

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R P.617-2
(2012/02)

تقنيات التنبؤ بالانتشار والمعطيات المطلوبة
من أجل تصميم أنظمة المرحل الراديوي
العابرة للأفق

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 مدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها. ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجميعيات 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 الكهروتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد الاستثمارات 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>)

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

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

النشر الإلكتروني

جنيف، 2012

© ITU 2012

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.617-2*

تقنيات التنبؤ بالانتشار والمعطيات المطلوبة من أجل تصميم أنظمة المرحل الراديوي العابرة للأفق

(المسألة ITUR 205/3)

(1986-1992-2012)

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

(أ) أنه من أجل التخطيط الملائم لأنظمة المرحل الراديوي عبر الأفق يكون من الضروري توفر طرائق ومعطيات تنبؤ ملائمة للانتشار؛

(ب) أنه قد تم إعداد طرائق تتيح التنبؤ بأكثرية معلمات الانتشار المهمة التي تؤثر على التخطيط لأنظمة المرحل الراديوي عبر الأفق؛

(ج) أنه قد تم اختبار هذه الطرائق إلى أقصى قدر ممكن بالنسبة إلى المعطيات المقيسة المتوفرة وقد تبين أنها تتيح الحصول على دقة تكون متوائمة مع التغييرية الطبيعية لعامل الانتشار ومناسبة لأكثرية التطبيقات الحالية في تخطيط النظام على حد سواء،

توصي

بأن يتم اعتماد طرائق التنبؤ والتقنيات الأخرى المبينة في الملحق 1 للتخطيط لأنظمة المرحل الراديوي عبر الأفق في المديات الخاصة بالمعلومات المبينة.

الملحق 1

1 المقدمة

إن الآليات الوحيدة للانتشار الراديوي الذي يتخطى الأفق التي تظهر بشكل دائم للترددات التي تفوق 30 MHz هي آليات الانكسار عند سطح الأرض والانتشار من الاضطرابات الجوية. إن توهين الإشارات المنكسرة تتغير بسرعة كبيرة مع المسافة والتردد وفي نهاية الأمر تكون الآلية الأساسية هي آلية الانتشار التروبوسفيري. ويمكن أن تستخدم كلتا الآليتين لإقامة إرسال راديوي "عبر الأفق". ونظراً إلى الاختلاف ما بين الآليتين، فإنه من الضروري النظر في مسيرات الانكسار والانتشار التروبوسفيري على حدة من أجل التنبؤ بخسارة الإرسال.

ويتعلق هذا الملحق بتصميم أنظمة المرحل الراديوي عبر الأفق، وأحد الأهداف من ذلك هو تقديم طرائق بسيطة على نحو موجز من أجل التنبؤ بالتوزيعات السنوية وتوزيعات أسوأ شهر لخسارة الإرسال التي تعود إلى الانتشار التروبوسفيري بالإضافة إلى معلومات عن مديات صلاحيتها. وأحد الأهداف الأخرى من هذا الملحق هو تقديم معلومات وتقنيات أخرى بالإمكان التوصية بها في التخطيط لأنظمة عبر الأفق.

* أدخلت اللجنة 3 للاتصالات الراديوية تعديلات صياغية على هذه التوصية طبقاً للقرار ITU-R 44.

2 خسارة الإرسال على مسيرات الانكسار

بالنسبة إلى المسيرات الراديوية التي تمتد بشكل بسيط ما وراء الأفق أو بالنسبة إلى المسيرات التي تمتد ما وراء عائق أو سطح جبلي، يكون الانكسار عموماً أسلوب الانتشار الذي يحدد شدة المجال. وفي هذه الحالات يجب أن تطبق الطرائق الوارد وصفها في التوصية ITU-R P.526.

