التوصية ITU-R P.1815

التوهين التفاضلي للمطر

(المسألة ITU-R 208/3)

(2007)

مجال التطبيق

تتنبأ هذه التوصية بالإحصائيات المشتركة للتوهين التفاضلي بسبب المطر بين ساتل وموقعين على سطح الأرض.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن من الضروري توافر تقنيات مناسبة للتنبؤ بالتوهين التفاضلي الناجم عن المطر بين مسيرات الساتل، من ساتل واحد إلى مواقع متعددة على سطح الأرض، بهدف تقاسم التحاليل؛

ب) أن تقديرات الارتباط الفضائي لمعدل المطر متيسرة؛

ج) أنه قد وضعت طرائق للتنبؤ بالتوهين التفاضلي الناجم عن المطر بين مسيرات فضاء–أرض،

توصي

1 باستعمال الطرائق الموصوفة في الملحق 1 للتنبؤ بالتوهين التفاضلي بالمطر بين ساتل واحد ومواقع متعددة على سطح الأرض.

الملحـــق 1

وصف طريقة التوهين التفاضلي بالمطر

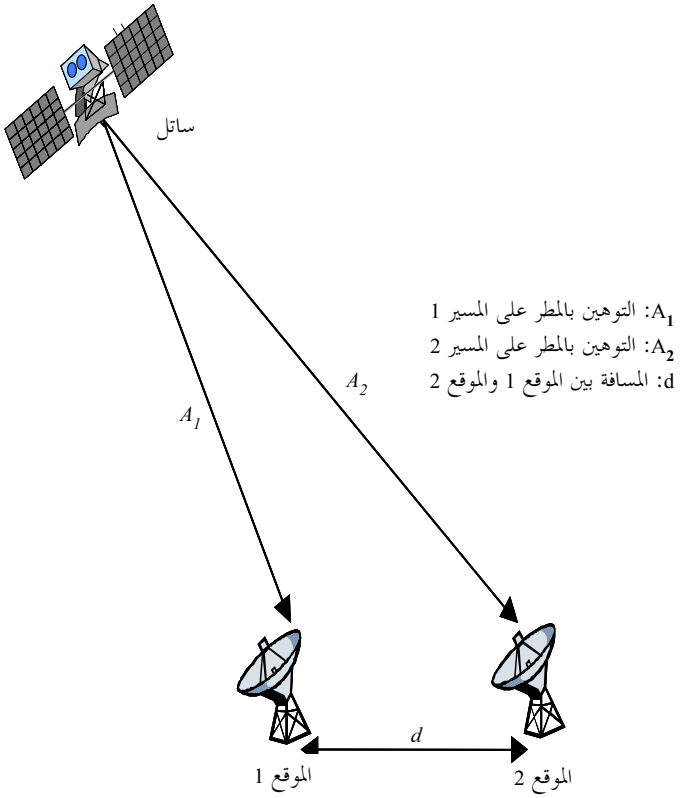
1 مقدمة

تتنبأ الطريقة الموصوفة في هذا الملحق بالإحصائيات المشتركة للتوهين التفاضلي بالمطر بين ساتل وموقعين على سطح الأرض وهي قابلة للتطبيق على ترددات تصل إلى 55 GHz، وزوايا ارتفاع فوق 10° تقريباً، وفواصل بين المواقع من 0 إلى 250 كيلو متر على الأقل.

تدرس هذه الطريقة الخصائص الإحصائية والزمنية لقدّ خلية المطر وشدة المطر وحركة خلايا المطر ذات الصلة بالتوهين التفاضلي بالمطر.

