التوصيـــة ITU-R F.1821

خصائص أنظمة الاتصالات الراديوية الرقمية المتقدمة عالية التردد (HF)

(المسألة ITU-R 147/9)

(2007)

مجال التطبيق

تحدد هذه التوصية الخصائص النمطية للترددات الراديوية للأنظمة الرقمية المتقدمة عالية التردد لاستعمالها في دراسات التقاسم الخاصة بنمطين من الأنظمة الرقمية المتقدمة الناشئة عالية التردد، بروتوكولات مرور الإذنات (token passing) والمودمات واسعة النطاق. ثم تُقسَّم المودمات واسعة النطاق إلى نظامين رئيسيين هما: العمليات متعددة القنوات، والراديو الرقمي العالمي. ويتضمن جدول بالخصائص وارد في الملحق بهذه التوصية ملخصاً للقيم اللازمة لدراسات التقاسم.

المختصرات

DRM	الراديو الرقمي العالمي (*Digital Radio Mondiale*)
HFTP	مرور الإذنات عالية التردد (*HF token passing*)
HFWAN	شبكة منطقة واسعة عالية التردد (*High frequency WAN*)
ISB	النطاق الجانبي المستقل (*Independent sideband*)
LSB	النطاق الجانبي الأدنى (*Lower sideband*)
NVIS	موجة أيونوسفيرية عمودية تقريباً (*Near vertical incidence skywave*)
OFDM	تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (*Orthogonal frequency division multiplex*)
PSK	الإبراق بزحزحة الطور (*Phase-shift keying*)
QAM	تشكيل الاتساع التربيعي (*Quadrature amplitude modulation*)
USB	النطاق الجانبي الأعلى (*Upper sideband*)
WAN	شبكة منطقة واسعة (*Wide area network*)
WTRP	بروتوكول حلقة الإذنات اللاسلكية (*Wireless token ring protocol*)

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن استعمال الأنظمة الرقمية المتقدمة للطيف في النطاقات عالية التردد آخذ في التزايد؛

ب) أن هذه الأنظمة المتقدمة ليست مقيَّسة ويمكن أن تتسم بخصائص تقنية تشغيلية مختلفة؛

ج) أن الافتقار إلى التجانس في ترتيب وتعيين القنوات في المرسِلات متعددة القنوات للدارات طويلة المدى العاملة في ترددات أدنى من حوالي 30 MHz يمكن أن يؤدي إلى نشوء بعض الصعوبات عندما يتعيَّن على محطة إرسال واحدة العمل مع عدة محطات استقبال،

توصي

1 بأنه ينبغي اعتبار الخصائص التقنية والتشغيلية للأنظمة الرقمية المتقدمة عالية التردد الموصوفة في الملحق 1 ممثلة لتلك الأنظمة العاملة في نطاقات التردد العالية التي تصل إلى 30 MHz من أجل استعمالها في دراسات التقاسم.

الملحـــق 1

1 مقدمة

تتسم الأنظمة عالية التردد بخواص محددة تجعل منها حلاً سليماً بالنسبة لكثير من متطلبات الاتصالات الراديوية. وهي توفر وسيلة اتصالات راديوية متعددة الاستعمالات بدرجة عالية بالنسبة إلى قاعدة عريضة من المستعملين، كما أنه يمكن نقل هذه التجهيزات بسهولة إلى مناطق نائية وقليلة السكان. وهناك تكنولوجيتان تعتبران مثالين للأنظمة الرقمية المتقدمة عالية التردد. وتحدد هذه التوصية خصائص نمطي الأنظمة هذين.

ولأغراض هذه التوصية تُعرَّف الكفاءة الطيفية باعتبارها هدفاً يتألف من جزأين. الأول هو تحقيق أقصى إنتاجية (bits/Hertz/s) والثاني هو تعظيم عدد المستعملين إلى أقصى حد لكل تردد صافٍ. ويعظِّم هذان الهدفان قدرة الاتصالات الثابتة على إنجاز الأداء والأهداف المنشودة من المهام إلى أقصى حد.

