الجامعة الافتراضية السورية
SYRIAN VIRTUAL UNIVERSITY

الشبكات اللاسلكية

خلدون خرزم

CC BY ND

ISSN: 2617-989X

Books & Refrences

الشبكات اللاسلكية

خلدون خرزم

من منشورات الجامعة الافتراضية السورية

الجمهورية العربية السورية 2018

هذا الكتاب منشور تحت رخصة المشاع المبدع – النسب للمؤلف – حظر الاشتقاق (CC– BY– ND 4.0)

https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/legalcode.ar

يحق للمستخدم بموجب هذه الرخصة نسخ هذا الكتاب ومشاركته وإعادة نشره أو توزيعه بأية صيغة وبأية وسيلة للنشر ولأية غاية تجارية أو غير تجارية، وذلك شريطة عدم التعديل على الكتاب وعدم الاشتقاق منه وعلى أن ينسب للمؤلف الأصلي على الشكل الآتي حصراً:

خلدون خرزم، الإجازة في تقانة المعلومات، من منشورات الجامعة الافتراضية السورية، الجمهورية العربية السورية، 2018

متوفر للتحميل من موسوعة الجامعة https://pedia.svuonline.org/

Wireless Networks

Khaldoun Khorzom

Publications of the Syrian Virtual University (SVU)

Syrian Arab Republic, 2018

Published under the license:

Creative Commons Attributions- NoDerivatives 4.0

International (CC-BY-ND 4.0)

https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/legalcode

Available for download at: https://pedia.svuonline.org/

ISSN: 2617-989X

الفهرس

الفصل الأول والثاني: مقدمة عن الشبكات اللاسلكية والنموذج الشبكي 1

مقدمة 3

1. أنواع الشبكات اللاسلكية 4

2. فهم مبدأ تقاسم الطيف الترددي 8

1.2. تقنيات النفاذ المتعدد Multiple Access 10

2.2. تقنيات الطيف المنثور Spread Spectrum 15

3.2.تقنيات النفاذ العشوائي Random Access 19

3. أسئلة الفصل 21

الفصل الثالث: وصف الشبكات اللسلكية المحلية: Wireless local area networks description(WLAN) 22

مقدمة: وصف الشبكات اللاسلكيّة المحلية WLAN 24

1. تطبيقات الشبكات اللاسلكية المحلية 25

2. الشروط المطلوبة من الشبكات اللاسلكية المحلية 26

3. معيرة الشبكات المحلية اللاسلكية 27

1.3. تحالف Wi-Fi 28

4. هيكلية الشبكة 29

1.4. مجموعة الخدمات الاساسية المستقلة Independent BSS أو المخصصة Ad hoc network 29

2.4. مجموعة الخدمات الساسية ذات البنية التحتية Infrastructure BSS 30

3.4. مجموعة الخدمات الموسّعة Extended Service Set 31

4.4. دعم التنقلية mobility support 32

5. وظائف المعيار 802.11 33

6. طبقة التحكم بالنفاذ في 802.11 Medium Access Control 35

1.6. خوارزمية التنسيق الموزعة Distributed Coordination Function 36

ISSN: 2617-989X

2.6. خوارزمية التنسيق المركزية Point Coordination Function 38
7. إطار طبقة الـ MAC 40
1.7. آليات العنونة 41
2.7. أنواع الأطر 43
8. الطبقة الفيزيائية 45
9. الأسئلة 47
الفصل الرابع: وصف الشبكات اللاّسلكيّة واسعة المجال (WiMax) Wideband
wireless networks description 48
مقدمة: وصف الشبكات اللّاسلكية واسعة المجال WiMax 50
1. تطور تقانات الشبكات اللاسلكية واسعة الحزمة 51
2. هيكلية الشبكة 53
3. تقنية الرسال وفق OFDMA 55
4. بنية الإطار 56
5. التقنيات في الطبقة الفيزيائية 58
1.5. كشف وتصحيح الأخطاء والتعديل المتكيف 58
2.5. تعدد الهوائيات 59
6. طبقة النفاذ 60
7. جودة الخدمة 61
8. الانضمام إلى الشبكة 62
9. الأسئلة 63
الفصل الخامس: وصف الشبكات اللاسلكية الشخصية Wireless personal networks
description 64
مقدمة: وصف الشبكات اللّاسلكية الشخصية بلوتوث Bluetooth 66
1. الخصائص التقنية للبلوتوث 66
1.1. مزايا البلوتوث 67

