

التوصية ITU-R P.1407-3

الانتشار عبر مسيرات متعددة وتحديد معالم خصائصه

(المسألة ITU-R 203/3)

(1999-2003-2005-2007)

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.

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.

وعلاوة 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 لتأخر القدرة وأطراف دوبلر التي يمكن الحصول عليها من قياسات سبر القناة عريضة النطاق.

وتبدي الإشارات المرسله 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.

وخصائص الانتشار متعدد المسيرات هي أحد العوامل الرئيسية في التحكم بجودة الاتصالات المتنقلة الرقمية. ومادياً، فإن خصائص الانتشار متعدد المسيرات تعني ضمناً عدد المسيرات المتعددة والاتساع وفارق طول المسير (التأخر) وزاوية ورود. ويمكن وصف هذه الخصائص من المظهر الجانبي لتأخر القدرة. وبدلاً من ذلك، فإن تحويل فورييه (Fourier) للاستجابة النبضية المعقدة ينتج عنه دالة نقل معقدة تعطي خصائص الاتساع مقابل التردد الخاصة بها الانتقائية الترددية لتعدد المسيرات، وتتصل بعرض نطاق الارتباط.

وترد في الفقرتين 2 و3 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.

ويمكن وصف قناة خطية متغيرة مع الوقت بمرشاح مستعرض خطي. ويجوي خرج هذا المرشاح مجموع نسخ عن إشارة الدخل مؤخرة وموهنة ومنزاحة دوبلياً. ثم تمثل القناة بدالة تمديد دوبلر للتأخر التي يشار إليها أحياناً بدالة التناثر. وتمثل هذه البدالة ظاهرة تعدد المسيرات بالأبعاد الثلاثة لفائض التأخر وتردد دوبلر وكثافة القدرة. وتلائم هذه الصيغة بصورة خاصة تحقيق محاكاة العتاد في شكل مرشاح مستعرض دينامي.

2 معلمات المسيرات المتعددة

1.2 تعاريف

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

وامتداد التأخر الفعال (*r.m.s.*) هو الانحراف المعياري المرجح لقدرة فائض التأخرات ويعطى بالعزم الثاني للمظهر الجانبي لتأخر القدرة. وهو يوفر مقياساً لقابلية تغير متوسط التأخر.

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

ويعرف فاصل التأخر على أنه طول الاستجابة النبضية بين قيمتي فائض التأخر اللتان تشيران إلى أول مرة يتجاوز فيها اتساع الاستجابة النبضية عتبة معينة، وآخر مرة يهبط دونها. وتتوقف العتبة المستعملة على المدى الدينامي لتجهيزات القياس: وتقع القيمة النمطية بمقدار 20 dB دون مستوى الذروة للمظهر الجانبي للتأخر.

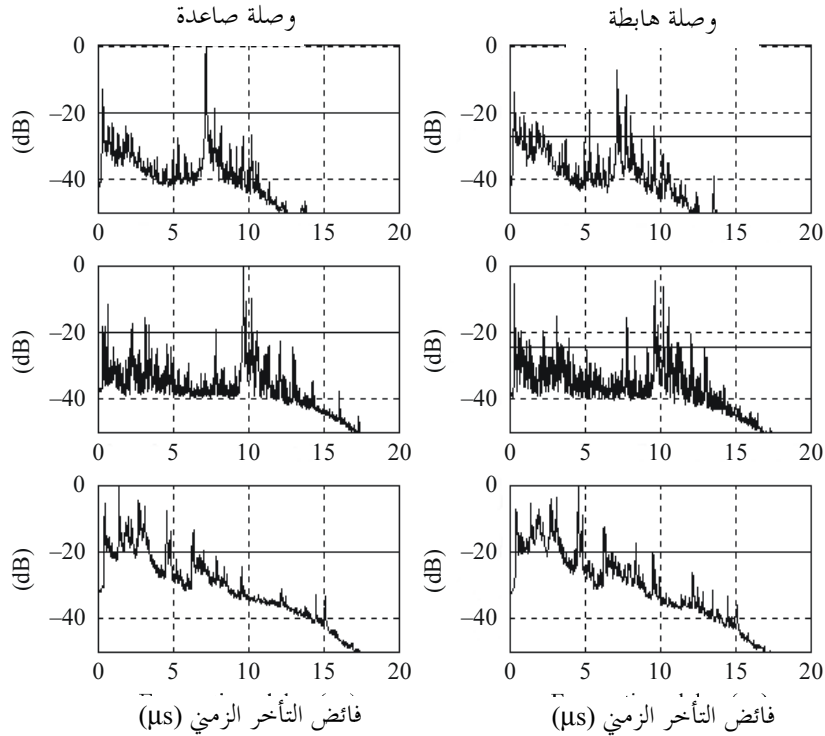
ويعرف عرض نطاق الترابط على أنه نطاق الترددات الذي تقع فيه دالة الترابط الذاتي لدالة النقل فوق عتبة معينة؛ وتبلغ قيمة نمطية للعتبة 0,5.

