

الاتحاد الدولي للاتصالات

# ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

**التوصية ITU-R P.1407-7**  
(2019/08)

**الانتشار عبر مسيرات متعددة  
وتحديد معالم خصائصه**

**السلسلة P**  
**انتشار الموجات الراديوية**

## تمهيد

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

## سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يُرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهروتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في القرار ITU-R 1. وترد الاستثمارات 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.

### سلسلة 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
<b>انتشار الموجات الراديوية</b>	<b>P</b>
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، 2020

© ITU 2020

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 ITU-R P.1407-7

## الانتشار عبر مسيرات متعددة وتحديد معالم خصائصه

(المسألة ITU-R 203/3)

(1999-2003-2005-2007-2009-2013-2017-2019)

## 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.

## مصطلحات أساسية

المقطع الجانبي للتأخير، المقطع الجانبي لزاوية السمات/الارتفاع، المقطع الجانبي لتأخير القدرة الاتجاهية، دوبلر، القدرة الإجمالية، مكونات متعددة المسيرات.

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 المجد توحيد المصطلحات والتعابير المستخدمة في تحديد خصائص المسيرات المتعددة،

## توصي

- 1 باستخدام المصطلحات والتعاريف 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 تعادل مضاعفات طول الموجة بفعل التغيرات في زوايا الطور لمكونات الإشارة في المقام الأول؛

(ب) الخبو البطيء الذي يتغير عبر مسافات أطول ويعزى أساساً إلى تغيرات في خسارة الحجب بالأشياء المحيطة. وعلاوة على ذلك، يمكن لمختلف مكونات الإشارة أن تتعرض لإزاحة دوبلر (Doppler) بمقادير مختلفة نتيجةً لحركة الأجهزة المتنقلة أو لأشياء عاكسة مثل المركبات.

ويمكن وصف القناة المتنقلة ذات المسيرات المتعددة بدلالة استجابتها النبضية التي تتغير بمعدل يتوقف على سرعة حركة الجهاز المتنقل و/أو مصادر الانتشار. 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 المقطع الجانبي لتأخير القدرة وأطياف دوبلر التي يمكن الحصول عليها من قياسات سبر القناة عريضة النطاق.

وتبدي الإشارات المرسله من وإلى المركبات المتنقلة في بيئات حضرية أو حراجية تغيرات متطرفة في الاتساع بحكم الانتشار المتعدد. وتشيع حالات خبو تبلغ 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 لهذه التوزيعات القطاعية الصغيرة من منطقة إلى أخرى، حسب ارتفاع وكثافة وتوزيع التلال والأشجار والأبنية والهياكل الأخرى.

ومن الناحية المادية، تتمثل معلمات الانتشار متعدد المسيرات في عدد المسيرات المتعددة والاتساع وفارق طول المسير (التأخير) والزحزة الدوبلرية وزاوية الوصول. ويمكن تحديد 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 وكثافة القدرة. وتحدد هذه الدالة مرشحاً مستعرضاً خطياً يكون خرجة عبارة عن مجموع الارتدادات المتعددة المتأخرة والموهنة والمزاحة دوبلرياً لإشارة الدخل. ويفيد ذلك في تحقيق جهاز محاكاة في شكل مرشح مستعرض دينامي. وتستعمل دالة الانتشار الدوبلري للتأخير هذه في تقدير المقطع الجانبي لتأخير القدرة والطيف 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 الترابط ويعطي تغيرها الزمني خصائص الخبو عند تردد معين.

وترد في الفقرات 2 و3 و4 تعاريف معلمات قناة القطاع الصغير (أو النطاق الصغير). وبعد ذلك، تُستعمل إحصاءات معلمات الحجم الصغير لإيجاد دوال التوزيع التراكمية (CDF). وتغطي دالة التوزيع التراكمية للحجم المتوسط أحد طرق القياس التي تمتد بواقع عشرات إلى مئات الأمتار. وتُعتبر مجموعة البيانات المجمّعة من عدد من الطرق متوسطة الحجم وصفاً واسع النطاق أو شاملاً يمثل البيئة المستطلّعة، من قبيل التضاريس الجبلية وبيئة المدن وضواحيها والغرف الكبيرة داخل المباني والممرات، وما إلى ذلك.

## 2 معلمات المقطع الجانبي للتأخير

### 1.2 تعاريف المقطع الجانبي لتأخير القدرة

يمكن حساب المعلمات المناسبة للوصف الإحصائي لمدة التأخير الناجم عن تعدد المسيرات من أي نوع من الأنواع الثلاثة للمقطع الجانبي لتأخير القدرة: المقطع الجانبي للتأخير اللحظي للقدرة؛ أو المقطع الجانبي لتأخير القدرة قصير الأمد؛ أو المقطع الجانبي لتأخير القدرة طويل الأمد، وهي جميعها إما متوسطات زمنية يتم الحصول عليها عندما يكون المستقبل ثابتاً وتمثل تغيرات في البيئة، أو متوسطات مكانية يتم الحصول عليها عندما يكون المستقبل متحركاً.

ويبين الشكل 1 تعاريف المقطع الجانبي لتأخير القدرة.

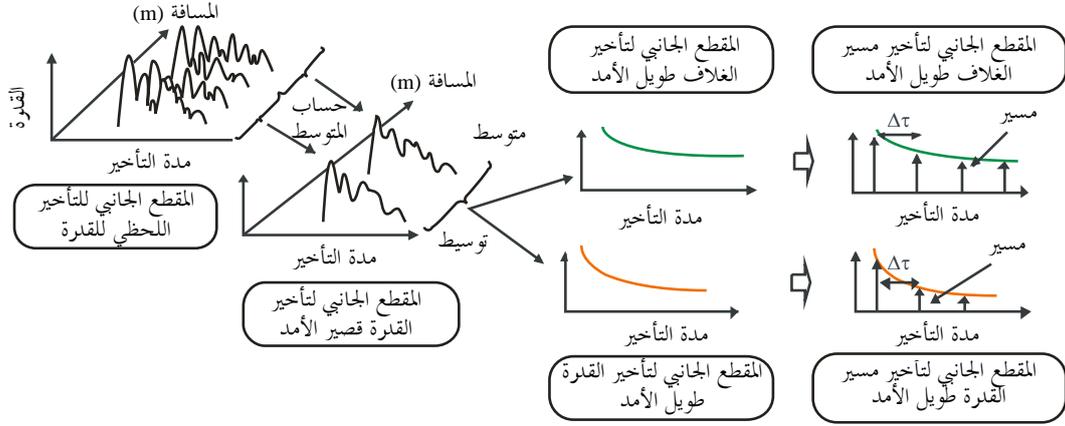
ويتمثل المقطع الجانبي للتأخير اللحظي للقدرة في كثافة قدرة الاستجابة النبضية عند لحظة معينة وعند نقطة معينة.

ويتم الحصول على المقطع الجانبي لتأخير القدرة قصير الأمد (على نطاق صغير) من خلال حساب المتوسط المكاني للمقطع الجانبي للتأخير اللحظي للقدرة عبر عدة عشرات من الأطوال الموجية داخل المدى الذي يتم فيه الحفاظ على نفس مكونات المسيرات

المتعددة من أجل القضاء على التغير الناتج عن الخبو السريع. ويمكن الحصول عليه بدلاً من ذلك من دالة الانتشار دوبلري للتأخير المبينة في الشكل 2A بأخذ مجموع مربع المقدار عبر محور الزحزحة الترددية الدوبلرية، كما هو موضح في الشكل 2B.

الشكل 1

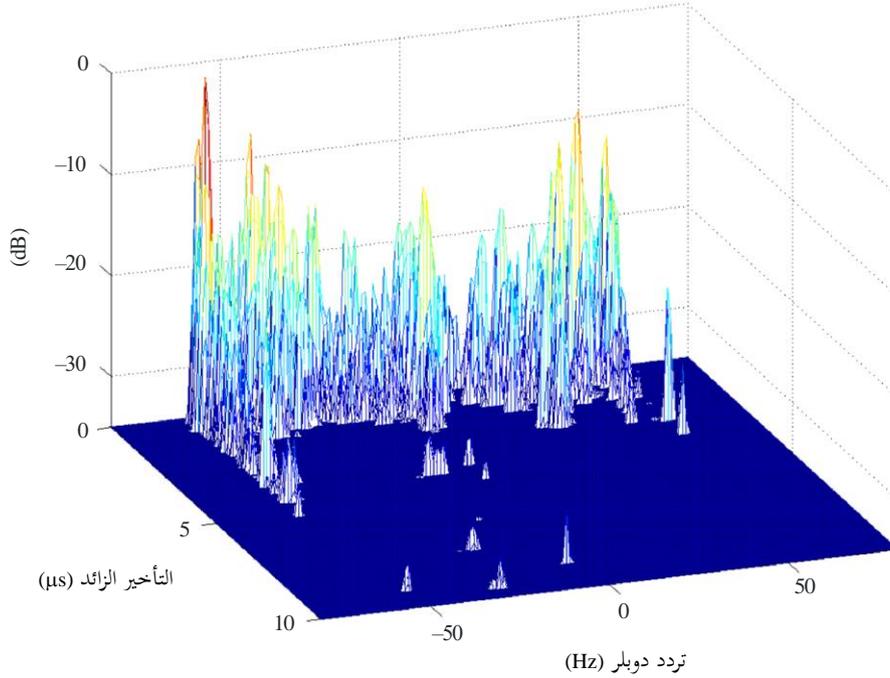
## تعريف المقطع الجانبي لتأخير القدرة



P.1407-01

الشكل 2A

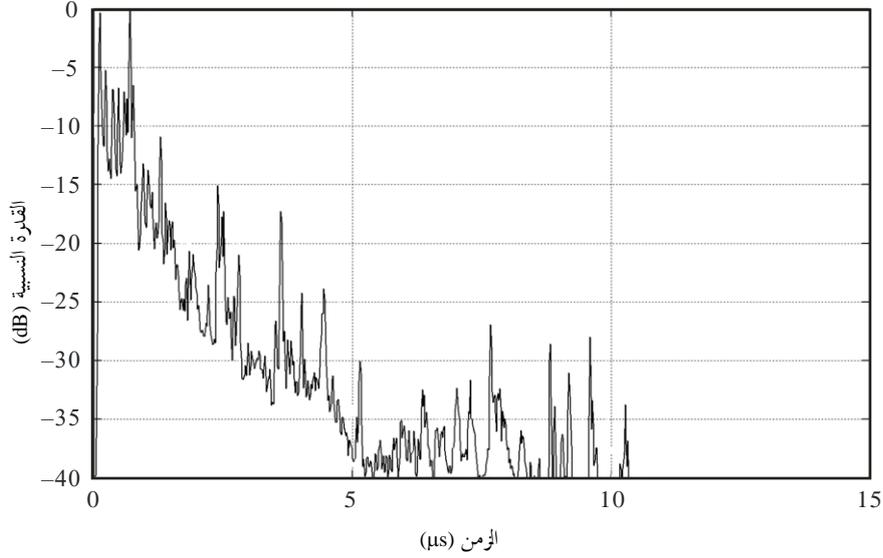
## دالة الانتشار دوبلري للتأخير



P.1407-02a

الشكل 2B

استجابة القدرة النسبية مقابل الزمن



P.1407-02b

ويتم الحصول على المقطع الجانبي لتأخير القدرة طويل الأمد من حساب المتوسط المكاني للمقطع الجانبي لتأخير القدرة قصير الأمد على نفس المسافة تقريباً من المحطة القاعدة (BS) من أجل القضاء على التغيرات الناجمة عن الحجب.

