|  |  |
| --- | --- |
| **جمعية الاتصالات الراديوية (RA‑15)**  **جنيف، 30-26 أكتوبر 2015** |  |
| **الاتحــــاد الـدولــــي للاتصــــالات** |  |
|  |  |
| المصدر: الوثيقة 3/92(Rev.1) | الوثيقة 3/1005-A |
| الموضوع: المسألة ITU-R 201-5/3 | 7 سبتمبر 2015 |
|  | |
| لجنة الدراسات 3 للاتصالات الراديوية | |
| مشروع مراجعة التوصية ITU-R P.834-6 | |
| آثار الانكسار التروبوسفيري على انتشار الموجات الراديوية | |

مقدمة

تقترح لجنة الدراسات 3 مراجعة التوصية ITU-R [P.834-6](http://www.itu.int/rec/R-REC-P.834/en) المتعلقة بالتنبؤ بالطول الفعال للمسير الذي يعرّف أيضاً بطول المسير التروبوسفيري الزائد على المسيرات أرض-فضاء.

ملخص التغييرات

في الملحق 1 بالفصل 6، تم تغيير العنوان "طول المسير الفعال" إلى "طول المسير الزائد" لمواءمته مع نص التوصية وأُدخلت بعض التعديلات الصياغية على هذا الفصل.

وتم تحديث النموذج المنبثق عن المعادلة (2) في الصفحة 7 حتى الصفحة 8 ليشمل ما يلي:

- معامل جديد للانكسارية (k2)؛

- فصل دالات التقابل؛

- تصويب من مكون جاف إلى مكون هيدروستاتي؛

- تصويب لثابت الجاذبية في المعادلة (23e)؛

- إدراج معلمات النماذج كجزء لا يتجزأ من هذه التوصية؛

- تعريف إجراء الاستكمال الداخلي عبر المستوى الأفقي وفي الارتفاع.

الكلمات الرئيسية

طول المسير التروبوسفيري الزائد، وصلة أرض-فضاء، النظام العالمي للملاحة الساتلية، منتج مناخي عددي، خرائط رقمية.

مشروع مراجعة التوصية ITU-R P.834-6

آثار الانكسار التروبوسفيري على انتشار الموجات الراديوية

(المسألة ITU-R 201/3)

(2007-2005-2003-1999-1997-1994-1992)

الملحق 1

**...**

# 6 طول المسير الراديوي الزائد وتغيراته

بما أن مؤشر الانكسار التروبوسفيري أعلى من 1 ويتغير مع الارتفاع، فإن طول المسير الراديوي لموجة تنتشر بين الأرض وساتل ما يكون أكبر من طول المسير الهندسي. ويُعطى الطول الزائد بواسطة التكامل التالي:

 (15)

حيث:

*s*: الطول على مدى المسير

*n*: مؤشر الانكسار

*A* و*B*: طرفا المسير.

ولا يمكن استعمال المعادلة (15) إلا إذا كان تغير مؤشر الانكسار *n* على طول المسير معروفاً.

عندما تكون درجة الحرارة *T* والضغط الجوي *P* والرطوبة النسبية *H* عند سوية الأرض معروفة، يمكن حساب طول المسير الزائد Δ*L* حسب الطريقة شبه التجريبية المعبر عنها فيما يلي، والتي استُخلصت من المنحنيات المحصل عليها بواسطة السبر الراديوي الجوي خلال حملة قياسات عام واحد أُجريت في 500 محطة أرصاد جوية في 1979. في هذه الطريقة، تكون العبارة العامة لطول المسير الزائد Δ*L* هي:

 (16)

حيث:

0ϕ: زاوية الارتفاع عند نقطة الرصد

Δ*LV*: طول المسير العمودي الزائد

*k* وδ (ϕ0, Δ*LV*­): المعلمات التصحيحية التي يُستعمل لحسابها النموذج الجوي الأُسّي.

ويأخذ العامل *k* في الحسبان تغير زاوية الارتفاع على طول المسير. ويعبر الحد δ (ϕ0, Δ*LV*­) عن آثار الانكسار (المسير ليس خطاً مستقيماً). ويكون هذا الحد دائماً صغيراً جداً، ما عدا عند زاوية الارتفاع المنخفضة جداً ويُهمل في الحساب؛ وهو ينطوي على خطأ cm 3,5 فقط لزاوية ϕ0 ذات  °10وmm 0,1 لزاوية ϕ0 ذات °45. ونلاحظ من جانب آخر أنه عند زوايا ارتفاع صغيرة جداً لا تكون المعلمة δ بالنسبة لها قابلة للإهمال، فإن فرضية جو مستو في طبقات، يشكل أساس كل طرائق حساب طول المسير الزائد، لا تبقى مقبولة.