ISSN: 2617-989X

2. هيكلية الشبكة.....68
1.2. الشبكة الصّغريّة.....68
2.2. الشبكة المنثورة.....69
3. الطبقة الراديوية Radio Link 70
4. الطبقة القاعدية Baseband layer.....71
5. أنواع الترابط.....73
6. العنونة.....74
7. أطر البلوتوث وبنيتها 75
8. تصحيح الأخطاء.....77
9. إجرائية إنشاء الشبكة.....78
10. الأسئلة.....79
الفصل السادس: وصف نظام الاتصالات عبر الساتل Satellites communication description.....80
1. وصف نظام الاتصالات عبرالساتل.....82
2. تصنيف الاتصالات عبر الساتل.....83
3. مدارات السواتل.....84
1.3. السواتل المتزامنة مع الأرض (GEO).....84
2.3. السواتل ذات المدار ذو الارتفاع المنخفض (LEO) 85
3.3. السواتل ذات المدار ذو الارتفاع المتوسط (MEO).....86
4. تطبيقات نظم السواتل 87
5. المجالات الترددية للسواتل 88
6. نطاق تغطية الساتل.....89
7. تخامد الإشارة في جو الأرض.....90
8. تشكيلات شبكة السواتل 90
9. تخصيص عرض حزمة الساتل 92

ISSN: 2617-989X

10. الأسئلة.....97
الفصل السابع: وصف شبكات الاتصالات الخلوية (أو النقالة) (Cellular (Mobile networks description 98
مقدمة: وصف شبكات الاتصالات الخلوية Cellular networks.....100
1. مبدأ عمل الشبكات الخلوية.....102
1.1. خطوات إجراء اتصال 103
2.1. مبدأ التسليم Handoff.....105
3.1. التحكم بطاقة الإرسال 106
2. شبكة الجيل الثاني GSM network architecture 107
1.2. بنية شبكة نظام GSM.....108
2.2. بنية إطار المعطيات TDMA frame format.....110
3. بنية شبكة GPRS.....113
1.3. الخدمات 114
4. الجيل الثالث UMTS 115
5. الجيل الرابع LTE.....117
6. الأسئلة.....119

ISSN: 2617-989X

الفصل الأول والثاني: مقدمة عن الشبكات اللاسلكية والنموذج الشبكي

عنوان الموضوع:

1. مقدمة ومراجعة للنموذج الشبكي متعدد الطبقات: Introduction and TCP/IP reminder
2. فهم مبدأ تقاسم الطيف التردّدي: Principles of spectrum sharing
3. الشبكات اللاسلكية Wireless networks

الكلمات المفتاحية:

تقاسم الطيف الترددي Spectrum sharing، النفاذ المتعدد Multiple access، الطيف المنثور Spread spectrum، النفاذ العشوائي Random access.

ملخص:

نعطي للطالب فكرة سريعة عن أنواع الشبكات اللاسلكية. نذكّر الطالب بالنموذج الشبكي متعدد الطبقات. يجري شرح مفهوم تقاسم الطيف وتقنياته المتعددة، كما يجري شرح مفهوم الطيف المنثور وتقنياته. نعرف الطالب على مفهوم النفاذ العشوائي واستخدامه في الشبكات اللاسلكية.

أهداف تعليمية:

يتعرف الطالب في هذا الفصل على:

- المجالات الترّدديّة المرخصة وغير المرخّصة
- تقنيات النفاذ المتعدد.
- تقنيات الطيف المنثور.
- النفاذ العشوائي في الشبكات اللاسلكية.

المخطط:

1. مقدمة عن الشبكات اللاسلكية وأنواعها.
2. تذكير بالنموذج الشبكي متعدد الطبقات.
3. تقنيات النفاذ المتعدد:
   - النفاذ المتعدد باقتسام التردد.
   - النفاذ المتعدد باقتسام الزمن.
   - النفاذ المتعدد باقتسام الرماز.
   - النفاذ المتعدد باقتسام الترددات المتعامدة.
4. تقنيات الطيف المنثور:
   - الطيف المنثور بالقفز الترددي.
   - الطيف المنثور بالسلسة المباشرة.
5. تقنيات النفاذ العشوائي:
   - خوارزمية CSMA/CA.

مقدمة:

قام "غيليلمو ماركوني" عام 1901 بإرسال إشارة لاسلكية عبر المحيط الأطلسي من إنكلترا إلى أمريكا بمسافة 3200 كيلومتر. أتاح اختراعه الاتصال لاسلكياً بين جهتين عبر إرسال محارف مرمزّة بإشارات تماثلية. لاحقاً، قادت التطورات خلال القرن الماضي بالتقانات اللاسلكية إلى اختراع الراديو والتلفزيون والاتصالات عبر الأقمار الصنعية، تبعها اهتمام واسع وتطور متسارع بالشبكات اللاسلكية والتقانات الخلوية.