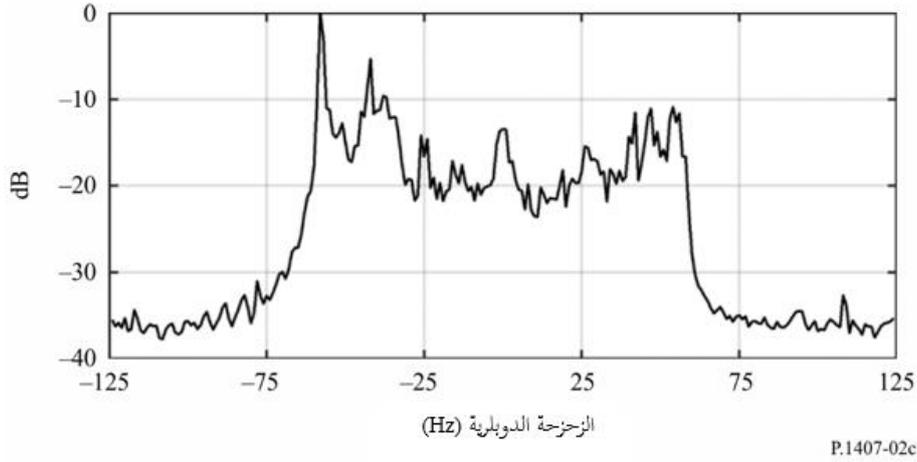
ويعرّف المقطع الجانبي لتأخير القدرة طويل الأمد ذات الزيادة الواضحة في مدة التأخير المقيّس باستبانة زمنية قدرها  $1/B$ ، حيث  $B$  هو عرض النطاق، بأنه المقطع الجانبي لتأخير مسير القدرة طويل الأمد بدلاً من المقطع الجانبي لتأخير القدرة المستمر.

ومن ناحية أخرى، يعرّف المقطع الجانبي لتأخير الغلاف طويل الأمد بأنه القيمة المتوسطة للمقطع الجانبي لتأخير القدرة قصير الأمد عند نفس المسافة تقريباً من المحطة القاعدة؛ وهو يعبر عن شكل المقطع الجانبي للتأخير في المنطقة المعنية.

ويمكن الحصول على الطيف الدوبلري من خلال أخذ مجموع مربع المقدار عبر محور زمن التأخير لدالة الانتشار الدوبلري للتأخير، كما هو موضح في الشكل 2C.

ويتم الحصول على المقطع الجانبي لتأخير القدرة قصير الأمد (على نطاق صغير) من خلال حساب المتوسط المكاني للمقطع الجانبي للتأخير اللحظي للقدرة داخل المدى الذي يتم فيه الحفاظ على نفس مكونات المسيرات المتعددة من أجل القضاء على التغير الناجم عن الحجب السريع، كما هو مذكور في الفقرة 6. ويمكن الحصول عليه بدلاً من ذلك من دالة الانتشار الدوبلري للتأخير المبينة في الشكل 2A بأخذ مجموع مربع المقدار عبر محور الزخزعة الترددية الدوبلرية، كما هو موضح في الشكل 2B.

الشكل 2C  
الطيف الدوبلري



## 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 المقطع الجانبي لتأخير القدرة (مربع اتساع الاستجابة النبضية). وامتداد التأخير الفعال (*r.m.s.*) هو الانحراف المعياري المرجح لقدرة فائض التأخيرات ويعطى بالعزم الثاني للمقطع الجانبي لتأخير القدرة. وهو يوفر مقياساً لقابلية تغيير متوسط التأخير. ونافذة التأخير هي طول القسم المتوسط للمقطع الجانبي لتأخير القدرة الذي يحوي نسبة مئوية معينة (90% عادةً) من مجمل القدرة الموجودة في تلك الاستجابة النبضية. ويعرّف فاصل التأخير على أنه طول الاستجابة النبضية بين قيمتي فائض التأخير اللتين 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 مقطع جانبي لتأخير القدرة والتي يقع اتساعها ضمن dB A من أعلى ذروة وفوق المستوى الأدنى للضوضاء. وتقدم تعاريف المعلمات الإحصائية نسبة إلى الشكلين 3A و 3B. وجدير بالإشارة أن المقطع الجانبي لتأخير القدرة مبين في الشكلين بالديسبل، غير أن معادلات مجموع القدرة تعبر عن القدرة بوحدات خطية للقدرة.

### 1.2.2 القدرة الإجمالية

القدرة الإجمالية،  $p_m$ ، 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 مدة التأخير

يعطى متوسط التأخير،  $T_D$ ، بالعزم الأول للمقطع 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:

$\tau$ : متغير فائض تأخير زمني ويساوي  $t - t_0$

$\tau_a$ : وقت ورود أول مكثف مستقبل من المسيرات المتعددة (الذروة الأولى في المواصفات)

$$\tau_e = t_0 - t_3$$

وهناك شكل منقطع للمعادلة (2a) عندما تكون الاستبانة الزمنية  $\Delta\tau (= 1/B)$ ، يكون على النحو التالي:

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

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

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

ويمكن تحديد التأخيرات من العلاقة التالية:

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

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

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

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

وهناك شكل منقطع للمعادلة (4a) عندما تكون الاستبانة الزمنية  $\Delta\tau$ ، يكون على النحو التالي:

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

#### 4.2.2 نافذة التأخير

نافذة التأخير،  $W_q$ ، هي طول القسم الأوسط من المقطع الجانبي لتأخير القدرة الذي يحوي نسبة مئوية معينة،  $q$ ، من القدرة الإجمالية:

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

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 جزأين متساويين  $\left(\frac{100-q}{200}\right) P_m$ .

#### 5.2.2 فاصل التأخير

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

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

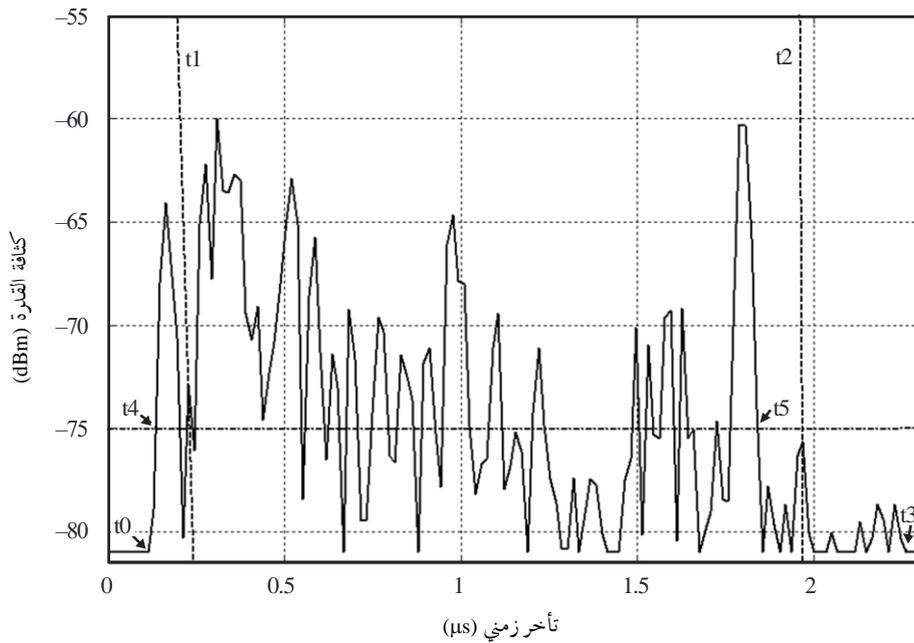
#### 6.2.2 عدد مكونات المسيرات المتعددة

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

#### 7.2.2 القيم الموصى بها للمعلمات

يوصى من أجل تحليل البيانات بنوافذ تأخير لنسب 50% و 75% و 90% من القدرة، ونفاصل تأخير لعتبات مقدارها 9 و 12 و 15 dB دون الذروة. وتجدر الإشارة إلى أن تأثيرات الضوضاء والإشارات الطفيلية في النظام (من معالجة الترددات الراديوية حتى معالجة البيانات) يمكن أن تكون كبيرة جداً. ومن ثم، من المهم تحديد عتبة الضوضاء و/أو الإشارات الهامشية بدقة في الأنظمة مع فرض هامش أمان فوق ذلك. ويوصى بهامش للأمان قدره 3 dB لضمان سلامة النتائج. ويوصى بأن يكون الحد الأدنى لنسبة ذروة الإشارة إلى الإشارة الهامشية، مثلاً، 15 dB (عدا هامش الأمان البالغ 3 dB)، وأن يُستعمل ذلك كمعيار قبول قبل إدراج الاستجابة النبضية في الإحصاءات. وتعتمد العتبة المستخدمة في تحديد عدد مكونات المسيرات المتعددة على المدى الدينامي لمعدات القياس؛ وتكون القيمة النموذجية أقل من مستوى الذروة للمقطع الجانبي للتأخير بمقدار 20 dB.

