الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R P.679-4
(2015/07)

بيانات الانتشار المطلوبة لتصميم الأنظمة الإذاعية الساتلية

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 الاستدلال الراديوي 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، 2016

© ITU 2016
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.679-4

بيانات الانتشار المطلوبة لتصميم الأنظمة الإذاعية الساتلية

(المسألة ITU-R 206/3)

(2015-2001-1999-1992-1990)

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن التخطيط السليم للأنظمة الإذاعية الساتلية يجعل من الضروري توفر بيانات الانتشار وأساليب التنبؤ المناسبة؛

ب) أن أساليب التوصية ITU-R P.618 يُوصى بها لتخطيط أنظمة الاتصالات أرض–فضاء؛

ج) أن الحاجة تدعو إلى زيادة تطوير أساليب التنبؤ المتعلقة بتطبيقات محددة للأنظمة الإذاعية الساتلية من أجل توفير الدقة الوافية في جميع ظروف التشغيل؛

د) أن هناك، مع ذلك، أساليب متاحة توفر الدقة الكافية لكثير من التطبيقات؛

هـ) أن التوصية ITU-R P.2040 تقدم توجيهات بشأن تأثير خواص مواد البناء وهياكل المباني على انتشار الموجات الراديوية،

توصي

1 باعتماد بيانات الانتشار الواردة في الملحق 1 للاستعمال في تخطيط أنظمة الإذاعية الساتلية، إضافة إلى الأساليب الموصى بها في التوصية ITU-R P.618.

الملحق 1

1 مقدمة

تؤدي الإذاعة باستخدام السواتل إلى اعتبارات تتعلق بالانتشار تتعذر مقارنتها تماماً مع تلك المتعلقة بالخدمة الثابتة الساتلية. وتلزم بيانات التوهين في الاتجاه فضاء–أرض في شكل متوسطات إحصائية و/أو خرائط كفافية للتوهين وإزالة الاستقطاب من أجل المساحات الواسعة. وقد تنشأ مشاكل تنسيق محددة على هامش منطقة الخدمة بين الأنظمة الإذاعية الساتلية والأرضية أو خدمات فضائية أخرى. وتُعرض في التوصية ITU-R P.618 الأساليب العامة للتنبؤ بتأثيرات الانتشار في مسير أرض–فضاء. ويتناول هذا الملحق معلومات إضافية تخص تخطيط النظام الإذاعي الساتلي. وجدير بالإشارة أن وصلات التغذية تعتبر جزءاً من الخدمات الثابتة الساتلية، وليس من الخدمات الإذاعية.

وفي حالة مسيرات فضاء–أرض للأنظمة الإذاعية، تتعدد تأثيرات الانتشار التي قد يلزم أخذها بعين الاعتبار.

ومن بين هذه التأثيرات:

– التأثيرات التروبوسفيرية، بما فيها الامتصاص الغازي والتوهين وإزالة الاستقطاب بسبب المطر والمياه الجوية الأخرى؛

– التأثيرات الأيونوسفيرية مثل التلألؤ ودوران فاراداي (انظر التوصية ITU-R P.531).

– التأثيرات البيئية المحلية، بما فيها التوهين بالمباني والغطاء النباتي.

ويناقش هذا الملحق هذه الآثار، ويحيل إلى توصيات أخرى للاطلاع على معلومات إضافية. وتدعو الحاجة إلى مزيد من البيانات لتحديد خصائص تردي الأنظمة الإذاعية الساتلية بسبب الانتشار.

2 التأثيرات التروبوسفيرية

يُهمَل تردي الإشارة الناجم عن التروبوسفير في الترددات التي تقل عن نحو 1 GHz وفي زوايا ارتفاع المسير التي تزيد عن 10°.