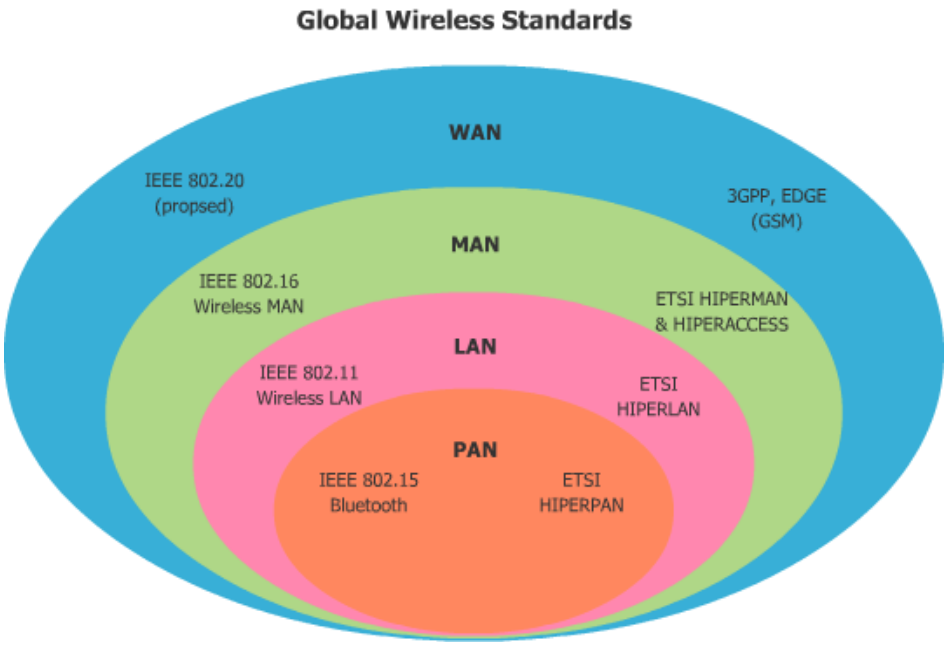
تُعتبر الشبكات اللاسلكية وسيلة سهلة لإيصال الشبكة العنكبوتية (شبكة الإنترنت) إلى أماكن من الصعب أن تصل إليها أنواع مختلفة من الشبكات السلكية. إذ لاتهدف التقنيات اللاسلكية إلى استبدال البني التحتية السلكية (كالأعمدة الفقارية للألياف الضوئية) وإنما تهدف إلى تدعيم تلك الأنظمة وتوفير الاتصال في المناطق التي يصعب فيها تركيب الألياف الضوئية أو غيرها من الأسلاك الأخرى، فيمكن باستخدم التقنيات الحديثة أن تغطي الشبكة اللاسلكية مساحة بقدر حي بأكمله أو قرية، أو أكثر.

تتميز الشبكات اللاسلكية بإمكانية بنائها بكلفة منخفضة جداً مقارنة مع البدائل السلكية التقليدية، مما يتيح لعدد كبير من المستخدمين الاستفادة من خدمات التواصل لاتقتصر فقط على الخدمات التي تقدمها شبكة الإنترنت، بل تمكِّن المستخدمين من التواصل والتعاون على إنجاز مشاريع تغطي مسافات شاسعة. لقد أصبح من الممكن تبادل المحادثات الهاتفية ورسائل البريد الإلكتروني وغيرها من المعلومات بكلفة بخسة للغاية.

1. أنواع الشبكات اللاسلكية:

جرى تطوير عدة أنواع من النظم والمعايير اللاسلكية بناءً على المتطلبات المختلفة. يمكن تصنيف تلك التقانات إلى أربعة أنواع بصورة تقريبية وفقاً للتطبيق المحدد ولمدى الإرسال. يلخص الشكل 1-1 أنواع التقانات المختلفة.

تُستخدم شبكة الاتصالات الشخصية PAN (Personal Area Networks) المعروفة بالمعيار IEEE 802.15 وتجارياً باسم Bluetooth لتراسل المعطيات بين التجهيزات الملحقة بالحاسوب المتعلقة بالمستخدم. وتغطي هذه الشبكة مسافة عدة أمتار فقط. كما وتُستخدم شبكة الاتصالات الشخصية هذه لتراسل المعطيات بين تجهيزات شخصية، أو للوصول إلى شبكة الإنترنت. تؤمن الشبكات اللاسلكية المحلية LAN (Local Area Networks) المعروفة بالمعيار IEEE 802.11 وتجارياً باسم WiFi الربط اللاسلكي بين نقاط الشبكة والوصول إلى شبكة الإنترنت بمسافة تصل إلى مئة متر أو أكثر. جرى تطوير الشبكات اللاسلكية الإقليمية MAN (Metropolitan Area Networks) المعروفة بالمعيار IEEE 802.16 وتجارياً باسم WiMAX لتأمين الربط عريض الحزمة مع شبكة الإنترنت للمشتركين الثابتين أو الجوالين، ويصل مدى التغطية إلى عدة كيلومترات وضمن الظروف المواتية يمكن أن تبلغ عشرات الكيلومترات. تغطي الشبكات واسعة المجال WAN (Wide Area Networks) مناطق جغرافية واسعة، وتقوم بربط شبكات محلية بعضها ببعض، يمكن أن تُستخدم نظم الساتل لربط تلك الشبكات وخاصة تلك الموجودة في المناطق النائية، إضافةً لذلك، يُشار إلى أنظمة الاتصال الخلوية، كأنظمة GSM و3G وغيرها كنظم شبكات واسعة المجال.