الشكـــل 1

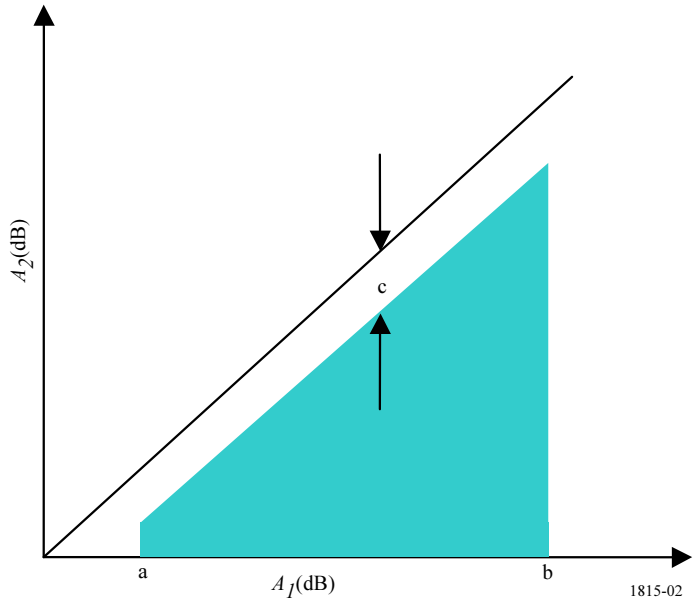
هندسة التوهين التفاضلي



تُبيّن الهندسة في الشكل 1 حيث A_1 وA_2 هما توهينا المطر على المسير 1 والمسير 2 على التوالي. والإحصاء المرغوب هو الاحتمال المشترك بأن يكون التوهين على المسير الأول، A_1، بين a وb والتوهين على المسير الثاني، A_2، أقل من أو يساوي $A_1 - c$؛ أي $\Pr\{a < A_1 \le b, A_2 \le A_1 - c\}$. ويُعرض هذا الاحتمال المشترك بيانياً في الشكل 2 كالاحتمال المتكامل ضمن المنطقة المظللة.

الشكـــل 2

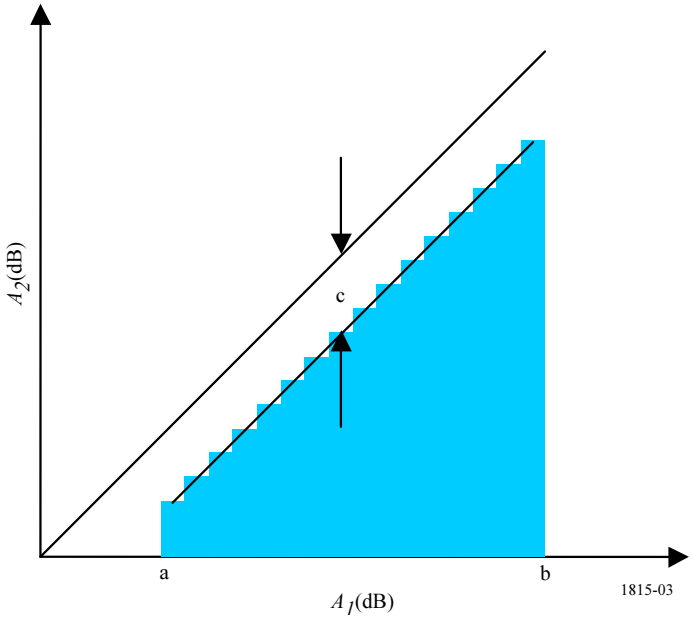
تقريب التوزيع المطلوب للاحتمال المشترك



يمكن إجراء تقريب جيد للاحتمال المشترك ضمن المنطقة المظللة في الشكل 2 باعتباره حاصل جمع الاحتمالات المدمجة ضمن المناطق المستطيلة العمودية الضيقة كما يُبيَّن في الشكل 3.