يُعطى طول المسير العمودي الزائد (m) بواسطة المعادلة التالية:

*LV*  0.00227 *P*  *f* (*T*) *H* (17)

في الحد الأول من الجزء الأيمن من المعادلة (17)، *P* هي الضغط الجوي (hPa) عند نقطة الرصد.

في الحد الثاني ذي الطبيعة التجريبية، *H* هي الرطوبة النسبية (%)؛ تُعطى دلالة درجة الحرارة *f*(*T*)، التي تتوقف على الموقع الجغرافي، بواسطة المعادلة التالية:

*f* (*T*)  *a* 10*bT* (18)

حيث:

*T* يُعبر عنها بواسطة °C

*a* يُعبر عنها بواسطة m/% للرطوبة النسبية

*b* يُعبر عنها بواسطة °C-1.

وتُعطى في الجدول 2 المعلمتان *a* و*b* اللتان تتوقفان على الموقع الجغرافي.

الجدول 2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| الموقع | a (m/%) | b (°C–1) |
| مناطق ساحلية (جزر أو أماكن تقع على أقل من km 10 من الساحل) | 5,5 × 10– 4 | 2,91 × 10– 2 |
| مناطق استوائية غير ساحلية | 6,5 × 10– 4 | 2,73 × 10– 2 |
| كل المناطق الأخرى | 7,3 × 10– 4 | 2,35 × 10– 2 |

لحساب العامل التصحيحي *k* للمعادلة (16)، نفترض تغيراً أسياً بارتفاع *h* للانكسارية الجوية *N*:

*N*(*h*)  *Ns* exp (– *h* / *h*0) (19)

حيث *Ns* هي متوسطة قيمة الانكسارية عند سطح الأرض (انظر التوصية ITU-R P.453) و*h*0 تُعطى بواسطة:

 (20)

عندها تُحسب *k* من العبارة التالية:

 (21)

حيث *ns* و*n* (*h0*) هما قيمتا مؤشر الانكسار عند سطح الأرض وعند الارتفاع *h*0 (المعطاة بواسطة المعادلة (20)) على التوالي، و*rs*  
و*r* (*h*0) هما المسافتان المقابلتان لمركز الأرض.

بالنسبة للمسيرات أرض-فضاء ذات زوايا ارتفاع θ، يمكن التعبير عن طول المسير التروبوسفيري الزائد *L*() (m) على أنه مجموع المكون الهيدروستاتي والمكون الرطب *LH*() و*LW*():

ويمكن إسقاط طول المسير الزائد عبر طول مسير عمودي، *LHv* و*LWv إلى زاوية الارتفاع، θ* الأعلى من °10 باستعمال دالتي تقابل منفصلتين من أجل المكون الهيدروستاتي والمكون الرطب، *mH*() و*mW*().

  m (22)

يمكن استنباط المكون العمودي الهيدروستاتي عند سطح الأرض، *LHvs* باستعمال المعادلة التالية:

 m (22a)

ويمكن استنباط المكون العمودي الرطب عند سطح الأرض، *LWvs* باستعمال المعادلة التالية:

 m (22b)

حيث:

*ps،* :*es* الضغط الكامل للهواء والضغط الجزئي لبخار الماء على سطح الأرض (hPa)

: *Tms* متوسط درجة حرارة عمود بخار الماء على السطح (K)

: λ عامل انخفاض ضغط البخار

: *Rd* : *R*/*Md* (J/kg K) 287,0

: *R* الثابت *الجزيئي الغرامي* للغاز 8,314 = (J/mol K)

: *Md* *الكتلة الجزيئية الغرامية للهواء الجاف =*  (g/mol) 28,9644

= *k*1 (K/hPa) 77,604

= *k*2 (K2/hPa) 373 900

=gms gm(hs)

*gm* (*h*) = 9,784 ⋅ (1 – 0,00266 ⋅ cos (2 ⋅ lat) – 0,00028 ⋅ *h*)

= تسارع الجاذبية عند مركز ثقل الهواء من الارتفاع *h* (m/s2)

: *lat* خط العرض ( راديان)

: *hs* ارتفاع سطح الأرض فوق متوسط سطح البحر a.m.s.l.)، km).