2 بروتوكولات مرور الإذنات

تساعد أنظمة إدارة الإذنات القوية على تقاسم قنوات البيانات في الشبكات عالية التردد حيث يمكن دفع معدلات خسارة الرزم إلى مستويات متطرفة بسبب اختلافات غير متوقعة في الانتشار. ويمكن أن ينحط أداء الشبكة انحطاطاً شديداً إذا فُقِد الاتصال بالعُقَد. وتنحط معدلات البيانات في هذه الظروف. ويمكن لاضطرابات الانتشار أن تؤدي إلى خفض الكفاءة في استعمال الشبكات عالية التردد للطيف.

ويمكن لمرور الإذنات أن يوفر تحكماً في النفاذ المتوسط تتوافر فيه الكفاءة في الشبكات المثقلة بالعمل. إلا أنه تبيَّن أنه هش للغاية فيما يتعلق باستعماله في الشبكات ذات المعدلات الهامة لخسارة الرزم. وفي هذه التوصية، يُقدَّم نهج لإدارة الإذنة يعوِّض بسرعة عن خسارة الإذنات المشتركة وسيناريوهات الازدواج، ويعالج بكفاءة التغيرات في توصيلية الشبكة وعضويتها.

وتوفر بروتوكولات مرور الإذنات بوجه عام آليات للعقد من أجل دخول الشبكة ومغادرتها. وعندما يُستعمل بروتوكول مرور الإذنات في شبكة منطقة واسعة (WAN)، فإن خصائص الوسيط اللاسلكي تُدخِل مسائل إضافية تتعلق بإدارة الإذنة:

- أن العقدة التي تحتفظ بالإذنة يمكن أن تفقد التوصيلية مع خلفها، مما قد يؤدي إلى فقدان للإذنة.
- يمكن للعقدة التي تحتفظ بالإذنة أن تفقد التوصيلية مع باقي الشبكة. وتفقد الشبكة الإذنة.
- يمكن أن تصبح الشبكة مجزَّأة. ويجب على شبكة فرعية واحدة أن تنشئ إذنة جديدة.
- يمكن الوصول إلى العقدة من عقدة أخرى فقط، ولذلك فإن طبولوجيا الحلقة ليست ممكنة إذا تعيَّن إدراج هذه العقدة.
- أن العقد من حلقتين أو أكثر التي تستعمل القناة ذاتها يمكن أن تدخل في نطاق كل منها. ويؤدي هذا إلى تداخل ما لم تندمج الحلقات أو تغيَّرت القناة (القنوات).
- ويمكن لدمج الحلقات أو الاستعادة من إذنة مفقودة أن يُنتِج إذنات متعددة في حلقة.

إن نهج التخلص من مشاكل التوصيلية يضع العقد التي ليست أعضاء في حلقة نشطة لمرور الإذنات في حالة غير موصولة أو عائمة، وهذه العقد إما أن تنتظر أن تُدعى إلى الانضمام إلى الحلقة المتبقية أو أن تطلب بصفة دورية من عُقَد موصولة أخرى الانضمام إليها.

ويؤدي ذهاب وإياب الوصلة الطويلة المتأصل في تكنولوجيا شبكة المنطقة الواسعة عالية التردد المهيأة ميدانياً إلى مرات تعاقب للإذنة تصل إلى دقيقة. وعلى سبيل المثال، إذا كانت أوقات ذهاب وإياب الوصلة تبلغ ثانيتين ونسمح لكل من العقد N بالإرسال لمدة تصل إلى 8 ثوان عندما تستقبل الإذنة، فإننا نحقق كفاءة إنتاجية تبلغ حداً أعلى قدره 80% بوقت دوران للإذنة (كمون) يصل إلى $10N$ s.

وإذا حددنا طلبات الانضمام إلى الحلقة بدوران واحد للإذنة، وتمت إدارة سلطة الحث بين العُقَد، فإن كل عقدة ستطلب مرة واحدة في دورانات الإذنة N.

ومع كل عشر عقد في حلقة، من شأن استعمال بروتوكول حلقة الإذنات اللاسلكية (WTRP) (غير الموجّه نحو الترددات العالية) أن يؤدي إلى بقاء العقد غير الموصولة خارج الشبكة لنحو 10 دقائق (إذا لم تكن هناك استجابات متصادمة مع طلب SOLICIT_SUCCESSOR النهائي)؛ وهذا الأسلوب ليس أسلوباً جذاباً للعمل بالنسبة لشبكة دينامية في الخدمة الثابتة والخدمة المتنقلة.