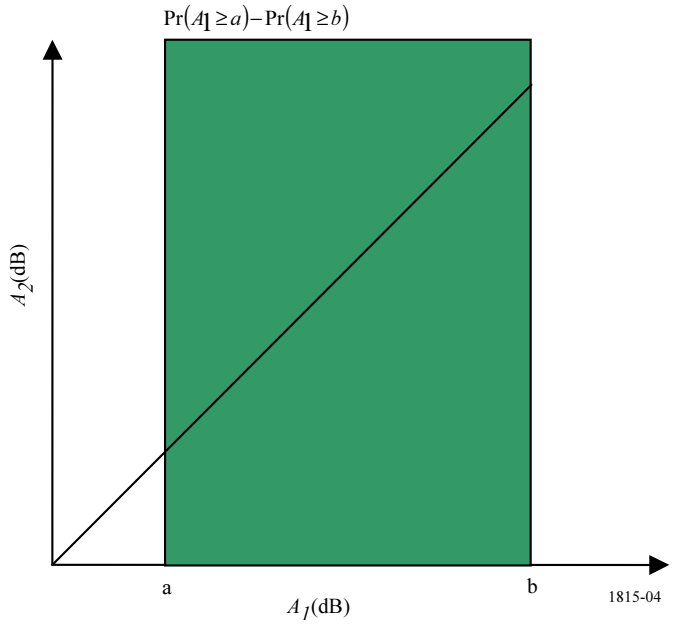
الشكـــل 3

تقريب التوزيع المطلوب للاحتمال المشترك

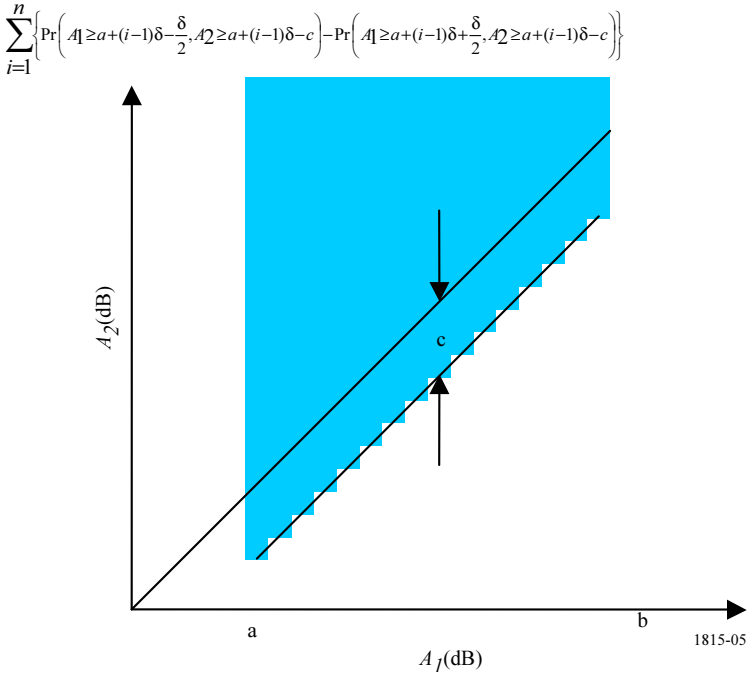


بعدئذ، يمكن حساب الاحتمال المشترك ضمن المنطقة المظللة في الشكل 3 باعتبارها الفارق بين الاحتمال المشترك ضمن المنطقة المظللة في الشكل 4 والاحتمال المشترك ضمن المنطقة المظللة في الشكل 5.

الشكـــل 4



الشكـــل 5



يمكن التقريب الجيد للاحتمال المشترك $\Pr\{a < A_1 \le b, A_2 \le A_1 - c\}$ من الشكلين 4 و5 بواسطة:

$$\begin{aligned}&\Pr\{a < A_1 \le b, A_2 \le A_1 - c\}\\&= \Pr(A_1 \ge a) - \Pr(A_1 \ge b)\\&- \sum_{i=1}^{n}\left\{\Pr\left(A_1 \ge a + (i-1)\delta - \frac{\delta}{2}, A_2 \ge a + (i-1)\delta - c\right) - \Pr\left(A_1 \ge a + (i-1)\delta + \frac{\delta}{2}, A_2 \ge a + (i-1)\delta - c\right)\right\}\end{aligned}$$

حيث:

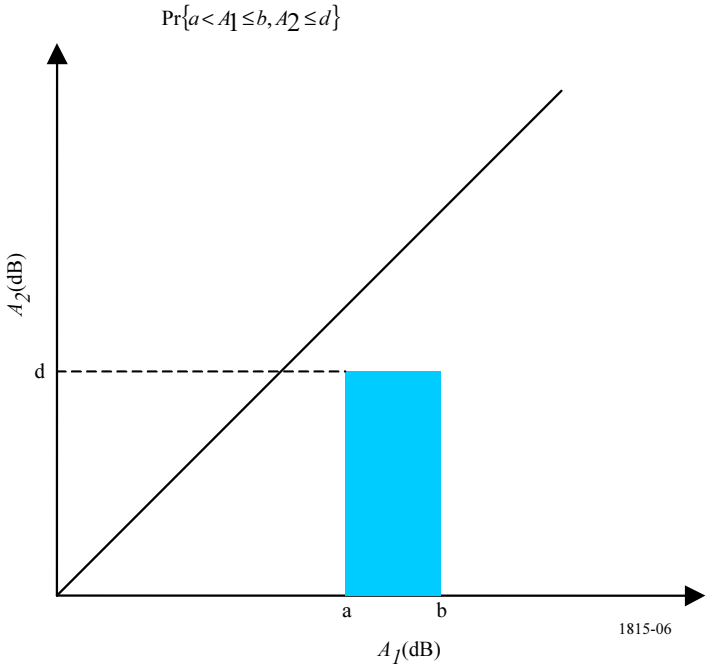
$$\delta = \frac{b-a}{n}$$

ويُنتقى عدد النقاط n ولذلك يكون التقريب دقيقاً بشكل كاف. وقد خطوة δ مقداره 0,01 dB يوفر عموماً دقة كافية.