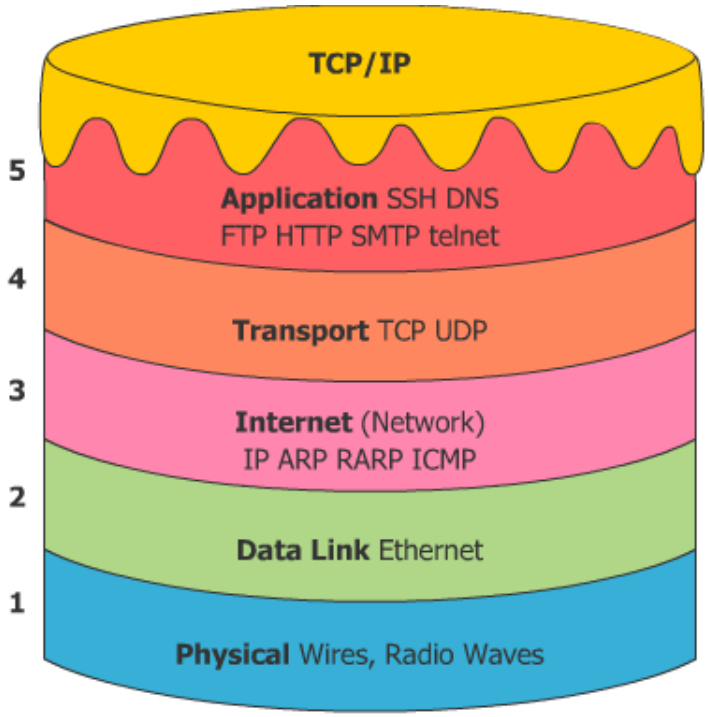
الشكل 1-1 التقانات اللاسلكية المختلفة

النموذج الشبكي متعدد الطبقات:

يُشترط لتحقيق أي اتصال ضمن شبكة أن تتفق جميع نقاط الشبكة على بروتوكولات تراسل المعطيات فيما بينها. ونتيجةً لتعقيد المهام المتعلقة بإرسال أو استقبال المعطيات بكل نقطة من نقط الشبكة، اتفقت الجهات الدولية الناظمة للمعايير على توصيف المهام المتعلقة بتراسل المعطيات وفق نموذج متعدد الطبقات. وجرى توصيف المهام المتعلقة بكل طبقة بحيث تعتمد كل طبقة على وظائف جميع الطبقات الأدنى منها قبل أن تتمكن من إجراء الاتصال، ولكنها تتبادل المعطيات مع الطبقة التي تعلوها مباشرة والتي تقع تحتها مباشرة فقط. حظِيَ النموذج TCP/IP بانتشار واسع وأصبح هو المرجع الرئيسي لتراسل المعطيات.

نموذج TCP/IP:

يشير مصطلح TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) إلى مجموعة البروتوكولات التي تتيح التواصل والتشبيك عبر شبكة الإنترنت. يعرِّف نموذج TCP/IP خمسة طبقات على النحو المبيّن في الشكل 2-1:



الشكل 2-1: نموذج TCP/IP للتشبيك

تمثل الطبقة الفيزيائية physical layer وفق هذا النموذج الناقل الفيزيائي الذي يجري من خلاله نقل المعطيات عبر الشبكة، وتقوم تلك الطبقة بجميع الوظائف والمهام اللازمة لتوليد الإشارات قبل إرسالها عبر الناقل الفيزيائي. يمكن لهذا الناقل أن يكون سلكاً نحاسياً، مجموعة ألياف ضوئية، موجات لاسلكية أو أي ناقل آخر.

تُدعى الطبقة التالية طبقة وصلة المعطيات data link. تُستخدم هذه الطبقة عندما تتشارك نقطتان أو أكثر في ناقل فيزيائي واحد، إذ تتولى هذه الطبقة مهمة إيصال المعطيات إلى النقطة الوجهة، كما تقوم هذه الطبقة بتوزيع صلاحية إرسال المعطيات عبر الناقل الفيزيائي. من بروتوكولات طبقة وصل المعطيات شائعة الاستخدام بروتوكول الإيثرنت Ethernet، بروتوكول نمط الناقل غير المتزامن ATM، إضافة إلى بروتوكولات الشبكات اللاسلكية. تسمى الاتصالات على مستوى هذه الطبقة بالاتصالات المحلية ضمن الوصلة link local وذلك لأن جميع النقاط المتصلة عند هذه الطبقة قادرة على التخاطب مع بعضها البعض مباشرة. تتم عنونة النقاط في الشبكات التي تعمل وفق بروتوكول الإيثرنت باستخدام عنوان التحكم بالنفاذ إلى الناقل MAC address، وهو رقم فريد مؤلف من 48 بت يتم تخصيصه لكل جهاز عند تصنيعه.

تعلو طبقة وصلة طبقة المعطيات طبقة الإنترنت Internet، التي تسمى ضمن نموذج TCP/IP بروتوكول الإنترنت Internet Protocol (IP). يمكن لحزم المعطيات عند هذه الطبقة مغادرة الشبكة المحلية ليعاد

ISSN: 2617-989X

إرسالها إلى شبكات أخرى. تتعهد الموجهات routers بتنفيذ هذه المهمة لأنها تملك بطاقتي شبكة على الأقل يقع كل منها ضمن إحدى الشبكات التي يجب ربطها ببعضها البعض. يمكن الوصول إلى الشبكة المتصلة بالإنترنت باستخدام عنوان الإنترنت IP الفريد المخصص لكل منها.

