التقريـــر ITU-R F.2086*

الخصائص والتطبيقات التقنية والتشغيلية للنفاذ اللاسلكي عريض النطاق في الخدمة الثابتة

(2006)

جـــدول المحتويـــات

الصفحة

1 مقدمة 2

2 مجال التطبيق 2

3 المراجع 2

4 قائمة المختصرات 3

5 التطبيق والخدمات 5

6 الخصائص 6

1.6 مجالات التردد العاملة 6

2.6 كفاءة استخدام الطيف (SUE) 7

3.6 التشكيلات الطوبولوجية 8

1.3.6 طوبولوجيا النشر من نقطة إلى نقطة 8

2.3.6 طوبولوجيا النشر من نقطة إلى عدة نقاط 9

3.3.6 طوبولوجيا النشر من عدة نقاط إلى عدة نقاط 9

4.3.6 توليفة من طوبولوجيا نشر P-P وP-MP وMP-MP 10

4.6 الهوائيات 11

5.6 الإرسال المزدوج 11

6.6 أنماط النشر 12

1.6.6 عملية خط البصر 12

2.6.6 العملية خارج خط البصر 12

3.6.6 النشر المستوي 12

4.6.6 النشر النقطي 15

5.6.6 النشر الرجعي 15

6.6.6 النشر المختلط 15

7.6 خصائص النقل 15

1.7.6 استقلالية الخدمة 15

2.7.6 دعم الخدمة 15

3.7.6 اللاتناظر المرن 16

4.7.6 تكييف النسبة لكل مشترك 17

5.7.6 سعة المعالجة 17
6.7.6 إمكانية الاتساع 17
7.7.6 الأمن الخاص بالإرسال الراديوي 17
8.6 وظيفة إدارة النظام 17
9.6 التخفيف من التداخل 18
1.9.6 أنماط التداخل 18
2.9.6 أساليب التخفيف من التداخل 18
3.9.6 تطبيق أساليب التخفيف من التداخل 20
10.6 دعم الأنظمة في التكنولوجيات الجديدة 20
الملحق 1 – مثال لتطبيق معين في النفاذ اللاسلكي عريض النطاق 22

1 مقدمة

يتناول هذا التقرير خصائص وتطبيقات أنظمة النفاذ اللاسلكي عريض النطاق (BWA) في الخدمة الثابتة لاستعمال الإدارات والمشغّلين الذين ينوون نشر أنظمة نفاذ لاسلكي عريض النطاق. وتُستعمل على نطاق واسع أنظمة النفاذ هذه، بما في ذلك تطبيقات شبكات المنطقة المحلية الراديوية (RLAN)، في الخدمة الثابتة وذلك من أجل التجهيزات المنقولة والجوالة والثابتة ولأنواع شتى من الخدمات. وثمة معايير تتناول تشغيل هذه الأنظمة وجوانب تشغيلها بينياً. وتتناول التوصيتان ITU-R F.1763 وITU-R F.1499 معايير السطوح البينية الراديوية لأنظمة النفاذ عريض النطاق الثابتة، وتحدد هاتان التوصيتان تفاصيل السطوح البينية لإمكانية التشغيل البيني للتجهيزات الراديوية العاملة دون 66 GHz.

2 مجال التطبيق

يلخص هذا التقرير الخصائص التقنية والتشغيلية العمومية اللازمة لتزويد المستعملين النهائيين بأنظمة نفاذ لاسلكي عريض النطاق في الخدمة الثابتة بما في ذلك شبكات المنطقة المحلية الراديوية. وهو يشمل جوانب الدراسة التقنية فيما يتعلق بمدى التردد بالإضافة إلى خصائص الانتشار الراديوية المتصلة بنشر هذه الأنظمة. كما يتناول التقرير معلومات عن المتطلبات التقنية والتشغيلية فيما يتعلق بتجنب التداخل.

3 المراجع

[1] التوصية ITU-R F.1490 – المتطلبات العمومية لأنظمة النفاذ اللاسلكي الثابتة.

[2] الوثيقة ETSI TR 101 856 V1.1.1 (2001-2003)، شبكات النفاذ الراديوي عريض النطاق (BRAN) – "المتطلبات الوظيفية لأنظمة النفاذ اللاسلكي الثابتة دون 11 GHz: HIPERMAN.

[3] الوثيقة IEEE 802.16.3-00/02r4، 2000.09.22 – المتطلبات الوظيفية لمعيار إمكانية التشغيل البيني 802.16.3.

[4] التوصية ITU-R F.1704 – خصائص الأنظمة اللاسلكية الثابتة من عدة نقاط إلى عدة نقاط التي تنطوي على تكنولوجيا شبكية متقاطعة في نطاقات التردد فوق حوالي 17 GHz.

[5] التوصية ITU-R F.1401 – اعتبارات من أجل التعرف إلى نطاقات التردد الممكنة لدراسات النفاذ اللاسلكي الثابت وما يتصل بذلك من دراسات التقاسم.

[6] التوصية ITU-R F.755 – الأنظمة من نقطة إلى عدة نقاط في الخدمة الثابتة.

[7] التوصية ITU-R F.1400 – متطلبات وأهداف الأداء والتيسر للنفاذ اللاسلكي الثابت إلى الشبكة الهاتفية العمومية التبديلية.

[8] التوصية ITU-R F.1450 – خصائص شبكات المنطقة المحلية الراديوية عريضة النطاق.

[9] التوصية ITU-R F.1763 – معايير التداخل الراديوي لأنظمة النفاذ اللاسلكي عريضة النطاق في الخدمة الثابتة العاملة دون 66 GHz.

[10] التوصية ITU-R F.1399 – المصطلحات المتعلقة بالنفاذ اللاسلكي.

[11] التوصية ITU-R F.1499 – أنظمة الإرسال الراديوي من أجل النفاذ اللاسلكي الثابت عريض النطاق القائمة على معايير المودمات الكبلية.

[12] التوصية ITU-R SM.1046 – تحديد استخدام الطيف وكفاءة النظام الراديوي.

[13] الوثيقة ETSI TS 101 999 V1.1.1 (2002-2004) – شبكات النفاذ الراديوي عريض النطاق (BRAN)؛ HiperACCESS؛ مواصفة بروتوكول PHY (الطبقة المادية).

[14] الوثيقة ETSI TS 102 000 V1.4.1 (2004-2007) – شبكات النفاذ الراديوي عريضة النطاق (BRAN)؛ HiperACCESS؛ مواصفة بروتوكول DLC (التحكم في وصلة البيانات).

[15] مشروع الوثيقة ETSI EN 302 326 (V0.0.8 2004-2010) – الأنظمة الراديوية الثابتة؛ تجهيزات وهوائيات متعددة النقاط.

[16] المعيار ARIB STANDARD STD-T59 – نظام النفاذ اللاسلكي الثابت باستخدام ترددات الموجة شبه المليمترية والموجة المليمترية، نظام من نقطة إلى عدة نقاط (http://www.arib.or.jp/english/html/overview/st_e.html).

[17] التقرير ITU-R F.2060 – استعمال الخدمة الثابتة في شبكات نقل الاتصالات المتنقلة الدولية–2000 (IMT-2000).

[18] التوصية ITU-R F.746 – ترتيبات الترددات الراديوية لأنظمة الخدمة الثابتة.

[19] التقرير ITU-R F.2058 – تقنيات التصميم المنطبقة على أنظمة النفاذ اللاسلكي الثابت عريضة النطاق التي تنقل رزم بروتوكول الإنترنت أو خلايا أسلوب نقل غير متزامن.

[20] التقرير ITU-R F.2047 – تطورات التكنولوجيا واتجاهات التطبيق في الخدمة الثابتة.

[21] كتيب القطاع ITU-R بشأن النفاذ اللاسلكي الثابت: (المجلد 1 من الخدمة المتنقلة البرية (بما في ذلك النفاذ اللاسلكي)).

4 قائمة المختصرات

AP نقطة نفاذ *(Access point)*

APS تشكيل مخطط الهوائي *(Antenna pattern shaping)*

ARIB رابطة صناعات وشركات البث الراديوي *(Association of Radio Industries and Businesses)*

ATM أسلوب نقل غير متزامن *(Asynchronous transfer mode)*

BEM	قناع حافة الفدرة *(Block edge mask)*
BER	نسبة الخطأ في البتات *(Bit error ratio)*
BRAN	شبكة نفاذ راديوي عريض النطاق (المنظمة الأوروبية لمعايير الاتصالات) *(Broadband radio access network (ETSI))*
BS	محطة قاعدة *(Base station)*
BWA	نفاذ لاسلكي عريض النطاق *(Broadband wireless access)*
CDMA	نفاذ متعدد بتقسيم الشفرة *(Code division multiple access)*
C/I	نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل *(Carrier-to-interference)*
Diffserv	خدمات تفاضلية *(Differentiated services)*
DL	وصلة هابطة *(Downlink)*
DLC	التحكم في وصلة البيانات *(Data link control)*
ETSI	المنظمة الأوروبية لمعايير الاتصالات *(European Telecommunications Standards Institute)*
FDD	إرسال مزدوج بتقسيم التردد *(Frequency division duplex)*
FSK	إبراق بزحزحة التردد *(Frequency shift keying)*
FWA	نفاذ لاسلكي ثابت *(Fixed wireless access)*
GPS	النظام العالمي لتحديد الموقع *(Global positioning system)*
H-FDD	نصف ازدواج بتقسيم التردد *(Half duplex FDD)*
HIPERMAN	شبكة منطقة حضرية راديوية عالية الأداء *(HIgh PErformance radio metropolitan area network)*
IEEE	رابطة المهندسين الكهربائيين والإلكترونيين *(Institute of Electrical and Electronics Engineering)*
ISI	تداخل بين الرموز *(Inter-symbol-interference)*
IP	بروتوكول الإنترنت *(Internet protocol)*
ISP	مقدمو خدمات الإنترنت *(Internet service providers)*
LAN	شبكة منطقة محلية *(Local area network)*
LoS	خط البصر *(Line-of-sight)*
MA	نفاذ متعدد *(Multiple access)*
MAN	شبكة منطقة حضرية كبرى *(Metropolitan area network)*
MIMO	مدخلات متعددة مخرجات متعددة *(Multiple input multiple output)*
MPEG4	فريق خبراء الصور المتحركة 4 *(Moving Picture Experts Group 4)*
MP-MP	من عدة نقاط إلى عدة نقاط *(Multipoint-to-multipoint)*
MPLS	تبديل البطاقات بين عدة بروتوكولات *(Multi-protocol label switching)*
MUD	الكشف عن تعدد المستعملين *(Multi-user detection)*
NLOS	خارج خط البصر *(Non-line-of-sight)*
OFDM	تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد *(Orthogonal frequency division multiplex)*
OFDMA	تعدد النفاذ بتقسيم التردد تعامدياً *(Orthogonal frequency-division multiple access)*
PoI	نفاذ السطح البيني *(Points of interface)*