وبالنسبة للمستقبِلات الواقعة على ارتفاع (km) *h* مختلف عن ارتفاع السطح *hs*، يُعطى المكون الهيدروستاتي والمكون الرطب *LHv*(*h*) و*LWv*(*h*) باستعمال المعادلتين التاليتين:

 m (23a)

 m (23b)

حيث:

يمكن استنباط قيم معلمات الأرصاد الجوية عند الارتفاع *h*، *Tm*(*h*) و *e*(*h*)و *p*(*h*)من القيم عند سطح الأرض، *Tms* و *es* و*ps*، عن طريق استخدام المعادلات التالية:

                  K (24a)

(hPa)     (24b)

                hPa (24c)

حيث:

= α*m* معدل هبوط متوسط درجة حرارة بخار الماء من سطح الأرض (K/km).

*T*s air temperature at Earth surface (K) = =

α lapse rate of air temperature (K/km)  

 *Rd* /1000 = 0.287                J/(g K) =

g gravity acceleration at Earth surface [m/s2] = 



ويمكن استخلاص جميع معلمات دخل النموذج *ps*, و*es* *Tms* وλ وα*m* من خلال افتراض أن معلمات الأرصاد الجوية تتميز بتقلب موسمي.

 (25)

حيث:

: *Xi* *ps*, *es*, *Tms*, λ أو α*m*

Index *i*, 1 designates *ps*, 2 designates *es*, 3 designates *Tms*, 4 designates *,* 5 designates α*m*

: *a*1*i* *القيمة الوسطية للمعلمة*

: *a*2*i* *التقلب الموسمي للمعلمة*

: *a*3*i* *يوم من القيمة الدنيا للمعلمة*

: *Dy* *يوم من السنة (*1*،* 2*،* ...، 365,25)

= 1 1 يناير، = 32 1 فبراير، = 60,25 1 مارس.

وتم حساب المعامِلات *a*1 و*a*2 و*a*3 للمعلمات *ps*, و *es* و *Tms* وλ وα*m* وارتفاع السوية المرجعية *href* التي تشكل جزءاً لا يتجزأ من هذه التوصية وهي متاحة في شكل خرائط رقمية مقدمة في الملف R-RECP.834-7-201504-I!!ZIP-E.

والبيانات من º0 إلى º360 في خطوط الطول ومن º90+ إلى º90–في خطوط العرض وذات استبانة تبلغ º1,5 في كل من خطوط الطول والعرض. ويمكن استنباط طول المسير الزائد عند أي موقع مطلوب وعند أي ارتفاع فوق سطح الأرض، *h* باتباع الأسلوب التالي:

أ ) تحديد المعامِلات *a*1*i* و *a*2*i*و *a*3*i*للمعلمات الخمس، *ps* و *es* و *Tms* وλ وα*m* والسوية المرجعية *href* المستمدة من الخرائط عند أقرب أربع نقاط شبكية إلى الموقع المطلوب.

ب) حساب قيم المعلمات الخمس *ps*, و *es* و *Tms* وλ وα*m* عند الارتفاع المرجعي *href* في أحد أيام السنة *D*y،  و وو في أقرب أربع نقاط شبكية، باستعمال المعادلة (25) مع المعاملات *a*1*i* و *a*2*i*و *a*3*i*لكل نقطة شبكية.

ج) حساب قيمة المعلمات الثلاث، *p*(*h*) و *e*(*h*)و *Tm*(*h*) عند الارتفاع *h*، في أقرب أربع نقاط شبكية باستعمال المعادلات (24a) و(24b) و(24c) مع القيم  و و و، ومع قيم الارتفاع المرجعي *href* لكل نقطة شبكية.

د ) حساب القيمتين *LHv*(*h*) و*LWv*(*h*) عند الارتفاع *h*، عند أقرب أربع نقاط شبكية إلى الموقع المطلوب، باستعمال المعادلتين (23a) و(23b) مع القيم *p*(*h*) و *e*(*h*)و *Tm*(*h*)لكل نقطة من نقاط الشبكة.