ينبغي بعد التمكن من توجيه حزم المعطيات عبر شبكة الإنترنت إيجاد طريقة للوصول إلى خدمة معينة (أو تطبيق معين) متوفرة على عنوان إنترنت IP محدد تابع لجهاز ما.تتولى الطبقة التالية (طبقة النقل Transport) هذه المهمة. من الأمثلة الشائعة على بروتوكولات هذه الطبقة بروتوكولي TCP وUDP.

تعمل بعض بروتوكولات طبقة النقل (مثل بروتوكول TCP) على ضمان وصول جميع حزم المعطيات إلى وجهتها، كما تضمن إعادة تجميع هذه الحزم بشكلها الصحيح وإيصالها إلى الطبقة التي تعلوها بالترتيب حيث توجد هذه الخدمة أو التطبيق المعيّنين.

تقع طبقة التطبيقات Application في أعلى الكدسة، وهي الطبقة التي يتفاعل معها مستخدمي خدمات (أو تطبيقات) الشبكة، وتشكل نقطة التواصل بين الشبكة والمستخدم. من بروتوكولات طبقة التطبيقات: بروتوكول الربط التشعبي HTTP، بروتوكول نقل الملفات FTP، وبروتوكول نقل الرسائل البسيط SMTP.

يتفاعل المستخدم مع طبقة التطبيقات، ولايحتاج إلى دراية كبيرة بالطبقات التي تتوضع تحته لكي يتمكن من استخدام الشبكة بشكل فعال.

محتوى المقرر:

يبدأ المقرر بتوصيف التقنيات المختلفة المتّبعة لتقاسم الطيف الترددّي بين المحطات اللاسلكية ضمن شبكة معيّنة، ثم يفرد المقرر لكل صنف من الأصناف المفتاحية للشبكات والنظم اللاسلكية فصلاً يشرح فيها الأجزاء الوظيفية لهذه النظام ومنهجية تراسل المعطيات لاسلكياً بين أجزائه الوظيفية، والخدمات التي يقدمها والتوجهات.

2. فهم مبدأ تقاسم الطيف التردّدي:

تستخدم الاتصالات اللاسلكية الأمواج الكهرطيسية (أو الكهرومغناطيسية) لإرسال الإشارات الحاملة للمعلومات. تنتشر الأمواج الكهرطيسية الحاملة للمعلومات من المرسل ضمن البيئة المحيطة بالمرسل (وسط الانتشار أو قناة الانتشار). وتتأثر الأمواج أثناء انتشارها من ظواهر الانعكاس Reflection، والانتثار Diffraction، والتخميد Attenuation، وتمثل قناة الانتشار الجزء الأعقد ضمن أي نظام اتصالات لاسلكي.

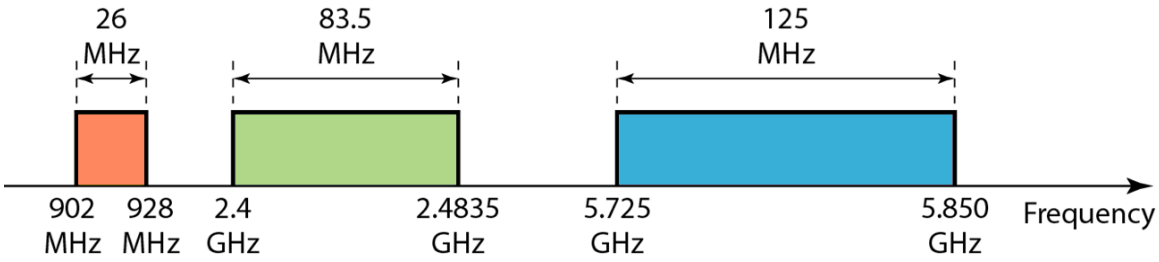
تنتشر الأمواج الكهرطيسية ضمن مجال واسع من الترددات (وبالتالي أطوال الموجه). يُدعى مجال الترددات وأطوال الموجة هذا بالطيف الكهرطيسي (أو الطيف الترددي). يبين الشكل 1-2 تقسيمات الطيف الترددي.