الشكل 3A

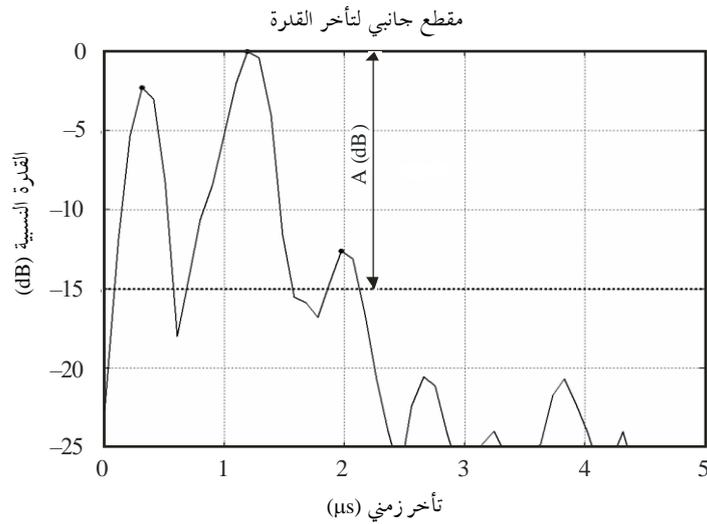


P.1407-03a

مقطع جانبي لتأخير القدرة يبيّن المعالم التالية: تُمَيِّز نافذة التأخير،  $W_{90}$ ، التي تحتوي على 90% من القدرة المستقبلية بين خطين عموديين متقطعين مقطوع جانبي لتأخير القدرة يبيّن المعالم التالية: تُمَيِّز نافذة التأخير،  $W_{90}$ ، التي تحتوي على 90% من القدرة المستقبلية بين خطين عموديين متقطعين  $(t_2$  و  $t_1$ )، ويقع فاصل التأخير،  $t_{15}$ ، الذي يحتوي على الإشارة فوق مستوى 15 dB دون الذروة بين  $t_4$  و  $t_5$ . ويشير  $t_0$  و  $t_3$  إلى بداية ونهاية المقطع الجانبي فوق الحد الأدنى للضوضاء.

الشكل 3B

مقطع جانبي لتأخير القدرة يبين مكونات المسيرات المتعددة فوق مستوى العتبة

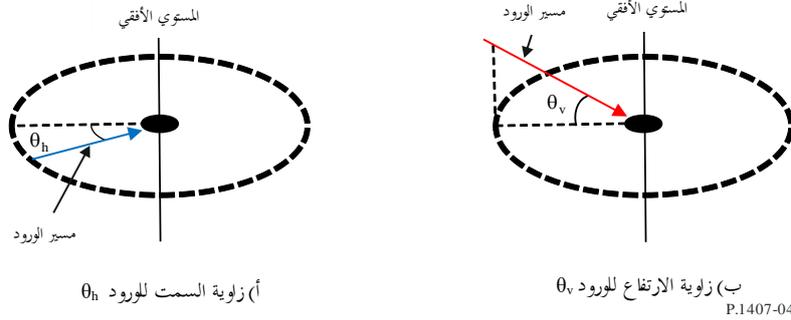


P.1407-03b

## 3 المعلمات المتعلقة باتجاه الورد

يبين الشكل 4 زاوية السميت للورد  $\theta_h$  وزاوية الارتفاع للورد  $\theta_v$ .

الشكل 4

زاوية السميت للورد  $\theta_h$  وزاوية الارتفاع للورد  $\theta_v$ 

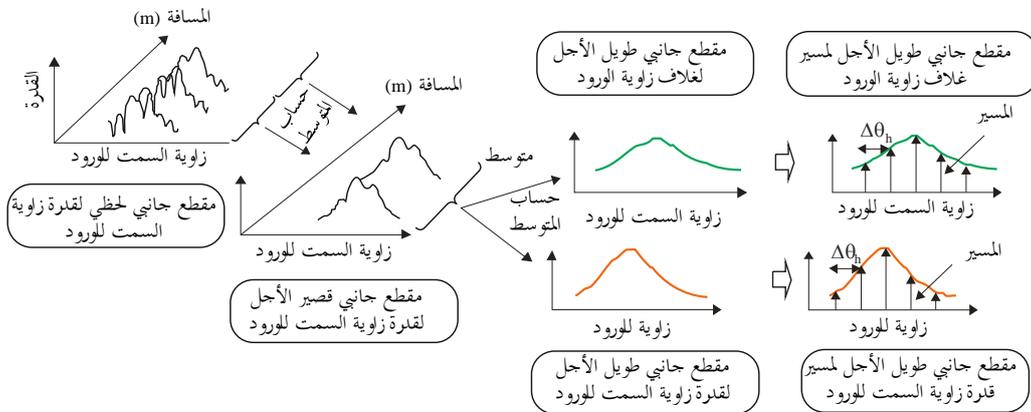
## 1.3 تعريف المقاطع الجانبية لقدرة زاوية السميت أو الارتفاع للورد

يمكن حساب المعلمات المناسبة للوصف الإحصائي لزاوية السميت أو الارتفاع عند ورود المسيرات المتعددة من أي نمط من الأنماط الثلاثة للمقطع الجانبي لقدرة زاوية سميت أو الارتفاع للورد: من مقطع جانبي لحظي؛ أو مقطع جانبي قصير المدى؛ أو مقطع جانبي طويل المدى لقدرة زاوية السميت أو الارتفاع للورد. وتمثل هذه القيمة إما المتوسطات الزمنية التي يتم الحصول عليها عندما يكون المستقبل مستقراً وتمثل التغيرات في البيئة، أو المتوسطات المكانية التي يتم الحصول عليها عندما يكون المستقبل متحركاً.

ويبين الشكل 5 (أ) تعريف المقاطع الجانبية لقدرة زاوية السميت للورد. ويبين الشكل 5 (ب) تعريف المقاطع الجانبية لقدرة زاوية الارتفاع للورد.

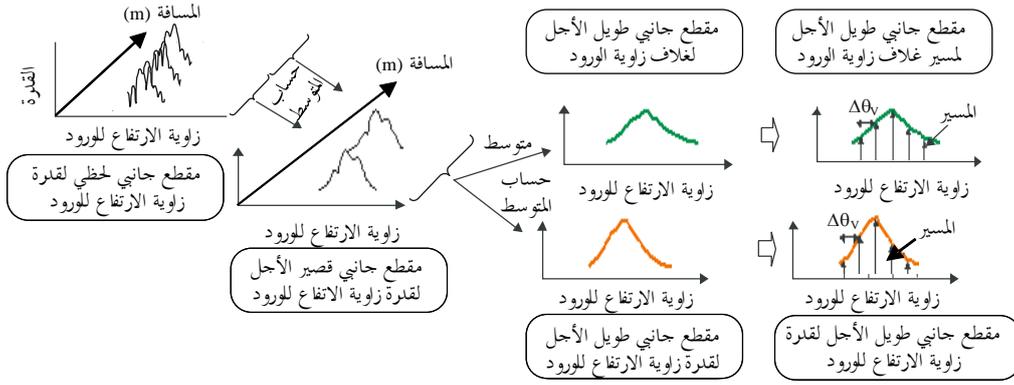
الشكل 5

## تعريف المقاطع الجانبية لقدرة زاوية السميت أو الارتفاع للورد



P.1407-05a

تعريف المقاطع الجانبية لقدرة زاوية السميت للورد (أ)



P.1407-05b

(ب) تعريف المقاطع الجانبية لقدرة زاوية الارتفاع للورود

والمقطع الجانبي لقدرة اللحظية لزاوية السمات أو الارتفاع للورود هو كثافة قدرة الاستجابة النبضية عند لحظة معينة وفي نقطة معينة. ويتم الحصول على المقطع الجانبي قصير الأمد لقدرة زاوية السمات أو الارتفاع للورود من خلال حساب المتوسط المكاني للمقاطع الجانبية لقدرة اللحظية لزاوية السمات أو الارتفاع للورود عبر عدة عشرات من الأطوال الموجية داخل المدى الذي يتم فيه الحفاظ على نفس مكونات المسيرات المتعددة من أجل القضاء على التغيرات الناجمة عن الخبو السريع.

ويتم الحصول على المقطع الجانبي طويل الأمد لقدرة زاوية السمات أو الارتفاع للورود من خلال حساب المتوسط المكاني للمقاطع الجانبية القصيرة الأمد لقدرة زاوية السمات أو الارتفاع للورود على نفس المسافة تقريباً من المحطة القاعدة (BS) من أجل القضاء على التغيرات الناجمة عن الخجب.

وتعرف المقاطع الجانبية طويلة الأمد لقدرة زاوية السمات أو الارتفاع للورود ذات القيم المتقطعة لزاوية السمات أو الارتفاع والمقيسة باستبانة زاوية السمات أو الارتفاع للهوائي، بأنها مقاطع جانبية لمسيرات طويلة الأمد لقدرة زاوية السمات أو الارتفاع للورود بدلاً من مقاطع جانبية مستمرة لقدرة زاوية السمات أو الارتفاع للورود.

ومن ناحية أخرى، يعرف المقطع الجانبي طويل الأمد لغللاف زاوية السمات أو الارتفاع للورود بأنه القيمة المتوسطة للمقاطع الجانبية قصيرة الأمد لمسيرات قدرة زاوية السمات أو الارتفاع للورود عند نفس المسافة تقريباً من المحطة القاعدة؛ وهو يعبر عن شكل المقطع الجانبي لقدرة زاوية السمات أو الارتفاع للورود في المنطقة المعنية.

### 2.3 تعاريف المعلمات الإحصائية

يرد فيما يلي تعاريف المعلمات المناسبة للوصف الإحصائي المتعلق بزاوية السمات أو الارتفاع المتعددة المسيرات للورود:

**متوسط زاوية السمات أو الارتفاع للورود** هو متوسط القدرة المرجحة لاتجاهات السمات أو الارتفاع للورود المقيسة ويعبر عنها باللحظة الأولى لطيف سمات أو ارتفاع القدرة. (ويمكن تسميتها أيضاً المقطع الجانبي لزاوية سمات أو ارتفاع القدرة.)