يمكن استعمال هذه الطريقة أيضاً لحساب احتمالات مشتركة أخرى مطلوبة. فعلى سبيل المثال، الاحتمال المشترك $\Pr\{a < A_1 \le b, A_2 \le d\}$ المبين في المنطقة المظللة من الشكل 6 هو:

$$\Pr\{a < A_1 \le b, A_2 \le d\} = \Pr(A_1 \ge a) - \Pr(A_1 \ge b) - [\Pr(A_1 \ge a, A_2 \ge d) - \Pr(A_1 \ge b, A_2 \ge d)]$$

الشكـــل 6



2 الإحصائيات السنوية للتوهين التفاضلي

إذا لزمت إحصائيات سنوية للتوهين التفاضلي، يمكن حساب الاحتمال $\Pr\{A_1 \geq a, A_2 \geq b\}$ باستعمال طريقة التنبؤ الموصوفة في الملحق 2 استناداً إلى ضبط توهينات موقع واحد بالمطر مقابل احتمالات الحدوث السنوية، $\Pr\{A_1 \geq a\}$ و$\Pr\{A_2 \geq b\}$، على توزيعات احتمالات لوغاريتمية عادية. ويمكن التنبؤ بالتوهين بالمطر مقابل احتمال الحدوث السنوي باستعمال الطريقة الموصوفة في الفقرة 1.1.2.2 الواردة في التوصية ITU-R P.618.

ويمكن الحصول على إحصائيات سنوية عن التوهين التفاضلي بواسطة الإجراء التالي:

الخطوة 1: الحصول على التوهين السنوي بالمطر مقابل احتمال الحدوث باستعمال طريقة التنبؤ بالتوهين بالمطر لقطاع الاتصالات الراديوية التابع للاتحاد الدولي للاتصالات ITU-R الموصوفة في الفقرة 1.1.2.2 من التوصية ITU-R P.618؛

الخطوة 2: تطبيق طريقة التنبؤ بالتوهين التفاضلي بالمطر الموصوفة في الفقرة 1، حيث تُحسب الاحتمالات المناسبة $\Pr(A_1 \geq a_1, A_2 \geq a_2)$ بواسطة الطريقة الموصوفة في الملحق 2.

3 إحصائيات التوهين التفاضلي لأسوأ شهر

إذا لزمت إحصائيات التوهين التفاضلي لأسوأ شهر، يمكن استعمال التوصية ITU-R P.841 لتحويل الإحصائيات السنوية للتوهين بالمطر لموقع واحد إلى إحصائيات التوهين بالمطر لأسوأ شهر لموقع واحد.

يمكن الحصول على إحصائيات التوهين التفاضلي لأسوأ شهر بواسطة الإجراء التالي:

الخطوة 1: الحصول على التوهين بالمطر مقابل احتمال الحدوث باستعمال طريقة التنبؤ بالتوهين بالمطر لقطاع الاتصالات الراديوية التابع للاتحاد الدولي للاتصالات ITU-R الموصوفة في الفقرة 1.1.2.2 في التوصية ITU-R P.618؛

الخطوة 2: تحويل الإحصائيات السنوية للتوهين بالمطر إلى إحصائيات التوهين بالمطر لأسوأ شهر باستعمال طريقة التحويل لأسوأ شهر الخاصة بقطاع الاتصالات الراديوية ITU-R والموصوفة في التوصية ITU-R P.841 ؛

الخطوة 3: تطبيق طريقة التنبؤ بالتوهين التفاضلي بالمطر الموصوفة في القسم 1، حيث تُحسب الاحتمالات المناسبة $\Pr(A_1 \geq a_1, A_2 \geq a_2)$ بواسطة الطريقة الموصوفة في الملحق 2.

الملحـــق 2

وصف طريقة التنبؤ بالتوهين التفاضلي بالمطر

1 تحليل

تفترض طريقة التنبؤ بالتوهين بالمطر توزيعاً لوغاريتمياً عادياً لشدة المطر والتوهين بالمطر.

