منشورات ITU
التوصيات

الاتحاد الدولي للاتصالات
قطاع الاتصالات الراديوية

التوصية ITU-R P.840-9

(2023/08)

السلسلة P: انتشار الموجات الراديوية

التوهين الناجم عن السُحب والضباب

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 القرار 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 https://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
RS	أنظمة الاستشعار عن بُعد
S	الخدمة الثابتة الساتلية
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، 2024

© ITU 2024
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.840-9

التوهين الناجم عن السُحب والضباب

(المسألة ITU-R 201/3)

(2023-2019-2017-2013-2012-2009-1999-1997-1994-1992)

مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية ما يلي:

أ) أسلوب لتقدير التوهين الآني الناجم عن السُحب على مسير مائل لمدى الترددات من 1 إلى 200 GHz عندما يكون المحتوى الآني المتكامل للماء السائل في السحاب[1] معروفاً من بيانات محلية أو بيانات وصفية مرجعية أو خرائط رقمية مرجعية؛

ب) أسلوب لتقدير إحصاءات التوهين الناجم عن السُحب على مسير مائل لمدى الترددات من 1 إلى 200 GHz عندما تكون إحصاءات المحتوى المتكامل للماء السائل في السحاب معروفة إما من بيانات محلية أو بيانات وصفية مرجعية أو خرائط رقمية مرجعية؛

ج) تقريب لوغاريتمي طبيعي للتوهين الناجم عن السُحب على مسير مائل لاستعماله في التوصية ITU R P.1853.

مصطلحات رئيسية

التوهين الناجم عن السُحب، محتوى الماء السائل في السحاب، المحتوى العمودي المتكامل للماء السائل في السحاب، التوهين الخاص بالسائل في السحاب

المختزلات/المختصرات/مسرد المصطلحات

ASCII الشفرة الأمريكية المعيارية لتبادل المعلومات (*American Standard Code for Information Interchange*)

CCDF دالة التوزيع التراكمي التكميلية (*Complementary cumulative distribution function*)

ECMWF المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية متوسطة المدى (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*)

توصيات قطاع الاتصالات الراديوية وكتيباته ذات الصلة

التوصية ITU-R P.530

التوصية ITU-R P.618

التوصية ITU-R P.619

التوصية ITU-R P.840

التوصية ITU-R P.1853

التوصية ITU-R P.2041

1 المحتوى المتكامل للماء السائل في السحاب هو الكمية الكلية للماء السائل في السحاب في عمود رأسي يمتد من سطح الأرض إلى أعلى الغلاف الجوي. ومصطلحات المحتوى المتكامل للماء السائل في السحاب، والمحتوى الكلي للماء السائل في السحاب، والماء السائل الكلي ضمن العمود (العمودي) في السحاب، والمحتوى العمودي المتكامل للماء السائل في السحاب، والمحتوى العمودي الكلي للماء السائل في السحاب هي مصطلحات مترادفة.

التوصية ITU-R P.2145

كتيب عن الأرصاد الجوية الراديوية

ملاحظة – في كل حالة، ينبغي استخدام أحدث مراجعة/طبعة سارية للتوصية.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن الحاجة تدعو لإرشاد المهندسين في تصميم أنظمة اتصالات أرض–فضاء في الترددات التي تزيد عن 10 GHz؛

ب) أن التوهين الناجم عن السُحب قد يكون عاملاً ذا أهمية لا سيما في أنظمة الموجات الصغرية التي تعلو كثيراً عن 10 GHz أو الأنظمة قليلة التيسر؛

ج) أن الحاجة تدعو إلى تقريب لوغاريتمي طبيعي للتوهين الناجم عن السُحب على مسير مائل لاستعماله في التوصية ITU-R P.1853؛

د) أن البيانات المحلية المقيسة للمحتوى الإجمالي العمودي للماء السائل في السُحب قد لا تكون متاحة؛

