الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R P.1815-1
(2009/10)

التوهين التفاضلي للمطر

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 لمدى 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 والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهرتقنية 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)

السلسلة	العنوان
BO	البث الساتلي
BR	التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية
BS	الخدمة الإذاعية (الصوتية)
BT	الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)
F	الخدمة الثابتة
M	الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة
P	**انتشار الموجات الراديوية**
RA	علم الفلك الراديوي
S	الخدمة الثابتة الساتلية
RS	أنظمة الاستشعار عن بعد
SA	التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية
SF	تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة
SM	إدارة الطيف
SNG	التجميع الساتلي للأخبار
TF	إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت
V	المفردات والمواضيع ذات الصلة

ملاحظة: *تمت الموافقة على النسخة الإنكليزية لهذه التوصية الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.*

النشر الإلكتروني
جنيف، 2010

© ITU 2010

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.1815-1*

التوهين التفاضلي للمطر

(المسألة ITU-R 208/3)

(2009-2007)

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 للمطر بين ساتل واحد ومواقع متعددة على سطح الأرض.

الملحق 1

وصف طريقة التوهين التفاضلي للمطر

1 مقدمة

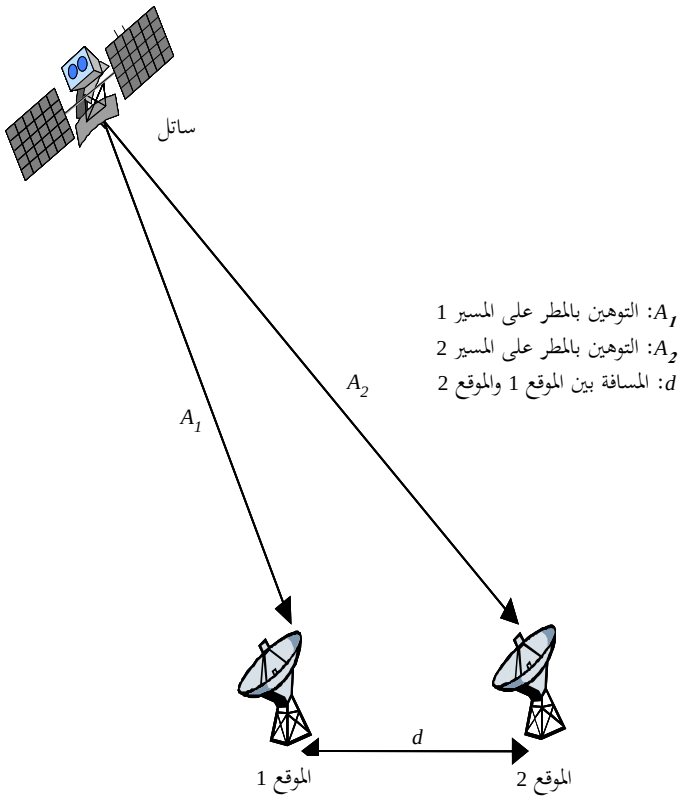
تتنبأ الطريقة الموصوفة في هذا الملحق بالإحصائيات المشتركة للتوهين التفاضلي للمطر بين ساتل وموقعين على سطح الأرض وهي قابلة للتطبيق على ترددات تصل إلى 55 GHz، وزوايا ارتفاع فوق 10° تقريباً، وفواصل بين المواقع من 0 إلى 250 km على الأقل.

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

* أجرت لجنة الدراسات 3 تعديلات صياغية على هذه التوصية في 2016 طبقاً للقرار ITU-R 1.