Band	Frequency range
HF Band	3 to 30 MHz
VHF Band	30 to 300 MHz
UHF Band	300 to 1000 MHz
L Band	1 to 2 GHz
S Band	2 to 4 GHz
C Band	4 to 8 GHz
X Band	8 to 12 GHz
Ku Band	12 to 18 GHz
K Band	18 to 27 GHz
Ka Band	27 to 40 GHz
V Band	40 to 75 GHz
W Band	75 to 110 GHz
Mm Band	110 to 300 GHz

الشكل 1-2: تقسيمات الطيف الترددي

تقوم الحكومات عادة بتطبيق قوانين صارمة على استخدام الطيف الترددي والتي قد يكلّف الحصول على ترخيص للعمل ضمنها مبالغ طائلة. لاسيما تلك المستخدمة لأغراض البث الإذاعي والتلفزيوني إضافة إلى الاتصالات الصوتية واتصالات نقل المعطيات. وعلى الرغم من ذلك فقد جرى الاتفاق عالمياً على تخصيص بعض المجالات الترددية للاستخدامات الصناعية العلمية والطبية ISM bands دون الحاجة إلى ترخيص وفق الشكل 2-2.

تعمل معظم الأنظمة اللاسلكية المنزلية، مثل: WiFi, Bluetooth, الخ... ضمن مجالات ISM من الطيف الترددي، بينما تعمل أنظمة أخرى، مثل: WiMax، الأنظمة الخلوية، الخ... خارج مجالات ISM.



الشكل 2-2: المجالات الترددية ISM

إن الطيف الترددي مورد من الموارد المحدودة جداً، ويشمل استخدامه مختلف أنواع النظم والتطبيقات اللاسلكية، إذ يمتد ليشمل التطبيقات التجارية والبث العام (التلفزيوني والراديوي) والأنظمة العسكرية والمدنية، ... ولكل نظام من النظم والتطبيقات المذكورة طيف ترددي محدد ومخصص له، ويبقى أحد التحديات الأساسية في النظم والاتصالات اللاسلكية هو الاستخدام الفعال لهذا الطيف الترددي وتوفير آليات مناسبة لتنسيق ولوج المشتركين (أو مستخدمي هذا النظام) إلى هذا الطيف.

تلجأ النظم اللاسلكية إلى تقنيات متنوعة ليتشارك مشتركي نظام معّين الطيف الترددي المخصص لهذا النظام، ويمكن تصنيف تلك التقنيات وفق التالي: تقنيات النفاذ المتعدد Multiple Access، تقنيات النفاذ العشوائي Random access، تقنيات الطيف المنثور Spread spectrum.

1.2. تقنيات النفاذ المتعدد Multiple Access

تقسم تلك التقنيات إلى الطرق التالي:

النفاذ المتعدد باقتسام التردد Frequency-Division Multiple Access (FDMA).

النفاذ المتعدد باقتسام الزمن Time-Division Multiple Access (TDMA).

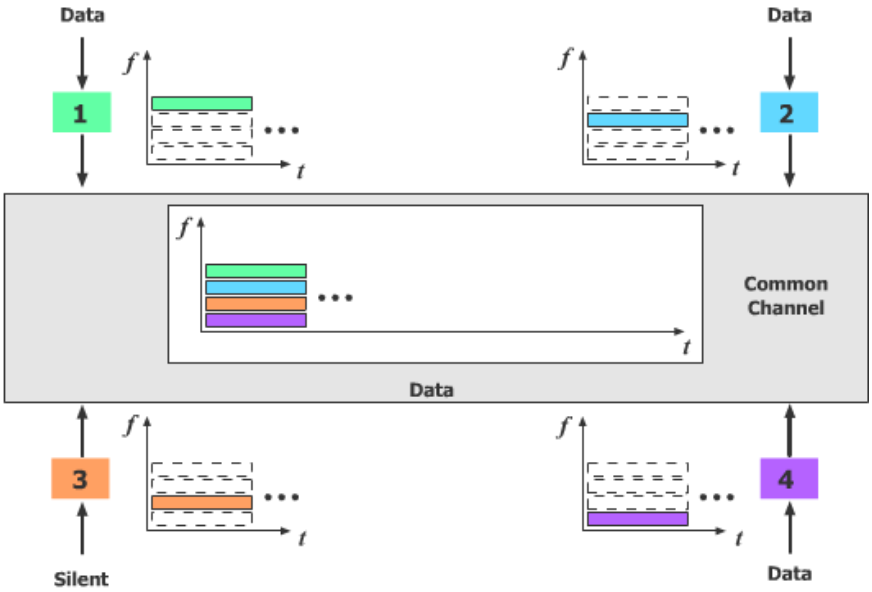
النفاذ المتعدد باقتسام الرماز Code-Division Multiple Access (CDMA).

النفاذ المتعدد باقتسام الترددات المتعامدة Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA).

النفاذ المتعدد باقتسام التردد FDMA:

يتم تقسيم الحزمة الترددية المخصصة لنظام الاتصالات اللاسلكية إلى حيزات ترددية صغيرة, كل حيز ترددي (channel) يُمنح لمشترك واحد ويفصل بين هذه الحيزات الترددية مايسمى بحزمة أمان (Guard band) لمنع التداخل بين الحيزات المتجاورة، وهذا يتطلب وجود مرشحات عالية الجودة والدقة في النظام لتحقيق هذا العزل. إن حجم الحيز الترددي يتعلق بنوع النظام اللاسلكي وبنوع الإشارة التي ستُرسَل على هذا الحيز وعند استخدام المحطة اللاسلكية لحيز ما لا يمكن لمحطة ثانية في نفس المنطقة استخدام نفس الحيز.