**والمقطع الجانبي لزاوية سمات أو ارتفاع القدرة** هو خاصية زاوية سمات أو ارتفاع القدرة داخل مستوى السمات أو الارتفاع.

**وجذر متوسط تريع الانتشار الزاوي في السمات أو الارتفاع** هو الانحراف المعياري لقدرة المرجحة لاتجاه السمات أو الارتفاع للورود ويعبر عنه باللحظة الثانية للمقطع الجانبي لزاوية سمات أو ارتفاع القدرة. وهو يعطي مقياساً لإمكانية التغير في متوسط زاوية السمات أو الارتفاع للورود.

**والنافذة الزاوية للسمات أو الارتفاع** هي عرض الجزء الأوسط للمقطع الجانبي لزاوية سمات أو ارتفاع القدرة الذي يحتوي على نسبة مئوية معينة معرفة من القدرة الإجمالية الموجودة في قياس ذلك المقطع الجانبي لزاوية سمات أو ارتفاع لقدرة.

وتعرف الفترة الزاوية في السمات أو الارتفاع (أو التباعد الزاوي في السمات أو الارتفاع) بأنها عرض الاستجابة النبضية (أو عرض المقطع الجانبي لزاوية السمات أو الارتفاع) بين قيمتين لاتجاه الورد. وهي تحدد الزاوية الأولى للسمات أو الارتفاع التي يتجاوز فيها اتساع المقطع الجانبي لزاوية السمات أو الارتفاع عتبة معينة والزاوية الأخيرة للسمات أو الارتفاع التي تقل فيها قيمة الاتساع عن هذه العتبة. وتعتمد العتبة المستخدمة على المدى الدينامي لجهاز القياس: حيث تبلغ القيمة النموذجية 20 dB تحت مستوى الذروة للمقطع الجانبي لزاوية السمات أو الارتفاع.

### 1.2.3 القدرة الإجمالية

لنفترض أن القدرة المستقبلية في اتجاه السمات  $\theta_h$  أو الارتفاع  $\theta_v$  هي  $p(\theta_h)$  أو  $p(\theta_v)$ .

تعرف القدرة الإجمالية،  $p_{0h}$   $p_{0v}$ ، للمقطع الجانبي لزاوية السمات أو الارتفاع بأنها القدرة فوق مستوى العتبة  $L_0$  التي تفصل بين الإشارة والضوضاء، كما هو مبين في الشكل 6:

تساوي القدرة الإجمالية للمقطع الجانبي لقدرة زاوية السمات للورد:

$$(8a) \quad p_{0h} = \int_{\theta_{0h}}^{\theta_{3h}} p(\theta_h) d\theta_h$$

وتساوي القدرة الإجمالية للمقطع الجانبي لقدرة زاوية الارتفاع للورد:

$$(8b) \quad p_{0v} = \int_{\theta_{0v}}^{\theta_{3v}} p(\theta_v) d\theta_v$$

حيث:

$\theta_h, \theta_v$ : تقاس باتجاه سمات أو ارتفاع الإشارة الأساسية (يفترض أن تكون مستقرة داخل فترة القياس) (rad)

$P(\theta_h), P(\theta_v)$ : المقطع الجانبي لقدرة زاوية السمات أو الارتفاع للورد: فوق مستوى العتبة  $L_0$ ؛ حيث إن القدرة تحت

المستوى  $L_0$ ،  $p(\theta_h), p(\theta_v) = 0$

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

$\theta_{0h}, \theta_{0v}$ : هي زاوية السمات أو الارتفاع للورد عندما تتجاوز  $p(\theta_h)$  أو  $p(\theta_v)$  مستوى العتبة  $L_0$  للمرة الأولى

في  $\theta_{\max h}(-\pi, \pi) / \theta_{\max v}\left(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right)$

$\theta_{3h}, \theta_{3v}$ : هي زاوية السمات أو الارتفاع للورد عندما تتجاوز  $p(\theta_h)$  أو  $p(\theta_v)$  مستوى العتبة  $L_0$  للمرة الأخيرة

في  $\theta_{\max h}(-\pi, \pi) / \theta_{\max v}\left(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right)$

وهناك شكل متقطع للمعادلتين (8a) و(8b) يكون على النحو التالي:

تساوي القدرة الإجمالية للمقطع الجانبي لقدرة زاوية السمات للورد:

$$(8c) \quad p_{0h} = \sum_{i=1}^N p(\theta_{ih})$$

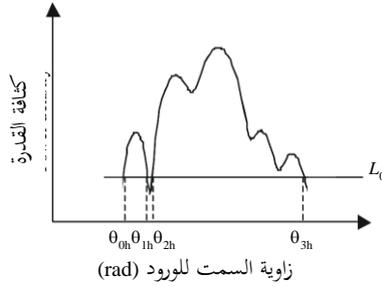
وتساوي القدرة الإجمالية للمقطع الجانبي لقدرة زاوية الارتفاع للورود:

$$(8d) \quad P_{0v} = \sum_{i=1}^N P(\theta_{iv})$$

حيث  $i = 1$  و  $N$  هما رقما العينتين الأولى والأخيرة بالمقطع الجانبي لقدرة زاوية السمات أو الارتفاع للورود اللتان تقعان فوق مستوى العتبة، على التوالي.

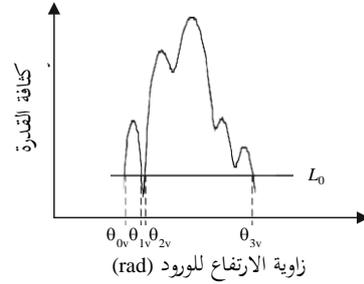
الشكل 6

القدرة الإجمالية



(أ) القدرة الإجمالية للمقطع الجانبي لقدرة زاوية السمات للورود

P.1407-06a



(ب) القدرة الإجمالية للمقطع الجانبي لقدرة زاوية الارتفاع للورود

P.1407-06b

2.2.3 متوسط زاوية السمات أو الارتفاع للورود

يعبر عن متوسط زاوية السمات  $T_{Ah}$  أو الارتفاع  $T_{Av}$  للورود باللحظة الأولى للمقطع الجانبي الزاوي لقدرة زاوية السمات أو الارتفاع: متوسط زاوية السمات للورود:

$$(9a) \quad T_{Ah} = \frac{1}{P_{0h}} \int_{\theta_{0h}}^{\theta_{3h}} \theta_h P(\theta_h) d\theta_h$$

ومتوسط زاوية الارتفاع للورود:

$$(9b) \quad T_{Av} = \frac{1}{P_{0v}} \int_{\theta_{0v}}^{\theta_{3v}} \theta_v P(\theta_v) d\theta_v$$

وهناك شكل متقطع للمعادلتين (9a) و (9b) مع استبانة زاوية السمات  $\Delta\theta_h$  أو الارتفاع  $\Delta\theta_v$  ، يكون على النحو التالي:

متوسط زاوية السمات للورود:

$$(9c) \quad T_{Ah} = \frac{\sum_{i=1}^N \theta_{ih} p(\theta_{ih})}{\sum_{i=1}^N p(\theta_{ih})}$$

$$\theta_{ih} = (i - 1) \Delta\theta_h \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

متوسط زاوية الارتفاع للورود:

$$(9d) \quad T_{Av} = \frac{\sum_{i=1}^N \theta_{iv} p(\theta_{iv})}{\sum_{i=1}^N p(\theta_{iv})}$$

$$\theta_{iv} = (i - 1) \Delta\theta_v \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

حيث  $i = 1$  و  $N$  رقما العيّنيتين الأولى والأخيرة بالمقطع الجانبي لقدرة زاوية السمات أو الارتفاع اللتين تقعان فوق مستوى العتبة، على التوالي.

### 3.2.3 جذر متوسط تربيع (r.m.s) الانتشار الزاوي في السمات أو الارتفاع

يُعرّف متوسط جذر تربيع الانتشار الزاوي في السمات  $S_{Ah}$  أو الارتفاع  $S_{Av}$  لاتجاه الوصول على النحو التالي:

جذر متوسط تربيع (r.m.s) الانتشار الزاوي في السمات:

$$(10a) \quad S_{Ah} = \sqrt{\frac{1}{p_{0h}} \int_{\theta_{0h}}^{\theta_{3h}} (\theta_h - T_{Ah})^2 p(\theta_h) d\theta_h}$$

جذر متوسط تربيع (r.m.s) الانتشار الزاوي في الارتفاع:

$$(10b) \quad S_{Av} = \sqrt{\frac{1}{p_{0v}} \int_{\theta_{0v}}^{\theta_{3v}} (\theta_v - T_{Av})^2 p(\theta_v) d\theta_v}$$

وهناك شكل متقطع للمعادلتين (10a) و (10b) مع استبانة زاوية للسمات  $\Delta\theta_h$  أو الارتفاع  $\Delta\theta_v$ ، يكون على النحو التالي:

جذر متوسط تربيع (r.m.s) الانتشار الزاوي في السمات:

$$(10c) \quad S_{Ah} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\theta_{ih} - T_{Ah})^2 p(\theta_{ih})}{\sum_{i=1}^N p(\theta_{ih})}}$$

جذر متوسط تربيع (r.m.s) الانتشار الزاوي في الارتفاع:

$$(10d) \quad S_{Av} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\theta_{iv} - T_{Av})^2 p(\theta_{iv})}{\sum_{i=1}^N p(\theta_{iv})}}$$

حيث  $i = 1$  و  $N$  هما رقما العيّنين الأولى والأخيرة للمقطع الجانبي الزاوي للقدرة اللتين تقعان فوق مستوى العتبة، على التوالي.