هـ) أن البيانات المستمدة من أنظمة التنبؤ العددي بالطقس يمكن أن تقدم معلومات عن معلمات السُحب،

توصي

1 باستعمال الأسلوب الوارد في الفقرة 1.3 لتقدير التوهين الآني الناجم عن السُحب على مسير مائل في مدى الترددات من 1 إلى 200 GHz، فيما يخص القيم الآنية لمحتوى الماء السائل المتكامل المعروف من البيانات المحلية؛

2 باستعمال الأسلوب الوارد في الفقرة 2.3 لتقدير إحصاءات التوهين الناجم عن السُحب على مسير مائل في مدى الترددات من 1 إلى 200 GHz، في حال عُرفت قيم إحصاءات محتوى الماء السائل المتكامل في السحاب المعروفة من البيانات التاريخية طويلة الأجل أو من الخرائط الواردة في الفقرة 4؛

3 باستعمال الأسلوب الوارد في الفقرة 3.3 لتقدير التقريب اللوغاريتمي الطبيعي للتوهين الناجم عن السُحب على مسير مائل، كي يُستعمل في التوصية ITU-R P.1853.

الملحق 1

1 مقدمة

في السُحب أو الضباب المكون كلياً من قطيرات صغيرة، تقل عموماً عن 0,01 cm، يصح تقريب رايلي (Rayleigh) للترددات حتى 200 GHz. ويمكن كتابة التوهين النوعي ضمن سحابة أو ضباب كما يلي:

$$\gamma_c(f,T) = K_l(f,T)\rho_l \quad \text{(dB/km)} \tag{1}$$

حيث:

γ_c: التوهين النوعي (dB/km) ضمن سحابة

K_l: معامل التوهين النوعي للماء السائل في السُحب ((dB/km)/(g/m^3))

ρ_l: كثافة الماء السائل في السُحب أو الضباب (g/m^3)

f: التردد (GHz)

T: درجة حرارة الماء السائل في السُحب (K).

وعند ترددات من مرتبة GHz 100 فما فوق، يمكن للتوهين الناجم عن الضباب أن يكون ذا شأن. إذ تبلغ كثافة الماء السائل في الضباب نحو g/m^3 0,05 نمطياً للضباب المتوسط (إمكانية الرؤية بمرتبة m 300) وg/m^3 0,5 للضباب الكثيف (إمكانية الرؤية بمرتبة m 50).

2 معامل التوهين النوعي للماء السائل في السُحب

يمكن استعمال نموذج رياضي قائم على انتشار رايلي لحساب قيمة K_l في ترددات تصل حتى GHz 200، ويستعمل هذا النموذج نموذج ديباي (Debye) المزدوج لسماحية عازل الماء $\varepsilon(f)$:

$$K_l(f,T) = \frac{0.819f}{\varepsilon''(f)(1+\eta(f)^2)} \quad (dB/km)/(g/m^3) \tag{2}$$

حيث f هو التردد (GHz)، و:

$$\eta(f) = \frac{2+\varepsilon'(f)}{\varepsilon''(f)} \tag{3}$$

وتعطى سماحية عازل الماء المعقدة كما يلي:

$$\varepsilon''(f) = \frac{f(\varepsilon_0-\varepsilon_1)}{f_p\left[1+(f/f_p)^2\right]} + \frac{f(\varepsilon_1-\varepsilon_2)}{f_s[1+(f/f_s)^2]} \tag{4}$$

$$\varepsilon'(f) = \frac{\varepsilon_0-\varepsilon_1}{\left[1+(f/f_p)^2\right]} + \frac{\varepsilon_1-\varepsilon_2}{[1+(f/f_s)^2]} + \varepsilon_2 \tag{5}$$

حيث:

$$\varepsilon_0 = 77.66 + 103.3\left(\frac{300}{T}-1\right) \tag{6}$$

$$\varepsilon_1 = 0.0671\varepsilon_0 \tag{7}$$

$$\varepsilon_2 = 3.52 \tag{8}$$

وT هي درجة حرارة الماء السائل (K).