3 توزيع خسارة الإرسال على مسيرات الانتثار التروبوسفيري

إن الإشارات المستقبلية بواسطة الانتثار التروبوسفيري تبين تغيرات بطيئة أو سريعة على حد سواء. وتعود التغيرات البطيئة إلى تغيرات إجمالية في الشروط الانكسارية في الجو ويعود الخبو السريع إلى حركة التغيرات قليلة الاتساع. ويرد وصف جيد بالتغيرات البطيئة بواسطة توزيعات خسارة الإرسال المتوسط للساعة التي تكون لوغاريتمية عادية تقريباً مع تحويلات معيارية بين 4 و 8 dB، وذلك يتوقف على المناخ. وإن التغيرات السريعة خلال فترة تصل لغاية 5 دقائق توزع حسب توزيع رايلغ تقريباً.

ولدى تحديد أداء الوصلات العابرة للأفق من أجل هندسيات تطغى فيها آليات الانتثار التروبوسفيري، يكون من الطبيعي تقييم توزيع خسارة الإرسال المتوسط في الساعة من أجل النسب المئوية لعدم التخطي من الوقت فوق 50%. وتبين في الفقرة 1.3 تقنية نصف تحليلية بسيطة للتنبؤ بتوزيع متوسط الخسارة السنوية للإرسال. وتبين في الفقرة 2.3 تقنية بيانية لترجمة هذه النسب المئوية الزمنية السنوية إلى متوسط أسوأ شهر. وفي النهاية، تعطى معلومات إضافية في الفقرة 3.3 بشأن تقييم توزيع خسارة الإرسال للنسب المئوية الزمنية الصغيرة للاستعمال لدى الحصول على المديات الدينامية المطلوبة للمستقبل. ويتضمن التذييل 1 معلومات داعمة إضافية بشأن التغيرات الفصلية واليومية في خسارة الإرسال على تردد الخبو السريع في مسيرات الانتثار التروبوسفيري وعرض نطاق الإرسال.

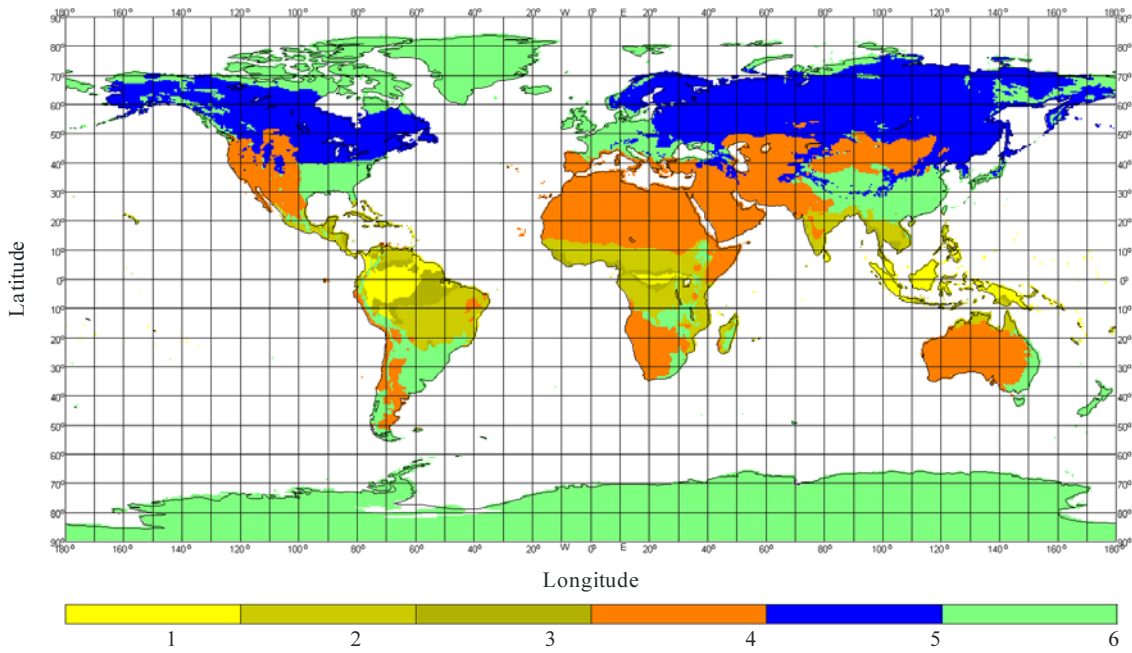
1.3 متوسط توزيع خسارة الإرسال المتوسطة السنوية للنسب المئوية التي تزيد عن 50%

يُوصى بالإجراء المرحلي التالي من أجل تقييم متوسط خسارة الإرسال المتوسط السنوي $L(q)$ الذي لا يزيد للنسب المئوية الزمنية q التي تتخطى 50%. ويتطلب الإجراء معلومات الوصلة لطول مسير الدائرة الكبيرة d (km) والتردد f (MHz) وكسب هوائي الإرسال G_r (dB) وكسب هوائي الاستقبال G_r (dB) وزاوية الأفق θ_r عند المرسل وزاوية الأفق θ_r (mrad) عند الاستقبال.