### 4.2.3 النافذة الزاوية في السمّت أو الارتفاع

النافذة الزاوية في السمّت  $\theta_{wh}$  أو الارتفاع  $\theta_{wv}$  هي عرض الجزء الأوسط للمقطع الجانبي الزاوي في السمّت أو الارتفاع للقدرة الذي يحتوي على نسبة مئوية  $q$  من القدرة الإجمالية على النحو الموضح في الشكل 7:

النافذة الزاوية في السمّت:

$$(11a) \quad \theta_{wh} = \theta_{w2h} - \theta_{w1h}$$

النافذة الزاوية في الارتفاع:

$$(11b) \quad \theta_{wv} = \theta_{w2v} - \theta_{w1v}$$

حيث يعرف الحدود  $\theta_{w1h}$  و  $\theta_{w2h}$  و  $\theta_{w1v}$  و  $\theta_{w2v}$  على النحو التالي:

الحدان  $\theta_{w1h}$  و  $\theta_{w2h}$  هما:

$$(12a) \quad \int_{\theta_{w1h}}^{\theta_{w2h}} p(\theta_h) d\theta_h = \frac{q}{100} \int_{\theta_{0h}}^{\theta_{3h}} p(\theta_h) d\theta_h = \frac{q}{100} p_{0h}$$

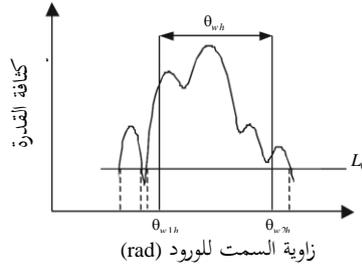
والحدان  $\theta_{w1v}$  و  $\theta_{w2v}$  هما:

$$(12b) \quad \int_{\theta_{w1v}}^{\theta_{w2v}} p(\theta_v) d\theta_v = \frac{q}{100} \int_{\theta_{0v}}^{\theta_{3v}} p(\theta_v) d\theta_v = \frac{q}{100} p_{0v}$$

وتنقسم القدرة خارج النافذة إلى جزأين متساويين  $\left(\frac{100-q}{200}\right) p_{0v}$  ،  $\left(\frac{100-q}{200}\right) p_{0h}$

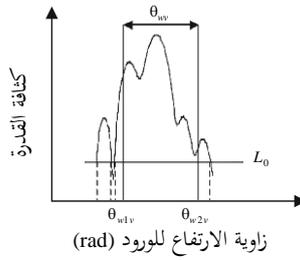
الشكل 7

## النافذة الزاوية في السمات أو الارتفاع



أ) النافذة الزاوية في السمات

P.1407-07a



ب) النافذة الزاوية في الارتفاع

P.1407-07b

## 5.2.3 الفترة الزاوية في السمات أو الارتفاع (التباعد الزاوي في السمات أو الارتفاع)

تُعرّف الفترة الزاوية في السمات  $A_{thh}$  أو الارتفاع  $A_{thv}$ ، بأنها الفرق بين زاوية السمات  $\theta_{4h}$  أو الارتفاع  $\theta_{4v}$  عندما يتجاوز اتساع المقطع الجانبي الزاوي للقدرة في السمات أو الارتفاع للمرة الأولى عتبة معينة  $L_{th}$  وبين زاوية السمات  $\theta_{5h}$  أو الارتفاع  $\theta_{5v}$  عندما يقل الاتساع عن هذه العتبة للمرة الأخيرة كما هو مبين في الشكل 8.

الفترة الزاوية في السمات:

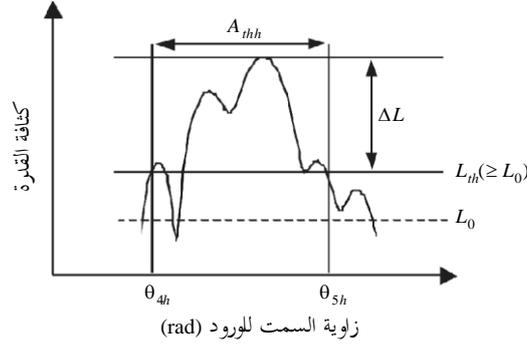
$$(13a) \quad A_{thh} = \theta_{5h} - \theta_{4h}$$

الفترة الزاوية في الارتفاع:

$$(13b) \quad A_{thv} = \theta_{5v} - \theta_{4v}$$

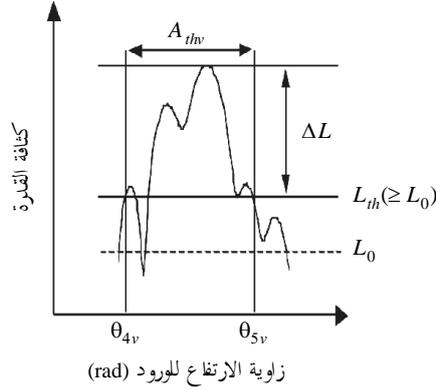
الشكل 8

الفترة الزاوية في السمات أو الارتفاع



أ) الفترة الزاوية في السمات

P.1407-08a



ب) الفترة الزاوية في الارتفاع

P.1407-08b

6.2.3 مسافة الترابط المكاني

بالنسبة للقنوات متعددة المدخلات ومتعددة المخرجات (MIMO) على وجه الخصوص، يتم الحصول على معامل الترابط المكاني لتباينات مختلفة  $d$  من دالة النقل المعقدة المتغيرة مع زاوية السمات أو الارتفاع للمقطع الجانبي لزاوية القدرة في السمات أو الارتفاع. ويحدد معامل الترابط المكاني  $R_h(d)$  أو  $R_v(d)$  على النحو التالي:

معامل الترابط المكاني مع زاوية السمات:

$$(14a) \quad R_h(d) = \frac{\int_{\theta_{0h}}^{\theta_{3h}} p(\theta_h) \exp(-j2\pi d \sin \theta_h / \lambda) d\theta_h}{\int_{\theta_{0h}}^{\theta_{3h}} p(\theta_h) d\theta_h}$$

معامل الترابط المكاني مع زاوية الارتفاع:

$$(14b) \quad R_v(d) = \frac{\int_{\theta_{0v}}^{\theta_{3v}} p(\theta_v) \exp(-j2\pi d \sin \theta_v / \lambda) d\theta_v}{\int_{\theta_{0v}}^{\theta_{3v}} p(\theta_v) d\theta_v}$$

حيث:

$d$ : المسافة بالنسبة لتباعدات مختلفة

$\lambda$ : طول الموجة.

وكما يبين الشكل 9، فإن مسافة الترابط المكاني  $d_c$  تُعرّف بأنها مسافة القطع الأولى التي يساوي عندها  $|R_h(d)|$  أو  $|R_v(d)|$  النسبة  $x\%$  في  $|R_h(d=0)|$  أو  $|R_v(d=0)|$ .

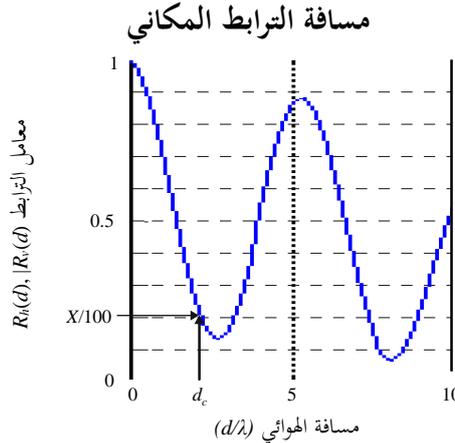
معامل الترابط المكاني مع زاوية السم:

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

معامل الترابط المكاني مع زاوية الارتفاع:

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

الشكل 9



P.1407-09

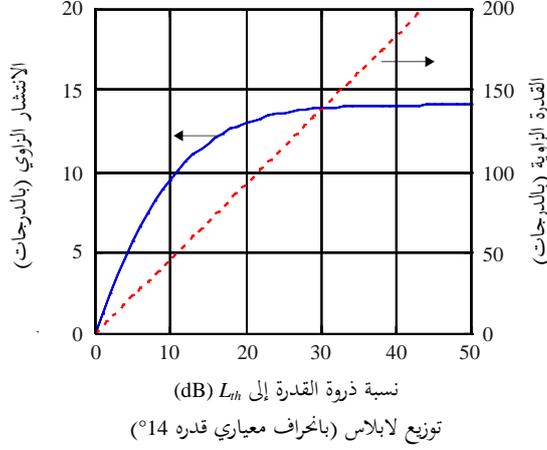
### 7.2.3 المعلومات الموصى بها

يوصى من أجل تحليل البيانات بنوافذ زاوية في السم أو الارتفاع لنسب 50% و 75% و 90% من القدرة، وكذلك بفترات زاوية لعبت قدرها 9 و 12 و 15 dB دون الذروة، وبمسافات ترابط لترابط قدره 50% و 90%. وعلاوة على ذلك، تجدر الإشارة إلى أن تأثيرات الضوضاء والإشارات الهامشية في النظام (من معالجة الترددات الراديوية حتى معالجة البيانات) يمكن أن تكون كبيرة جداً. ومن ثم، من المهم تحديد عتبة الضوضاء و/أو عتبة الإشارات الهامشية للأنظمة بدقة مع فرض هامش أمان فوق ذلك. ويُوصى بهامش للأمان قدره 3 dB ولضمان سلامة النتائج يُوصى باستخدام حد أدنى لنسبة ذروة الإشارة إلى الإشارة الهامشية قدره 15 dB مثلاً (عدا هامش الأمان البالغ 3 dB) كمييار استثنائي يجد من المقاطع الجانبية الزاوية في السم أو الارتفاع المتضمنة في الإحصائيات. ويبين الشكل 10 مثلاً لتأثير تحديد قيمة الحد الأدنى لنسبة الذروة إلى  $L_{th}(\Delta L)$ . ويُفترض في هذا الشكل أن يكون المقطع الجانبي للقدرة في السم أو الارتفاع على شكل توزيع

لابلاس (Laplace) (توزيع أُسِّي مزدوج) مع انتشار زاوي في السمات أو الارتفاع بمقدار 14 درجة؛ ويتم حساب الانتشار الزاوي في السمات أو الارتفاع والفترة الزاوية في السمات أو الارتفاع كالتين في نسبة ذروة القدرة إلى  $L_{th}$ . ويبين هذا الرقم أن هذه المعلمات تتعرض لتغيرات واضحة حتى بالنسبة للقيم المتماثلة في الأساس. بيد أنه يجب تحديد القيمة المستخدمة لـ  $(\Delta L)$  في التقييم الإحصائي.