يبين الشكل 3-2 مثالاً لقناة اتصال بحزمة ترددية محددة لنظام اتصال يتشارك فيها أربعة مستخدمين، جرى تخصيص كل منهم بحيز ترددي ليُرسل من خلال معطياته طوال فترة تخصيصه بهذا الحيز.



الشكل 3-2: تقنية النفاذ المتعدد باقتسام التردد

تُتيح هذه التقنية إمكانية التوافق مع التجهيزات اللاسلكية التي تعمل وفق الأنظمة التقليدية (Conventional FM)، كما تؤمن سهولة في بناء تخطيط الشبكات التي تستخدم هذه التقنية، كذلك من ميزاتها عدم حراجة التزامن في الأنظمة العاملة وفق هذه التقنية. ولكن بالمقابل تتطلب تجهيزاتها مرشحات عالية الجودة.

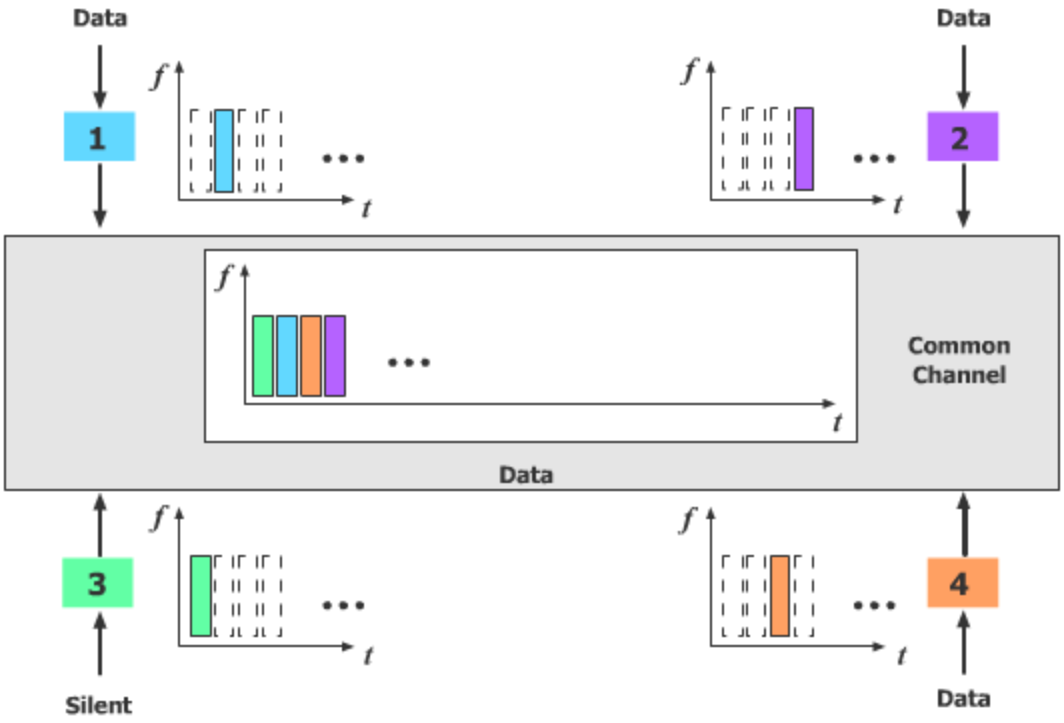
من أهم النظم التي تستخدم تقنية الـ FDMA هي: الأنظمة التماثلية الهاتفية النقالة مثل (TACS, AMPS) والأنظمة الرقمية النقالة مثل (P25, TETRAPOL, EDACS).

النفاذ المتعدد باقتسام الزمن TDMA:

وفق هذه التقنية تتقاسم عدة محطات لمشتركين ضمن نظام اتصالات نفس الحزمة الترددية للإرسال وحزمة ترددية أخرى للاستقبال. يجري تخصيص كل محطة ضمن هذا النظام بحيز زمني محدد ضمن الحزمة الأولى يقوم خلالها بإرسال المعطيات، كما ويخصص له حيز زمني آخر ضمن الحزمة الأخرى لاستقبال المعطيات. تقوم كل محطة بإرسال المعطيات بالتتابع خلال الحيز الزمني المخصص لها فقط، مما يتيح لعدة محطات باستخدام نفس الحزمة الترددية. يبين الشكل 4–2 مثالاً لقناة اتصال بحزمة ترددية محددة لنظام اتصال يتشارك فيها أربعة مستخدمين، جرى تخصيص كل منهم بحيز زمني ليُرسل من خلال معطياته طوال فترة تخصيصه بهذا الحيز. وهكذا فالمحطة لاتُرسل أو تستقبل طوال الوقت وإنما خلال الحيز الزمني المخصص لها فقط.