المرحلة 1: تحديد المناخ المناسب للحجم المشترك للوصلة المعنية باستخدام خارطة المناخ في الشكل 1. وهذه الخارطة متاحة إلكترونياً من الموقع الإلكتروني للجنة الدراسات 3 بقطاع الاتصالات الراديوية على الرابط "برمجيات الانتشار الأيونوسفيري والتروبوسفيري والضوضاء الراديوية".

الشكل 1

تصنيف المناطق المناخية



P.0617-01

إذا ما وقع الحجم المشترك للانتشار التروبوسفيري فوق البحر، يحدّد المناخان في موقعي المرسل والمستقبل كليهما. وإذا ما كان لكلا المطرافين منطقة مناخية تقابل نقطة في البر، تعطى المنطقة المناخية للمسير بالقيمة الأصغر للمنطقتين المناخيتين للمرسل والمستقبل. وإذا ما كان لمطراف واحد فقط منطقة مناخية تقابل نقطة في البر، فإن تلك المنطقة المناخية هي التي تحدد المنطقة المناخية للمسير. وإن لم يكن لأي من المطرافين منطقة مناخية تقابل نقطة في البر، يُخصّص المسير بمنطقة مناخية "المسير بحري".

المرحلة 2: الحصول على المعلمات M و γ لبنية الأرصاد الجوية والجو على التوالي، وعلى المعادلة التي يتعين استخدامها لحساب $Y(90)$ من الجدول 1 من أجل المناخ المعني.

الجدول 1

قيم معلمات بنية الأرصاد الجوية والجو

7	6	5	4	3	2	1	المناخ
26,00	33,20	29,73	38,50	19,30	29,73	39,60	(dB) M
20,27	30,27	20,27	30,27	10,32	20,27	30,33	($^{-1}$ km) γ
8	7	7	11	10	7	9	المعادلة $Y(90)$

المرحلة 3: حساب زاوية الانتشار θ (المسافة الزاوية) من

$$(1) \quad \theta = \theta_e + \theta_t + \theta_r \quad \text{mrad}$$

حيث θ_t و θ_r تمثلان زاويتي الأفق للإرسال وللاستقبال على التوالي، و

$$(2) \quad \theta_e = d \cdot 10^3 / ka \quad \text{mrad}$$

مع:

d : عرض المسير (km)

a = نصف قطر الأرض 6370 km

k : عامل نصف قطر الأرض الفعلي لشروط الانعكاسية الوسطى (يجب أن تستعمل قيمة $k = 4/3$ إلا في حال عرفت قيمة أكثر دقة)؛

المرحلة 4: تقدير اعتماد خسارة الإرسال L_N على ارتفاع الحجم المشترك من:

$$(3) \quad L_N = 20 \log(5 + \gamma H) + 4.34 \gamma h \quad \text{dB}$$

حيث:

$$(4) \quad H = 10^{-3} \theta d / 4 \quad \text{km}$$

$$(5) \quad h = 10^{-6} \theta^2 k a / 8 \quad \text{km}$$

γ هي معلمة البنية الجوية المتحصل عليها من المرحلة 2.