P-P من نقطة إلى نقطة *(Point-to-point)*

P-MP من نقطة إلى عدة نقاط *(Point-to-multipoint)*

QAM تشكيل اتساع تربيعي *(Quadrature amplitude modulation)*

QoS نوعية الخدمة *(Quality of service)*

RLAN شبكة منطقة محلية راديوية *(Radio local area network)*

RSVP بروتوكول حجز الموارد *(Resource reservation protocol)*

SDH تراتب رقمي متزامن *(Synchronous digital hierarchy)*

SLA اتفاق سوية الخدمة *(Service level agreement)*

SME منشأة صغيرة أو متوسطة الحجم *(Small medium enterprise)*

SINR نسبة الإشارة والتداخل إلى الضوضاء *(Signal and interference to noise ratio)*

SNMP بروتوكول بسيط لإدارة الشبكة *(Simple network management protocol)*

SOHO مكتب صغير أو مكتب منـــزلي *(Small office home office)*

ST مطراف مشترك *(Subscriber terminal)*

SU وحدة مشترك *(Subscriber unit)*

TCP/IP بروتوكول التحكم في الإرسال/بروتوكول الإنترنت *(Transmission control protocol/Internet protocol)*

TDD إرسال مزدوج بتقسيم الزمن *(Time division duplex)*

UL وصلة صاعدة *(Uplink)*

VoIP نقل الصوت بواسطة بروتوكول الإنترنت *(Voice over Internet protocol)*

WAN شبكة منطقة واسعة *(Wide area network)*

WAS أنظمة نفاذ لاسلكي *(Wireless access systems)*

5 التطبيق والخدمات

يتعين على أنظمة النفاذ اللاسلكي عريض النطاق في الخدمة الثابتة أن تتناول طائفة واسعة من التطبيقات قيد الاستعمال في الوقت الحاضر وأن تكون قابلة للاتساع لتناول خدمات أخرى في المستقبل. ومن تطبيقات المستعمل الرئيسية التي يمكن ترقبها اليوم ما يلي:

- النفاذ إلى الإنترنت (الصيغتان 4 و6 من بروتوكول الإنترنت مثلاً)
- التوصيل ما بين شبكات المنطقة المحلية والنفاذ البعيد إلى هذه الشبكات

بإمكان البروتوكولات تناول خدمة شبكات المنطقة المحلية الموصولة وإمكانات النفاذ البعيد إلى هذه الشبكات.

- المهاتفة الفيديوية والمؤتمرات الفيديوية
- الألعاب بواسطة الحاسوب
- إرسال الصورة والصوت في الوقت الفعلي
- الطب عن بعد؛ التعليم عن بعد
- خدمات المهاتفة/الصوت (VoIP مثلاً)
- مودمات وفاكس نطاق الصوت

بإمكان النظام تيسير خدمات الإرسال إلى جهة واحدة والإرسال إلى عدة جهات وكذلك الخدمات الإذاعية.

ومن الممكن أيضاً استعمال أنظمة النفاذ اللاسلكي عريض النطاق الثابتة لتوفير الوصلات الرجعية فيما يتعلق بشبكات المنطقة المحلية (LAN) وشبكات المنطقة الحضرية الكبرى (MAN) والشبكات المتنقلة الخلوية وكذلك حلقات التراتب الرقمي المتزامن (SDH).

6 الخصائص

تتناول البنود التالية بعض الخصائص لنشر أنظمة النفاذ اللاسلكي عريض النطاق في الخدمة الثابتة. وقد تتفاوت نطاقات التردد الواجب استخدامها من بلد إلى آخر، كما ينبغي النظر في خطة النطاق الملائمة وتيسُّر التجهيزات وذلك لتمكين إعادة استعمال التردد واعتماد المقياس الملائم من أجل إنتاج التجهيزات.

وينبغي النظر في خصائص أخرى بشأن نشر أنظمة النفاذ اللاسلكي عريض النطاق، وخصوصاً لتشجيع كفاءة استخدام الطيف ونوعية الخدمة المقدمة واستعمال التكنولوجيات الجديدة.

1.6 مجالات التردد العاملة

ينبغي تشغيل أنظمة النفاذ اللاسلكي الثابت عريض النطاق في نطاق واسع من الترددات وذلك لمسايرة مجموعة شتى من النطاقات المتاحة في كل بلد. ومن الممكن الاسترشاد بالتوصية ITU-R F.1401 من أجل النظر في تحديد نطاقات التردد الممكنة لدراسة النفاذ اللاسلكي عريض النطاق وما يتصل به من دراسات التقاسم.

ويتضمن الجدول 1 تفاصيل إضافية فيما يتعلق بنطاقات التردد المستعملة في بعض الإدارات من أجل أنظمة النفاذ اللاسلكي (WAS) بما فيها أنظمة النفاذ اللاسلكي عريض النطاق (BWA) وشبكات المنطقة المحلية الراديوية (RLAN). ويمكن للأنظمة BWA أن تستخدم مجموعة شتى من تقنيات التشكيل والنفاذ المتعدد.

الجدول 1

مثال لنطاقات التردد يستعملها بعض الإدارات من أجل أنظمة النفاذ اللاسلكي (WAS)، بما فيها النفاذ اللاسلكي عريض النطاق (BWA) وشبكات المنطقة المحلية الراديوية (RLAN)*

التردد	مجالات/نطاقات التردد
UHF (MHz 3 000-300)	MHz 900/800 MHz 928-902 MHz 1 900/1 800 MHz 2 483,5-2 400
SHF (GHz 30-3)	GHz 3,9-3,3 GHz 5,0-4,9 GHz 5,250-5,150 GHz 5,350-5,250 GHz 5,725-5,470 GHz 5,850-5,725 GHz 18 GHz 29/28/25/24
EHF (GHz 300-30)	GHz 32 GHz 38 GHz 40

* هذه النطاقات غير موزعة بالضرورة بموجب المادة 5 من لوائح الراديو إلى الخدمة الثابتة، وقد تتناول مثلاً تطبيقات ثابتة في الخدمة المتنقلة.

ويكون كل نظام من أنظمة النفاذ اللاسلكي عريض النطاق مصمَّماً نموذجياً لاستخدام فاصل أو فواصل قنوات معينة وعرض نطاق أو نطاقات قنوات وذلك تبعاً للمعايير المستخدَمة أو التصميمات التي ينفرد بها كل من المصنّعين. ومع ذلك من الممكن تصميم أنظمة مختلفة يكون لها فواصل مباعَدة بين القنوات مختلفة، ومن أجل عمليات النشر تبعاً لأشكال مختلفة من التقسيم القطاعي في المحطة القاعدة، وذلك حرصاً على كفاءة استخدام الطيف في إطار نطاقات أو فدرات التردد المرخص بها المتاحة.

وفيما يتعلق بترتيبات الترددات الراديوية للنفاذ اللاسلكي الثابت (FWA) بما فيها أنظمة النفاذ اللاسلكي عريض النطاق (BWA) من الممكن أيضاً الاسترشاد بتوصيات أخرى صادرة عن القطاع ITU-R (ومنها مثلاً التوصية ITU-R F.746).

2.6 كفاءة استخدام الطيف (SUE)

تشتمل التوصية ITU-R SM.1046 على معلومات بخصوص كفاءة استخدام الطيف، بما في ذلك المعايير العامة لتقييم ومقارنة كفاءات الطيف. وتشير الدراسات التي اضطلعت بها لجنة الدراسات 1 للاتصالات الراديوية والمذكورة في التوصية ITU-R SM.1046 إلا أن من الواجب قياس كفاءة استخدام الطيف من حيث إنها نسبة كمية المعلومات المنقولة على امتداد مسافة ما إلى عامل استخدام الطيف. ومن العوامل التي تحدد كفاءة استخدام الطيف مدى العزل الذي يمكن الحصول عليه من خلال اتجاهية الهوائي والمباعدة الجغرافية وتقاسم الترددات أو استخدام التردد التعامدي أو تقسيم الزمن.

ومن العوامل التي تقرر عرض النطاق المشغول[1] خصائص تشكيل/ترشيح الطيف. وينبغي أن تكون التجهيزات قادرة على كفاءة استخدام الطيف، بحيث يكاد لا يكون هنالك أي انحطاط في القدرة عند تجميع نقاط النفاذ في مكان واحد وعند استخدام القنوات المجاورة.

ولتحقيق ما تقدم، وعندما يخصَّص مشغلون مختلفون لاستعمال قنوات مجاورة أو فدرات مجاورة، يحتاج الأمر إلى قدر من نطاق الحراسة إزاء التردد الحدّي. ومن شأن هذا النهج أن ينظم مباعدة عرض نطاق الموجة الحاملة BW التي يمكن استخدامها في كل نطاق مرخَّص به والتي من المطلوب أن تكون نفسها بالنسبة لجميع النطاقات المرخَّص بها.

وفيما يلي مثال عن المباعدة المطلوبة للموجة الحاملة من التردد الحدي للأنظمة من نقطة إلى عدة نقاط. وفي الشكل 1 ينبغي أن يكون للتردد المركزي للموجات الحاملة المرسَلة المباعدة المطلوبة في تردد عرض النطاق BW من حدود فدرة التردد المجاورة، والتي تكون مخصصة إلى مشغِّل مختلف.

وفي هذا المثال تعرَّف BW كما يلي:

$$BW = 1{,}25 \times BW_0$$

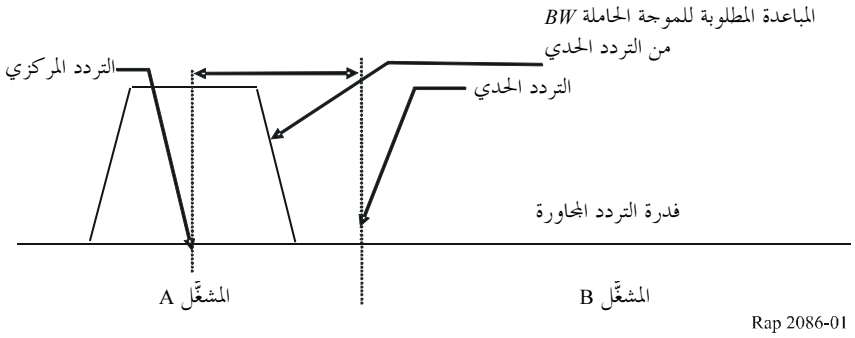
حيث BW_0 هي أقرب تردد من المركز حيث تصبح السوية النسبية للطيف المقيس أخفض بمقدار –23 dB من سوية الطيف القصوى.

وينبغي للمشغل من حيث المبدأ أن يستعمل، ضمن الفدرة المخصصة له، القنوات الراديوية الأقرب إلى مركز فدرة التردد وتكون لها أولوية أعلى. وفي الأنظمة متعددة الموجات الحاملة، ينبغي أن تنطبق المتطلبات المذكورة أعلاه على معظم الموجات الحاملة المتطرفة بالنسبة إلى مركز فدرة التردد.

[1] عرض نطاق الترددات الذي تكون فيه القدرتان المتوسطتان المرسلتان تحت التردد الحدّي السفلي وفوق التردد الحدّي العلوي مساوية كل منهما لنسبة مئوية معطاة $\beta/2$ من القدرة المتوسطة الكلية لإرسال ما (معرَّفة في الرقم 153.1 من لوائح الراديو).

