يتأثر الترابط بتباعد الهوائي.

ويبين الشكل 13 توزيع نموذجي مشذب على شكل لابلاس لطيف سمت القدرة (PAS) مثل:

$$(20) \quad PAS_L(\varphi) = \sum_{k=1}^{N_c} \frac{Q_{L,k}}{\sigma_{L,k} \sqrt{2}} \exp \left[-\frac{\sqrt{2} |\varphi - \varphi_{0,k}|}{\sigma_{L,k}} \right] \left\{ \varepsilon[\varphi - (\varphi_{0,k} - \Delta\varphi_k)] - \varepsilon[\varphi - (\varphi_{0,k} + \Delta\varphi_k)] \right\}$$

حيث $\varepsilon(\varphi)$ عبارة عن دالة درجية و N_c عدد المجموعات، $\varphi_{0,k}$ زاوية السقوط المتوسطة للمجموعة k -th، $\sigma_{L,k}$ الانتشار الزاوي. ويعرف PAS عبر $[\varphi_0 - \Delta\varphi, \varphi_0 + \Delta\varphi]$. ويفترض شرط تسوية القدرة على النحو التالي:

$$(21) \quad \sum_{k=1}^{N_c} Q_{L,k} \left[1 - \exp \left(-\frac{\sqrt{2} \Delta\varphi_k}{\sigma_{L,k}} \right) \right] = 1$$

ويُستنتج معامل ترابط الغلاف من الصيغة:

$$(22) \quad \rho_e(D) = |R_{XX}(D) + jR_{XY}(D)|^2$$

حيث:

$$2\pi d/\lambda = D$$

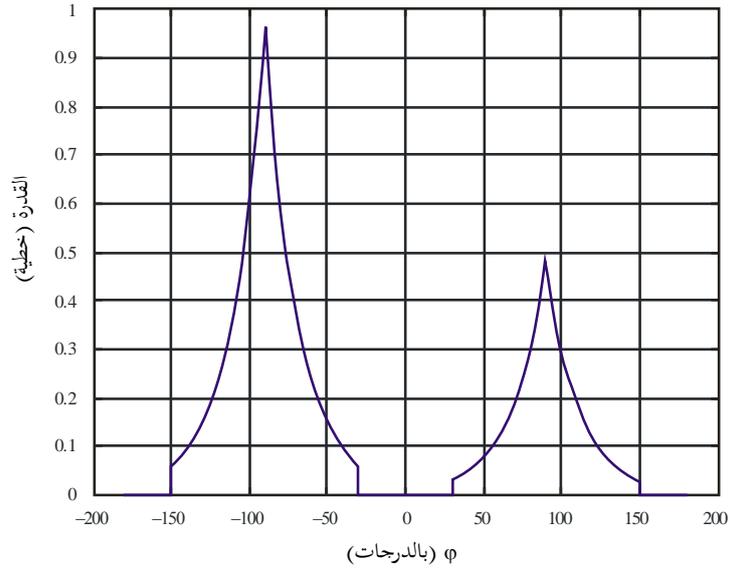
d : مبعادة الهوائي

λ : طول الموجة،

وتعرف دالتا الترابط المتبادل $R_{XX}(D)$ و $R_{XY}(D)$ في المعادلة (15).

الشكل 13

توزيع نموذج مشذب على شكل لابلاس لطيف سمت القدرة (PAS)