المرحلة 5: تقدير عامل التحويل $Y(q)$ للنسب المئوية لعدم التخطي q غير 50% المبين في المناخ المعني:

$$(6) \quad Y(q) = C(q) Y(90) \quad \text{dB}$$

وتكون $Y(90)$ هنا عامل التحويل من أجل $q = 90\%$ المعطى بالمعادلة المناسبة (11-7) على النحو المبين في الجدول 1 للمناخ المعني:

$$(7) \quad Y_{90} = -2.2 - [8.1 - 2.3 \cdot 10^{-4} \min(1000f, 4000)] \exp(-0.137h)$$

$$(8) \quad Y_{90} = -9.5 - 3 \exp(-0.137h)$$

$$(9a) \quad Y_{90} = -8.2 \quad d_s < 100$$

$$(9b) \quad Y_{90} = 1.006 \cdot 10^{-8} d_s^3 + 2.569 \cdot 10^{-5} d_s^2 + 0.224 d_s - 10.2 \quad 100 \leq d_s < 1000$$

$$(9c) \quad Y_{90} = -3.4 \quad \text{de lo contrario}$$

$$(10a) \quad Y_{90} = -10.845 \quad d_s < 100$$

$$(10b) \quad Y_{90} = -4.5 \cdot 10^{-7} d_s^3 + 4.45 \cdot 10^{-4} d_s^2 + 0.122 d_s - 2.645 \quad 100 \leq d_s < 550$$

$$(10c) \quad Y_{90} = -4.0 \quad \text{de lo contrario}$$

$$(11a) \quad Y_{90} = -11.5 \quad d_s < 100$$

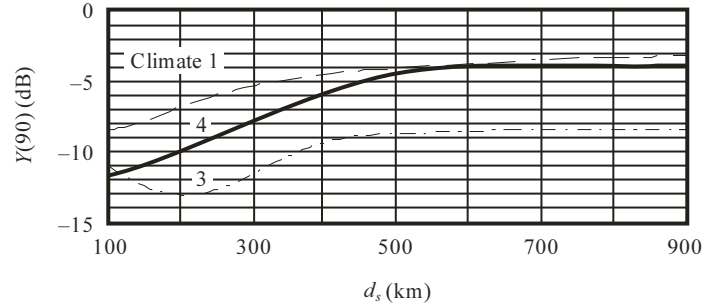
$$(11b) \quad Y_{90} = -8.519 \cdot 10^{-8} d_s^3 + 7.444 \cdot 10^{-5} d_s^2 + 4.18 \cdot 10^{-4} d_s - 12.1 \quad 100 \leq d_s < 465$$

(11c) $Y_{90} = -8.4$ de lo contrario

ويمكن الحصول على المعامل $C(q)$ من أجل النسبة المئوية الزمنية q لعدم التخطي المعنية من الجدول 2.

الشكل 2

$Y(90)$ من أجل المناخات 1 و 3 و 4



P.0617-02

الجدول 2

قيم $C(q)$ وثيقة الصلة

99,99	99,9	99	90	50	q
2,90	2,41	1,82	1	0	$C(q)$

المرحلة 6: تقدير خسارة إقران الفتحة إلى الوسيط L_c من:

$$(12) \quad L_c = 0.07 \exp [0.055(G_t + G_r)] \quad \text{dB}$$

حيث يمثل كل من G_t و G_r كسب الهوائي.

المرحلة 7: تقدير متوسط الخسارة السنوية عند الإرسال التي لا يتم تخطيها من أجل $q\%$ من الوقت من:

$$(13) \quad L(q) = M + 30 \log f + 10 \log d + 30 \log \theta + L_N + L_c - G_t - G_r - Y(q) \quad \text{dB}$$

الملاحظة 1 - إن المعادلة (13) هي صيغة تجريبية قائمة على معطيات من أجل مدى الترددات بين 200 MHz و 4 GHz. ويمكن تمديدها إلى 5 GHz مع نسبة قليلة من الأخطاء بالنسبة إلى كل التطبيقات.

2.3 متوسط توزيع الخسارة المتوسطة لأسوأ شهر بالنسبة إلى نسب مئوية تزيد عن 50%

من أجل التوافق مع متوسط توزيع خسارة الإرسال، يتم تحديد هذا التوزيع بأفضل وجه من توزيع المتوسط السنوي بواسطة عامل تحويل. ويتم هذا الإجراء على النحو التالي:

المرحلة 1: الحصول على توزيع المتوسط السنوي من أجل النسب المئوية لعدم التخطي (50 و 90 و 99 و 99,9) والمناخ المعني (المناخات المعنية) باستخدام التقنية الواردة في الفقرة 1.3.