وتتنبأ هذه الطريقة باحتمال $P_r(A_1 \geq a_1, A_2 \geq a_2)$، وهو الاحتمال المشترك (%) لأن يكون التوهين على المسير إلى الموقع الأول أكبر من a_1 والتوهين على المسير إلى الموقع الثاني أكبر من a_2. و$P_r(A_1 \geq a_1, A_2 \geq a_2)$ هو نتاج الاحتمالين المشتركين:

1) P_r، هو الاحتمال المشترك لهطول المطر في كلا الموقعين،

2) P_a هو الاحتمال المشترك الشرطي الذي يتجاوزه التوهينان a_1 وa_2 على التوالي نظراً لهطول المطر في الموقعين؛ أي

$$\% \Pr(A_1 \geq a_1, A_2 \geq a_2) = 100 \times P_r \times P_a \tag{1}$$

وهذه الاحتمالات هي:

$$P_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho_r^2}} \int_{R_1}^{\infty} \int_{R_2}^{\infty} \exp\left[-\left(\frac{r_1^2 - 2\rho_r r_1 r_2 + r_2^2}{2\left(1-\rho_r^2\right)} \right) \right] dr_1 dr_2 \tag{2}$$

حيث:

$$\rho_r = 0.7\exp(-d/60) + 0.3\exp\left[-(d/700)^2\right] \tag{3}$$

و:

$$P_a = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho_a^2}} \int_{\frac{\ln a_1 - m_{\ln A_1}}{\sigma_{\ln A_1}}}^{\infty} \int_{\frac{\ln a_2 - m_{\ln A_2}}{\sigma_{\ln A_2}}}^{\infty} \exp\left[-\left(\frac{a_1^2 - 2\rho_a a_1 a_2 + a_2^2}{2\left(1-\rho_a^2\right)} \right) \right] da_1 da_2 \tag{4}$$

حيث:

$$\rho_a = 0.94\exp(-d/30) + 0.06\exp\left[-(d/500)^2\right] \tag{5}$$

وρ_a وρ_r هما توزيعان عاديان ثنائيا المتغيرات متتامان.

والمعلمة d هي الفاصل بين الموقعين (km). والعتبتان R_1 و R_2 هما حلا:

$$P_k^{rain} = 100 \times Q(R_k) = 100 \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{R_k}^{\infty} \exp\left(-\frac{r^2}{2} \right) dr \tag{6}$$

أي:

$$R_k = Q^{-1}\left(\frac{P_k^{rain}}{100} \right) \tag{7}$$

حيث R_k هي عتبة الموقع ذي الترتيب k على التوالي، و P_k^{rain} هو احتمال المطر (%) وQ هو التوزيع العادي التراكمي المتتام وQ^{-1} هو التوزيع المعكوس العادي التراكمي المتتام. ويمكن الحصول على احتمال P_k^{rain} لموقع معيّن من *الخطوة 3* من الملحق 1 بالتوصية ITU-R P.837 باستعمال إما المعطيات المحلية أو خرائط معدلات هطول الأمطار لقطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد.

تُحدد قيم المعلمات $\sigma_{\ln A_1}, m_{\ln A_2}, m_{\ln A_1}$ و $\sigma_{\ln A_2}$ بضبط كل توهين بالمطر لموقع إفرادي A_i، مقابل احتمال حدوث P_i، على توزيع لوغاريتمي عادي:

$$P_i = P_k^{rain} Q\left(\frac{\ln A_i - m_{\ln A_i}}{\sigma_{\ln A_i}}\right) \tag{8}$$

يمكن الحصول على هذه المعلمات من أجل كل موقع إفرادي، أو يمكن استعمال موقع واحد. ويمكن التنبؤ بالتوهين بالمطر مقابل احتمال الحدوث السنوي باستعمال الطريقة الموصوفة في الفقرة 1.1.2.2.

وبالنسبة لكل موقع، يجري الضبط اللوغاريتمي العادي للتوهين بالمطر مقابل احتمال الحدوث كما يلي:

الخطوة 1: إنشاء مجموعة أزواج $[P_i, A_i]$ حيث P_i (% من الوقت) هو احتمال تخطي التوهين A_i (dB)؛

الخطوة 2: تحويل مجموعة الأزواج إلى $\left[Q^{-1}\left(P_i / P_k^{rain}\right), \ln A_i\right]$؛

الخطوة 3: تحديد المتغيّرين $m_{\ln A_i}$ و $\sigma_{\ln A_i}$ بأداء ضبط المربعات الصغرى على $\ln A_i = \sigma_{\ln A_i}\ Q^{-1}\left(P_i / P_k^{rain}\right) + m_{\ln A_i}$ من أجل جميع i.

(انظر التوصية ITU-R P.1057 للاطلاع على وصف مفصل).

ويتيسر في موقع ITU-R على الويب، المعني بلجنة الدراسات 3 للاتصالات الراديوية، تنفيذ لطريقة التنبؤ هذه في برنامج MATLAB ومرجع لتقريب التوزيع العادي ثنائي المتغيرات التكميلي.