الشكل 1

مفهوم المباعدة المطلوبة للموجة الحاملة من التردد الحدي



وهنالك نهج آخر، يُعرف باسم قناع حافة الفدرة (BEM)، يُستخدم أيضاً في تخصيص فدرات الطيف المجاورة إلى المشغّلين في نفس المنطقة الجغرافية. وهنا تخصَّص الفدرات المتلاصقة دون نطاق حراسة ويتعين على التجهيزات أن تفي بشروط قناع حافة الفدرة. ويمكّن هذا النهج المشغلين من نشر أنظمة مهما كانت مباعدة الموجة الحاملة فيها، بما في ذلك مباعدات موجة حاملة مختلفة في فدرات مجاورة، ما دامت إرسالاتها عند حافة الفدرة دون قيمة قناع حافة الفدرة BEM.

3.6 التشكيلات الطوبولوجية

هنالك أربعة أنواع من التشكيلات الرئيسية:

- طوبولوجيا تقليدية من نقطة إلى نقطة (P-P) حيث تتواصل محطة ما مباشرة مع محطة أخرى؛
- طوبولوجيا تقليدية من نقطة إلى عدة نقاط (P-MP) حيث تتواصل كل وحدة مشترك مباشرة مع محطة قاعدة؛
- طوبولوجيا شبكة متعامدة من عدة نقاط إلى عدة نقاط (MP-MP) حيث تتواصل وحدات المشترِك مع أقرب جيرانها وتمرَّر المعلومات ثانية عبر الشبكة المتعامدة على غرار ما يحدث في حركة الإنترنت؛
- طوبولوجيا تجمع ما بين التوصيلات P-P وP-MP وMP-MP.

والفارق الرئيسي بين هيكليات طوبولوجيا من نقطة إلى عدة نقاط ومن عدة نقاط إلى عدة نقاط هي أن الحركة في الأسلوب من نقطة إلى عدة نقاط لا تحدث إلا ما بين الخدمة الإذاعية ووحدات المشترك، بينما يمكن في طوبولوجيا من عدة نقاط إلى عدة نقاط أن تحدث الحركة مباشرة بين وحدات المشترك، كما يمكن تسييرها كذلك من خلال وحدات مشترك أخرى. وجدير بالذكر أن من الممكن استخدام التطبيق من نقطة إلى نقطة كوصلة عنصر في طوبولوجيا من نقطة إلى عدة نقاط أو من عدة نقاط إلى عدة نقاط، وأن بعض الوصلات الرجعية التي تشمل هيكلية متنقلة يمكنها أيضاً أن تَستخدم التطبيق من نقطة إلى نقطة.

وينبغي تقييم هيكليات الطوبولوجيا الأربعة المذكورة أعلاه، وهي P-P وP-MP وMP-MP أو أي توليفة منها، عندما يُنظر في تنفيذها.

1.3.6 طوبولوجيا النشر من نقطة إلى نقطة

ترسَل الحركة في إطار الأنظمة P-P مباشرة من محطة إلى أخرى. وتشمل استعمالات الأنظمة P-P أيضاً والصلات الرجعية من أجل شبكات المنطقة المحلية (LAN) وشبكات المنطقة الحضرية الكبرى (MAN) والشبكات المتنقلة الخلوية.

الشكل 2

تصوير لنشر شبكة على أساس التشكيل من نقطة إلى نقطة

Rap 2086-02

2.3.6 طوبولوجيا النشر من نقطة إلى عدة نقاط

ينبغي في الأنظمة P-MP أن تمر كل حركة البيانات (البيانات أو الصوت أو الوسائط المتعددة) من خلال المحطة القاعدة التي تقوم بمثابة المشرف على الموارد الراديوية.

ويبين الشكل 3 مثالاً لتشكيل النشر. وباستطاعة المحطة القاعدة أن تخدم مبانٍ منفصلة أو مشتركين متعددين في مبانٍ متعددة (باستعمال الوصلات الراديوية المتعددة)، أو مشتركين متعددين في مبنى واحد باستعمال وصلة راديوية واحدة بالإضافة إلى أنظمة توزيع داخل المبنى. وهو يبين استعمال مكرِّر أمثل وتنوع في المسير وذلك بغية توفير تغطية موسعة وتغطية في مناطق صعبة. وهذا لا يعني ضرورة استعمال هذه المزايا في جميع الأنظمة.

وتُنشر المحطات القاعدة في أنظمة النفاذ اللاسلكي عريض النطاق بحيث تشكل خلايا متلاصقة أو تغطية منقطة.

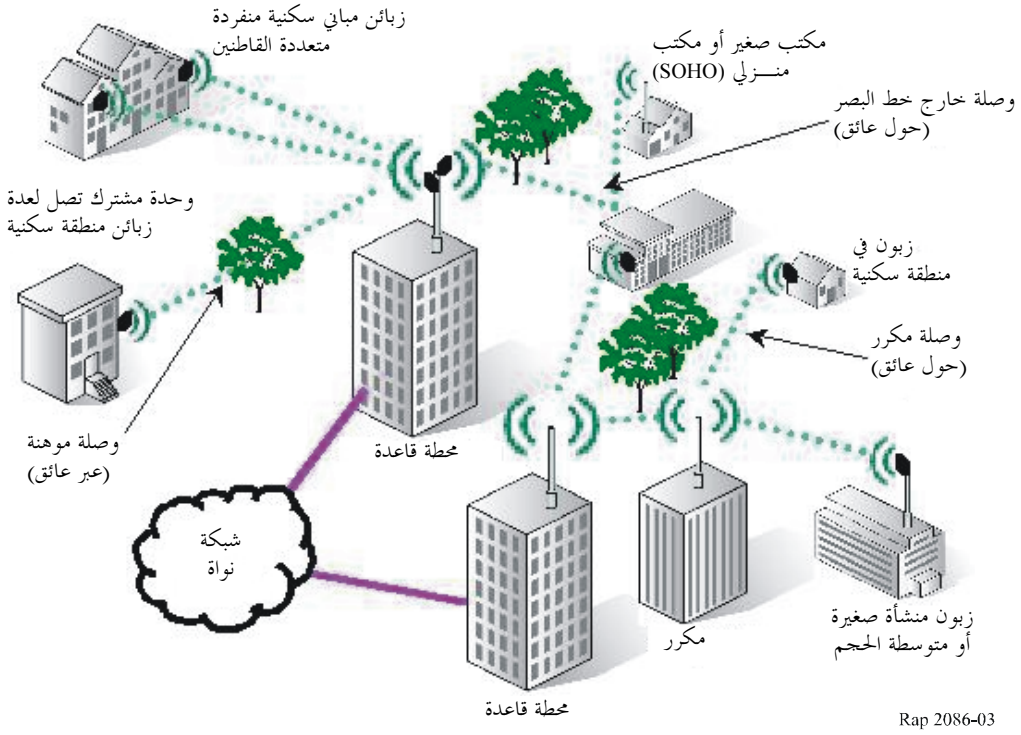
3.3.6 طوبولوجيا النشر من عدة نقاط إلى عدة نقاط

يمكن للنظام أن ينهض بالنشر من عدة نقاط إلى عدة نقاط مستعيناً بطوبولوجيا شبكة متعامدة.

ويبين الشكل 4 مثالاً من أمثلة النظام من عدة نقاط إلى عدة نقاط على أساس طوبولوجيا شبكة متعامدة. وتتألف الشبكة اللاسلكية المتعامدة من عُقد لا سلكية، التي تكون إما مواقع زبائن أو عُقد مرحِّلات دون حركة أصل/مقصد أو نقاط سطوح بينية متصلة مع شبكات أخرى مثل شبكات مقدمي خدمة الإنترنت. ويمكن اعتبار مجموع الشبكة المبينة في الشكل 4 بمثابة نظام من عدة نقاط إلى عدة نقاط. وعندما يتوفر على الأقل مسير تحوُّل واحد في الشبكة عندئذ يشار إلى النظام تحديداً على أنه "نظام MP-MP ينطوي على طوبولوجيا شبكة متعامدة" (انظر التوصية ITU-R F.1704).

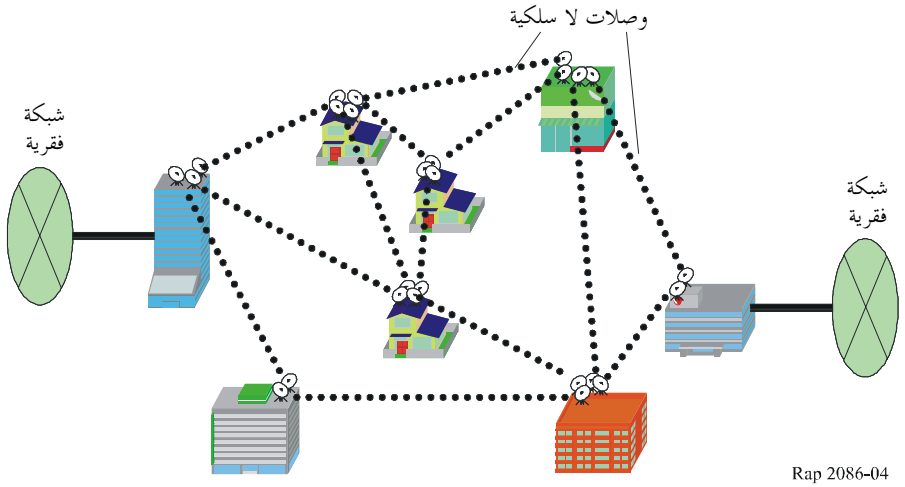
الشكل 3

تصوير لنشر شبكة على أساس التشكيل من نقطة إلى عدة نقاط



الشكل 4

تصوير لنشر شبكة على أساس تشكيل من عدة نقاط إلى عدة نقاط

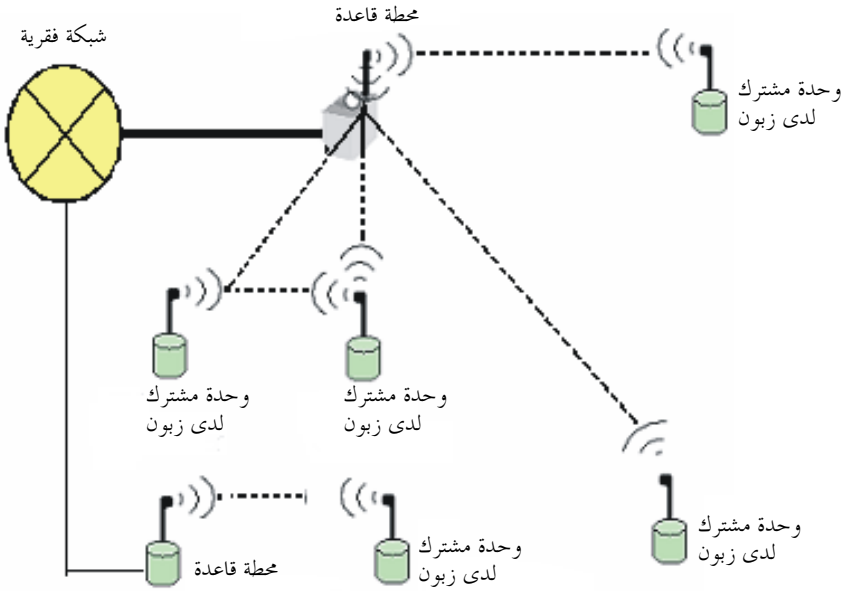


4.3.6 توليفة من طوبولوجيا نشر P-P وP-MP وMP-MP

يبين الشكل 5 مثالاً لطوبولوجيا مختلطة. وفي هذه الحالة يمكن أن تتضمن الشبكة اللاسلكية وصلات P-MP وMP-MP على السواء، ويمكن توصيل الخدمة الإذاعية التي تدعم وحدات المشترك لديها بالشبكات الأخرى من خلال شبكة فقرية.