المرحلة 2: الحصول على فرق توهين الإرسال المرجعي بين متوسط التوزيع السنوي والتوزيع المتوسط للشهر الأكثر مؤاتة بالاستعانة بمنحنيات الشكل 3. ونظراً إلى أن المنحنيات غير متيسرة من أجل المناخ 2 فإن منحنيات المناخ 3 سوف تستعوض عن منحنيات المناخ 2.

المرحلة 3: إضافة الفرق في المرحلة 2 إلى متوسط القيم السنوية المقابلة في المرحلة 1 من أجل الحصول على متوسط خسارات إرسال أسوأ شهر من أجل النسب المئوية لعدم التخطي (50 و 90 و 99 و 99,9).

المرحلة 4: إن خسارات متوسط إرسال أسوأ شهر التي لم يتم تخطيطها خلال 99,99% من الوقت بإمكانها أن تقيّم من القيم الواردة أعلاه بواسطة الاكتمال الخارجي اللوغاريتمي (أي الاكتمال الخارجي من مخطط على ورق عادي للاحتمالية).

3.3 متوسط توزيع الخسارة المتوسطة السنوية لنسب مئوية زمنية تقل عن 50%

بالنسبة إلى النسب المئوية الزمنية بين حوالي 20% (تصل هذه النسبة إلى 1% في بعض المناطق الجافة فوق الأرض) و 50%، يمكن أن يعتبر متوسط توزيع خسارة الإرسال السنوي متناظراً وتقيّم قيم توهين الإرسال ابتداءً من القيم العليا المقابلة للمتوسط أي:

$$(14) \quad L(20\%) = L(50\%) - [L(80\%) - L(50\%)]$$

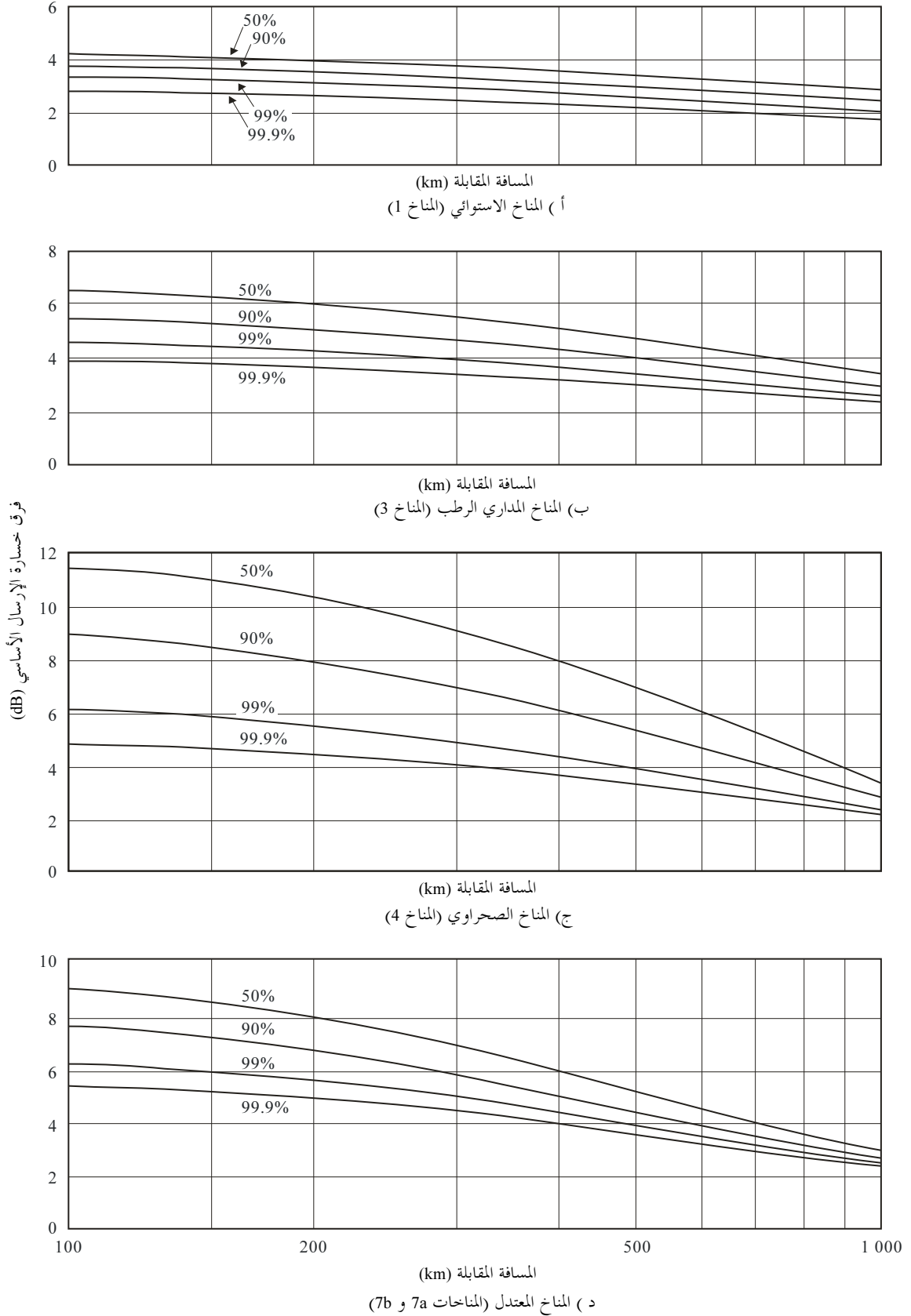
إلا أنه من أجل حسابات المدى الدينامي التي تتطلب تقيماً بالتوزيع للنسب المئوية الزمنية المنخفضة، لا يمكن أن يفترض أن هناك انتشاراً تروبوسفيرياً صافياً. وإن قيم خسارة الإرسال التي لم يتم تخطيطها خلال نسب مئوية صغيرة من الزمن سوف تحدد بواسطة آلية انتشار المجرى. ويتم تقييم هذه القيم بأفضل وجه بواسطة التقنية الوارد وصفها في التوصية ITU-R P.452.