الشكل 10

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



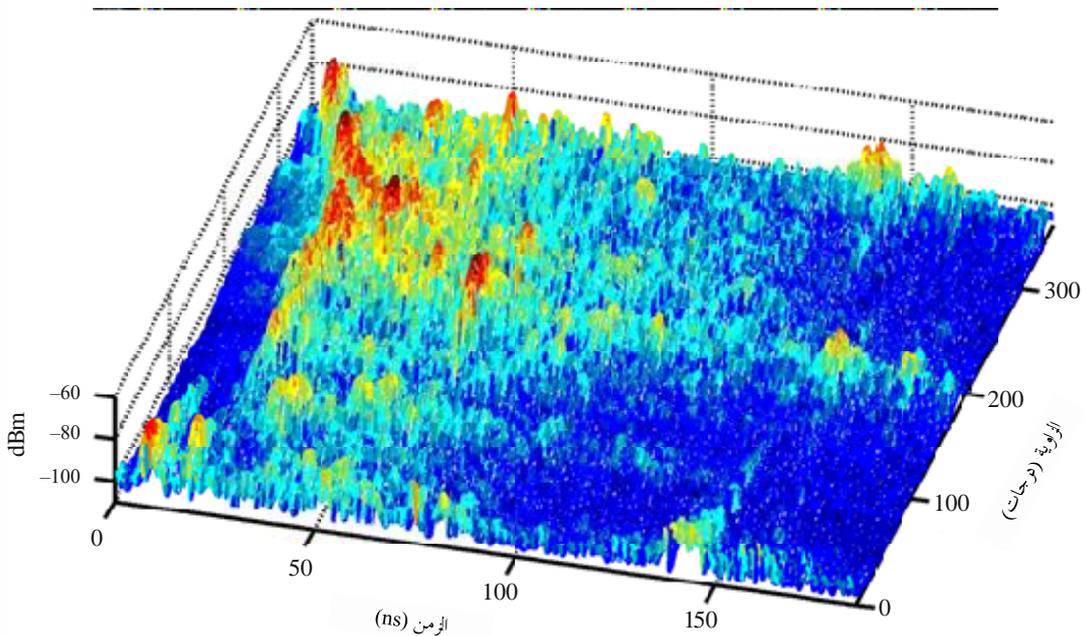
P.1407-10

#### 4 معلمات المقطع الجانبي لتأخير القدرة الاتجاهي

يتم الحصول على المقطع الجانبي لتأخير القدرة الزاوي من قياسات اتجاهية تعطي القدرة المستقبلية بالنسبة إلى زاوية الورد كدالة في التأخير الزمني كما هو موضح في الشكل 11.

الشكل 11

المقطع الجانبي لتأخر القدرة الاتجاهي



P.1407-11

ويمكن الحصول على المقطع الجانبي لتأخير القدرة في جميع الاتجاهات الذي هو دالة في التأخير الزمني من مجموع المقاطع الجانبية لتأخير القدرة عبر جميع الزوايا. وتعطى القدرة الإجمالية في جميع الاتجاهات في المعادلة (16) لدى تجميع القياسات الاتجاهية.

$$(16) \quad p_m = \int_{\theta_{0v}}^{\theta_{3v}} \int_{\theta_{0h}}^{\theta_{3h}} \int_{t_0}^{t_3} p(t, \theta_h, \theta_v) dt d\theta_h d\theta_v - G_A$$

حيث:

$p(t)$ : كثافة القدرة للاستجابة النبضية بوحدات خطية للقدرة التي يتم الحصول عليها من هوائيات شاملة الاتجاهات

$p(t, \theta_h, \theta_v)$ : كثافة القدرة الاتجاهية للاستجابة النبضية بوحدات خطية للقدرة

$t$ : التأخير بالنسبة لمرجع زمني

$t_0$ : اللحظة التي تتجاوز فيها  $p(t)$  أو  $p(t, \theta_h, \theta_v)$  مستوى القطع لأول مرة

$t_3$ : اللحظة التي تتجاوز فيها  $p(t)$  أو  $p(t, \theta_h, \theta_v)$  مستوى القطع لآخر مرة

$\theta_{0h}$ : زاوية السميت التي تتجاوز عندها  $p(t, \theta_h, \theta_v)$  مستوى القطع لأول زاوية

$\theta_{3h}$ : زاوية السميت التي تتجاوز عندها  $p(t, \theta_h, \theta_v)$  مستوى القطع لآخر زاوية

$\theta_{0v}$ : زاوية الارتفاع التي تتجاوز عندها  $p(t, \theta_h, \theta_v)$  مستوى القطع لأول زاوية

$\theta_{3v}$ : زاوية الارتفاع التي تتجاوز عندها  $p(t, \theta_h, \theta_v)$  مستوى القطع لآخر زاوية

$G_A$ : كسب الهوائي الناجم عن خطوات زاوية تدريجية تحت عرض الحزمة عند 3 dB الذي يؤدي إلى تداخل حزمة الهوائي بما يسفر عن زيادة القدرة المستقبلية بقيمة  $G_A$ .

وبالنسبة لكل زاوية من زوايا الوصول، يمكن حساب معلمات التأخر الزمني الواردة في الفقرات 2.2.2 إلى 6.2.2.

## 5 معلمات تغيرات الإشارة المستقبلية

### 1.5 تعريف تغيرات الإشارة المستقبلية كدالة في الوقت والتردد

يمكن قياس تغيرات الإشارة المستقبلية في الزمن والتردد من الكنس الدوري عبر نطاق التردد المعني خلال فترة زمنية قصيرة أو من تحويل فورييه للاستجابات النبضية قصيرة الأجل. ويمكن استعمال الاستجابة الترددية المتغيرة مع الزمن بالمقياس الصغير الناتجة،  $H(f, t)$ ، الموضحة في الشكل 12، لتوليد دالة متوسط التغيرات للقناة  $R_H(f, f'; t, t')$  كما هو وارد في المعادلة (17)، حيث  $E$  هي التوقع:

$$(17) \quad R_H(f, f'; t, t') = E\{H(f, t)H^*(f', t')\}$$

وطبقاً لفرضية الانتثار غير المترابط الثابت على نطاق واسع (WSSUS)، فإن دالة متوسط التغيرات الواردة في المعادلة (17) تصبح دالة في الاختلاف في التردد،  $\Delta f$ ، والاختلاف في الزمن،  $\Delta t$ ، أي  $R_H(\Delta f, \Delta t)$ .

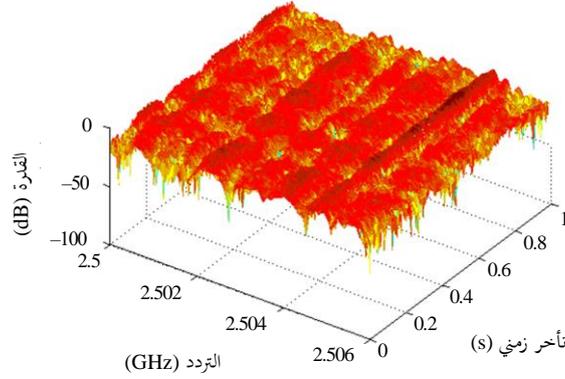
ويعبر عن درجة الترابط بدالة معايرة لزحزحة التردد وزحزحة الزمن ترد أدناه في المعادلة (18).

$$(18) \quad \rho(\Delta f, \Delta t) = \frac{R_H(\Delta f, \Delta t)}{\sqrt{E\|H(f, t)\|^2 E\|H(f + \Delta f, t + \Delta t)\|^2}}$$

وتعرّف المعلمات المتعلقة بدالة متوسط التغيرات الواردة في المعادلة (17) والدالة  $H(f, t)$  في الفقرة 2.5.

الشكل 12

دالة التردد المتغير مع الزمن بمقياس صغير



P.1407- 12

## 2.5 تعريف المعلمات الإحصائية

### 1.2.5 عرض النطاق المتماusk أو الترابط الترددي

بالنسبة لقنوات الانتشار غير المترابط الثابت على نطاق واسع (WSSUS)، التي يسود فيها مكون متعدد المسيرات، يتم الحصول على عرض النطاق المتماusk (الترابط) من المعادلة (19a). وبالنسبة للمقاطع الجانبية لتأخر القدرة التي تبرز بنية كبيرة من المسيرات المتعددة، يمكن تقدير عرض النطاق المتماusk من تحويل فورييه  $C(f)$  لكثافة القدرة للاستجابة النبضية  $p(\tau)$  كما في المعادلة (19b):

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

$$(19b) \quad C(f) = \int_0^{\tau_c} p(\tau) \exp(-j2\pi f\tau) d\tau$$

ويعرّف 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  $C(f = 0)$ .

### 2.2.5 الزمن المتماusk أو الترابط الزمني

بالنسبة للانتشار غير المترابط الثابت على نطاق واسع (WSSUS)، يقدر الزمن المتماusk من الترابط الزمني للقناة كما يرد في المعادلة (20).

$$(20) \quad R_H(\Delta t) = R_H(\Delta \omega, \Delta t)|_{\Delta \omega=0}$$

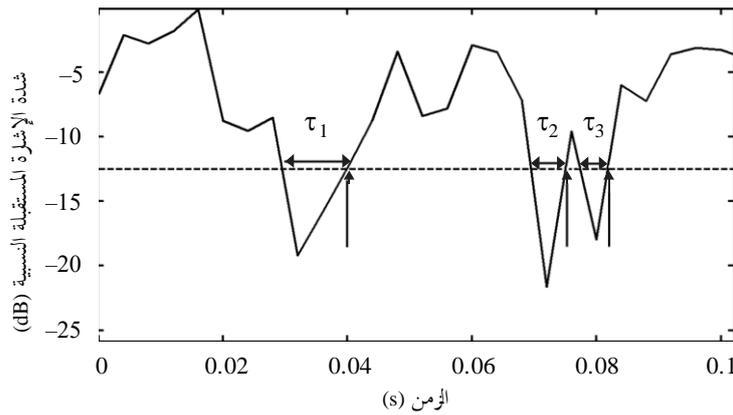
ويعرّف الزمن المتماusk،  $T_x$ ، بأنه الفاصل الزمني الذي يكون فيه  $|R_H(\Delta t)|$  يساوي %x من  $|R_H(\Delta t = 0)|$ .