ﻫ ) حساب القيمتين *LHv*(*h*) و*LWv*(*h*) عند الارتفاع *h*، في الموقع المطلوب بإجراء استكمال داخلي ثنائي الخطية للقيم الأربع *LHv*(*h*) و*LWv*(*h*) عند أقرب أربع نقاط شبكية على النحو المبين في التوصية ITU-R P.1144.

و ) حساب قيمة طول المسير التروبوسفيري الزائد عند الارتفاع *h* في الموقع المطلوب، *L*(*h,*) باستعمال المعادلة(22) .

وقد اختبرت دقة النموذج المقترح عن طريق استخدام المسبار الراديوي والنظام العالمي للملاحة الساتلية (GNSS) والقياسات الراديوية لتحديد القيمة *Lvs* ، وتتراوح قيم عدم اليقين بين 2 و6 سنتمترات على نطاق العالم. وإذا كانت هناك حاجة إلى دقة أكبر، فإنه يمكن استخدام قياسات محلية متوافقة للضغط الكامل للهواء وضغط بخار الماء كمدخلات للنموذج.

تُعطى دالة التقابل للمكونين الهيدروستاتي والرطب *mh*() و *mw*() بالمعادلتين التاليتين:

                 (26a)

                 (26b)

حيث:



*b*h = 0.0029

*b*w = 0.00146

*c*w = 0.04391

  (26c)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| نصف الكرة الأرضية | c1 | c10 | c11 | *ψ* |
| **الشمالي** | 0,062 | 0,001 | 0,005 | 0 |
| **الجنوبي** | 0,062 | 0,002 | 0,007 | π |

 (26d)

 (26e)

تشكل المعامِلات *A0h* و *A1h*و *A2h*و *B1h*و *B2h*و *A0w*و *A1w*و *A2w*و *B1w*و *B2w*جزءاً لا يتجزأ من هذه التوصية وتتاح في شكل خرائط رقمية في الملف R-RECP.834-7-201504-I!!ZIP-E.ZIP. وتُحسب قيم المعلمتين *ah* و *aw*في الموقع المطلوب بأداء استكمال داخلي الخطية لقيم هذه المعاملات عند النقاط الشبكية الأربع على النحو المبين في التوصية ITU-R P.1144.



فيما يتعلق بحالة وصلة أرض-فضاء ذات زوايا ارتفاع *θ* أكبر من °20، يمكن تقريب دالتي التقابل المعطاة بالمعادلتين (26a) و(26b) من خلال المعادلة التالية:

                 (26f)

وعند تطبيق هذا النموذج، يوصى باستعمال إما المعادلتين (26a) أو (26b) أو المعادلة (26f) على نحو متسق مع جميع زوايا الارتفاع.

الشكل 1

خريطتان تطهران متوسط زيادة تأخر انتشار المسير عن المستوى المرجعي في شهري يناير ويوليو



خط الطول (بالدرجات)

خط الطول (بالدرجات)

15 يناير

15 يوليو

خط العرض (بالدرجات)

خط العرض (بالدرجات)

طول المسير الزائد (بالأمتار)

# 7 الانتشار عبر المجاري

ملاحظة 1 – تتوفر الإجراءات Maltab التي تنطبق على النموذج الذي تصفه مجموعة معطيات المعادلات من (22) إلى (24) في موقع قطاع الاتصالات الرادوية الإلكتروني المعني بأعمال لجنة الدراسات 3 للاتصالات الراديوية.

خط الطول (بالدرجات)

هناك مجارٍ كلما كان التدرج العمودي للانكسارية عند ارتفاع وموقع معينين أصغر من N/km 157−.

إن وجود المجاري مهم لأنه يمكن أن يسبب انتشاراً راديوياً غير عادي، خاصة على وصلات أرض أو وصلات أرض-فضاء مع زاوية ارتفاع ضعيفة جداً. تشكل المجاري آلية تسمح للإشارات الراديوية ذات ترددات عالية بما يكفي بالانتشار بعيداً جداً ما وراء مسافة خط البصر العادية، ومن ثم خطر التداخل مع خدمات أخرى (انظر التوصية ITU-R P.452). وهي تلعب فيما عدا ذلك دوراً مهماً في ظواهر التداخل عبر مسيرات متعددة (انظر التوصية ITU-R P.530) ولو كان وجودها لا يكفي أو غير كافٍ لملاحظة ظواهر الانتشار عبر مسيرات متعددة على وصلة معينة.