وإن الوقت اللازم لبروتوكول WTRP لإصلاح حلقة جديدة من البقايا غير الموصولة لحلقتين متصادمتين سيكون على الأقل طويلاً: فيمكن أن تنشأ حلقة صغيرة بسرعة، لكن العُقَد المتبقية ستظل عندئذٍ صامتة وتنتظر أن تُدعى إلى الانضمام.

وتتسم مُهَل الاسترجاع بالنسبة لمرور الإذنات عالية التردد بأنها أكثر جاذبية. وفي حالة الوصلة المفقودة، يتطلب التردد العالي فواصل زمنية N (مدتها تساوي رزمة + وقت الذهاب والإياب) للتعرف على مرحِّل. وبعد ذلك يلزم وقت رزمة ووقت للذهاب والإياب إضافيين *في كل دوران لإذنة*. وفي مثل شبكة من عشر عقد، يبلغ هذا فترة توقف مؤقت تقل عن 30 ثانية بينما يتم التعرف على المرحل، وإطالة وقت دوران الإذنة ببتة تزيد على 2%.

وفي حالة الحلقات المتصادمة، ستشهد الشبكات HFTP تصادمات الرزم إلى أن تبدأ إحدى العقد في دمج الحلقة، بينما تصمت عقد WTRP بمجرد كشفها للحلقة الأجنبية. إلا أنه ما أن يُستقبَل طلب MERGE_RINGS ويُقبَل، فإن الحلقات المندمجة ستستأنف عمليات نقل البيانات العادية بعد رزمة (N + 1) + أوقات الذهاب والإياب (أي بعد SET_SUCCESSOR والدوران السريع للإذنة الخاصة بـ DOUBLE_TIME_TOKEN). ويصل كل هذا إلى أقل من 30 ثانية في مثل شبكة من عشر عُقَد.

3 المودمات واسعة النطاق

1.3 النهج متعدد القنوات

1.1.3 تشغيل النطاق الجانبي المستقل (ISB)

هناك مودمات تنقل البيانات على نحو متزامن في نطاقات جانبية مستقلة متعددة. وتتضمن هذه المودمات مشكِّلات للإبراق بزحزحة الطور (PSK)/وتشكيل الاتساع التربيعي (QAM) لكل قناة سمعية (للاطلاع على معلومات تتعلق بالتشكيل انظر التوصية ITU-R F.763-5، الملحق 6)، لكنها تستعمل مشفِّر تصويب أمامي وحيد للأخطاء يوزع تدفق بتات ناتجه على آحاد قنوات الإرسال. وعندما تحمل الترددات المتجاورة هذه القنوات، ينحو S/N للقنوات إلى أن يكون متماثلاً، وإن كانت أخطاء القنوات ليست مترابطة ترابطاً تاماً. ولذلك يتحقق بعض التحسين في الناتج باستعمال تنوع المستقبِل.

2.1.3 التشغيل في قنوات غير متجاورة

عندما لا تتيسَّر قنوات متجاورة بكمية كافية لدعم المتطلبات من البيانات، يكون التشغيل في قنوات غير متجاورة ضرورياً. وفي هذه الحالة، فإن قيم القناة *S/N* يمكن أن تختلف اختلافاً كبيراً ولذلك لا يكون توزيع قطار بتات مشفَّر وحيد على المجموعة الكاملة من القنوات توزيعاً أمثل. وبدلاً من ذلك، تتولد قطارات بتات مشفَّرة منفصلة لكل مجموعة من القنوات. ويعمل التحكم في التدفقات بشكل مستقل بالنسبة لكل مجموعة من القنوات بحيث تتم المحافظة على الإنتاجية الإجمالية للبيانات بقرب الحد الأقصى الممكن بالنسبة للترددات المستعملة.

1.2.1.3 التجهيزات عالية التردد للقناة الواحدة

قناة اسمية واحدة 3 kHz لتوصيل مسلسل جامع (USB) أو أقل البتات دلالة (LSB) (قابلة للانتقاء).