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

2.2 مناقشة

يمكن حساب المعلمات المناسبة للوصف الإحصائي لتأثيرات المسيرات المتعددة إما من المظاهر الجانبية لتأخر القدرة الآني أو من المظاهر الجانبية لمتوسط تأخر القدرة الذي يمثل متوسطات الوقت التي حُصل عليها عند ثبات المستقبل في مكان ما، أو يمثل الحركة في البيئة المحيطة أو متوسطات مكانية حُصل عليها لدى تحرك المستقبل. وترد أمثلة عما تقدم في الشكل 1، وقد حُصل عليها بواسطة مركبة شاحنة صغيرة. فحُصل على المظاهر الجانبية الوسطى عندما كانت المركبة ثابتة، وحُصل على مجموعتي المظاهر الجانبية الأخرى عندما كانت المركبة تتحرك. وينبغي حساب نمطي المتوسطات من خلال عدد من الاستجابات النبضية ضمن وقت التكامل المتماسك للقناة المعرف على أنه المدة الزمنية (أو الفاصل المكاني) حيث لم تتحرك مكونات المسيرات المتعددة بمقدار \pm نصف خانة تأخر زميني (أو خانة المدى).

الشكل 1



1407-01

المظاهر الجانبية لتأخر القدرة في النطاقات المزدوجة لتقسيم التردد في نظام الاتصالات المتنقلة الشامل (UMTS) بحساب المتوسط الزمني (المظهر الجانبي المتوسط) وحساب المتوسط المكاني (المظاهر الجانبية في الأعلى والأسفل). والمظاهر الجانبية مسواة لعرض كثافة القدرة النسبية كدالة τ . ويبين الخط الأفقي فاصل تأخر مستوى 20 dB.

والطاقة 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
 t : التأخر 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.

ويعطى متوسط التأخر، T_D ، بالعزم الأول للمظهر الجانبي لتأخر 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 تأخر زمني ويساوي $t - t_0$
 τ_a : وقت ورود أول مكوث مستقبل من المسيرات المتعددة (الذروة الأولى في المظهر الجانبي)
 $t_0 - t_3 = \tau_e$

وفي الشكل المنفصل، تصبح المعادلة (2a):

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

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

ويمكن تحديد التأخرات من العلاقة التالية:

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

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} .

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

$$(3) \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\tau_i - T_D - \tau_M)^2 P(\tau_i)}{\sum_{i=1}^N P(\tau_i)}}$$

أو في الشكل المنفصل:

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

ونافذة التأخر، W_q ، هي طول القسم الأوسط من المظهر الجانبي لتأخر 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 الطاقة خارج النافذة إلى شطرين متساويين $\left(\frac{100-q}{200}\right) P_m$.

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

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

ويوفر تحويل فورييه لكثافة قدرة الاستجابة النبضية الترابط الذاتي $C(f)$ لدالة النقل:

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

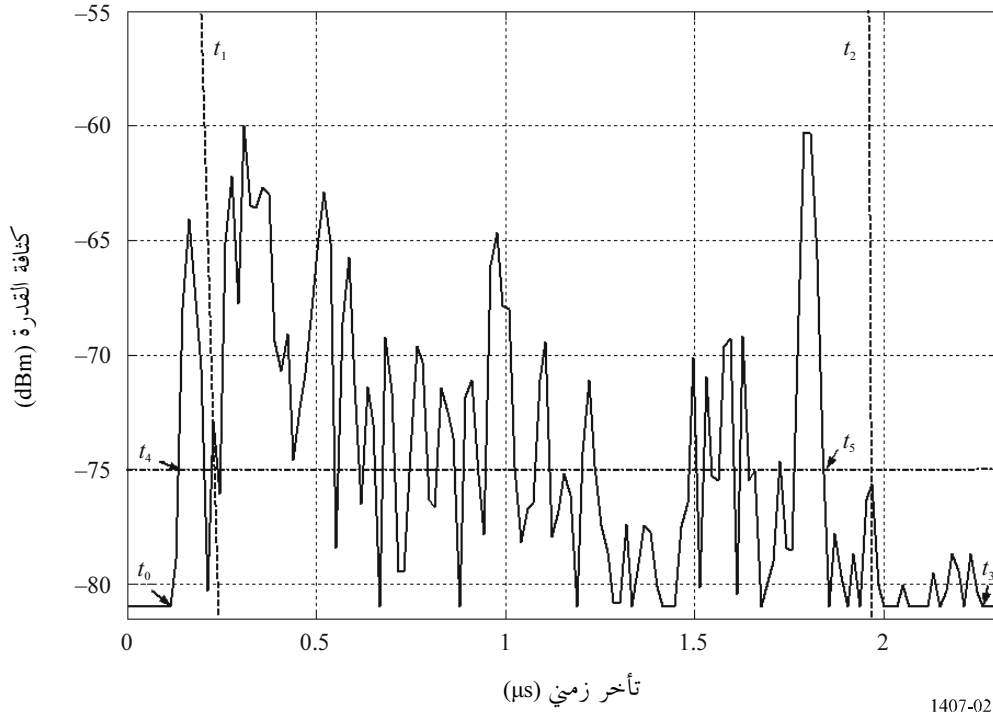
وفي قناة ريسان (Rician)، تقصّر المعادلة (8) في تقدير عرض نطاق الترابط. والأدق في مثل تلك القنوات أن يقدر عرض نطاق الترابط من دالة ترابط التردد المتباعد التي يُحصل عليها من دالة النقل المعقدة المتغيرة مع الزمن بحساب معامل الترابط لمختلف المباعدهات الترددية.

ويعرف عرض نطاق الترابط B_x على أنه التردد الذي يساوي فيه الترابط الذاتي $|C(f)|$ نسبة $x\%$ من $C(f=0)$.

ويوصى من أجل تحليل البيانات بنوافذ تأخر لنسب 50% و75% و90% من القدرة، وبفواصل تأخر لعتبات مقدارها 9 و12 و15 dB دون الذروة ويعرض نطاق ترابط لنسبة 50% و90% من الترابط. وتجدد 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.

ويرد في الشكل 2 مثال عن استعمال بعض هذه المصطلحات.

الشكل 2

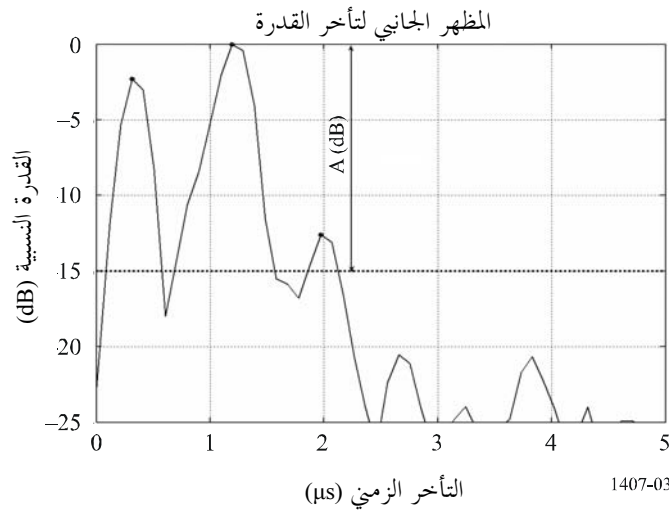


1407-02

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

الشكل 3

المظهر الجانبي لتأخر القدرة مبيناً مكونات المسيرات المتعددة فوق مستوى العتبة



1407-03

3 الملاحظات المتعلقة باتجاه الورد

1.3 تعاريف

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

زاوية الورد المتوسطة هي متوسط القدرة المرجحة لاتجاهات الورد 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 الورد ويعبر عنه باللحظة الثانية للمظهر الجانبي الزاوي للقدرة. وهو يعطي مقياساً للتغير في متوسط زاوية الورد.