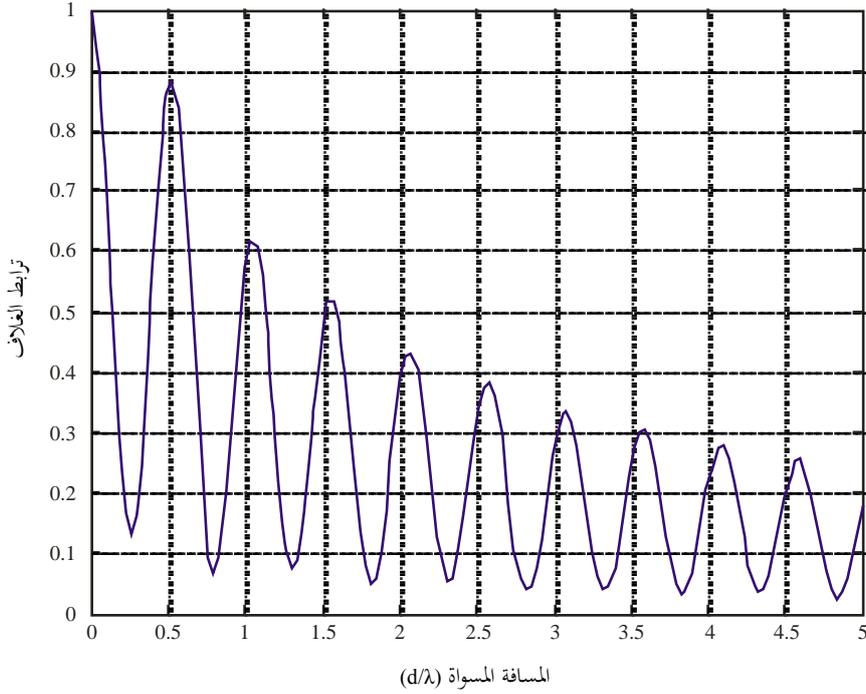
P.1407-13

طيف سمت القدرة المسوي على شكل لابلاس بالنسبة لحالة المجموعتين $\varphi_0 \in [-90^\circ, +90^\circ]$ ، $AS = 30^\circ$.
أضف إلى ذلك أن المجموعة ذات $+90^\circ$ لها قدرة تساوي نصف قدرة الحالة ذات الزاوية -90° .

ويوضح الشكل 14 الترابط المكاني الناتج.

الشكل 14

الترابط المكاني الناتج



P.1407-14

معامل تربط الغلاف قبالة المسافة المسواة d/λ بالنسبة لحالة المجموعتين المبينة في الشكل 13.

3 تأثير معاملات الترابط على سعات القنوات متعددة المدخلات متعددة المخرجات (MIMO)

بالنسبة لقنوات خبو رايلي، فإن السعة الطاقية للقنوات متعددة المدخلات متعددة المخرجات بدون معارف القناة عند المرسل تكون:

$$(23) \quad C = \log_2 \det \left(I_{n_R} + \frac{P}{n_T \sigma^2} R_R^{1/2} H_w R_T H_w^H (R_R^{1/2})^H \right) = \log_2 \det \left(I_{n_R} + \frac{P}{n_T \sigma^2} H_w R_T H_w^H R_R^H \right)$$

حيث:

n_T و n_R : أعداد هوائيات المستقبل والمرسل، على التوالي

p : متوسط القدرة المستقبلية لكل هوائي

σ^2 : قدرة الضوضاء عند كل هوائي استقبال

I_{n_R} : مصفوفة هوية $n_R \times n_R$

$\det(\cdot)$ و $(\cdot)^H$: عمليتا الهرمته والتحديد، على التوالي

H_w : مصفوفة عناصرها تتكون من متغيرات عشوائية مستقلة موزعة تماثلياً على شكل غوسي معقد متوسط

قدره صفر ومعامل تفاوت قدره الوحدة

$(\cdot)^{1/2}$: الجذر التربيعي الهرميتي لمصفوفة.

وتحدد المصفوفتان R_T و R_R الترابطات المكانية بين المستقبلات والمرسلات، على التوالي، حيث تُعرّف المصفوفة H بالصيغة التالية
 $R_T^{1/2}$ و $H = R_R^{1/2} H_w R_T^{1/2}$ ، $R_R^{1/2}$ عبارة عن مصفوفتين هرميتين محددين موجبتين. وفي النهاية فإنه يفترض تسويتها على
 النحو التالي: $[R_R]_{j,j}$ for $j = 1, K, n_R$ and $[R_T]_{i,i}$ for $i = 1, K, n_T$.

وبفرض أن R_T و R_R لهما الرتبة الكاملة وأن $n_R = n_T = n$ ، لذا فإنه عند $S/N (p/\sigma^2)$ عالية يمكن تقريب السعة على النحو التالي:

$$(24) \quad C \approx \log_2 \det \left(\frac{P}{n_T \sigma^2} H_w H_w^H \right) + \log_2 \det(R_R) + \log_2 \det(R_T)$$

فيذا أشرنا إلى القيم الذاتية $\lambda_i = R_R$ ، $i = 1, K, n$ ، لذا فإن $\sum_{i=1}^n \lambda_i = n$. ومن علاقة عدم التساوي بين المتوسط الحسابي والمتوسط الهندسي:

$$(25) \quad \prod_{i=1}^n \lambda_i \leq 1$$

وحيث إن: $\det(R_R) = \prod_{i=1}^n \lambda_i$ ، فهذا يعني أن $\log_2 \det(R_R) \leq 0$ ويكون صفر فقط إذا كانت كل القيم الذاتية لـ R_R متساوية،
 بمعنى أن تكون $R_R = I_n$. لذا، فإن الترابط يحدد سعة القنوات متعددة المدخلات متعددة المخرجات ويمكن الحصول على الفقد
 في السعة الطاقية عند نسبة إشارة إلى ضوضاء عالية بالصيغة $(\log_2 \det(R_R) + \log_2 \det(R_T))$ bit/s/Hz.