الشكل 5

تصوير لنشر شبكة على أساس توليفة من تشكيل P-P وP-MP وMP-MP



4.6 الهوائيات

يحدَّد أداء الهوائيات بأساليب متنوعة. فبالنسبة لاعتبارات التداخل، وإذا كان كبت الفص الجانبي عموماً أمراً هاماً، فإن نسبة الذهاب إلى الإياب تبقى واحدة من أهم المعلمات في أي طوبولوجيا خلوية. وتشير نسبة الذهاب إلى الإياب في هوائي ما إلى نسبة الكسب في اتجاه الحزمة الرئيسية للهوائي إلى تلك الآتية في الاتجاه المعاكس (انظر الفقرة 2.2.9.6).

5.6 الإرسال المزدوج

يمكن تحقيق النفاذ اللاسلكي عريض النطاق في الخدمة الثابتة إما بالإرسال المزدوج بتقسيم التردد (FDD) أو الإرسال المزدوج بتقسيم الزمن (TDD) أو الجمع بينهما.

وفي الأسلوب FDD ينبغي للمحطة القاعدة أن تقوم بكامل عملية الإرسال المزدوج بتقسيم التردد. وبإمكان وحدة المشترك إما أن تعمل بكامل الإرسال المزدوج بتقسيم التردد أو نصف هذا الإرسال (H-FDD). ولدعم عمل وحدات المشترك في الأسلوب H-FDD يجب على المحطة القاعدة أن تحرص على عدم برمجة وحدة مشترك H-FDD لكي ترسِل وتستقبل في آن واحد.

وفي أسلوب ازدواج الإرسال المزدوج بتقسيم الزمن (TDD) يمكن للنظام أن يتحمل فترة متغير دينامي للوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة، تبعاً للحركة اللامتناظرة القائمة، وعلى أساس المزامنة المطلوبة في المنطقة حيث تُستخدم أنظمة الإرسال المزدوج بتقسيم الزمن لكي يكون من الممكن النهوض بأكثر من نظام.

وينبغي انتقاء أسلوب الإرسال المزدوج بالاقتران مع التشكيل المفضل ومع تقنيات النفاذ المتعدد. وهنالك بضعة توليفات من تقنيات النفاذ المتعدد والتشكيل وُضعت بمثابة معايير للنفاذ اللاسلكي عريض النطاق، وهي موجودة في النصين التاليين للقطاع ITU-R.

– التقرير ITU-R F.2058 – تقنيات التصميم المطبَّقة في أنظمة النفاذ اللاسلكي الثابت عريض النطاق التي تنقل رزم بروتوكول الإنترنت أو خلايا أسلوب النقل غير المتزامن؛

– التوصية ITU-R M.1450 – خصائص شبكات المنطقة المحلية الراديوية عريضة النطاق (لأنظمة النفاذ اللاسلكي عريض النطاق القائمة على تطبيقات الخدمة الثابتة لشبكات المنطقة المحلية الراديوية).

6.6 أنماط النشر

1.6.6 عملية خط البصر

ينبغي أن يكون نظام النفاذ اللاسلكي عريض النطاق قادراً على العمل في ظروف خط البصر بمختلف أشكال الاستقطاب بصرف النظر عن نطاق التردد العامل.

2.6.6 العملية خارج خط البصر

من شأن العملية خارج خط البصر أن تخفف أو تزيل متطلبات تركيب الهوائي وأن تمكّن تشغيل المطاريف التي يمكن للمستعمل تركيبها، الأمر الذي يخفض إلى حد كبير من تكاليف النشر.

وقد يستطيع نظام النفاذ اللاسلكي عريض النطاق، عندما يشغَّل في نطاقات التردد الأدنى، دون 6 GHz مثلاً، أن يعمل في ظروف خارج خط البصر. ونظراً لإمكانية تعدد المسارات المتأصلة في نطاقات التردد المستهدَفة، فقد يكون النظام قادراً على استيعاب بضعة ميكروثواني من مهلة الانتشار ضمن قدر محدود من انحطاط الأداء.

وتتطلب عملية خارج خط البصر مقاومة تعدد المسيرات وزيادة كسب النظام. ومن المعروف أن أنظمة النفاذ اللاسلكي عريض النطاق التي تدعم هذه العملية توفر سبل زيادة ميزانية الوصلة الصاعدة دون التأثير على تعقيد المطراف لدى المشترك.

3.6.6 النشر المستوي

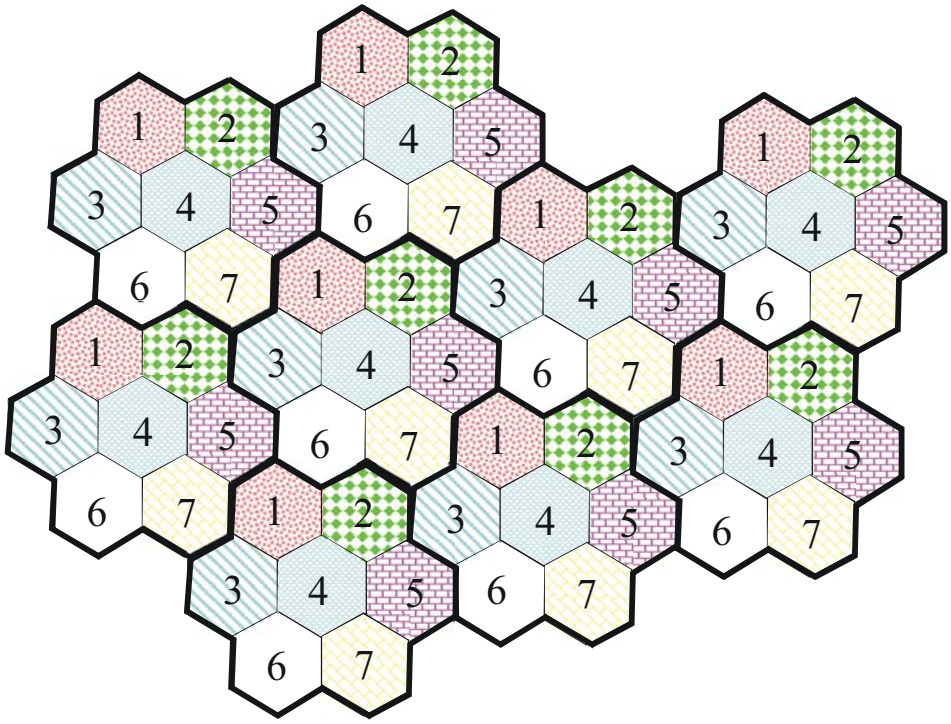
يقع الاختيار على عمليات النشر المستوي عندما يقرر مقدمو الخدمة أنهم يريدون توفير خدمة النفاذ BWA في كل مكان وفي كل وقت في منطقة واسعة. ومن مزايا النشر المستوي أنها تضمن تغطية المنطقة بشكل متجانس. ومن المآخذ على ذلك الزيادة في حجم التخطيط والتصميم المطلوب مسبقاً.

وتتوفر الإرشادات بخصوص تقنيات التصميم من أجل عمليات النشر المستوي في كتيبات الاتحاد الدولي للاتصالات مثل كتيب النفاذ اللاسلكي الثابت وغيره من المنشورات خارج الاتحاد. وفيما يلي أمثلة محددة على ذلك.

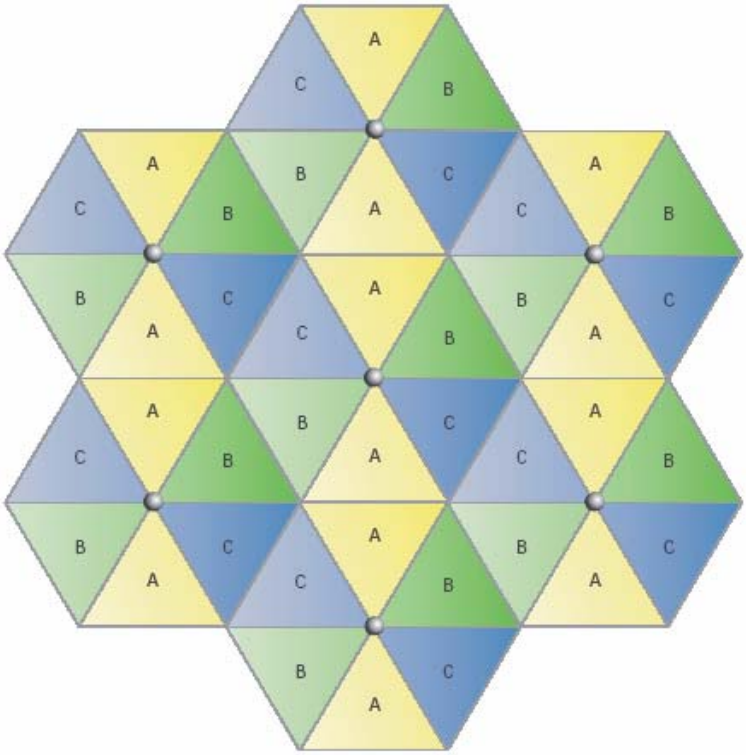
ويبين الشكل 6 أمثلة لتخطيط التردد في إطار نشر مستو. وتجنباً لأي تداخل، يجب على الترددات المستخدمة في كل خلية أن تتبع مبادئ توجيهية صارمة بشأن النشر. وتتقرر أنماطٌ إعادة استعمال الترددات في ضوء نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل المطلوبة وتيسر قنوات التردد. وفي الشكل 6أ)، الذي يصوِّر نمطاً نموذجياً لنشر مستوٍ لخلايا سداسية، هنالك سبع قنوات تُستخدم في الشبكة بأكملها. ويصور الشكل 6ب) شكلاً نموذجياً من النشر الخلوي سداسي القطاعات لكل نقطة نفاذ حيث لا يُستخدم أكثر من ثلاث أقنية في الشبكة بأكملها. وفي سيناريو النشر هذا تجري مزامنة عناقيد نقاط النفاذ لضمان أنها ترسِل وتستقبِل ضمن الدورات الملائمة بحيث يمكن استخدام الترددات ثانية بالأسلوب الموصوف.