وبتناقص الارتفاع و/أو تزايد التردد، يشتد هذا التردي أكثر فأكثر، ويمكن أن تصبح تقلبات اتساع الإشارة وزاوية الورود كبيرة (انظر التوصية ITU-R P.618). وتكتسي التأثيرات الأخيرة أهمية خاصة في مناطق الخدمة عند خطوط العرض العليا. وزيادات درجة حرارة ضوضاء السماء الناجمة عن الهواطل (انظر التوصية ITU-R P.618) ستزيد من خفض نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء (C/N) في الإشارة المستقبَلة. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن لتراكمات الثلوج والجليد على أسطح العاكس ومغذي الهوائي أن تتسبب بتدهور شديد في توجيه الهوائي وكسبه وخصائصه للاستقطاب المتقاطع لفترات طويلة من السنة.

1.2 التوهين في التروبوسفير

تعود خسائر الإشارة في التروبوسفير إلى الامتصاص الغازي والتوهين الناجم عن المطر والمياه الجوية الأخرى. وبالإضافة إلى ذلك، تسبب الاختلافات الطفيفة في مؤشر الانكسار التروبوسفيري تلألؤات تساهم في خبو الإشارة وفي تحسيناتها على حد سواء.

1.1.2 التوهين بالغازات الجوية

يرد في التوصية ITU-R P.618 الأسلوب الموصى به للتنبؤ بالتوهين الغازي على مسيرات أرض–ساتل. وفي معظم الترددات، يرتدي التوهين الغازي أهمية ثانوية بالنسبة للتوهين الناجم عن المطر. ولكن في نطاق22 GHz الموزَّع للخدمة الإذاعية الساتلية في بعض المناطق، يمكن أن يكون امتصاص بخار الماء كبيراً جداً. فعلى سبيل المثال، في المكان الذي يتجاوز فيه توهين مسير 22,75 GHz، 9,5 dB خلال 1% من أسوأ شهر، يعود حوالي 3 dB من المجموع الكلي إلى التوهين الغازي.

2.1.2 التوهين الناجم عن الهواطل والسحب

يرد في التوصية ITU-R P.618 إجراء التنبؤ بالتوهين الناجم عن الهواطل والسحب، إلى جانب أسلوب بسيط لمقايسة ترددات إحصاءات التوهين المقيسة. ولن يكون التوهين الناجم عن السحاب كبيراً للترددات التي تقل عن 30 GHz، بيد أنه يُحتسب في أسلوب التنبؤ بالتوهين الناجم عن المطر في أي حال. ويمكن تقدير التوهين الناجم عن الضباب والسحب إذا كان محتوى الماء السائل معروفاً، وذلك باستخدام الأسلوب الوارد في التوصية ITU-R P.840.

3.1.2 التوهين الناجم عن المطر في أسوأ شهر

في التطبيقات الإذاعية الساتلية، عادة ما يكون التوهين الناجم عن المطر، الذي يتم تجاوزه خلال 1% من أسوأ شهر، أكبر مصدر للقلق. ويرد في التوصية ITU-R P.618 أسلوب لربط النسب المئوية من وقت أسوأ شهر بالنسب المئوية من الوقت السنوي للتوهين الناجم عن المطر. وترد في التوصية ITU-R P.581 معالجة كاملة بشأن أسوأ شهر والأساس الذي تقوم عليه.

ويرد في الجدول II-2 من بنوك بيانات لجنة الدراسات 3 بقطاع الاتصالات الراديوية تجميع البيانات المتاحة عن التوهين الناجم عن المطر في أسوأ شهر (انظر التوصية ITU-R P.311).

4.1.2 تغير الخبو خلال أوقات النهار

يعد اعتماد خبو الإشارة على الوقت خلال النهار من الاعتبارات ذات الشأن في تقديم الخدمات الإذاعية الساتلية. وتظهر بيانات الخبو المحصَّلة في مناطق مختلفة من العالم ميلاً شائعاً لوقوع خبو أكبر في ساعات ما بعد الظهر والساعات المبكرة من المساء. وفي المناخات التي تتميز بالعواصف الرعدية، يرتبط احتمال زيادة حدوث الخبو العميق مع الوقت الموافق لأقصى نشاط للعواصف الرعدية المحلية. ويمكن أن تظهر المواقع الاستوائية على وجه الخصوص تبايناً قوياً خلال أوقات النهار.

ومن ناحية أخرى، يتوزع الخبو منخفض المستوى بانتظام أكبر، سواء موسمياً أو خلال أوقات النهار.