2.2.1.3 التجهيزات متعددة القنوات عالية التردد

يمكن وضع ترتيبات القنوات المتعددة على النحو المبيَّن أدناه:

- قناتان اسميتان 3 kHz في التوصيل USB أو LSB (قناتان مستقلتان في النطاق الجانبي ذاته – النطاق الجانبي يمكن انتقاؤه).
- قناة اسمية واحدة 6 kHz في التوصيل USB أو LSB (قابلة للانتقاء).
- قناتان اسميتان 3 kHz في التوصيل USB، واثنتان في LSB (أربع قنوات مستقلة 3 kHz – اثنتان في كل نطاق جانبي).
- قناة اسمية واحدة 6 kHz في التوصيل USB وقناة واحدة في LSB (قناتان مستقلتان 6 kHz – واحدة في كل نطاق جانبي).
- قناة اسمية واحدة 12 kHz في التوصيل USB أو LSB (قابلة للانتقاء).
- قناة اسمية واحدة 3 kHz في التوصيل USB وقناة واحدة في LSB (قناتان مستقلتان 3 kHz – واحدة في كل نطاق جانبي).

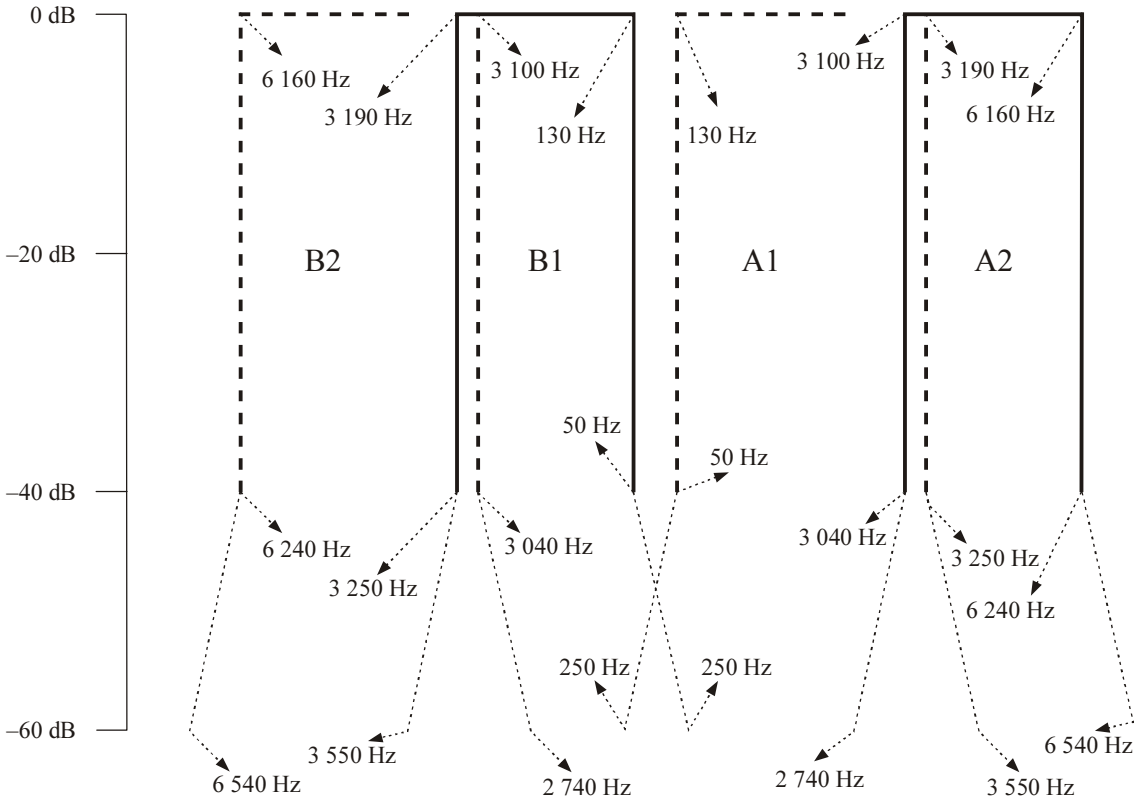
وعندما يكون تشغيل نطاق جانبي بأربع قنوات مستقلة لازماً، ينبغي تشكيل آحاد القنوات 3 kHz الأربع على النحو المبيَّن في الشكل 1، الذي يوضح أيضاً استجابة الاتساع لهذه القنوات الأربع. وينبغي قلب القناتين A2 وB2 وإزاحتهما فيما يتعلق بالقناتين A1 وB1 على النحو المبيَّن في الشكل. ويمكن تحقيق هذا من خلال استعمال ترددات موجة حاملة فرعية قدرها 6 290 Hz أعلى وأسفل تردد الموجة الحاملة المركزي، أو بواسطة تقنيات مناسبة أخرى تنتج عمليات إزاحة وعكس القنوات المطلوبة.