الشكل 6

أمثلة لتخطيط التردد في نشر مستوٍ



أ) نشر مستوٍ لخلايا سداسية الأضلاع



ب) نشر مستوٍ لخلايا ثلاثية الأضلاع سداسية القطاع

Rap 2086-06

وبالنسبة للأنظمة التي تكون مخططات تشكيلها أقل إحكاماً، غالباً ما تكون متطلبات نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل هي التي تحدد أنماط إعادة استعمال التردد. والسبب في ذلك أنه يتعيّن قبل التمكُّن من استعمال أي قناة تردد مرة ثانية في موقع خلية ثانٍ أن تكون بعيدة بما فيه الكفاية كيما تفي باشتراط نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل.

ويمكن حساب مدى أي نظام له مسار خط بصر واضح على النحو التالي. أولاً تتحدد "ميزانية الوصلة" المتاحة، ثم تقارَن بالجدولين أدناه. والجدولان 2 و3 مثالان لميزانية الوصلة للتشغيل في كل من النطاق GHz 2,4 وGHz 5,8 على التوالي. ويلاحَظ أن مسير العودة هو عامل التحديد عموماً ومن المقترح أن يُستعمل من أجل تحديد المدى.

ميزانية الوصلة (dB) = قدرة المرسِل (dBm)
+ كسب الهوائي المرسِل (dBi)
+ كسب الهوائي المستقبِل (dBi)
– حساسية الاستقبال (–xx dBm)
– خسائر كبل الهوائي
– هامش خبو التردد الراديوي
– هامش التداخل

الجدول 2

مثال لميزانية وصلة بتردد GHz 2,4

ميزانية الوصلة (dB)	100	103	106	109	112	115	118	121	124	127	130
المسافة (km)	1	1,5	2	3	4	6	8	11	16	23	32

الجدول 3

مثال لميزانية وصلة بتردد GHz 5,8

ميزانية الوصلة (dB)	101	104	107	110	113	116	119	122	125	128	131	134	137	139
المسافة (km)	0,4	0,6	0,8	1	1,7	2,5	3,5	5	7	10	14	20	27	32

والتأثير الصافي لنشر مستوٍ ينطوي على نظام يستخدم تشكيلات من مستوى أعلى يعني عموماً أن الأمر يحتاج إلى عدد أكبر من القنوات من أجل الوفاء بنسبة الموجة الحاملة إلى التداخل.

1.3.6.6 المزامنة

من المستحسن لدى نشر نظام إرسال مزدوج بتقسيم الزمن في طوبولوجيا مستوية أن يكون في الإمكان استعمال نفس التردد في كل موقع خلية حتى لو كانت مواقع تلك الخلايا ربما تبعد بضعة أميال. وعليه قد يحدث التداخل في نفس القناة بين نفس قطاعات القناة في محطات القاعدة المجاورة. وفي هذه الحالة يستدعي الأمر المزامنة بين الخلايا، وذلك للتأكد من أن جميع القطاعات في جميع مواقع الخلايا مضبوطة ومتزامنة على نحو ملائم من حيث الاتصالات هبوطاً أو صعوداً.

وينطوي توفير قدر صارم من المزامنة ربما عبر مئات الأميال المربعة على تحدٍ كبير. وعندما يكون نظام ما مصمَّماً لعمليات نشر شبكات كثيفة على نطاق واسع، فإن عملية مزامنة الإرسال المزدوج بتقسيم الزمن شرط حاسم الأهمية. وقد أمكن حل ذلك باستخدام إشارة النظام العالمي لتحديد الموقع (GPS)، إذ تُستخدم هذه الإشارات الساتلية الدقيقة من أجل عملية التوقيت، وفي نهاية المطاف من أجل مزامنة الإرسال/الاستقبال، وبالتالي ربط جميع القطاعات في شبكة ما بنفس "الميقاتية". وجدير بالإشارة أن هذه المزامنة لا تنطبق إلا على أنظمة التشكيل الرقمية.

4.6.6 النشر النقطي

يبدأ العديد من عمليات نشر النفاذ اللاسلكي عريض النطاق بما يشار إليه باسم نموذج "النشر النقطي". وتشير هذه الطوبولوجيا إلى موقع خلية واحد، أو ربما بضعة مواقع، غير متلاصقة جغرافياً ولكن الاختيار وقع عليها لخدمة الاحتياجات في مناطق معينة. وهذا يختلف عن منهج النشر المستوي حيث يكون الهدف توفير التغطية بالنفاذ اللاسلكي عريض النطاق عبر منطقة بأكملها ومن ثم فإن مواقع الخلايا تُنشر بحيث لا يكون هنالك أي ثغرات من حيث خط البصر في التغطية.

وعندما يُنشر نظام ثابت للنفاذ اللاسلكي عريض النطاق بأسلوب النقاط، بافتراض أن كل "بقعة" بعيدة بما فيه الكفاية عن "البقع" الأخرى، فإن تنسيق الترددات وتخصيصها لا يشكِّلان عادة أي مشكلة بالنسبة للتداخل بين الأنظمة، ويركَّب كل موقع خلية بما يضمن أفضل الشروط لمنطقة التغطية المعنية وحدها في عملية النشر.

5.6.6 النشر الرجعي

في العديد من الحالات يكون موقع الشبكات من نقطة إلى عدة نقاط في مناطق لا تكون فيها البنية التحتية للتوصيل السلكي متطورة جداً. ويكون اختيار موقع الخلية على أساس أماكن وجود الزبائن المحتملين وحيث من الممكن استخدام برج أو بناء مرتفع، وغير ذلك.

وعندما يكون موقع المحطة القاعدة حيث لا تتوفر درجة عالية من التوصيل السلكي أو الليفي ضمن الشبكة النواة، فإن الحاجة تدعو أيضاً إلى حل من نقطة إلى نقطة لتوفير وصلة رجعية لكي يكون التوصيل الرجعي لنظام النفاذ اللاسلكي عريض النطاق فعالاً. وبالإضافة إلى ذلك، فمن التطبيقات الجذابة لأنظمة BWA أنها يمكن استخدامها لتوفير توصيلية رجعية لأنظمة شبكات منطقة محلية راديوية تعمل ضمن منطقة التغطية للنظام BWA.

6.6.6 النشر المختلط

كثيراً ما تُنشر أنظمة النفاذ BWA الثابت بالاقتران مع أنواع أخرى من هذه الأنظمة، أي الأنظمة المتنقلة والجوالة، مما يوفر خدمات نفاذ BWA متكاملة. وتتسم مثل هذه التطبيقات بفائدة خاصة في البيئات التي لا تكون فيها البنية التحتية الكبلية قد نُشرت بعد.

فإذا كان تصميم التجهيزات الراديوية في النظام BWA يقوم على أساس مواصفات إمكانية التشغيل البيني كتلك المشار إليها في التوصية ITU-R F.1763، عندئذ من الممكن تخفيض مجمل تكاليف المرافق اللاسلكية إلى حد معقول. ويتناول الملحق 1 مثالاً محدداً لتطبيق متقارب لنظام النفاذ اللاسلكي عريض النطاق.

7.6 خصائص النقل

1.7.6 استقلالية الخدمة

ينبغي لنظام نفاذ BWA ثابت أن يقدم الخدمات دون أن يتطلب معلومات عن نمط التطبيق.

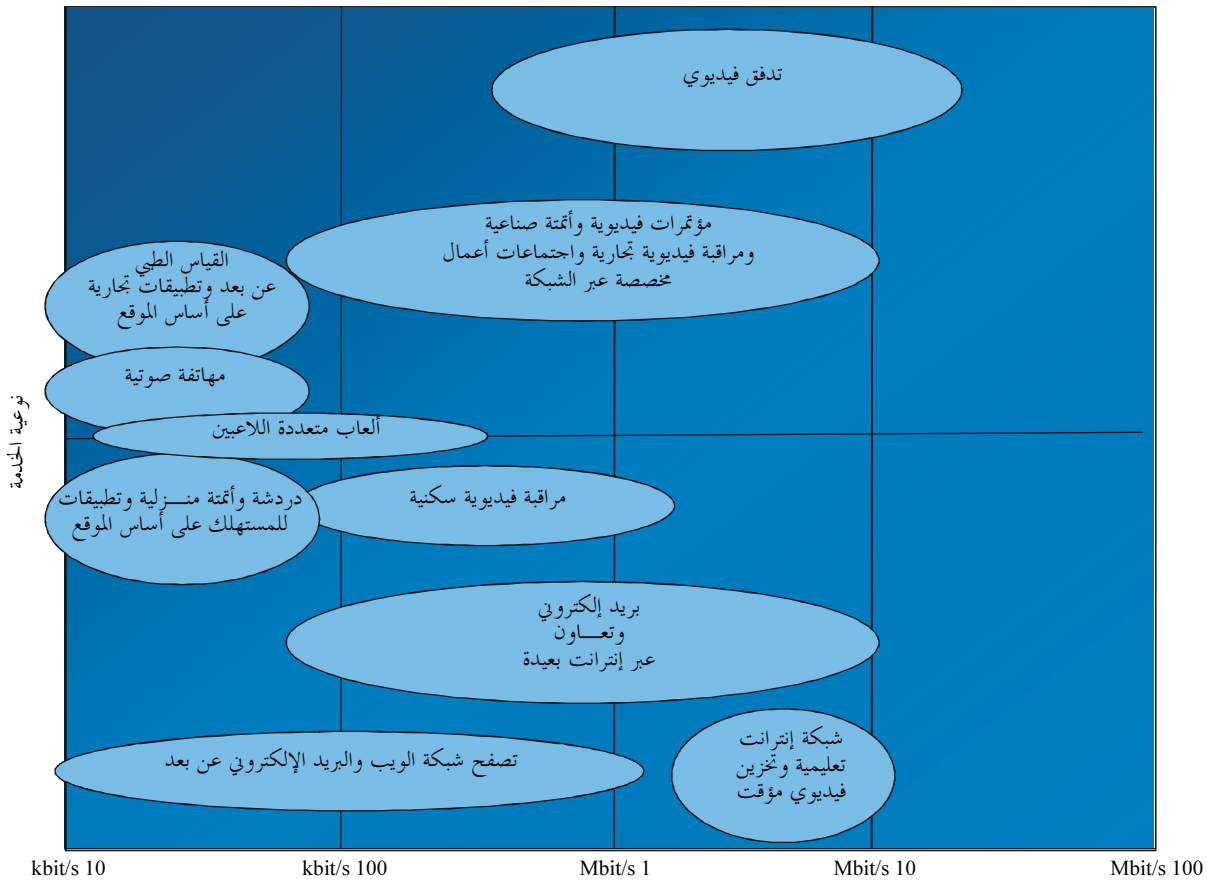
2.7.6 دعم الخدمة

1.2.7.6 نوعية الخدمة

ينبغي للنظام أن يتناول ضمانات نوعية الخدمة لتوفير الخدمات المنقولة. ولذلك ينبغي لمعايير البروتوكول أن تحدد السطوح البينية والإجراءات التي من شأنها أن تفي بمتطلبات الخدمات فيما يتعلق بتوزيع أولويات الموارد الراديوية. ويبين الشكل 7 التطبيقات الراهنة والعلاقات فيما بينها.