4 استقبال التنوعية

إن الخبوء الحاد الذي يظهر مع انتشار الانتشار التروبوسفيري يخفض بحدة من أداء الأنظمة التي تستخدم أسلوب الانتشار هذا. ويمكن أن يخفض أثر الخبوء عن طريق استقبال التنوعية باستخدام إشارتين أو أكثر التي تحبو بشكل مستقل نوعاً ما ويعود ذلك إلى الاختلافات في مسير أو تردد الانتشار. وبالتالي، فمن المعروف أن استعمال المكان أو الزاوية تنوعية التردد يخفض النسب المئوية الزمنية التي يتم خلالها تخطي خسارات إرسال كبيرة إلا أنه من الممكن أن يكون لتنوعية الزاوية نفس أثر تنوعية الفضاء العمودي كما يمكن أن تكون أكثر توفيراً.

الشكل 3

المنحنيات التي تقدم الفرق بين خسارة الإرسال الأساسي لأسوأ شهر
والخسارة السنوية للإرسال الأساسي



1.4 التنوعية المكانية

يمكن أن تستخدم التنوعية المكانية أفقياً أو عمودياً وذلك يتوقف على ما هو ملائم للموقع المعني. إن التباعدان التنوعيان الملائمان Δv و Δh الأفقيان أو العموديان على التوالي للترددات التي تزيد عن 1 000 MHz يبينان بواسطة علاقات تجريبية.

$$(15) \quad \Delta h = 0,36 \left(; D^2 + 4 I_h^2 \right)^{1/2} \quad \text{m}$$

$$(16) \quad \Delta v = 0,36 \left(; D^2 + I_v^2 \right)^{1/2} \quad \text{m}$$

حيث تمثل D قطر الهوائي بالأمتار $I_h = 20 \text{ m}$ و $I_v = 15 \text{ m}$ هما سُلَّمَي طول تجريبيين في الاتجاهين الأفقي والعمودي على التوالي.