وينبغي أن يكون كبت أي موجات حاملة فرعية مستعمَلة بقدر يبلغ على الأقل 40 dB دون مستوى نغمة وحيدة في القناة A2 أو القناة B2 مما يشكِّل المرسِل بنسبة 25% من قدرة غلاف الذروة على النحو المبيَّن في الشكل 1. وتبلغ سعة التردد الراديوي مقابل استجابة التردد لكل قناة نطاق جانبي مستقل ISB ضمن 2 dB بين 250 Hz و3 100 Hz، ومرجعها إلى كل موجة حاملة للقناة (فعلية أو تقديرية). وينبغي أن يكون توهين القناة من كل موجة حاملة للقناة، على الأقل 40 dB عند 50 Hz و3 250 Hz، وعلى الأقل 60 dB عند 250 Hz و3 550 Hz.

وينبغي ألا يتجاوز تشوه مرحِّل المجموعة 1 500 µs على المديات 370 Hz إلى 750 Hz و3 000 Hz إلى 3 100 Hz و1 000 µs على المدى 750 Hz إلى 3 000 Hz و150 µs بالنسبة لأي تردد إضافي 100-Hz بين 570 Hz و3 000 Hz. وينبغي أن يكون التأخر المطلق أقل من 10 ms على مدى التردد من 300 Hz إلى 3 050 Hz. والقياسات هي من طرف إلى طرف (المدخل السمعي للمرسِل والمخرج السمعي للمستقبِل) مع تجهيزات الراديو مشكَّلة في تشكيل ظهراً لظهر.

الشكل 1

تشغيل نطاق جانبي بأربع قنوات مستقلة



1821-01

الملاحظة 1 – الترددات المبيَّنة هي عند مستويات نقطة قطع المرشاح dB في الشكل 1.

2.3 الراديو الرقمي العالمي (DRM)

أجرت أنظمة الراديو الرقمي العالمي (انظر التوصية ITU-R BS.1514-1) محاولات إيضاح تجريبية للاستعمالات الثابتة والمتنقلة.

ونظام الراديو الرقمي العالمي هو نظام ضيق عرض النطاق لإرسال البيانات الرقمية المشفَّرة تعامدياً ولديه المقدرة على مواءمة خصائص إرساله لتلائم متطلبات الخدمة وعوامل الانتشار الراديوي. وتُشكَّل كل من الموجات الحاملة الفرعية المختلفة باستعمال تشكيل اتساع تربيعي (QAM) بغية حمل محتوى المعلومات التي تتضمن أيضاً عناصر شفرة تصحيح أمامي للأخطاء. وتُستعمَل كوكبتان أوليتان لتشكيل الاتساع التربيعي: 64-QAM و16-QAM. وبالإضافة إلى ذلك، يتيسَّر أسلوب تشكيل تربيعي للإبراق بزحزحة الطور (QPSK) للتشوير عالي القوة. وتشذر البيانات أيضاً في الوقت المناسب على موجات حاملة فرعية بغية مكافحة الوقت والخبو الانتقائي للتردد. وقد نشر المعهد الأوروبي لمعايير الاتصالات خيار الراديو الرقمي العالمي في "دليل تطبيقات البيانات" الذي يمكن النفاذ إليه على العنوان التالي http://pda.etsi.org/pda/queryform.asp. وعند وظيفة search لهذه الصفحة على الويب يجري إدخال "data application directory".