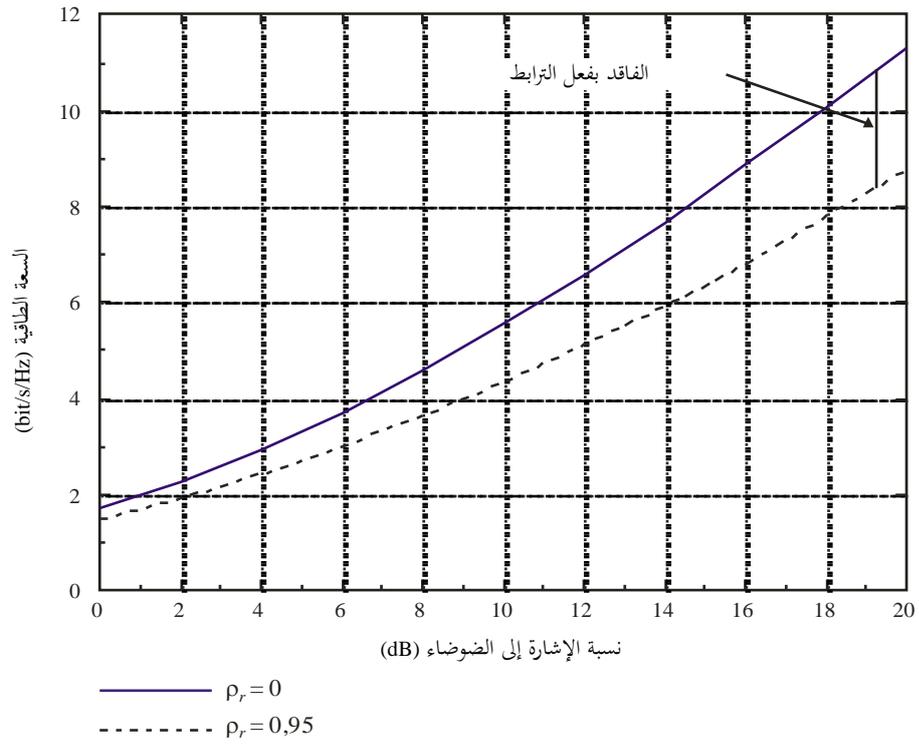
ويوضح الشكل 15 تأثير الترابط المكاني على السعة الطاقية لقناة متعددة المدخلات متعددة المخرجات عندما يكون $n_T = n_R = 2$.
 ويفترض في الشكل أن $R_T = I_2$. ويتم اختيار مصفوفة ترابط المستقبل على أساس الصيغة:

$$(26) \quad R_R = \begin{bmatrix} 1 & \rho_R \\ \rho_R^* & 1 \end{bmatrix}$$

حيث ρ_R تشير إلى الترابط المكاني بين الهوائيات المستقبلية.

الشكل 15

السعة الطاقية مع ترابط مستقبلي منخفض وعالي



الملحق 3

1 المقدمة

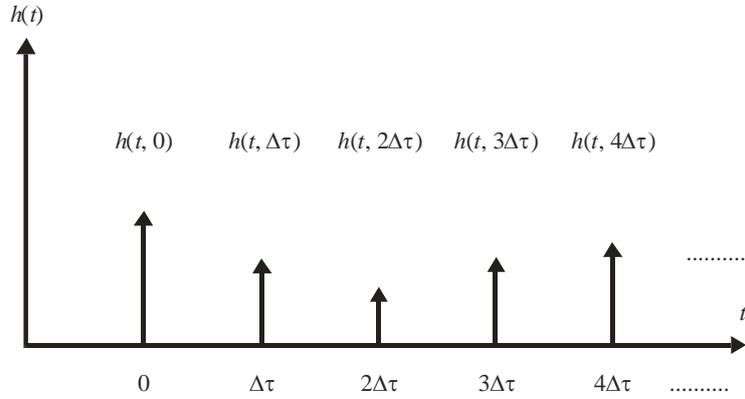
يعتمد تفكيك مكونات المسيرات المتعددة في بيانات مقاسة على عرض نطاق شكل الموجة المستعملة في القياسات. ومكونات المسيرات المتعددة التي لا يتم تفكيكها تتسبب في تغيرات للإشارة مع الزمن أو مع المسافة نتيجة لحركة أي من المرسل أو المستقبل أو نتيجة لتغيرات في البيئة كما هو مبين في الشكل 1. ويمكن نمذجة هذه التغيرات بدلالات كثافة الاحتمال مثل دالة رالي ورايس كما هو وارد في التوصية ITU-R P.1057.