## 1.7 تأثير زاوية الارتفاع

عندما يكون هوائي إرسال يقع داخل مجرى راديوي ذي طبقات أفقية، فإن الأشعة المرسلة عند زوايا ارتفاع ضعيفة جداً يمكن أن "تُحبس" داخل المجرى. في الحالة المبسطة لمظهر جانبي انكساري "عادي" فوق مجرى سطحي ذي تدرج انكسار ثابت، فإن زاوية الارتفاع الحرجة (rad) α لكي تُحبس الأشعة، تُعطى بواسطة المعادلة:

 (27)

حيث *dM*/d*h* هي التدرج العمودي للانكسارية المعدّلة وΔ*h* هي سُمك المجرى الذي يقابل ارتفاع ذروة المجرى فوق هوائي الإرسال.

يعطي الشكل 2 زاوية الارتفاع القصوى لكي "تُحبس" أشعة في المجرى. وترتفع زاوية "الحبس" القصوى بسرعة مع مرور تدرجات الانكسارية تحت N/km 157− (أي عندما ترتفع معدلات التغير) أو عندما يزيد سمك المجرى.

## 2.7 أدنى تردد "للحبس"

إن وجود مجرى، وإن كان في موقع جيد، لا يعني بالضرورة أن الطاقة ستُقترن بفعالية في المجرى بحيث يكون هناك انتشار على مسافات طويلة. وإضافة إلى كون تردد الموجة يجب أن يحترم زاوية الارتفاع القصوى، فإنه يجب أن يكون أعلى من قيمة حرجة محددة بواسطة العمق المادي للمجرى والمظهر الجانبي للانكسارية. وتحت هذا التردد الأدنى للحبس، تكون هناك تسربات متزايدة للطاقة عبر حدود المجرى.

من الممكن تقييم التردد الأدنى لكي تُحبس موجة في مجرى تروبوسفيري باستعمال تكامل للطور. ويبين الشكل 4 تردد الحبس الأدنى لمجار سطحية (المنحنيات المتصلة) حيث يتم افتراض أن تدرج انكسارية ثابت (سالب) يمتد من السطح إلى ارتفاع معين، مع مظهر جانبي "معياري" فوق هذا الارتفاع. بالنسبة للترددات المستعملة مع أنظمة الأرض (على العموم بين 8 وGHz 16)، يجب أن يكون للمجرى سمك أدنى بين حوالي 5 وm 15 وتردد الحبس الأدنى ، *fmin*، يتوقف كثيراً على سُمك المجرى وتدرج مؤشر الانكسار.

وفي حالة المجاري المرفوعة، تدخل في الاعتبار معلمة أخرى، حتى بالنسبة للحالة البسيطة المتعلقة بمظهر جانبي خطي للانكسارية. تأخذ هذه المعلمة في الاعتبار شكل المظهر الجانبي لمؤشر الانكسار تحت تدرج المجرى. تدل المنحنيات المتقطعة في الشكل 4 على تردد الحبس الأدنى لمجرى ذي تدرج ثابت يقع فوق طبقة سطحية ذات تدرج انكسارية معيارية لا يقل عن N/km 40−.

الشكل 2

الزاوية القصوى للحبس لمجرى سطحي له تدرج انكسارية ثابت  
فوق أرض كروية



زاوية الحبس الحرج (mrad)

زاوية الحبس الحرج (بالدرجات)

وبالنسبة لطبقات لها معدلات تغير أعلى بقدر بسيط من الحد الأدنى المطلوب لوجود انتشار عبر المجرى، يكون تردد الحبس الأدنى في الواقع أعلى من التردد الملاحظ في حالة مجرى سطحي. وبالنسبة لتدرجات مجرى مهمة جداً، وحتى يكون هناك حبس في المجرى المرفوع، لا بد من طبقة أرق بكثير مما هو الحال في المجرى السطحي لتدرج مكافئ بالنسبة لأي تردد.

الشكل 3

التردد الأدنى للحبس في مجار راديوية جوية  
لتدرجات الانكسارية الثابتة



مجار قائمة على السطح

مجار مرفوعة فوق المظهر الجانبي المعياري للانعكاسية

     سماكة الطبقة (m)

التردد الأدنى للحبس (GHz)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_