2.4 تنوعية التردد

بالنسبة إلى التجهيزات التي يُرغب فيها استخدام تنوعية الترددات، يبين فصل تردد ملائم Δf (MHz) للترددات التي تزيد عن 1 000 MHz بواسطة العلاقة التالية:

$$(17) \quad \Delta f = (1.44 f / \theta d) \left(D^2 + I_v^2 \right)^{1/2} \quad \text{MHz}$$

حيث:

f : التردد (MHz)

D : قطر الهوائي (m)

θ : زاوية الانتثار (mrad) المتحصل عليها من المعادلة (1)

$I_v = 15 \text{ m}$ سلم الطول الوارد أعلاه.

3.4 تنوعية الزاوية

يمكن أن تستخدم تنوعية الزاوية كذلك ويستخدم فيها مغذيان هوائيان متباعداً أو أكثر في الاتجاه العمودي مع عاكس مشترك. وإن ذلك يخلق أحجاماً مختلفة مشتركة متباعدة عمودياً مشابهة لوضع التنوعية المكانية العمودية. إن المباعدة الزاوية $\Delta \theta_r$ المطلوبة من أجل الحصول على نفس أثر المباعدة العمودية Δv (m) في المعادلة (16) في مسير متناظر تقريباً هي:

$$(18) \quad \Delta \theta_r = \text{arc tan} (\Delta v / 500d)$$

حيث d تمثل طول المسير (km).

5 تأثير موقع المحطات

إن موقع وصلات الإرسال يتطلب شيئاً من العناية. ولا يجب أن تسد حزمات الهوائي بواسطة أشياء قريبة ويجب أن توجه الهوائيات بشكل بسيط فوق الأفق. ويتوقف الارتفاع الأمثل الدقيق على المسير والشروط الجوية إلا أنه يقع ضمن 0,2 إلى 0,6 مرة لعرض الحزمة فوق الأفق.

إن التقييسات التي تُجرى عن طريق نقل الحزمة التي يبلغ كسب هوائيتها 53 dB بعيداً عن اتجاه أفق الدائرة الكبيرة لمرسلين كل ذات 2 GHz يبعد 300 km الواحد عن الآخر قد بينت انخفاضاً في معدل القدرة المستقبلية بنسبة 9 dB للدرجة الواحدة. وقد ظهر ذلك مع انخفاضات في زاوية الانتثار على الدرجات الأولى الثلاث في كل من السمات والارتفاع لكل مسير ومدى واسع من النسب المئوية الزمنية.

التذييل 1

مواد إضافية داعمة

1 التغيرات الموسمية والنهارية في خسارة الإرسال

في المناخات المعتدلة، تختلف خسارة الإرسال سنوياً ويومياً. ويميل متوسط الخسارات الشهري ليكون أعلى في فصل الشتاء منه في الصيف. ويتراوح المدى بين 10 و15 dB عبر مسيرات برية تتراوح بين 150 و250 km، لكنه يتضاءل بازدياد المسافة. وتظهر القياسات التي أجريت في الأجزاء الأوروبية من الاتحاد الروسي على مسير بطول 920 km وبتردد 800 MHz فارقاً قدره 2 dB فقط بين متوسطي الصيف والشتاء. وتكون الاختلافات النهارية أكثر وضوحاً في الصيف، بمدى يتراوح بين 5 و10 dB عبر مسيرات برية تتراوح بين 100 و200 km. وتؤكد أكبر خسارة إرسال في فترة ما بعد الظهر، وأقل خسارة في الصباح الباكر. وتكون المسيرات البحرية أكثر عرضة من المسيرات البرية للتأثر بالطبقات فائقة الانكسار المرتفعة، لذلك يكون تفاوت التغيرات فيها أوسع. ولعل ذلك ينطبق أيضاً في فصل الصيف. أعلى الأقاليم المسطحة المنخفضة والأقاليم الساحلية في المناطق البحرية.

وفي المناخات الصحراوية الجافة والحارة، يبلغ التوهين أقصاه في فصل الصيف. فتزيد التغيرات السنوية للمتوسطات الشهرية عن 20 dB في مسيرات متوسطة المسافة، فيما تكون التغيرات النهارية كبيرة جداً.