أما ترددات الانفراج الرئيسية (f_p) وترددات الانفراج الثانوية (f_s) فهي:

$$f_p = 20.20 - 146\left(\frac{300}{T}-1\right) + 316\left(\frac{300}{T}-1\right)^2 \quad (GHz) \tag{9}$$

$$f_s = 39.8 f_p \quad (GHz) \tag{10}$$

3 أسلوب التنبؤ بالتوهين الناجم عن السُحب على مسير مائل

هناك ثلاثة أساليب للتنبؤ بالتوهين الناجم عن السُحب على مسير مائل:

1) كما هو موضح في الفقرة 1.3، أسلوب التنبؤ الآني، عندما يكون محتوى الماء السائل المتكامل في السحاب معروفاً من البيانات المحلية المقيسة آنياً؛

2) كما هو موضح في الفقرة 2.3، أسلوب التنبؤ الإحصائي، عندما تكون إحصاءات محتوى الماء السائل المتكامل في السحاب معروفة، إما من:

أ) البيانات المحلية؛

ب) أو من الخرائط المتكاملة في الموقع المطلوب في الفقرة 1.4؛

3) كما هو موضح في الفقرة 3.3، التقريب اللوغاريتمي الطبيعي لأسلوب التنبؤ الإحصائي على مسير مائل، حيث تكون معلمات المتوسط اللوغاريتمي الطبيعي والانحراف المعياري معروفة، إما من:

أ) البيانات المحلية؛

ب) أو من الخرائط المتكاملة في الموقع المطلوب في الفقرة 1.4.

1.3 أسلوب التنبؤ الآني بالتوهين الناجم عن السُحب على مسير مائل

إن التوهين الآني المتوقَع الناجم عن السُحب على مسير مائل، A_C، هو:

$$A_C(f) = \frac{K_L(f) \cdot L}{\sin\theta} \quad \text{(dB)} \tag{11}$$

حيث:

f: التردد موضع الاهتمام بوحدة GHz

K_L: معامل امتصاص الكتلة السائلة في السحاب بوحدة dB/(kg/m^2) أو dB/mm

L: محتوى الماء السائل المتكامل بوحدة kg/m^2 أو mm من سطح الأرض في الموقع المطلوب

θ: زاوية الارتفاع.

و

$$K_L(f) = K_l(f, T = 273.75K) \cdot \left(A_1 e^{-\frac{(f-f_1)^2}{\sigma_1}} + A_2 e^{-\frac{(f-f_2)^2}{\sigma_2}} + A_3 \right) \tag{12}$$

مع:

$$\begin{cases} A_1 = 0.1522, A_2 = 11.51, A_3 = -10.4912 \\ f_1 = -23.9589, f_2 = 219.2096 \\ \sigma_1 = 3.2991 \times 10^3, \sigma_2 = 2.7595 \times 10^6 \end{cases}$$

2.3 أسلوب التنبؤ الإحصائي بالتوهين الناجم عن السُحب على مسير مائل

إن التوهين الإحصائي المتوقَع الناجم عن السُحب على مسير مائل، A_C، هو:

$$A_C(f, p) = \frac{K_L(f) \cdot L(p)}{\sin\theta} \quad \text{(dB)} \tag{13}$$

حيث:

f: التردد موضع الاهتمام بوحدة GHz

K_L: معامل امتصاص الكتلة السائلة في السحاب بوحدة dB/(kg/m^2) أو dB/mm

p: احتمال التجاوز (CCDF) موضع الاهتمام، بالنسبة المئوية (%)

$L(p)$: محتوى الماء السائل المتكامل في احتمال التجاوز p بوحدة kg/m^2 أو mm من سطح الأرض في الموقع المطلوب

θ: زاوية الارتفاع.