5.1.2 خبو التلألؤ

إن الاختلافات الطفيفة في مؤشر الانكسار التروبوسفيري يمكن أن تحدث تقلبات سريعة في اتساع الإشارة. وبوجه عام، لا تساهم تلألؤات الإشارة مساهمة ذات شأن في أداء النظام في ترددات تقل عن نحو 10 GHz وزوايا لارتفاع المسير تزيد عن 10°، ولكنها يمكن أن تكون مهمة في زوايا الارتفاع المنخفضة أو الترددات العالية، وخاصة بالنسبة للوصلات صغيرة الهامش. ويمكن الحصول على الأسلوب الموصى به لتقدير خبو التلألؤ من التوصية ITU-R P.618.

2.2 إزالة الاستقطاب

يمكن للمياه الجوية، المتمثلة أساساً في تركيزات قطرات المطر والبلورات الجليدية، أن تسبب إزالة استقطاب ذات دلالة إحصائية للإشارات في ترددات تزيد عن حوالي 2 GHz. ويرد في التوصية ITU-R P.618 الإجراء الموصى به للتنبؤ بهذه التأثيرات.

3 التأثيرات الأيونوسفيرية

في ترددات تقل عن نحو 3 GHz، تكون التأثيرات الأيونوسفيرية مهمة في بعض المسيرات وفي بعض المواقع. ولاستخدامات الهندسة العامة، تتلخص في الجدول 1 القيم القصوى المقدَّرة للتأثيرات الأيونوسفيرية (المحصَّلة من التوصية ITU-R P.531) من أجل ترددات مختلفة. وعادة ما تتمثل الترديات الأدعى للقلق في تلألؤ الإشارة و(للموجات المستقطبة خطياً فقط) ودوران فاراداي.

الجدول 1

تقدير* التأثيرات الأيونوسفيرية لزوايا ارتفاع قدرها 30 درجة تقريباً باجتياز أحادي الاتجاه**
(مستمد من التوصية ITU-R P.531)

التأثير	التغير بدلالة التردد	GHz 0,5	GHz 1	GHz 3	GHz 10
دوران فاراداي	$1/f^2$	1,2 دورة	°108	°12	°1,1
تأخر الانتشار	$1/f^2$	µs 1	µs 0,25	µs 0,028	µs 0,0025
الانكسار	$1/f^2$	′2,4 >	′0,6 >	″4,2 >	″0,36 >
التغير في اتجاه الورود (قيمة جذر متوسط التربيع)	$1/f^2$	″48	″12	″1,32	″0,12
الامتصاص (الشفقي و/أو القطبي)	$1/f^2 \approx$	dB 0,2	dB 0,05	dB 6×10^{-3}	dB 5×10^{-4}
الامتصاص (عند خطوط العرض الوسطى)	$1/f^2$	dB 0,04 >	dB 0,01 >	dB 0,001 >	dB 1×10^{-4} >
التشتت	$1/f^3$	ps/Hz 0,0032	ps/Hz 0,0004	ps/Hz $1,5 \times 10^{-5}$	ps/Hz 4×10^{-7}
التلألؤ[1]			dB 20 > ذروة–إلى–ذروة	dB 10 ≈ ذروة–إلى–ذروة	dB 4 ≈ ذروة–إلى–ذروة

* يستند هذا التقدير إلى كامل محتوى الإلكترونات (TEC) البالغ 10^{18} electrons/m^2، وهي قيمة عالية لهذا المحتوى تصادَف عند خطوط العرض المنخفضة أثناء النهار وبوجود نشاط شمسي مرتفع.

** يمكن إغفال التأثيرات الأيونوسفيرية فوق GHz 10.

(1) القيم الملاحظة بالقرب من خط الاستواء المغنطيسي الأرضي أثناء الساعات الأولى من الليل (بالتوقيت المحلي) في وقت الاعتدال الربيعي أو الخريفي وفي ظروف كلف شمسي مرتفع.