الشكل 7

بعض التطبيقات المتاحة حالياً ومتطلباتها المعروفة
من حيث عرض النطاق ونوعية الخدمة



Rap 2086-07

2.2.7.6 روابط نوعية الخدمة في التطبيقات

ينبغي أن تتمكن الآلية الأساسية المتاحة ضمن الأنظمة لدعم نوعية الخدمة ومتطلبات صنف الخدمة من توزيع مختلف عرض النطاقات على مختلف التطبيقات. وتشمل بعض البروتوكولات آلية تدعم دينامياً قنوات ومسيرات عرض النطاق المتغيرة (كتلك المحددة من أجل بيئات بروتوكول الإنترنت).

وبما أن وحدات الزبائن سوف تتزاحم على القدرة نحو محطة قاعدة أو أكثر أو من هذه المحطات فلا بد من إيجاد حل يتسم بالكفاءة لمسألة المزاحمة وتوزيع عرض النطاق.

3.7.6 اللاتناظر المرن

من الممكن خلال فترة قصيرة من الزمن (بضع ثوان مثلاً) أن تكون الحركة المتولدة من أي مستعمل أو من أجله على درجة عالية من اللاتناظر في أي من الاتجاهين. وتتناول بعض أنظمة النفاذ اللاسلكي عريض النطاق بكفاءة هذا النمط من الحركة اللا متناظرة. وعلى امتداد فترات أطول من الزمن قد يحتاج مستعمل ما وسطياً إلى عرض نطاق أوسع في اتجاه ما أكثر مما يحتاج إليه في الاتجاه المعاكس.

إن مجموع الحركة المتولدة عن مجموع المستعملين أو من أجلهم والذين يتقاسمون نفس المورد الراديوي قد تكون لا متناظرة لبرهة ما أو حتى لفترة أطول من الزمن، وذلك تبعاً لنمط المستعملين الموصولين بالمورد المتقاسم.

4.7.6 تكييف النسبة لكل مشترك

من الممكن تطبيق خيارات مختلفة من حيث التشكيل و/أو التشفير من أجل محطات المشترك البعيدة أو القريبة. وعلى هذا النحو قد يرتفع معدل البيانات نحو المشتركين القريبين نسبياً أو منهم، الأمر الذي من شأنه أن يزيد من مجموع قدرة النظام. وبالإضافة إلى ذلك قد يتعرض المشتركون البعيدون لمواصفات تداخل مختلفة ومن ثم فإنهم يستفيدون من تكييف المعدل. وتنطوي غالبية أنظمة النفاذ اللاسلكي عريض النطاق على إمكانية تعدد المعدلات.

ومن المستصوب مراعاة مسائل قدرة القنوات والتغيرات في قدرة القنوات وذلك لتلبية سويات الخدمة المتعاقَد بشأنها مع الزبائن. فمن الشائع مثلاً استخدام أنماط التشكيل المرنة وتعديل سوية الطاقة وخطط حجز عرض النطاق.

5.7.6 سعة المعالجة

على الرغم من أن سعة المعالجة تعتمد على عرض النطاق ومخطط التشغيل وغير ذلك فمن المستصوَب، لمنافسة الحلول السلكية، أن يكون النظام قادراً على تناول معدل بيانات عند نقطة النفاذ بمقدار يتجاوز بضع عشرات Mbit/s، وهو مجموع معدلات البتات الآنية (صعوداً زائد هبوطاً)، وأن يكون متقاسماً بين المستعملين.

6.7.6 إمكانية الاتساع

تمكّن بروتوكولات إمكانية الاتساع من استيعاب مقادير مختلفة من حيث القدرة والأداء لمراحل النظام. وكثيراً ما تتضمن أنظمة النفاذ اللاسلكي عريض النطاق مزايا من شأنها تعظيم إمكانية الاتساع في عملية نشر ما.

7.7.6 الأمن الخاص بالإرسال الراديوي

من المعروف أن أنظمة النفاذ اللاسلكي عريض النطاق توفر أساليب آمنة من أجل الاستيقان والترخيص كما توفر أساليب كافية من حيث التجفير لضمان الخصوصية.

8.6 وظيفة إدارة النظام

ينبغي أن يحدد النظام سطحاً بينياً لإدارة الشبكة يقوم على أساس بروتوكولات معيارية مفتوحة قائمة (بروتوكول بسيط لإدارة الشبكة SNMP مثلاً) تكون قادرة على تمكين جوانب الإدارة التالية:

- **إدارة الخلل والأداء**

  ينبغي أن تكون البروتوكولات قادرة على مراقبة الخلل والأداء وعلى أن توفر كذلك أساليب الاختبار المحلي والبعيد لكل وحدة مشترك على حدة. ويجب أن تشمل وظيفة الإدارة إمكانات إعادة الإقلاع وإعادة التفعيل والإغلاق.

- **إدارة التشكيل والارتقاء بالبرمجيات**

  ينبغي أن تكون البروتوكولات قادرة على التشكيل محلياً وعن بعد على السواء، بما في ذلك تحديث البرمجية في أي جهاز في الشبكة دون أن تتعرض الخدمة للانقطاع.

- **الأمن**

  ينبغي أن يكون النظام قادراً على توفير خدمات مركزية من حيث الاستيقان والترخيص.

- **إدارة الخدمة**

  ينبغي للبروتوكولات أن تمكّن المشغلين من إنفاذ اتفاقات سوية الخدمة (SLA) المعقودة مع المشتركين وذلك بتقييد النفاذ إلى الوصلة الجوية، وإمكانية إهمال البيانات، والتحكم الدينامي في عرض النطاق المتاح لمستعمل ما، أو أي أساليب أخرى ملائمة.

9.6 التخفيف من التداخل

1.9.6 أنماط التداخل

ينقسم التداخل في نظام النفاذ اللاسلكي عريض النطاق إلى تداخل ضمن النظام وتداخل بين الأنظمة. كما يشتمل التداخل ضمن النظام على تداخل ضمن الخلية وتداخل بين الخلايا.

2.9.6 أساليب التخفيف من التداخل

تتناول الفروع التالية بالوصف أساليب التخفيف من التداخل الممكنة التي يمكن استخدامها في أنظمة النفاذ اللاسلكي عريض النطاق.

1.2.9.6 تقرير الموقع في تخطيط الشبكة

من شأن المباعدة ما بين المرسِلات مصدر التداخل والمستقبِلات ضحية التداخل أن يخفض سوية التداخل عند المستقبِلات.

2.2.9.6 تعزيز أداء الهوائي

من شأن التحسينات في أداء الهوائي أن تخفض من التداخل في اتجاهات أخرى وبالتالي أن تخفّض من سوية التداخل في خلايا أخرى. والأساليب التالية على وجه التحديد تعزز من أداء الهوائيات:

- كبت الفصوص الجانبية
- تحسين نسبة الذهاب إلى الإياب
- تحديد شكل مخطط الهوائي (APS)

يكون الجمع ما بين هوائي شامل الاتجاهات للخدمة الإذاعية وهوائي ضيق الحزمة لوحدة مشترك ملائماً للأنظمة من نقطة إلى عدة نقاط لتغطية منطقة خدمة بأكملها بشكل فعال. وتصمَّم حزمة هوائي وحدة المشترك لتكون ضيقة جداً بحيث يمكن كبت معظم الإشارات المنعكسة ما عدا تلك الآتية من عاكسات كالمباني القائمة بالقرب من الخدمة الإذاعية.

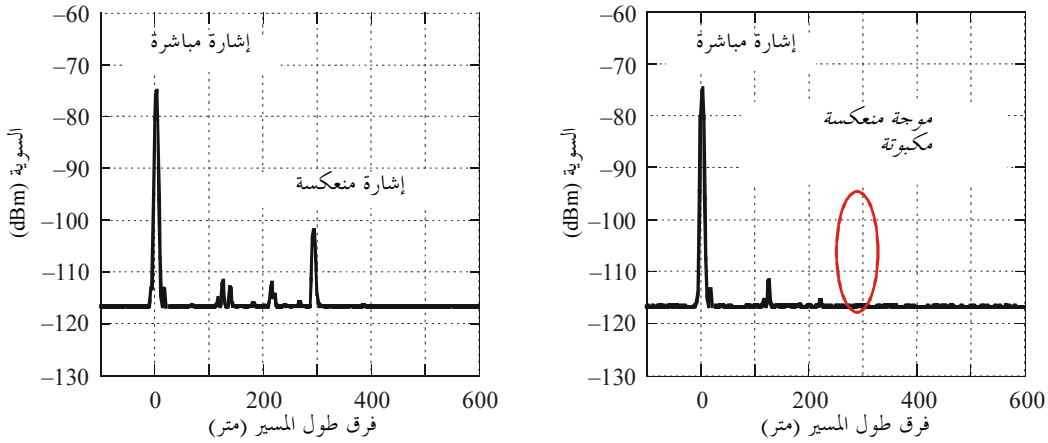
وتحديد شكل مخطط الهوائي APS، باستخدام مواد تمتص الموجات الراديوية، حل بسيط واقتصادي لهذا النوع من التداخل. ويكون ذلك عندما تُثبَّت مواد تمتص الموجات الراديوية عند قبة هوائي رادار الخدمة الإذاعية بحيث تُكبت قوة الإشارة نحو العاكسات، وبالتالي تخفَّض قوة الإشارات المنعكسة الآتية نحو وحدة المشترك.

وتعدَّل زاوية الكبت بشكل مرن تبعاً لموقع العاكس.

ويتضمن الشكل 8 مثالاً عن تأثير هذا الأسلوب. وتكون الإشارة المنعكسة عند فرق طول مسير بمقدار 300 متر دون أسلوب APS كما يبدو في الشكل 8أ). وبعد اعتماد أسلوب APS تُكبت الإشارة المنعكسة دون سوية الضوضاء كما يبدو في الشكل 8ب).

الشكل 8

مثال لأثر أسلوب تشكيل مخطط الهوائي



أ) دون استخدام أسلوب APS

ب) باستخدام أسلوب APS

Rap 2086-08

5.2.9.6 التحكم في القدرة

إن قدرة الإرسال مورد هام في أنظمة النفاذ اللاسلكي عريض النطاق. وفي مجال التخفيف من التداخل تكون المساهمة الأهم للتحكم في القدرة، لا سيما التحكم الأوتوماتي في قدرة الإرسال (ATPC)، هو أن بإمكان النظام تجنب هدر القدرة وتخفيض سوية التداخل في الخلية.

6.2.9.6 الكشف عن تعدد المستعملين في نظام نفاذ متعدد بتقسيم الشفرة (CDMA)

من الممكن لأساليب الكشف عن تعدد المستعملين في نظام نفاذ متعدد بتقسيم الشفرة أن تقلص على نحو فعال التداخل بين الرموز (ISI) والتداخل متعدد المنافذ (MAI). ومن التحديات التي يواجهها الكشف عن تعدد المستعملين هو التحدي الذي يتمثل في تعقيد الحساب.

7.2.9.6 تحسينات ترشيح المرسِل/المستقبِل

من شأن تحسينات الترشيح أن تخفِّض من إرسالات الإشارة غير المطلوبة خارج النطاق الصادرة من المرسِل وأن تخفِّف من التداخل داخل النطاق الذي يتعرض له المستقبِل.

8.2.9.6 التشكيل والتشفير التكيفيان

يمكّن التشكيل والتشفير التكيفيان من تحقيق معاوضة بين سوية التداخل ومقدار الكفاءة.