## 3.2.5 معدل قطع المستوى ومتوسط فترة الخبو

يتم الحصول 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 مقيس كدالة في الزمن أو المسافة. وبالنسبة لفواصل زمني معين، يكون معدل قطع المستوى (LCR) هو عدد المرات التي تقطع فيها الإشارة المستقبلية مستوى معين، في حين يكون متوسط فترة الخبو (AFD) هو الفترة الزمنية التي تقضيها الإشارة تحت هذا المستوى المحدد. فمثلاً، بالنسبة لمستوى يبلغ 12,5 dB، يوضح الشكل 13 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 13

## شدة الإشارة المستقبلية مقابل الزمن



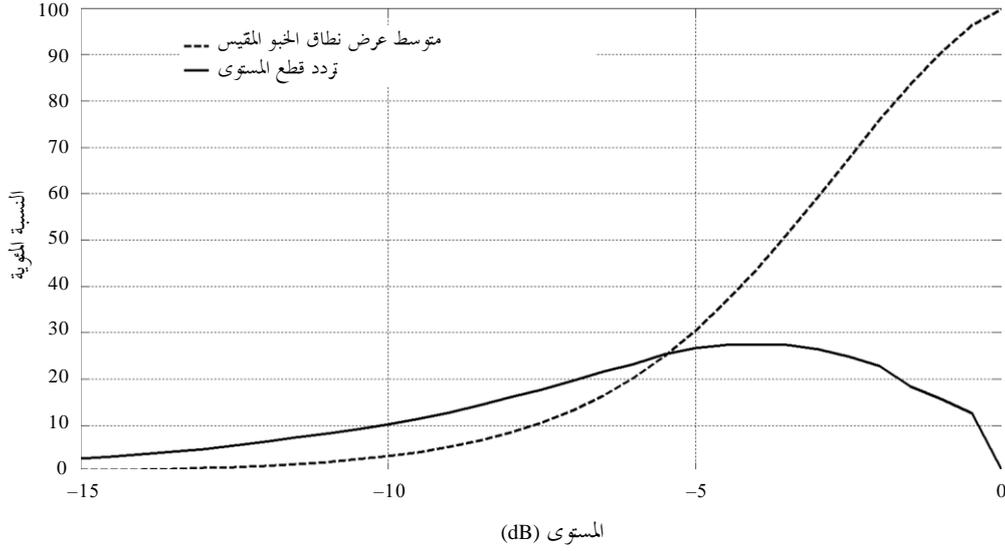
P.1407-13

## 4.2.5 تردد قطع المستوى ومتوسط عرض نطاق الخبو

يتم الحصول 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 13، 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 الذي يقع أسفل المستوى المحدد. ويوضح الشكل 14 المعلمتين المحسوبتين لمستوى عتبة يتراوح بين -15 dB و 0 dB.

الشكل 14

متوسط عرض نطاق الخبو المعايير وتردد قطع المستوى



P.1407-14

5.2.5 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.

6 اختبار المسافة الثابتة

المسافة الثابتة هي المسافة التي يمكن فيها اعتبار القناة ثابتة على نطاق واسع. وتحديدًا للمسافة الثابتة، يرجى تطبيق اختبار Run على استجابات نبضية متتالية بتقسيم مجموعة البيانات إلى مجموعات  $N_i$  متساوية تتضمن نفس عدد الاستجابات النبضية التي تم الحصول عليها عبر مسافات مكانية أقل من  $c \times \Delta t$ ، ويكون  $\Delta t$  هو استبانة التأخير الزمني للمظهر الجانبي لتأخر القدرة  $c$  هو سرعة الضوء. وبعد ذلك، تُستخدم المظاهر الجانبية لتأخر القدرة من أجل تقدير انتشار التأخر بقيمة جذر متوسط التربيع. ويُقدَّر متوسط انتشار التأخر بقيمة جذر متوسط التربيع، ويُشار إلى قيمة كل جذر متوسط التربيع بواسطة علامة + أو - إذا كانت أعلى أو أقل من القيمة المتوسطة على التوالي (تُلغى الأرقام التي تساوي المتوسط). وتُحسب علامات + أو - المتتالية على أنها عملية محاكاة وحيدة سواءً كانت موجبة  $N_+$  أو سلبية  $N_-$ . ويمثل إجمالي عدد عمليات المحاكاة  $N_{runs}$  مجموع عدد عمليات المحاكاة الإيجابية والسلبية:

$$N_{runs} = N_+ + N_-$$

ويساوي عدد عمليات المحاكاة  $N_{runs}$  المتضمن لتسلسل +++ ----- +++ محاكاة موجهتين  $N_+$  ومحاكاة سلبية  $N_-$ .

وفي وقت لاحق، يُدرج  $n = N_i/2$  في الجدول 1 لتحديد العدد المنخفض والمرتفع المقبول لعمليات المحاكاة بالنسبة إلى مستويي الثقة المنخفضة والعالية  $C_{low}$  و  $C_{high}$ ، على التوالي. ويرجى التحقق ما إذا كان عدد عمليات المحاكاة  $N_{runs}$  المحسوبة يقع خارج هذه الحدود، كما هو موضح في المعادلة (21).

$$(21) \quad \text{check if } [C_{low} \leq N_{runs} \leq C_{high} | N_i]$$

وفيما يتعلق بمستويي الثقة 0,05 و 0,95، يرجى التحقق إذا كانت:

$$(22) \quad c_{0.05} \leq N_{runs} \leq c_{0.95}$$

وإذا كان عدد عمليات المحاكاة  $N_{runs}$  يقع خارج هذه الحدود، فإن المتوسط يكون عبر عدد مختلف من الاستجابات النبضية حتى يقدم اختبار Run المسافة الثابتة، وهي المسافة المقطوعة أثناء الاستجابات النبضية  $N_i$ .

الجدول 1

0,01	0,025	0,05	0,95	0,975	0,99	N
9	9	8	3	2	2	5
11	10	10	3	3	2	6
12	12	11	4	3	3	7
13	13	12	5	4	4	8
15	14	13	6	5	4	9
16	15	15	6	6	5	10
17	16	16	7	7	6	11
18	18	17	8	7	7	12
20	19	18	9	8	7	13
21	20	19	10	9	8	14
22	21	20	11	10	9	15
23	22	22	11	11	10	16
26	25	24	13	12	11	18
28	27	26	15	14	13	20
34	33	32	19	18	17	25
40	39	37	24	22	21	30
46	44	43	28	27	25	35
51	50	48	33	31	30	40
57	55	54	37	36	34	45
63	61	59	42	40	38	50
68	66	65	46	45	43	55
74	72	70	51	49	47	60
79	77	75	56	54	52	65
85	83	81	60	58	56	70
90	88	86	65	63	61	75
96	93	91	70	68	65	80
101	99	97	74	72	70	85
107	104	102	79	77	74	90
112	109	107	84	82	79	95
117	115	113	88	86	84	100

## الملحق 2

### 1 مقدمة

يوضح هذا الملحق بعض نتائج حساب معاملات الترابط من مقطع 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 15 توزيعاً نموذجياً مشدباً على شكل لابلاس لطيف سمت القدرة (PAS) مثل:

$$(23) \quad PAS_L(\varphi) = \sum_{k=1}^{N_c} \frac{Q_{L,k}}{\sigma_{L,k} \sqrt{2}} \exp\left[-\frac{\sqrt{2}|\varphi - \varphi_{0,k}|}{\sigma_{L,k}}\right] \left\{ \varepsilon[\varphi - (\varphi_{0,k} - \Delta\varphi_k)] - \varepsilon[\varphi - (\varphi_{0,k} + \Delta\varphi_k)] \right\}$$

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:

$$(24) \quad \sum_{k=1}^{N_c} Q_{L,k} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\sqrt{2}\Delta\varphi_k}{\sigma_{L,k}}\right) \right] = 1$$

ويُستنتج معامل ترابط الغلاف من الصيغة:

$$(25) \quad \rho_e(D) = |R_{XX}(D) + jR_{XY}(D)|^2$$

حيث:

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

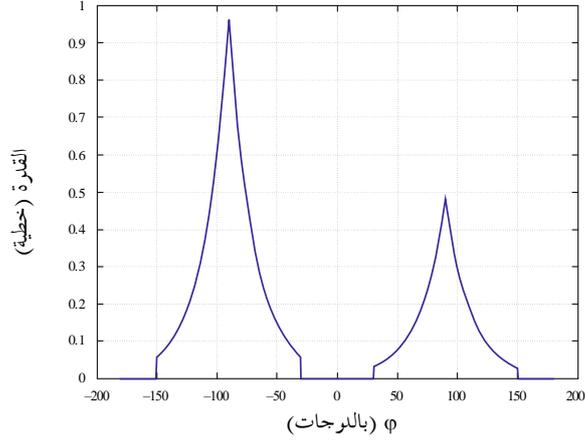
$d$ : تباعد الهوائي

$\lambda$ : طول الموجة،

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

الشكل 15

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



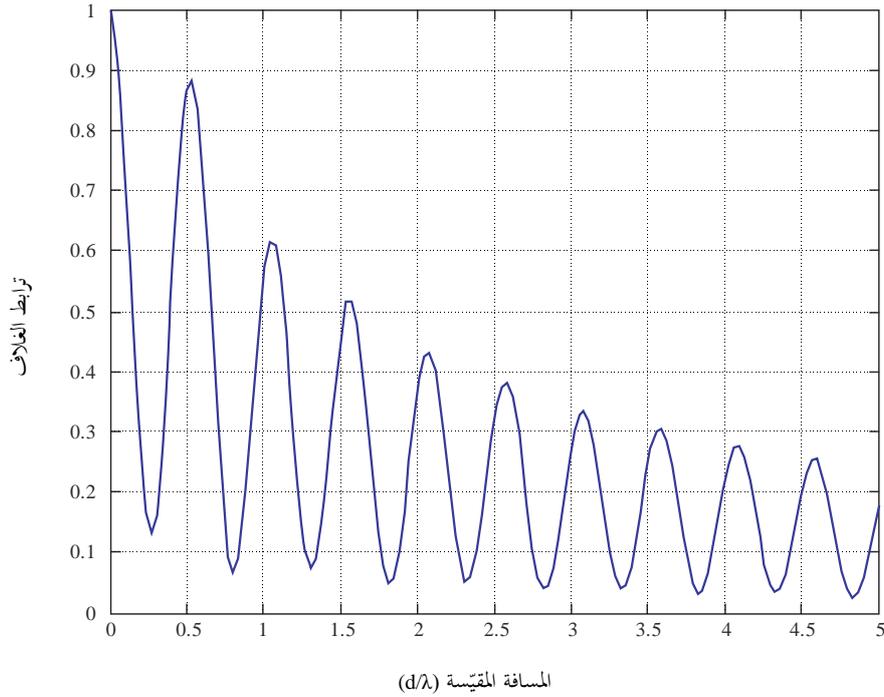
P.1407-15

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

ويوضح الشكل 16 الترابط المكاني الناتج.