والنافذة الزاوية هي عرض الجزء الأوسط للمظهر الجانبي الزاوي للقدرة المحتوي على نسبة مئوية معينة معرفة من الطاقة 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 الورد. 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.

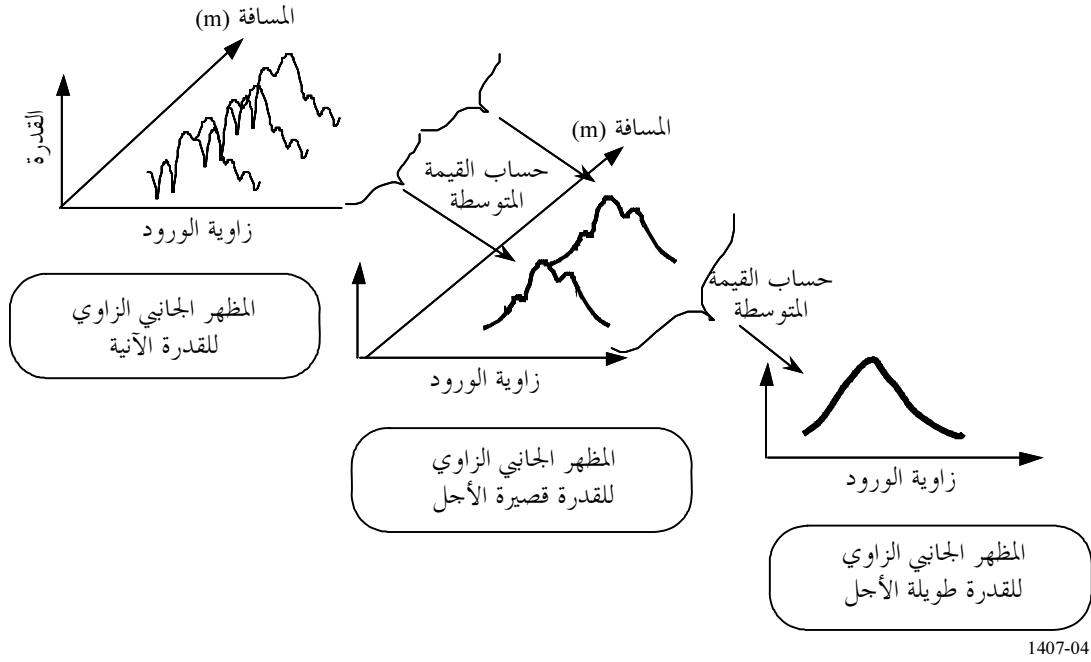
2.3 مناقشة

يمكن حساب الملاحظات المناسبة للوصف الإحصائي لتأثيرات المسيرات المتعددة إما من مظاهر جانبية زاوية لحظية للقدرة أو من مظاهر جانبية زاوية للطاقة قصيرة أو طويلة المدى. وتمثل هذه القيمة إما المتوسطات الزمنية المتحصل عليها عندما يكون المستقبل مستقراً وتمثل التحرك في البيئة، أو المتوسطات المكانية المتحصلة عندما يكون المستقبل في حالة حركة.

وكما يبين الشكل 4، يتم الحصول على المظاهر الجانبية الزاوية قصيرة المدى للقدرة بحساب المتوسط المكاني للمظاهر الجانبية الزاوية اللحظية للقدرة عبر بضع عشرات أطوال الموجة من أجل القضاء على التغير في الحبو السريع؛ ويتم الحصول على المظاهر الجانبية الزاوية طويلة المدى للقدرة بحساب المتوسط المكاني لمظاهر جانبية زاوية قصيرة المدى للقدرة مأخوذة من نفس المسافة تقريباً من محطة القاعدة (BS) من أجل القضاء على التغير الناجم عن الحجب.

الشكل 4

تعريف المظاهر الجانبية الزاوية للقدر



1407-04

1.2.3 الطاقة الإجمالية

بفرض القدر المستقبلية في الاتجاه θ هي $P(\theta)$.