و

$$K_L(f) = K_l(f, T = 273.75K) \cdot \left(A_1 e^{-\frac{(f-f_1)^2}{\sigma_1}} + A_2 e^{-\frac{(f-f_2)^2}{\sigma_2}} + A_3 \right) \quad (14)$$

مع:

$$\begin{cases} A_1 = 0.1522, A_2 = 11.51, A_3 = -10.4912 \\ f_1 = -23.9589, f_2 = 219.2096 \\ \sigma_1 = 3.2991 \times 10^3, \sigma_2 = 2.7595 \times 10^6 \end{cases}$$

3.3 التقريب اللوغاريتمي الطبيعي للتوهين الإحصائي الناجم عن السُحب على مسير مائل

إن التقريب اللوغاريتمي الطبيعي للتوهين الإحصائي الناجم عن السُحب على مسير مائل، A_c، هو:

$$A_c(f,p) = \begin{cases} \frac{K_L(f) e^{m_L + \sigma_L Q^{-1}\left(\frac{p}{P_L}\right)}}{\sin\theta} & \text{for } p < P_L \quad \text{(dB)} \\ 0 & \text{for } p \geq P_L \end{cases} \quad (15)$$

حيث:

f: التردد موضع الاهتمام بوحدة GHz

p: احتمال التجاوز (CCDF) موضع الاهتمام، بالنسبة المئوية (%)

m_L: معلمة المتوسط اللوغاريتمي الطبيعي في الموقع المطلوب

s_L: معلمة الانحراف المعياري اللوغاريتمي الطبيعي في الموقع المطلوب

P_L: احتمال السحاب في الموقع المطلوب، بالنسبة المئوية (%)

θ: زاوية الارتفاع

$Q^{-1}(x)$: دالة التوزيع التراكمي التكميلي المعياري الطبيعي العكسي المعرَّفة في التوصية ITU-R P.1057.

و

$$K_L(f) = K_l(f, T = 273.75K) \cdot \left(A_1 e^{-\frac{(f-f_1)^2}{\sigma_1}} + A_2 e^{-\frac{(f-f_2)^2}{\sigma_2}} + A_3 \right) \quad (16)$$

حيث:

$$\begin{cases} A_1 = 0.1522, A_2 = 11.51, A_3 = -10.4912 \\ f_1 = -23.9589, f_2 = 219.2096 \\ \sigma_1 = 3.2991 \times 10^3, \sigma_2 = 2.7595 \times 10^6 \end{cases}$$

ملاحظة – إذا كان الموقع المطلوب لاحتمال P_L على نقطة في شبكة الخارطة الرقمية بحيث $P_L \leq 0.02$، عندئذ $A_c(f,p) = 0$ dB؛ وإذا كان الموقع المطلوب لاحتمال P_L بين نقطتين في شبكة الخارطة الرقمية بحيث $P_L \leq 0.02$ في أي من النقاط الأربعة المحيطة للشبكة، عندئذ $A_c(f,p) = 0$ dB.

4 الخرائط الرقمية المتعلقة بحساب التوهين الناجم عن السُحب

1.4 المعلمات الإحصائية السنوية والشهرية للأرصاد الجوية

تشكل الخرائط الرقمية للإحصاءات السنوية والشهرية العالمية لمحتوى الماء السائل المتكامل في السحاب، L، بوحدة kg/m^2، أو ما يعادلها، بوحدة mm، جزءاً أساسياً من هذه التوصية ويمكن الاطلاع عليها في الأجزاء الإضافية من هذه التوصية.

وتشكل الخرائط الرقمية للإحصاءات السنوية العالمية لمحتوى الماء المتكامل في السحاب، L، المقرَّبة بالتوزيع اللوغاريتمي الطبيعي جزءاً أساسياً من هذه التوصية ويمكن الاطلاع عليها في الأجزاء الإضافية من هذه التوصية.