الشكل 16

الترابط المكاني الناتج



P.1407-16

معامل ترابط الغلاف مقابل المسافة المقيسة  $d/\lambda$  بالنسبة لحالة المجموعتين المبينة في الشكل 15.

### 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:

$$(26) \quad C = \log_2 \det \left( I_{n_R} + \frac{P}{n_T \sigma^2} R_R^{1/2} H_w R_T H_w^H (R_R^{1/2})^H \right) = \log_2 \det \left( I_{n_R} + \frac{P}{n_T \sigma^2} H_w R_T H_w^H R_R^H \right)$$

حيث:

$n_T$  و  $n_R$ : عددا هوائيات المستقبل والمرسل، على التوالي

$p$ : متوسط القدرة المستقبلية لكل هوائي

$\sigma^2$ : 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 تتكون عناصرها من متغيرات عشوائية مستقلة موزعة تماثلياً على شكل غوسي معقد ذات

متوسط قدره صفر وتغاير قدره الوحدة

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

وتحدد المصفوفتان  $R_T$  و  $R_R$  الترابطات المكانية بين المستقبلات والمرسلات، على التوالي، حيث تُعرّف المصفوفة  $H$  بالصيغة التالية

$H = R_R^{1/2} H_w R_T^{1/2}$ ، حيث  $R_T^{1/2}$  و  $R_R^{1/2}$  عبارة عن مصفوفتين هرميتيتين محددتين موجبتين، وفي النهاية فإنه يفترض

تسويتهم على النحو التالي:  $[R_T]_{i,i}$  for  $i = 1, K, n_T$  and  $[R_R]_{j,j}$  for  $j = 1, K, n_R$ .

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:

$$(27) \quad C \approx \log_2 \det \left( \frac{P}{n_T \sigma^2} H_w H_w^H \right) + \log_2 \det (R_R) + \log_2 \det (R_T)$$

فإذا 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:

$$(28) \quad \prod_{i=1}^n \lambda_i \leq 1$$

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.

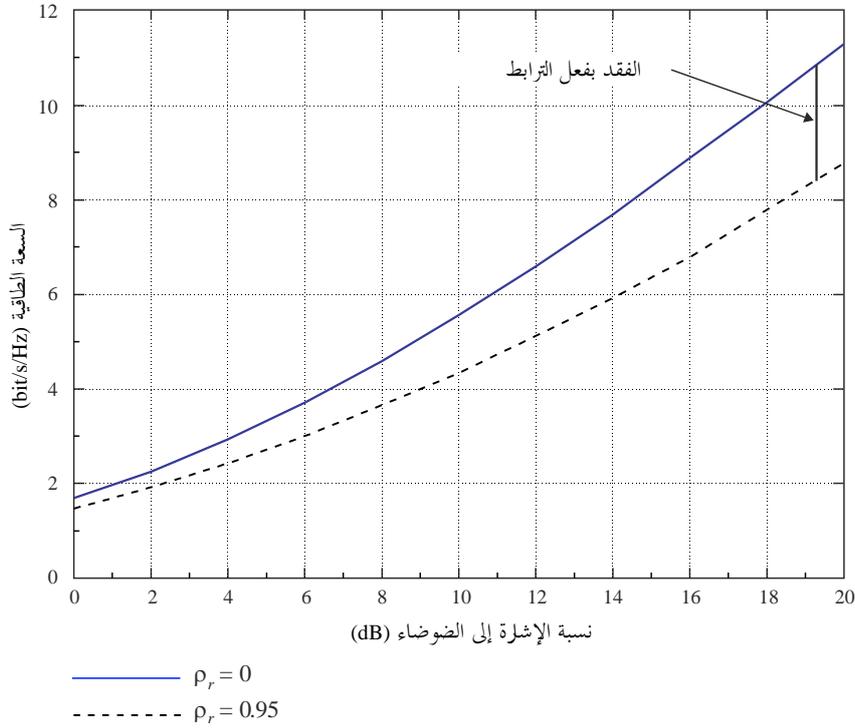
ويوضح الشكل 17 تأثير الترابط المكاني على السعة الطاقية لقناة متعددة المدخلات متعددة المخرجات عندما يكون  $n_T = n_R = 2$ . ويفترض في الشكل أن  $R_T = I_2$ . ويتم اختيار مصفوفة ترابط المستقبل على أساس الصيغة:

$$(29) \quad R_R = \begin{bmatrix} 1 & \rho_R \\ \rho_R^* & 1 \end{bmatrix}$$

حيث  $\rho_R$  تشير إلى الترابط المكاني بين هوائيات الاستقبال.

الشكل 17

السعة الطاقية مع ترابط استقبال منخفض ومرتفع



P.1407-17

### الملحق 3

#### 1 المقدمة

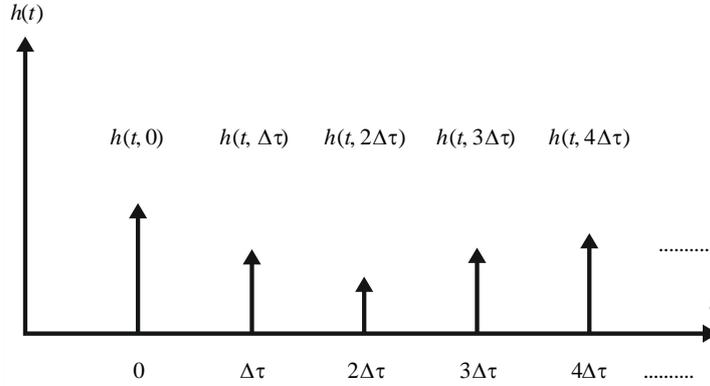
يعتمد تفكيك مكونات المسيريات المتعددة في بيانات مقيسة على عرض نطاق الموجة المستعملة في القياسات. وتتسبب مكونات المسيريات المتعددة التي لا يتم تفكيكها في تغيرات للإشارة مع الزمن أو مع المسافة نتيجة لحركة أي من المرسل أو المستقبل أو نتيجة تغيرات في البيئة كما هو مبين في الشكل 1. ويمكن نمذجة هذه التغيرات بدلالات كثافة الاحتمال مثل دالة رايلي 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 18A 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 18A

مثال على مسيرات متعددة تستعمل في توليد القناة



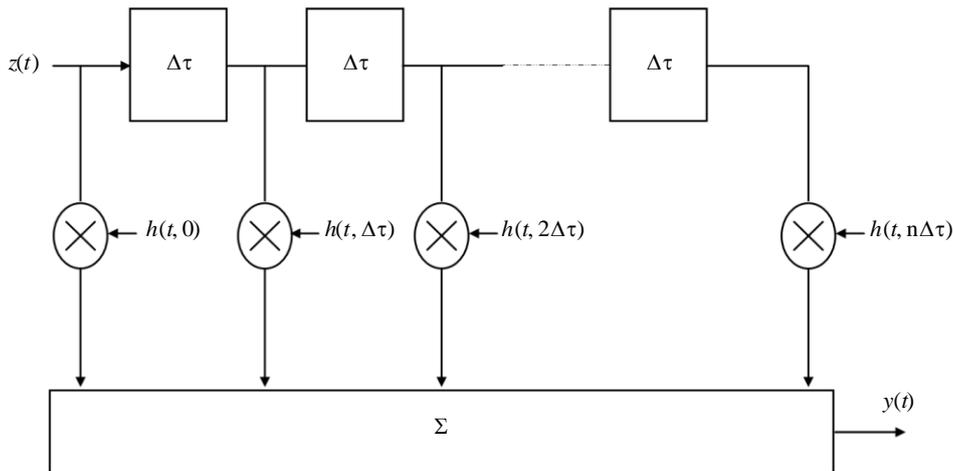
P.1407- 18a

وبالنسبة لمحاكاة الأنظمة، يكفي الاستعاضة عن الكثير من المسيرات المتعددة المنتثرة التي قد تكون موجودة في قناة حقيقية بعدد قليل فقط من مكونات المسيرات المتعددة،  $m=n+1$  في النموذج كما هو مبين في الشكل 18B. ويعطي ذلك استجابة القناة  $h(t)$ ، في المعادلة (30):

$$(30) \quad h(t) = \sum_{i=0}^n h_i \delta(t - i\Delta\tau)$$

الشكل 18B

نموذج خط تأخير متفرع لمسيرات متعددة



P.1407- 18b

بالنسبة للتأخيرات الزمنية التي يكون لها مكون مهيم أو على خط البصر (LOS)، يتم الحصول على نموذج القناة لكل مجموعة من مكونات المسيرات المتعددة بواسطة دالة كثافة الاحتمال من النمط رايس. وعندما يكون معامل رايس،  $K$ ، مساوياً للصفر، يمكن استعمال نموذج رايلي. ويعطى النموذج العام للقناة في المعادلة (31):

$$(31) \quad h(t) = \sum_{i=0}^n \left\{ \sqrt{\frac{K_i p_i}{K_i + 1}} e^{j(2\pi f_{o,i} t + \varphi_{o,i})} + \sqrt{\frac{p_i}{K_i + 1}} g_i(t) \right\} \delta(t - i\Delta\tau)$$

حيث:

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

$$p_i = E \left[ |h_i(t)|^2 \right] \text{ ويساوي القدرة المتوسطة للمكون رقم } i \text{ في الدالة } h(t)$$

$f_{o,i}$ : التردد الدوبلري للمكون المهيم 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

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

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