فإن الطاقة الإجمالية P_0 ، للمظهر الجانبي الزاوي تعرف بأنها القدر فوق سوية العتبة L_0 التي تفصل بين الإشارة والضوضاء، كما هو مبين في الشكل 5:

$$(9a) \quad P_0 = \int_{\theta_0}^{\theta_3} P(\theta) d\theta$$

حيث:

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

$P(\theta)$: قدرة المظهر الجانبي الزاوي فوق سوية العتبة L_0 ؛ حيث إن القدر 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 الورد عندما تتجاوز $P(\theta)$ سوية العتبة للمرة الأولى في $(-\pi, \pi)$

θ_3 : هي زاوية الورد عندما تتجاوز $P(\theta)$ سوية العتبة للمرة الأخيرة في $(-\pi, \pi)$

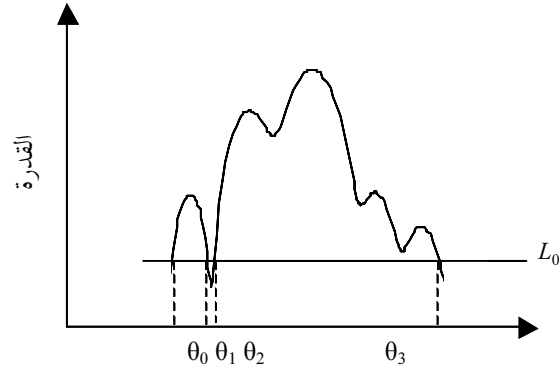
وتصبح الصورة المتفردة للمعادلة (9a) على النحو التالي:

$$(9b) \quad P_0 = \sum_{i=1}^N P(\theta_i)$$

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

الشكل 5

الطاقة الإجمالية



1407-05

2.2.3 زاوية الورد المتوسط

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

$$(10a) \quad T_A = \frac{1}{P_0} \int_{\theta_0}^{\theta_3} \theta P(\theta) d\theta$$

وتصبح الصورة المنفردة للمعادلة (10a) على النحو التالي:

$$(10b) \quad T_A = \frac{\sum_{i=1}^N \theta_i P(\theta_i)}{\sum_{i=1}^N P(\theta_i)}$$

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

3.2.3 جذر متوسط تربيع الانتشار الزاوي (r.m.s)

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

$$(11a) \quad S_A = \sqrt{\frac{1}{P_0} \int_{\theta_0}^{\theta_3} (\theta - T_A)^2 P(\theta) d\theta}$$

وتصبح الصورة المنفردة للمعادلة (11a) على النحو التالي:

$$(11b) \quad S_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\theta_i - T_A)^2 P(\theta_i)}{\sum_{i=1}^N P(\theta_i)}}$$

حيث $i = 1$ و N هما رقما العيّنتين 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 للقدررة الذي يحتوي على نسبة مئوية q من القدررة الإجمالية على النحو الموضح في الشكل 6:

$$(12) \quad \theta_w = \theta_{w2} - \theta_{w1}$$

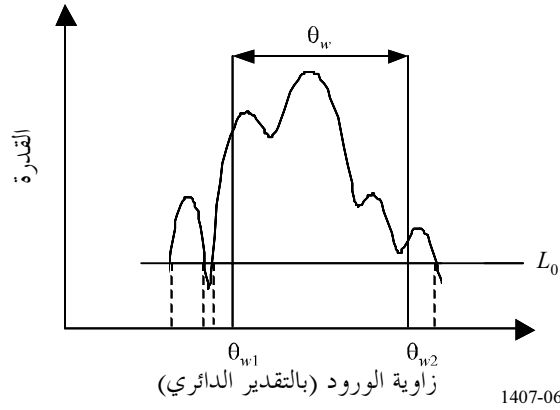
حيث يعرف الحدان θ_{w1} و θ_{w2} على النحو التالي:

$$(13) \quad \int_{\theta_{w1}}^{\theta_{w2}} P(\theta) d\theta = \frac{q}{100} \int_{\theta_0}^{\theta_3} P(\theta) d\theta = \frac{q}{100} P_0$$

وتنقسم الطاقة خارج النافذة إلى جزأين متساويين $\left(\frac{100-q}{200}\right)P_0$.