2.4 الاستكمال الداخلي

يقدم القسم 1.2.4 أسلوب الاستكمال الداخلي الإحصائي والمكاني لحساب محتوى الماء السائل المتكامل السنوي والشهري في السحاب مقابل احتمال التجاوز (CCDF) في أي موقع مطلوب على سطح الأرض.

ويقدم القسم 2.2.4 أسلوب الاستكمال الداخلي الإحصائي والمكاني لحساب المتوسط والانحراف المعياري السنوي والشهري لمحتوى الماء السائل المتكامل في السحاب، وشكل محتوى الماء السائل المتكامل اللوغاريتمي الطبيعي في السحاب ومعلمات القياس في أي موقع مرغوب فيه على سطح الأرض.

1.2.4 الاستكمال الداخلي الإحصائي والمكاني

يمكن حساب إحصاءات السنوية أو الشهرية لمحتوى الماء السائل المتكامل في السحاب، $L(p)$، في أي موقع مطلوب على سطح الأرض وحساب احتمال التجاوز (CCDF)، p، ضمن مدى احتمال التجاوز للخرائط الرقمية المتكاملة باستخدام أسلوب الاستكمال الداخلي التالي:

أ) يتحدد احتمالا التجاوز، p_{above} وp_{below}، أعلى وأسفل احتمال التجاوز المطلوب، p، من المجموعة: 0,01 و0,02 و0,03 و0,05 و0,1 و0,2 و0,3 و0,5 و1 و2 و3 و5 و10 و20 و30 و50 و60 و70 و80 و90 و95 و99 و100% للإحصاءات السنوية، ومن المجموعة: 0,1 و0,2 و0,3 و0,5 و1 و2 و3 و5 و10 و20 و30 و50 و60 و70 و80 و90 و95 و99 و100% للإحصاءات الشهرية؛

ب) لكل نقطة من نقاط الشبكة الأربع المحيطة، i = 1 و2 و3 و4، وبالنسبة لاحتمالي التجاوز، p_{above} وp_{below}، يتحدد محتوى الماء السائل المتكامل في السحاب، L_i، من الخريطة السنوية أو الشهرية المناسبة للمعلمة $L(p)$؛

ج) يتحدَد المحتويان المائيان L_{above} وL_{below} في الموقع المطلوب والاحتمالان p_{above} وp_{below} بإجراء استكمال داخلي ثنائي الخطوط للمحتوى المائي L_i، i = 1 و2 و3 و4 عند نقاط الشبكة الأربع المحيطة باستخدام أسلوب الاستكمال الداخلي الثنائي الخطوط الموصَّف في الملحق 1 بالتوصية ITU-R P.1144؛

د) يتحدد محتوى الماء السائل المتكامل في السحاب، L، في الموقع المطلوب واحتمال التجاوز، p، باستكمال L_{above} وL_{below} داخلياً مقابل p_{below} وp_{below} للتوصل إلى p على مقياس L خطي مقابل مقياس $\log_{10} p$.

2.2.4 الاستكمال الداخلي المكاني والإحصائي (وفق المتوسط والانحراف المعياري)

يمكن حساب المتوسط أو الانحراف المعياري الشهري أو السنوي لمحتوى الماء السائل المتكامل في السحاب، $\bar{L}$ أو σ_L، والمتوسط أو الانحراف المعياري اللوغاريتمي الطبيعي السنوي لمحتوى الماء السائل المتكامل في السحاب، وm_L أو σ_L، أو الاحتمال السنوي للسحاب، P_L، في أي موقع مطلوب على سطح الأرض باستخدام أسلوب الاستكمال الداخلي الثنائي الخطوط الموصَّف في الملحق 1 بالتوصية ITU-R P.1144، عند النقاط الأربع المحيطة بالمعلمة المطلوبة في دائرة الاهتمام، حيث X = $\bar{L}$ أو σ_L أو m_L أو s_L أو P_L في الموقع المطلوب.