في المناخات الاستوائية، تصغر التغيرات السنوية والنهارية عموماً.

وفي مناخات الأمطار الموسمية حيث أجريت قياسات (السنغال، بربادوس)، تصادف القيم القصوى للتغيرات أثناء موسم الأمطار، ويكون التوهين في أدناه بين المواسم الرطبة والجافة.

2 تواتر الخبو السريع في مسيرات التروبوسفيري

يتواتر الخبو السريع بواقع بضع مرات في الدقيقة عند الترددات الأدنى من نطاق الموجات الديسيمتري (UHF). ومن شأن تراكم عدد من المكونات المتغيرة غير المتماثلة أن يعطي إشارة ذات اتساع بتوزيع رايلي (Rayleigh)، وتبين أن ذلك يكاد يصح عند تحليل التوزيع على مدى فترات تصل إلى 5 دقائق. وإذا ما شكلت أنواع أخرى من الإشارات جزءاً كبيراً من الإشارة المستقبلية، يطرأ تعديل على هذا التوزيع. وقد لوحظ خبو مفاجئ وعميق وسريع عند عبور اضطراب أمامي وفق وصلة. ويمكن للانعكاسات عن الطائرات أن تسبب خبواً سريعاً وواضحاً.

وقد دُرس تواتر الخبو السريع بدلالة دالة الارتباط التلقائي مع الزمن التي توفر "متوسط تواتر الخبو" لفترات قصيرة من الوقت تكون فيها الإشارة ساكنة. وتبين أن متوسط قيمة "متوسط تواتر الخبو" يكاد يزداد طردياً مع ازدياد طول المسير وتردد الموجة الحاملة، ويتناقص قليلاً بازدياد قطر الهوائي.

وقد أظهرت القياسات أيضاً أن سرعة الخبو تبلغ ذروتها عندما يزيد متوسط خسارة الإرسال الساعية عن متوسط المدى الطويل. وبوجه عام، تبين أن معدل الخبو يتناقص بتناقص خسارة الإرسال إلى ما دون متوسط المدى الطويل. وتكون معدلات الخبو في أدناها خلال الأحداث التي يطغى عليها الانتشار بالبحر.

والأهم هو الخبو الأسرع في المتوسط الساعي لقيم خسارة الإرسال التي تزيد عن متوسط المدى الطويل. وتعطي القياسات القليلة المتاحة (بتردد 2 GHz) متوسط معدلات خبو تتراوح بين 20 و30 حالة خبو في الدقيقة.

3 عرض نطاق الإرسال

إن الانقطاعات المختلفة التي تؤدي إلى انتشار انتشاري تشق مسيرات قد تختلف من حيث العدد ووقت الإرسال. ووفقاً لذلك، لا يوجد ترابط تام بين معاملات الإرسال لترددين متجاورين، لأمر الذي يؤدي إلى تشويه الإشارة المرسله. ويكون عرض النطاق القابل للإرسال هو عرض النطاق الذي تقبل فيه الإشارة المرسله التشويه الحاصل بفعل هذه الظاهرة. لذلك، يتوقف عرض النطاق هذا على طبيعة كل من الإشارة المرسله (المهاتفه المتعدده، وصور التلفزيون، الخ) وعلى التشويه المقبول لهذه الإشارة. وتبين الدراسات التي أجريت في فرنسا أن:

- زيادة كسب الهوائي توسع عرض النطاق القابل للإرسال حتى الحد الذي يزداد فيه أيضاً ترددي الكسب (لقيم الكسب التي تزيد عن 30 dB تقريباً)؛
- وفي حال تساوي كل الأمور الأخرى، يتوقف عرض النطاق القابل للإرسال على بنية الغلاف الجوي وبالتالي على المنطقة المناخية المعنية؛
- ويضيق عرض النطاق القابل للإرسال بازدياد المسافة، ولكن ذلك يخضع لقانون لا يسري بالطريقة نفسها على جميع المناخات؛
- ويضيق عرض النطاق القابل للإرسال عندما تكون زوايا الانطلاق إيجابية، ويتوسع عندما تكون هذه الزوايا سلبية.