الشكل 6

النافذة الزاوية



1407-06

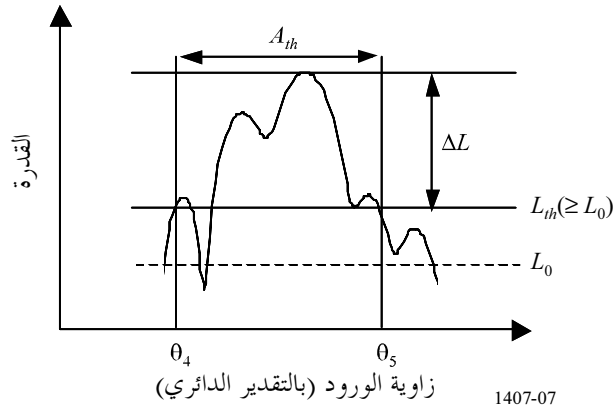
5.2.3 الفترة الزاوية (التباعد الزاوي)

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

$$(14) \quad A_{th} = \theta_5 - \theta_4$$

الشكل 7

الفترة الزاوية



1407-07

6.2.3 مسافة الترابط المكاني

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

$$(15) \quad R(d) = \frac{\int_{\theta_0}^{\theta_3} P(\theta) \exp(-j2\pi d \sin \theta / \lambda) d\theta}{\int_{\theta_0}^{\theta_3} P(\theta) d\theta}$$

حيث:

d : المسافة بالنسبة لتباعدات مختلفة

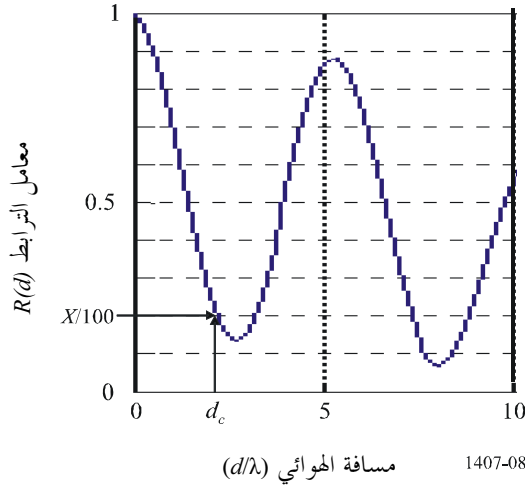
λ : طول الموجه.

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

$$(16) \quad |R(d_c)| / |R(0)| = x/100$$

الشكل 8

مسافة الترابط المكاني



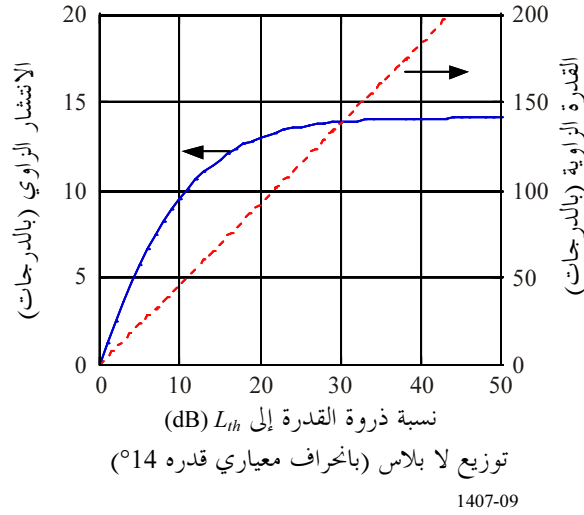
7.2.3 المعلمات الموصى بها

يوصى بأن تسمح النوافذ الزاوية لقدرات 50% و75% و90%، وكذلك الفترات الزاوية لعبتات قدرها 9 و12 و15 dB أسفل الذروة، ومسافات ترابط قدره 50% و90%، بتحليل مفصل للبيانات. وعلاوة 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. ويوصى بهامش أمان قدره 3 dB ولضمان سلامة النتائج يُوصى باستخدام حد أدنى من نسبة الذروة إلى الإشارة الهامشية قدره 15 dB مثلاً (مع استبعاد هامش الأمان البالغ 3 dB) كمتغير استثنائي يحد من المظاهر الجانبية الزاوية المتضمنة في الإحصائيات. ويبين الشكل 9 مثلاً لتأثير تحديد قيمة الحد الأدنى لنسبة الذروة إلى $L_{th}(\Delta L)$. ويُفترض في هذا الشكل أن المظهر الجانبي للقدرة على شكل توزيع لابلاس (La place) (توزيع أُسي مزدوج). مع انتشار زاوي بمقدار 14 درجة؛ ويتم