4 تأثيرات البيئة المحلية

في مواقع استقبال محددة، يمكن أن تكون تأثيرات الهياكل المحلية والغطاء النباتي مهمة. وتشير نتائج القياس الأخيرة على التردد GHz 5 إلى أن الخسارة الناجمة عن دخول مبنى ما تعتمد اعتماداً قوياً على زاويتي الارتفاع والسمت. وهذه النتائجُ تعزز النتائج المحصَّلة من قياسات في نطاقات تحت GHz 3. وللأسف، لا تكفي البيانات التي يمكن أن تسري على الإذاعة الساتلية للتشخيص الكامل لهذه التأثيرات.

1.4 الخسارة الناجمة عن دخول مبنى

يمكن الاطلاع على المواد المتعلقة بالخسارة الناجمة عن دخول مبنى في التوصية ITU-R P.2040.

2.4 الخسارة الناجمة عن دخول مركبة

تقل كثيراً قياسات اختراق إشارة لمركبات، وقد تم الحصول عليها باستخدام تقنيات قياس على الأرض مماثلة لتلك المذكورة أعلاه. وأجريت مجموعة واحدة من القياسات على التردد MHz 1 600 بمحاكاة زوايا لارتفاع المسير تتراوح بين 8° و90°، وباستخدام هوائيين مختلفين (رقعة شريط صغري وحلزوني رباعي الخيطية) وأنواع مختلفة من المركبات (منصوبة على قرص دوار يدور لتقييم مستوى الإشارة بدلالة اتجاه الورود)، ومواضع مختلفة لمطراف المستخدم داخل المركبة. وجُمعت البيانات فيما كانت نوافذ المركبة مفتوحة. وتبين أن الزيادة النمطية لخسائر المسير (المعرَّفة على أنها متوسط مستوى الإشارة المقيسة داخل المركبة مطروحاً منه متوسط مستوى الخبو المرصود في قياسات المجال المفتوح باستخدام نفس الهوائي وموضع الجسم المستخدمين في القياسات ضمن المركبة) تتراوح بين 3 و8 dB في المتوسط، وبين 4 و13 dB على مستوى التسعين بالمائة.

وفيما يلي الملاحظات والاستنتاجات العامة المستقاة من هذه البيانات:

- تبينَ أن مستوى الإشارة داخل المركبات موزع بتوزيع رايلي (Rayleigh)، مما يعني نمطياً انعدام مسير انتشار مباشر على خط البصر (LoS)، واقتران قدرة الإشارة عبر تناثر متعدد المسيرات من حواف فتحات المركبة (كالنوافذ)؛
- تبلغ الخسائر عند التسعين بالمائة 15-20 dB على كل زوايا ارتفاع المسير؛
- ولا تعتمد الخسارة على زاوية ارتفاع المسير إلا بقدر ضعيف، ولكن الاعتماد على زاوية الارتفاع يختلف للهوائيات الواقعة على مستوى الرأس وعلى مستوى الخصر؛
- ليس لنوع المركبة تأثير كبير على الخسارة الناجمة عن الاختراق الذي تخترقه الإشارة؛
- ليس لموضع مستخدم المطراف داخل المركبة تأثير كبير على الخسارة؛
- يتوزع متوسط زيادة خسارة المسير (بالنسبة لقياسات المجال المفتوح) توزعاً لوغاريتمياً طبيعياً؛
- خسارة المسير التي يبديها هوائي الرقعة أقل مما يبديه الهوائي على مستوى الرأس (لأن الاتجاهية الأعلى تسبب خسائر أعلى في المجال المفتوح وهي خسائر لا تتفاقم كثيراً عندما يقع الهوائي داخل المركبة)؛
- في زاوية ارتفاع 8°، تبيَّن أن متوسط زيادة خسارة المسير الوسطية يبلغ 3,7 dB لهوائي على مستوى الرأس، ويقارن ذلك بما أُبلغ عنه من متوسط خسارة قيمته 3,2 dB على التردد 900 MHz من أجل مسير أفقي ضمن سيارة ركاب كبيرة.

ويمكن افتراض أن هذه النتائج تمثل التوقعات العامة الحالية بشأن اختراق إشارة للمركبات.