3.3 الخصائص

الجدول 1

خصائص أنظمة الاتصالات الراديوية الرقمية المتقدمة عالية التردد

المعلمة	أسلوب الانتشار		
	الموجة الأرضية	الموجة الأيونوسفيرية	
		موجة أيونوسفيرية عمودية تقريباً (NVIS)	الورود المائل
نطاق التردد (MHz)	10-2	2-10	30-3
منطقة الخدمة التقريبية	تصل إلى 80 كم	بين 80 و200 كم	أكبر من 200 كم
استقطاب الهوائي	عمودي	أفقي	عمودي/أفقي
كسب هوائي إرسال (dBi)	3-1	6-1	15-6
القدرة المشعّة المكافئة المتناحية القصوى (dBW)	1-29	10-32	16-55
[1] *S/N* (dB)	SSB 17 DRM 18	SSB 25 DRM 26	SSB 26 DRM 26
عروض النطاق الضرورية وأنماط البث[2]	SSB/ISB: 3 و6 و9 و12 kHz 3K00J2D و6K00J2D و9K00J2D و12K0J2D		
	DRM: 3 و4,5 و5 و9 و10 و20 kHz 3K00J2D، 4K50J2D، 5K00J2D، 9K0J2D، 10K0J2D، 20K0J2D		

الملاحظة 1 – يمكن الاطلاع في التوصية ITU-R F.339 على معلومات أكثر تفصيلاً عن *S/Ns* المطلوبة.

الملاحظة 2 – بالنسبة لنمط البث يشير الحرف الأخير (D) إلى نقل البيانات. وإذا كان الإرسال لا يتعلق بالبيانات (D)، يحل محله (E) للصوت، و(C) للفاكس، و(W) للأداء المختلط أو (X) لحالات غير مشمولة بخلاف ذلك.

4 الاستنتاجات

يتيح الراديو عالي التردد اتصالات راديوية لا سلكية تتجاوز خط البصر من أجل التطبيقات التي تتراوح بين خط البصر الممتد ضمن منطقة صغيرة والتغطية العالمية التي تعزِّز الطيران التجاري والاستغاثة البحرية ورسائل البريد الإلكتروني. كما توفر وصلات المدى الطويل المتيسِّرة التي تستعمل تجهيزات عالية التردد يمكن نقلها اتصالات سريعة في مناطق الكوارث حيث يكون قد لحق ضرر شديد بالبنية التحتية للأرض أو دُمِّرت تلك البنية.

وعلى الرغم من هذه المقدرة على الاتصال الذي يتجاوز خط البصر، يمكن أحياناً لتقلبات الانتشار وآثار بيئية أخرى أن تنتج انقطاعات للإرسال على بعض الوصلات عالية التردد وذلك دون مساس ببعضها الآخر. ومن ثم، تُعزَّز الموثوقية في الشبكات عالية التردد عندما يُدعَّم تسيير غير مباشر. ومعظم طرق التسيير في شبكة عالية التردد تحتاج عادةً إلى وصلة وحيدة فقط.

إلا أنه في حالات عندما تكون خيارات التسيير المتعددة ضرورية للإبقاء على نوعية الخدمة تكون آلية وحيدة لتسيير المرحِّلات مفيدة.

وعندما ترغب عُقَد عالية التردد متعددة في تقاسم قناة من أجل تحقيق كفاءة الاتصالات من شخص إلى أشخاص كثيرين وكذلك من شخص إلى شخص آخر، يلزم بروتوكول نفاذ للقناة. ويستعمل أحد النُهج بروتوكول تمرير الإذنات. ويفرض ضِيْق عرض النطاق، والمرحِّلات العادية، والخسائر العالية في خصائص القناة عالية التردد، متطلبات صارمة بوجه خاص على هذا البروتوكول.

وعندما تتجاوز متطلبات إرسال البيانات المعدلات التي يمكن تحقيقها في التوزيعات الاسمية 3 kHz، يمكن استخدام الآليات التي تنشر إرسال البيانات على عدد وافر من هذه القنوات. وتتيسَّر المودمات واسعة النطاق مما يحقق زيادة هامة في إنتاجية البيانات لشبكة ما. ويمكن لتشغيل النطاق الجانبي المستقل أن يدعِّم التشغيل متعدد القنوات من أجل زيادة عرض النطاق مع الإبقاء في الوقت ذاته على الكفاءة الطيفية.