حساب الانتشار الزاوي والفترة الزاوية كالتين في النسبة 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 (ΔL) في التقييم الإحصائي.

الشكل 9

مثال لتأثير الحد الأدنى لنسبة ذروة إلى L_{th} (ΔL)



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 (15) بالملحق 1 لحساب الترابط المكاني. ويقدم هذا الملحق باختصار النتيجة ويوضح كيف يتأثر الترابط بتباعد الهوائي.

ويبين الشكل 10 توزيع نموذجي مشذب على شكل لا بلاس لطيف سمت القدرة (PAS) مثل:

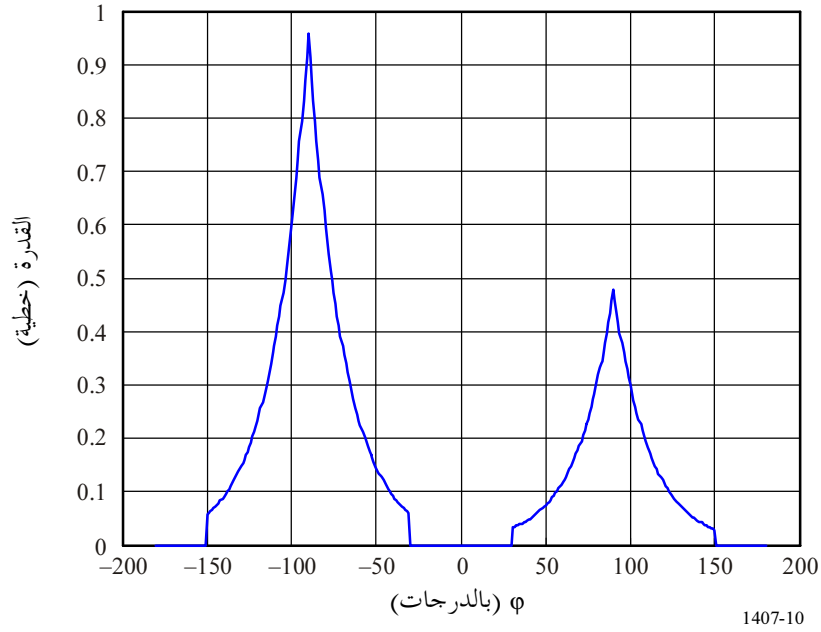
$$(17) \quad PAS_L(\varphi) = \sum_{k=1}^{N_c} \frac{Q_{L,k}}{\sigma_{L,k} \sqrt{2}} \exp\left[-\frac{\sqrt{2}|\varphi - \varphi_{0,k}|}{\sigma_{L,k}}\right] \left\{ \varepsilon[\varphi - (\varphi_{0,k} - \Delta\varphi_k)] - \varepsilon[\varphi - (\varphi_{0,k} + \Delta\varphi_k)] \right\}$$

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:

$$(18) \quad \sum_{k=1}^{N_c} Q_{L,k} \left[1 - \exp\left(-\frac{\sqrt{2}\Delta\varphi_k}{\sigma_{L,k}}\right) \right] = 1$$

الشكل 10

توزيع نموذج مشذب على شكل لابلاس لطيف سمت القدرة



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

ويُستنتج معامل ترابط الغلاف من الصيغة:

$$(19) \quad \rho_e(D) = |R_{XX}(D) + jR_{XY}(D)|^2$$

حيث:

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

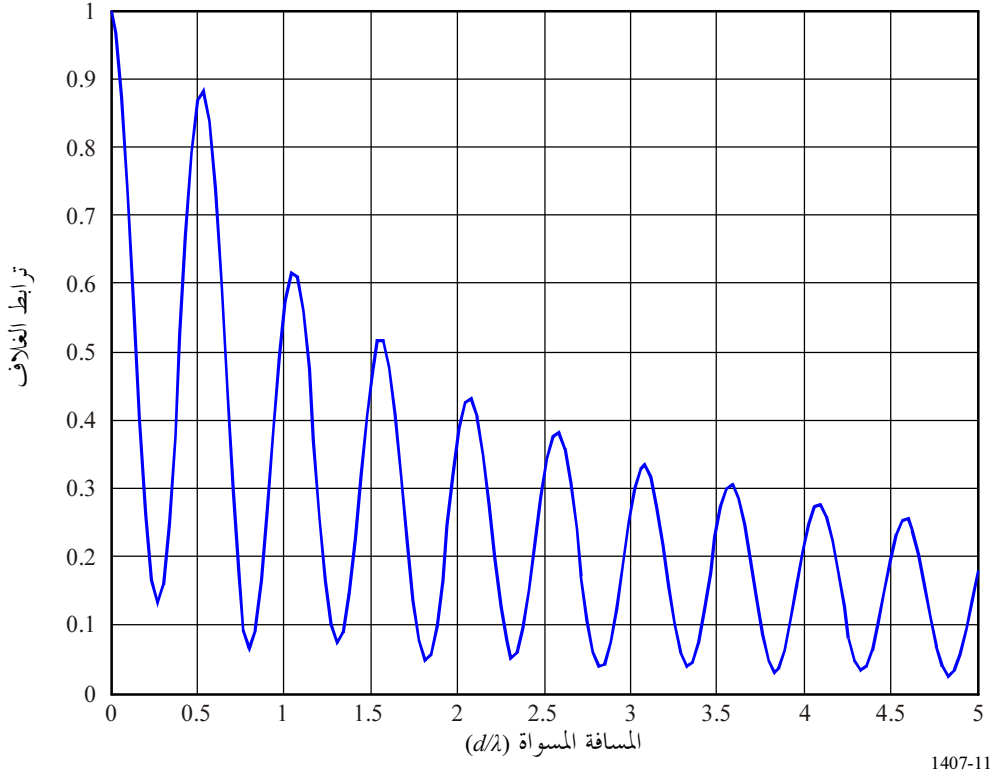
d : مباعدة الهوائي

λ : طول الموجة،

ويتم تحديد دالتي الترابط المتبادل $R_{XX}(D)$ و $R_{XY}(D)$ من المعادلة (16) أعلاه.

ويوضح الشكل 11 الترابط المكاني الناتج.

الشكل 11
الترابط المكاني الناتج



معامل ترابط الغلاف قبالة المسافة المسواة = d/λ بالنسبة لحالة المجموعتين المبينة في الشكل 10.

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

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

$$(20) \quad C = \log_2 \det \left(I_{n_R} + \frac{P}{n_T \sigma^2} R_R^{1/2} H_w R_T H_w^H (R_R^{1/2})^H \right) = \log_2 \det \left(I_{n_R} + \frac{P}{n_T \sigma^2} H_w R_T H_w^H R_R^H \right)$$

حيث:

n_T و n_R : أعداد هوائيات المستقبل والمرسل، على التوالي

P : إجمالي القدرة المرسلة

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 $H = R_R^{1/2} H_w R_T^{1/2}$ ، $R_R^{1/2}$ عبارة عن مصفوفتين هرميتين 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_R و R_T لهما الرتبة الكاملة وأن $n_R = n_T = n$ ، لذا فإنه عند نسبة إشارة إلى ضوضاء عالية يمكن تقريب السعة على النحو التالي:

$$(21) \quad C \approx \log_2 \det \left(\frac{P}{n_T \sigma^2} H_w H_w^H \right) + \log_2 \det(R_R) + \log_2 \det(R_T)$$

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:

$$(22) \quad \prod_{i=1}^n \lambda_i \leq 1$$

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 12 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:

$$(23) \quad R_R = \begin{bmatrix} 1 & \rho_R \\ \rho_R^* & 1 \end{bmatrix}$$

حيث ρ_R تشير إلى الترابط المكاني بين الهوائيات المستقبلية.

الشكل 12

السعة الطاقية مع ترابط مستقبل منخفض وعالي