3.9.6 تطبيق أساليب التخفيف من التداخل

الجدول 4

تطبيق أساليب التخفيف من التداخل

أسلوب التخفيف من التداخل	التداخل		
	داخل الخلية	بين الخلايا	بين الأنظمة
تحديد موضع الموقع		√	√
تعزيز أداء الهوائي	√	√	√
عزل الاستقطاب		√	
المزامنة	√	√	
التحكم في القدرة	√	√	√
الكشف عن تعدد المستعملين في نظام CDMA	√(1)	√*	
تحسينات ترشيح المرسِل/المستقبِل		√	√
التشكيل والتشفير التكيفيان	√	√	√

(1) بالنسبة لنظام CDMA فقط.

10.6 دعم الأنظمة في التكنولوجيات الجديدة

من شأن التكنولوجيات التالية أن تعزز أداء أنظمة النفاذ اللاسلكي عريض النطاق في الخدمة الثابتة. ويتضمن التقرير ITU-R F.2047 مزيداً من المعلومات عن هذه التكنولوجيات وغيرها.

– **زيادة تحسين كفاءة استخدام الطيف**

يمكّن مخطط التشكيل متعدد الحالات المتطور و/أو أسلوب مدخلات متعددة مخرجات متعددة (MIMO) من توفير المزيد من تطبيقات النطاق العريض. وعلاوة على ذلك فإن تشكيل الطيف واستعمال الاستقطاب المزدوج يسهمان أيضاً في تحسين كفاءة استخدام الطيف.

– **التقارب مع أنظمة أخرى لاسلكية وسلكية**

لا يقتصر توفير خدمة النطاق العريض على نظام نفاذ لا سلكي ثابت (FWA) فحسب وإنما يشمل أنظمة لا سلكية أخرى، وأنظمة ساتلية وأنظمة متنقلة. كما يوفر النظام السلكي خدمة النطاق العريض. ومن شأن انسياب الخدمة دون انقطاع بين هذه الأنظمة أن يعزز إلى حد كبير سهولة معاملة النظام من جانب المستعمل.

– **نظام النطاق متعدد الترددات**

هنالك ظروف شتى لمسير الانتشار والحركة وغير ذلك. وانتقاء أنسب نظام لنطاق تردد ما يعطي دوماً أفضل اتصال.

– **أنظمة الهوائيات التكيفية**

تشير أنظمة الهوائيات التكيفية إلى مجموعة من الهوائيات وما يرتبط بها من معالجة الإشارة والتي يمكنها معاً تغيير مخطط إشعاع الهوائي لديها دينامياً بحيث تتكيف مع بيئة الضوضاء والتداخل وتعدد المسيرات. وتشكِّل الصفائف التكيفية عدداً لا حصر له من المخططات (القائمة على أساس سيناريو) والتي تتعدل في الوقت الفعلي. وهذا يعني أن الإشارة أثناء الإرسال قد تكون مقتصرة على الاتجاه المطلوب لمستقبِل، على غرار نقطة ضوئية. وبالاتجاه المعاكس، عندما تكون أنظمة الهوائيات التكيفية في طور الاستقبال فإن بالإمكان جعلها تركز فقط في الاتجاه الذي تأتي منه الإشارة المرغوبة. ومن مزايا استخدام نظام الهوائي

التكيفي أن بإمكانه تخفيض التداخل الفعلي ضمن خلية ما وذلك بتركيز القدرة بين المحطة القاعدة والمشتركين النشيطين، وبالتالي فإن إلغاء التداخل من مصادر أخرى يزيد من قدرة الخلية. كما أن بمقدورها كبت التداخل في نفس القناة من مواقع أخرى. وتمكّن هذه الخواص من استخدام الطيف بمزيد من الكفاءة.

– **جهاز الراديو المعرَّف بحكم البرمجية (SDR)**

وهو عبارة عن جهاز راديو يمكن فيه تحديد معلمات تشغيل التردد الراديوي، بما في ذلك دون أن تقتصر عليه نطاق التردد ونمط التشكيل، أو قدرة الخرج، أو تغييرها بواسطة برمجية و/أو الأسلوب الذي يمكن به تحقيق ذلك.

الملاحظة 1 – تُستثنى التغيرات في معلمات التشغيل التي تحدث أثناء التشغيل الاعتيادي مسبق التركيب ومسبق التحديد لجهاز راديو وفقاً لمواصفة نظام ما أو معيار ما.

الملاحظة 2 – جهاز الراديو المعرَّف بحكم البرمجية هو أسلوب تنفيذ ينطبق على العديد من تكنولوجيات ومعايير الراديو.

الملاحظة 3 – تنطبق الأساليب SDR في إطار الخدمة المتنقلة على كل من المرسِلات والمستقبِلات على السواء.

– **التشكيل التكيفي**

إن تكنولوجيا التشكيل والتشفير التكيفيين تجعل من تكييف معدل بيانات مستعمِل ما بمثابة دالة تابعة لظروف القناة (مثال ذلك نسبة الإشارة والتداخل إلى الضوضاء (SINR) ومعدل الخبو وغير ذلك). ويجري دينامياً تعديل عدد سويات التشكيل.

– **تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM)**

إن تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد هو أسلوب من أساليب تعدد الإرسال ينقسم فيه عرض النطاق في القناة إلى موجات حاملة فرعية متعددة تكون متعامدة فيما بينها في مجال التردد. وعندئذ ينقسم تدفق البيانات المدخلة إلى تدفقات فرعية متوازية عديدة كل منها بمعدل بيانات منخفض (مما يؤدي إلى زيادة مدة الرمز) ويجري تشكيل كل تدفق فرعي ويرسَل في موجة حاملة فرعية تعامدية منفصلة. ويقوم هذا الأسلوب بتوزيع البيانات على عدد كبير من الموجات الحاملة المتباعدة في ترددات محددة بدقة. وهذه المباعدة هي التي توفر "التعامدية" في هذا الأسلوب الذي يمنع مزيلات التشكيل من رؤية ترددات خلاف ترددها الخاصة بها. والعينات الأخيرة من حصة البيانات في تدفق البيانات تذيَّل عموماً كتكرار لبداية الحمولة النافعة للبيانات مشكِّلة بذلك ما يُدعى سابقة دورية. وبإمكان هذه السابقة الدورية أن تزيل كلياً التداخل بين الرموز (ISI) ما دامت مدتها أطول من مهلة انتشار القناة. ويستغل تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM) تنوع الترددات في القناة متعددة المسيرات وذلك من خلال تشفير المعلومات وتشذيرها عبر الموجات الحاملة الفرعية قبل عمليات الإرسال. ويمكن تحقيق هذا التشكيل OFDM بأسلوب تحويل فوريه السريع العكسي (IFFT) الذي يضمن تمكين عدد كبير من الموجات الحاملة الفرعية بدرجة منخفضة من التعقيد. ومن فوائد التشكيل OFDM ارتفاع كفاءة الطيف والمقاومة المرنة لتداخل الترددات الراديوية وتحسين مقاومة مهلة الانتشار وتخفيض التشوّه متعدد المسيرات، الأمر الذي يمثّل حلاً جذاباً بالنسبة للترددات الراديوية دون 10 GHz.

– **تعدد النفاذ بتقسيم التردد تعامدياً (OFDMA)**

إن تعدد النفاذ بتقسيم التردد تعامدياً (OFDMA) هو مخطط نفاذ متعدد لأنظمة OFDM. وهذا يمكّن مستعملين عدة من الإرسال والاستقبال في آن واحد على موجات حاملة فرعية مختلفة بالنسبة لكل رمز من رموز OFDM. وتمكّن تكنولوجيا OFDMA من تجميع الموجات الحاملة الفرعية OFDM وتنظيمها في قنوات فرعية وتوزيع كل قناة فرعية أو عدد من القنوات الفرعية إلى مشتركين مختلفين. ومن الممكن بالنسبة لكل قناة فرعية استعمال شتى مخططات التشكيل ومعدلات التشفير وسويات القدرة وآليات تشكيل الحزم ودعم المدخلات المتعددة المخرجات المتعددة (MIMO) وغير ذلك. ومن المزايا الهامة لأسلوب OFDMA إمكانية الاتساع ودرجة الخشونة وأداء المقدرة.

– **استعمال نطاقات التردد فوق 57 GHz**

ستكون أنظمة النفاذ اللاسلكي الثابت التي تستخدم ترددات فوق 57 GHz وكذلك الأنظمة البصرية في الفضاء الحر قادرة على تقديم المزيد من تطبيقات النطاق العريض.

الملحق 1

مثال لتطبيق معين في النفاذ اللاسلكي عريض النطاق

1 مقدمة

يصف هذا الملحق مثالاً للجوانب التقنية لتطبيق النفاذ اللاسلكي عريض النطاق المشار إليه في الفقرة 6.6.6. ويتألف هذا النظام من تطبيقات ثابتة ومتنقلة وجوالة تشمل شبكات المنطقة المحلية الراديوية وتوفر، في مجموعها، خدمة نفاذ لا سلكي انسيابية متكاملة. وقد وُضع هذا النظام في الخدمة في القطارات التي تتحرك على سكة حديد طولها 58 كيلومتراً تصل ما بين منطقة طوكيو الحضرية الكبرى ومدينة تسوكوبا.

2 موجز الخدمة وتشكيل النظام

ترمي هذه الخدمة إلى توفير النفاذ اللاسلكي عريض النطاق وعالي السرعة للركاب على متن القطار. ويقوم معظم مستعملي المطاريف اللاسلكية بإجراء اتصالهم بالإنترنت باستعمال نظام الهاتف الشخصي الجوال (PHS) أو نظام خلوي آخر عندما يكونون خارج المبنى. وتقتصر سعة المعالجة لهذه التوصيلات في الوقت الحالي على نحو 300 kbit/s بحكم مقدرة النظام. ولتوفير خدمات النطاق العريض (في رتبة Mbit/s) للركاب على متن القطار جرى تطوير نظام معين للنفاذ اللاسلكي عريض النطاق يستخدم توصيلات لا سلكية كلياً.

ويشمل مجموع خدمة النطاق العريض ثلاثة أنواع من التوصيلات اللاسلكية، أي الثابتة والجوالة والمتنقلة (انظر الشكل 9).

توصيلات النفاذ اللاسلكي عريض النطاق الثابتة:

- توصيل بين نقاط النفاذ المنشورة في كل مقصورة (الوصلة A في الشكل 9)؛
- وصلة رجعية بين نقاط النفاذ الوسيطة المنشورة على امتداد سكة الحديد (الوصلة B في الشكل 9).

توصيلات النفاذ اللاسلكي عريض النطاق الجوالة:

- نقطة نفاذ منشورة داخل مقصورة القطار أو في أرجاء المحطة (التغطية C1 وC2 في الشكل 9).

وصلة نفاذ لا سلكي عريض النطاق متنقلة:

- نقطة نفاذ خارج المبنى لتوفير التغطية للقطار الذي يتحرك على امتداد سكة الحديد (التغطية D في الشكل 9).