الشكل 1

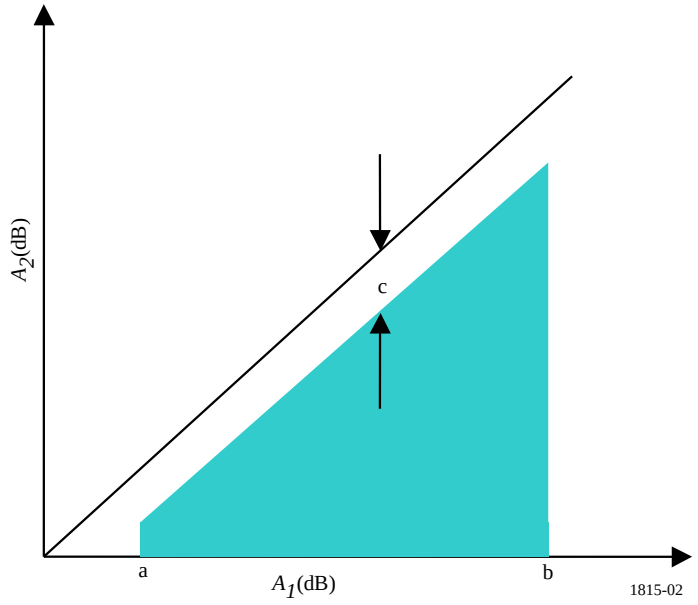
هندسة التوهين التفاضلي



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.

الشكل 2

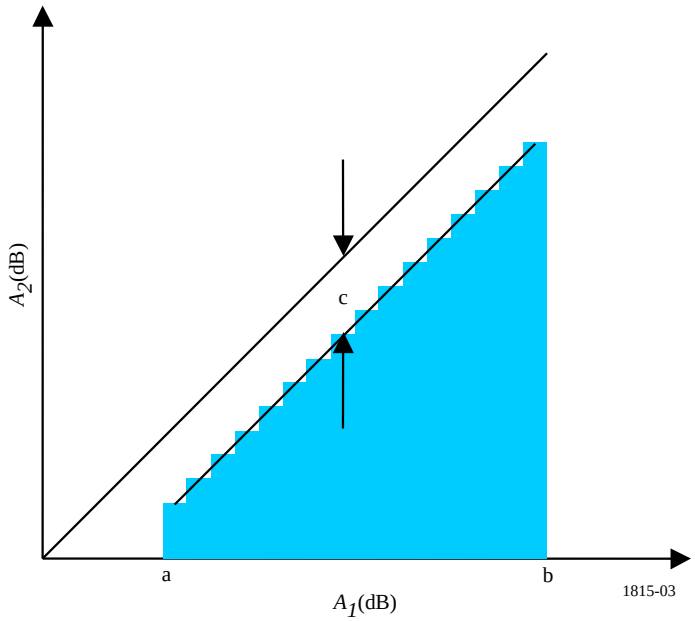
تقريب التوزيع المطلوب للاحتمال المشترك



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.

الشكل 3

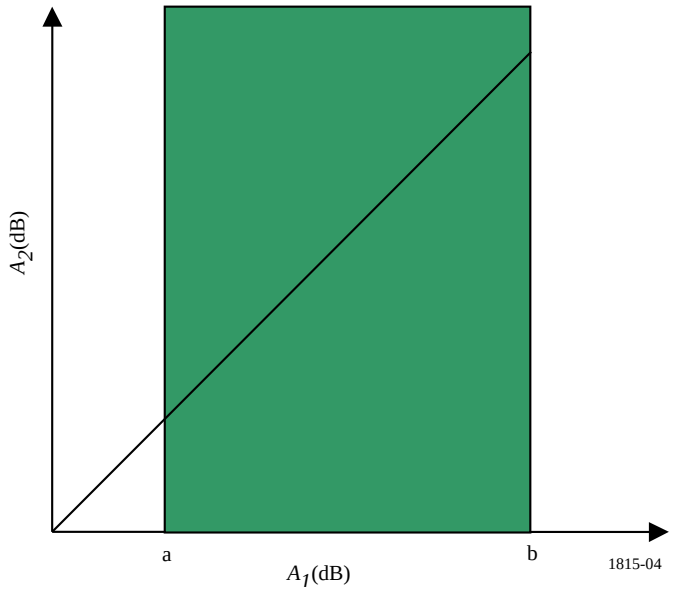
تقريب التوزيع المطلوب للاحتمال المشترك



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.