3.4 الانعكاسات عن المباني والحجب الناجم عنها

تبيِّن القياسات المحصَّلة بإرسال إشارات إذاعة صوتية بتشكيل FM واستقطاب دائري على التردين839 MHz و1 504 MHz من برج عال وبزاوية ارتفاع تناهز 20°، أن اختلافات شدة المجال من موقع إلى موقع قرب مستوى الشارع في منطقة حضرية تقارب 15 dB على التردد 839 MHz و18 dB على التردد 1 504 MHz. وتكاد تكون التقلبات هي نفسها سواء كان الاستقبال بهوائيات مستقطَبة رأسياً أو أفقياً. وتكاد لا تتردى جودة الصوت جراء اختلافات شدة المجال في ظروف المسيرات المتعددة، حتى في الشوارع الضيقة وذات التوجه غير المؤاتي.

وفي الضواحي والمناطق الريفية، يمكن أن تشكل الانعكاسات عن الأرض عاملاً في تحديد الاستقطاب المفضل، لأن الموجة رأسية الاستقطاب المنعكسة عن الأرض تتعرض لخمود عميق في زاوية شبيهة بزاوية بروسترز (Brewsters) لكن الموجة أفقية الاستقطاب في منأىً عن ذلك. وهكذا فإن الموجة أفقية الاستقطاب المنعكسة عن الأرض عادة ما تكون أقوى من الموجة رأسية الاستقطاب في حالة الأرض الملساء، وسيؤدي مجموع الموجات المباشرة وتلك المنعكسة عن الأرض إلى نقاط خمود أعمق وكذلك إلى ذرىً أعلى.

5 التوزع الإحصائي لمستوى الإشارة في مناطق واسعة

على الساتل الإذاعي أن يخدم منطقة واسعة، ويفضل أن يقوم بذلك بنفس جودة الخدمة في جميع أنحاء المنطقة خلال النسبة المئوية نفسها من الوقت. بيد أن أجزاء من منطقة الخدمة (كتلك الواقعة في مناطق مناخية مختلفة) يمكن أن تتأثر تأثراً مختلفاً ببعض تأثيرات الانتشار. ويمكن تشخيص هذه الاختلافات بقياسات منسقة تجرى في عدة مواقع موزعة على امتداد منطقة الخدمة. ويستفاد من مثل هذه البيانات لتقييم متطلبات معدات المشتركين وكذلك لتحديد ظروف التداخل عند حدود منطقة الخدمة، ولكن هذه البيانات شحيحة.

وتشير البيانات المتوفرة إلى أن الاحتمال المشترك لحدوث ظروف ماطرة في مواقع مختلفة يبلغ بضعاً في المائة لمسافات فصل تصل إلى500 km، ولا يمكن افتراض هذا الاستقلال الإحصائي لمسافات فصل تقل عن حوالي 800 km. وبالنسبة لأزواج المواقع التي تفصلها مسافة 200 km، يمكن أن يبلغ الاحتمال المشترك لمعدلات هطول أمطار تزيد عن 5 mm/h نحو خمسة أمثال الاحتمال الناتج عن افتراض الاستقلال الإحصائي.

6 التوزعات الإحصائية والتلازم الترددي للإشارات

أظهرت القياسات التي تم الحصول عليها بإرسال إشارة MHz 567,25 من برج ارتفاعه m 515 لمحاكاة إشارة الساتل، أن توزعات القيم اللحظية لمغلف الإشارة، بالنسبة للغالبية العظمى من مواقع الاستقبال، تقارب توزعاً لوغاريتمياً طبيعياً. وإذا ظهر توهين يزيد عن dB 15 بفعل عوائق من أشياء محلية بالنسبة إلى المستوى المتوسط، فإن توزع القيم اللحظية يقارب توزع رايلي.

وفي نفس التجربة، قيست التلازمات الترددية بين إشارات ذات فصل ترددي بقيمة MHz 0,15 وMHz 0,5 وMHz 1,0 وMHz 2,2 وMHz 4,4 وMHz 6,5. ولوحظ أن التلازم الترددي ينخفض بازدياد الفصل الترددي وأنه لا يتأثر بزاوية الارتفاع إلا تأثراً عَرَضياً وطفيفاً.

_____