2 توليد قناة واسعة النطاق

يمكن استعمال الاستجابة النبضية المتغيرة مع الزمن لنمذجة القناة كخط تأخير متفرع كما هو مبين في الشكل 16A حيث يتم تأخير كل تفرعة بمقدار $\Delta\tau$ يقابل استبانة التأخر الزمني للمسيرات المتعددة ومعامل تفرع يمثل التغيرات الزمنية للمجموعة التي لم يتم تفكيكها من مكونات المسيرات المتعددة في فاصل التأخر الزمني هذا.

الشكل 16A

مثال على مسيرات متعددة تستعمل في توليد القناة



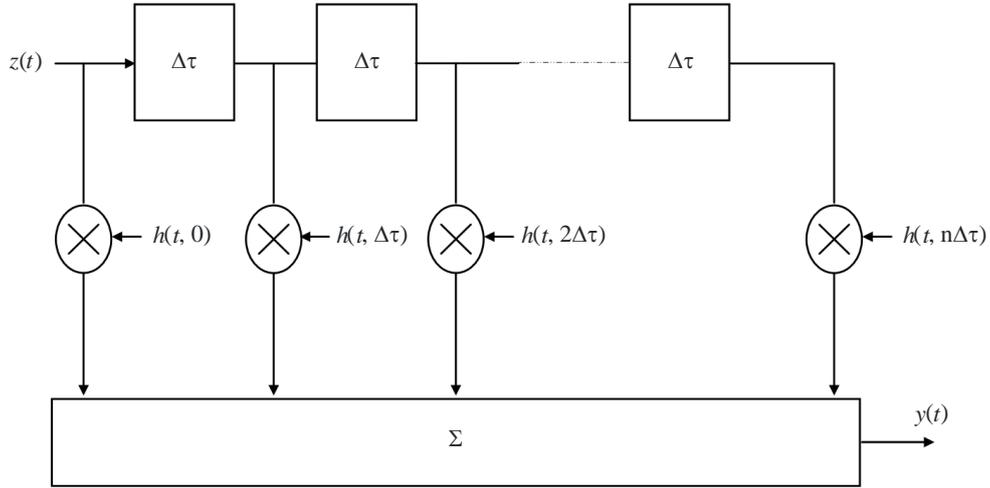
P.1407-16a

بالنسبة لمحاكات الأنظمة، يكفي الاستعاضة عن الكثير من المسيرات المتعددة المنتشرة التي قد تكون موجودة في قناة حقيقية بعدد قليل فقط من مكونات المسيرات المتعددة، $m=n+1$ ، في النموذج كما هو مبين في الشكل 16B. ويعطي ذلك استجابة القناة $h(t)$ ، في المعادلة (27):

$$(27) \quad h(t) = \sum_{i=0}^n h_i \delta(t - i\Delta\tau)$$

الشكل 16B

نموذج خط تأخير متفرع لمسيرات متعددة



P.1407-16b

بالنسبة للتأخيرات الزمنية التي يكون لها مكون مهيم أو يكون على خط البصر (LOS)، يتحصل على نموذج القناة لكل مجموعة من مكونات المسيرات المتعددة بواسطة دالة كثافة الاحتمال من النمط رايس. وعندما يساوي معامل K ، الصفر، يمكن استعمال نموذج رايلي. ويعطى النموذج العام للقناة في المعادلة (28):

$$(28) \quad h(t) = \sum_{i=0}^n \left\{ \sqrt{\frac{K_i p_i}{K_i + 1}} e^{j(2\pi f_{o,i} t + \varphi_{o,i})} + \sqrt{\frac{p_i}{K_i + 1}} g_i(t) \right\} \delta(t - i\Delta\tau)$$

حيث:

K_i : معامل رايس، K ، للمكون رقم i المعرف كنسبة لقدرة المكون المهيمن أو المكون على خط البصر إلى المكون المتناثر. وعندما يكون المعامل $K_i = 0$ ، يكون التوزيع الناتج من نوع رايلي

p_i : القدرة المتوسطة للمكون رقم i في الدالة $h(t)$ ويساوي $p_i = E[|h_i(t)|^2]$

$f_{o,i}$: التردد الدوبلري للمكون المهيمن أو المكون على خط البصر للمكون رقم i في الدالة $h(t)$ ويساوي $F_{D\max,i} \cos \theta_{o,i}$ ، حيث $F_{D\max,i}$ هي الإزاحة الدوبلرية القصوى و $\theta_{o,i}$ هي زاوية السمات للورود

$\varphi_{o,i}$: الطور الابتدائي للمكون على خط البصر للمكون رقم i في الدالة $h(t)$

$g_i(t)$: إشارة بوحدة القدرة معقدة ذات متوسط يساوي الصفر تمثل انتشار المكونات المتناثرة وبالنسبة لعدد كبير من مسببات الانتثار، يمكن معاملة الدالة $g_i(t)$ كعملية عشوائية غوسية معقدة بوحدة التغير تمر عبر المرشاح الدوبلري رقم i .