وفي نطاق هذا التقرير تكون الوصلات الثابتة هي تطبيقات رئيسية، وهي مفيدة بوجه خاص حيث لا تتوفر البنية التحتية السلكية على امتداد السكة الحديد أو داخل القطار.

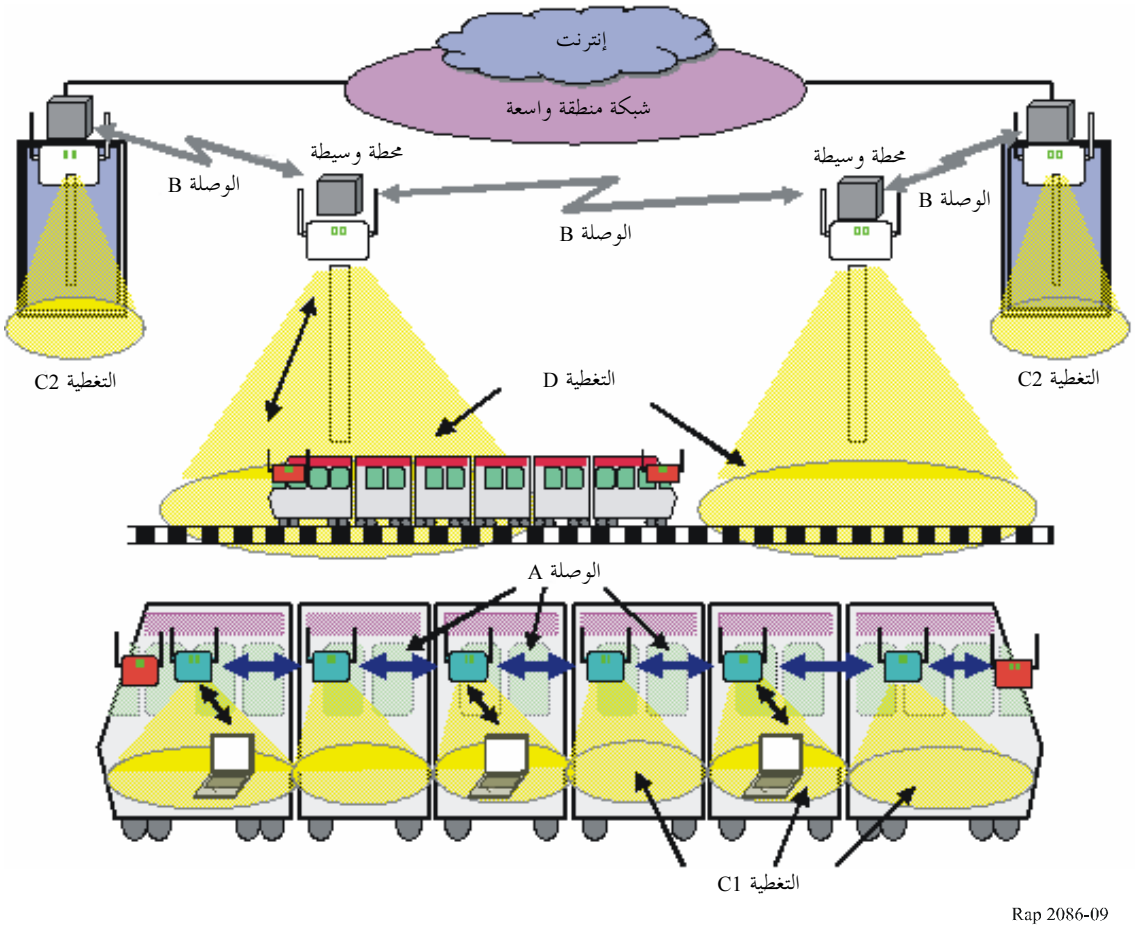
من الممكن مد وصلات النفاذ اللاسلكي عريض النطاق التي تصل نقاط النفاذ (الوصلة A) في القطار الحالي. ويحتاج هذا التوصيل إلى المرور عبر التقسيمات أو الشبابيك بين المقصورات، ولذلك ينبغي ألا يكون التردد عالياً جداً (دون 6 GHz مثلاً). وينبغي أن تكون قدرة الإرسال كافية لنقل جميع الحركة في القطار، والتي تكون موصولة بشبكة المنطقة الواسعة من خلال توصيل النفاذ اللاسلكي عريض النطاق المتنقل.

ومن الممكن تشغيل الوصلات الرجعية من نقطة إلى نقطة بين نقاط النفاذ الوسيطة (الوصلة B) ضمن ظروف خط البصر. وهي توفر أيضاً حلولاً لا سلكية سريعة واقتصادية حيث لا تكون قد نُشرت بنية تحتية كبلية. وينبغي لقدرة الإرسال أن تستوعب مجموع الحركة لأكثر من قطار يعمل في آن واحد بين المحطتين.

ونقاط النفاذ الوسيطة مجهزة بتوصيلات ثابتة وجوالة/متنقلة على السواء.

الشكل 9

خدمة النفاذ اللاسلكي عريض النطاق للقطار بما في ذلك التطبيقات الثابتة



وكما هو مبين في الشكل 9 فإن مطاريف الركاب تقيم توصيلاتها اللاسلكية مع نقاط النفاذ WiFi المنشورة في كل مقصورة من مقصورات القطار. ويُستخدم نظام عمومي 802.11b (GHz 2,4) لتوفير توصيلات المستعملين النهائيين، إذ أن معظم المطاريف، كالحاسوب المحمول والمساعد الرقمي الشخصي والهاتف WiFi وغيرها، مزوَّدة بأجهزة WiFi مبيَّتة فيها. ويمكن توصيل نقاط النفاذ في كل مقصورة باستخدام التردد GHz 5. ويحافظ القطار المتحرك على الاتصال اللاسلكي عريض النطاق في مجال التغطية D في الشكل 9 باستعمال نظام 802.11g (GHz 2,4). وعندما يتحرك القطار إلى منطقة تغطية D أخرى فإنه يقوم بتفعيل عملية إحالة للحفاظ على الاتصال وذلك باستعمال تكنولوجيا بروتوكول الإنترنت المتنقلة. والمسيِّر المتنقل المحمول على متن القطار يتعاون مع الوكيل المحلي/الوكيل الأجنبي ويقوم بأداء عملية إحالة لا انقطاع فيها ضمن القطار الذي يتحرك بسرعة قصوى تبلغ km/h 130. والمحطات الوسيطة موصولة بواسطة أنظمة لا سلكية ثابتة من نقطة إلى نقطة (الوصلة B) باستعمال النطاق GHz 25.

وحالما يقيم الركاب الاتصال بنقطة النفاذ WiFi في المحطة ويتلقون الاستيقان من الشبكة بواسطة معرِّف المستعمل وكلمة السر سيكون بإمكانهم النفاذ إلى الإنترنت. وبعد أن يصعدوا إلى القطار وطوال بقائهم في القطار تتوفر لهم خدمة توصيل الإنترنت اللاسلكية دون أي تغيير في معلمات المطراف ودون أي عملية إضافية (التغطية C1). وعندما يهبطون من القطار يمكن أن يبقى اتصالهم قائماً من خلال المرافق المنشورة في المحطة (التغطية C2).

3 معلمات النظام الأساسية

يشتمل هذا النظام على ثلاثة أنواع من التوصيلات اللاسلكية كما هو مبين في الشكل 9. وتكون معلمات النظام الرئيسية كما يلي:

– توصيلات نفاذ لا سلكية عريضة النطاق ثابتة (الوصلة A والوصلة B في الشكل 9)

	الوصلة A	**الوصلة B**
نطاق التردد	GHz 5	[1]GHz 25
قدرة خرج الإرسال	dBm 15	dBm 0
عرض نطاق القناة	MHz 18	MHz 26
مباعدة القناة	MHz 20	MHz 20
نمط الهوائي (الكسب)	شامل الاتجاهات (dBi 2,6) اتجاهي (dBi 7)	اتجاهي (dBi 31,5)

[1] نطاق معفى من الترخيص في اليابان

– توصيلات نفاذ لاسلكي عريض النطاق جوالة (التغطية C1 والتغطية C2 في الشكل 9)

نطاق التردد	GHz 2,4
قدرة خرج الإرسال	dBm 20
عرض نطاق القناة	MHz 18
مباعدة القناة	MHz 5
نمط الهوائي (الكسب)	شامل الاتجاهات (dBi 2,1)

– توصيل نفاذ لاسلكي عريض النطاق متنقل (التغطية D في الشكل 9)

نطاق التردد	GHz 2,4
قدرة خرج الإرسال	dBm 15
عرض نطاق القناة	MHz 18
مباعدة القناة	MHz 5
نمط الهوائي (الكسب)	اتجاهي (dBi 19-6)

4 توصيلات النفاذ اللاسلكي الثابت عريض النطاق

1.4 التوصيل بين نقاط النفاذ في القطار

تحتاج الوصلة A في الشكل 9 إلى العمل ضمن ظروف خارج خط البصر لأن التجهيزات مركّبة في الجزء الأعلى من المقصورة لتجنُّب الحجب من جانب الركاب، وعلاوة على ذلك فإن التقسيمات ما بين المقصورات تصبح حواجز. ولذلك ينبغي ألاّ يكون التردد عالياً جداً عندما تؤخذ في الحسبان خصائص الانتشار. وفي هذا النظام يُستخدم النطاق GHz 5 من أجل الوصلة A. وبما أن الخبو متعدد المسيرات يحدث بسبب حركة القطار والركاب فإن نقاط النفاذ مجهزة بهوائيات مزدوجة الفروع ومتنوعة الفضاء وذلك للتغلب على هذا الخبو.

2.4 الوصلات الرجعية بين المحطات الوسيطة

يتطلب النظام محطات وسيطة لتغطية كل المساحة على امتداد سكة الحديد. وينبغي إنشاء المحطة الوسيطة كل مسافة 1-2 km إذ أن نصف قطر التغطية D لا يتجاوز 1 km. ولنشر هذه المحطات بسرعة وبفعالية من حيث التكلفة لا بد من استعمال أنظمة لا سلكية ثابتة بمثابة وصلات رجعية بدلاً من شبكة ألياف بصرية. ويتطلب الأمر سعة كبيرة لكي تتمكن الوصلة من إرسال الحركة لأكثر من قطار يكون في منطقة التغطية. ويُستخدم نظام 25 GHz من نقطة إلى نقطة بقدرة قصوى بمقدار 80 Mbit/s من أجل الوصلات الرجعية. وتُنصب هوائيات اتجاهية على أسطح المباني أو في نهاية الأعمدة الكهربائية للحفاظ على استمرار خط البصر. وفي حالة خط القطار السريع تسوكوبا هنالك عشرون محطة وثلاثون محطة وسيطة على امتداد الخط البالغ طوله 58 km لتغطية المنطقة بأسرها.

5 التوصيل مع شبكة منطقة واسعة

تُستخدم الألياف البصرية في كل محطة قطار لكي تحمل مجموع الحركة المتولدة في المحطة وفي القطار. وتوصَل حركة النطاق العريض بشبكة محلية واسعة عبر محطتين عبر بوابتين لضمان التوصيلية إلى الإنترنت.