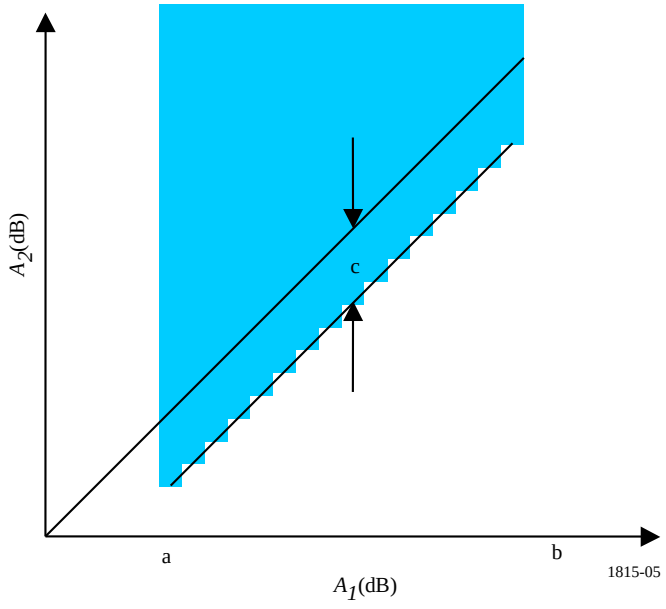
الشكل 4

$\Pr(A_1 \geq a) - \Pr(A_1 \geq b)$



الشكل 5

$$\sum_{i=1}^{n}\left\{\Pr\left(A_1 \geq a+(i-1)\delta-\frac{\delta}{2}, A_2 \geq a+(i-1)\delta-c\right)-\Pr\left(A_1 \geq a+(i-1)\delta+\frac{\delta}{2}, A_2 \geq a+(i-1)\delta-c\right)\right\}$$



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

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

حيث:

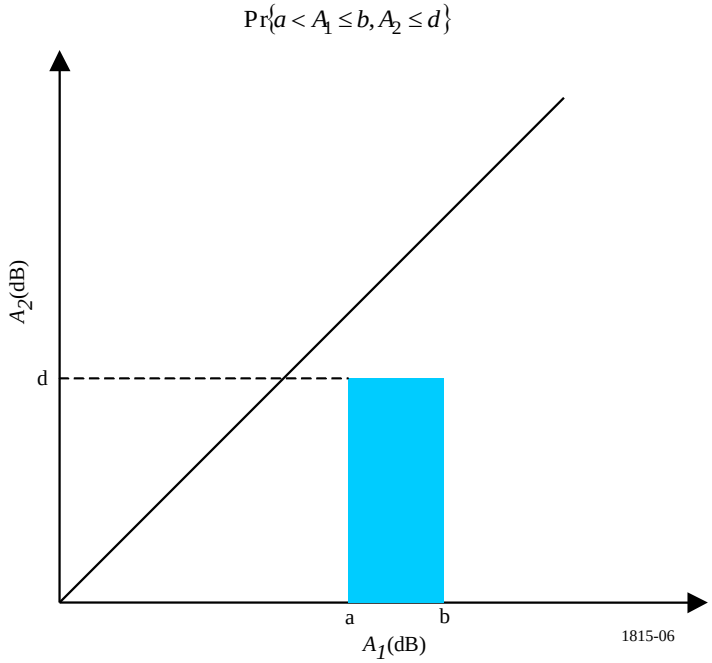
$$\delta = \frac{b-a}{n}$$

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 $\Pr\{a < A_1 \leq b, A_2 \leq d\}$ المبين في المنطقة المظللة من الشكل 6 هو:

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

الشكل 6



2 الإحصائيات السنوية للتوهين التفاضلي

إذا لزمت إحصائيات سنوية للتوهين التفاضلي، يمكن حساب الاحتمال $\Pr\{A_1 \ge a, A_2 \ge b\}$ باستعمال طريقة التنبؤ الموصوفة في الملحق 2 استناداً إلى ضبط توهينات موقع واحد بالمطر مقابل احتمالات الحدوث السنوية، $\Pr\{A_1 \ge a\}$ و $\Pr\{A_2 \ge b\}$، 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 للمطر الموصوفة في الفقرة 1، حيث تُحسب الاحتمالات المناسبة $\Pr(A_1 \ge a_1, A_2 \ge a_2)$ 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 للمطر الموصوفة في القسم 1، حيث تُحسب الاحتمالات المناسبة $\Pr(A_1 \ge a_1, A_2 \ge a_2)$ بواسطة الطريقة الموصوفة في الملحق 2.

الملحق 2

وصف طريقة التنبؤ بالتوهين التفاضلي للمطر

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:

P_r: هو الاحتمال المشترك لهطول المطر في كلا الموقعين،

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

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

وهذه الاحتمالات هي:

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

حيث:

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

و

$$P_a = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho_a^2}} \int_{\frac{\ln a_1 - m_{\ln A_1}}{\sigma_{\ln A_1}}}^{\infty} \int_{\frac{\ln a_2 - m_{\ln A_2}}{\sigma_{\ln A_2}}}^{\infty} \exp\left[-\left(\frac{b_1^2 - 2\rho_a b_1 b_2 + b_2^2}{2\left(1-\rho_a^2\right)} \right) \right] db_2 db_1 \quad (4)$$

حيث:

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

وP_a وP_r هما توزيعان عاديان ثنائيا المتغيرات متتامان[1].

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

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

[1] ويوجد تقريب لهذا المكمل في Z. Drezner و G.O. بشأن "حساب المكمل العادي ثنائي الاتجاه"، جريدة الحساب الإحصائي والمحاكاة. الإصدار 35، 1989، الصفحات 101–107. ويتضمن صندوق أدوات إحصاءات Matlab وظيفة Matlab المدمجة، '*mvcdf*' التي تحسب هذا المكمل وتتضمن مكتبة Python الوظيفة المدمجة 'mvndst' التي تحسب المكمل نفسه.

أي:

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

حيث:

R_k : هي عتبة الموقع ذي الترتيب k على التوالي

P_k^{rain} : هو احتمال المطر (%)

Q: هو التوزيع العادي التراكمي المتتام

Q^{-1}: هو التوزيع المعكوس العادي التراكمي المتتام

P_k^{rain} : يمكن الحصول على احتمال 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:

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

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 من التوصية ITU-R P.618.

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

الخطوة 1: تحديد الاحتمال P_k^{rain} (لنسبة مئوية من الزمن)، احتمال هطول المطر على المسير k.

الخطوة 2: إنشاء مجموعة أزواج $[P_i, A_i]$ حيث P_i (% من الوقت) هو احتمال تخطي التوهين A_i (dB)، بشرط $P_i \leq P_k^{rain}$، وينبغي للقيم المحددة للاحتمال P_i أن تراعي مدى الاحتمال المقصود؛ بيد أن هناك مجموعة مقترحة للنسب المئوية للزمن على النحو التالي: 0,01% و0,02% و0,03% و0,05% و0,1% و0,2% و0,3% و0,5% و1% و2% و3% و5% و10%، شريطة أن يكون $P_i \leq P_k^{rain}$.

الخطوة 3: تحويل مجموعة الأزواج $[P_i, A_i]$ إلى $\left[Q^{-1}\left(\frac{P_i}{P_k^{rain}}\right), \ln A_i\right]$،

حيث:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \mathrm{e}^{-\frac{t^2}{2}} \mathrm{d}t$$

الخطوة 4: 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 قيم i. وتتحدد عملية الضبط بالمربعات الصغرى باستعمال "طريقة الخطوة خطوة لتقريب التوزيع التراكمي التكميلي بواسطة توزيع تراكمي تكميلي لوغاريتمي عادي" والوارد وصفها في التوصية ITU-R P.1057.