تستخدم هذه التقنية الحزمة الترددية بكفاءة أكثر من تقنية FDMA، كما أنها تعطي إمكانية نقل المعطيات بمعدلات عالية عبر تخصيص عدة حيزات زمنية معاً لنفس المستخدم، ولكن بالمقابل تكمن الصعوبة الأساسية بأنظمة TDMA بتحقيق التزامن بين المحطات المختلفة، فإن التزامن يعتبر من البارامترات الحرجة جداً في النظم التي تستخدم هذه التقنية، ويزيد من هذه الصعوبة التأخير الزمني الناتج عن انتشار إشارات المحطات المتباعدة عن بعضها البعض، وللتعويض عن هذا التأخير يجري إدخال زمن حماية بين كل حيز زمني وآخر، كما أنها تعاني أكثر من مشاكل تعدد المسارات التي تتعرض لها الإشارة أثناء انتشارها من المرسل إلى المستقبل.

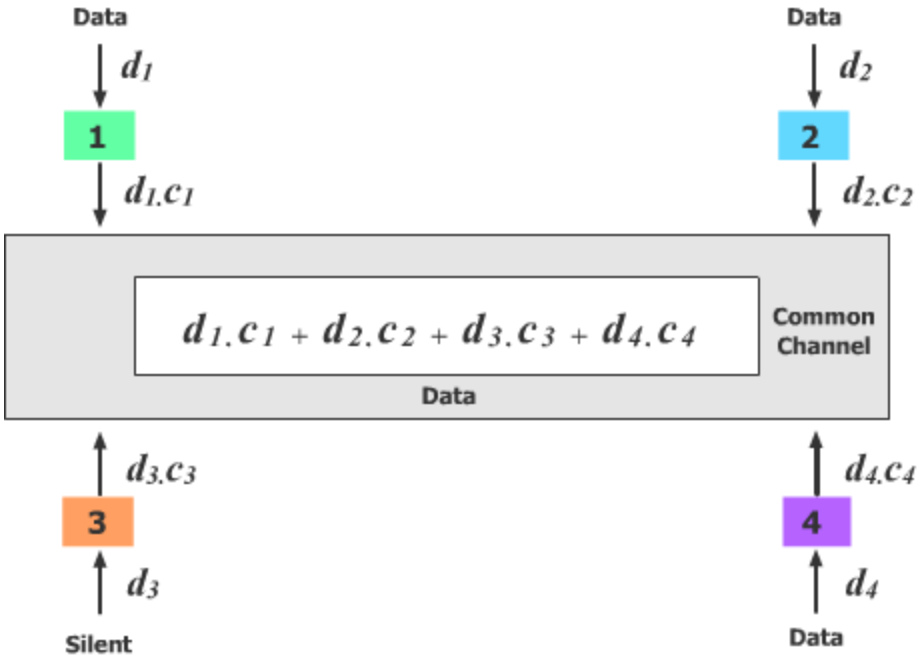
من أهم الأنظمة التي تستخدم تقنية TDMA هي: نظام الاتصالات النقالة GSM، و IS–136، كما ويستخدم بشكل واسع في نظم السواتل.



الشكل 4-2: تقنية النفاذ المتعدد باقتسام الزمن

النفاذ المتعدد باقتسام الرماز CDMA:

تختلف تقنية CDMA عن تقنية FDMA بأن محطة واحد تشغل كامل الحزمة الترددية المخصصة، وتختلف عن تقنية TDMA بأنه بإمكان جميع المحطات الإرسال معاً. إذاً، بهذه التقنية تحمل الحزمة الترددية جميع إشارات المحطات بآن واحد. لتحقيق ذلك بدون حصول تداخل أو تشويش بين إشارات المحطات، تستخدم CDMA تقنية الطيف المنثور ونظام ترميز خاص. يعتمد نظام الترميز على نظرية الترميز (coding theory)، ووفقها يجري تخصيص كل محطة (مشترك) برماز Code يتألف من سلسلة من الأعداد الثنائية تدعى الرقاقة (Chip). يجري اختيار الرقاقات بحيث تحقق خاصية التعامدية فيما بينها. يبين الشكل 5-2 نظام CDMA يتألف من أربعة محطات كلاً منها مخصصة برقاقة C_x.



الشكل5–2: تقنية النفاذ المتعدد باقتسام الرماز

يكون معدل إرسال المحطة مساوياً لمعدل لمعطيات المحطة مضروباً بعدد خانات الرقاقة وبذلك يكون طيف الإشارة المرسلة أعلى بكثير من طيف الإشارة الأصلية.

إذا رغبت محطة ما بإرسال معطيات، فإنها ترسل الرقاقة الخاصة بها أو عكسها بحسب قيمة البت قيد الإرسال "1" أو "0"، أي $d_1.c_1$، حيث d_1 البت قيد الإرسال للمحطة 1، و c_1 الرقاقة الخاصة بالمحطة المؤلفة من عدد من البتات. وبهذا تتراكب رقاقات المحطات ضمن قناة الانتشار. يبين الشكل 5–2 السابق الإشارة المتراكبة ضمن قناة الانتشار المُرسلة من المحطات الأربعة. ونظراً لخاصية التعامد بين رقاقات المحطات فيمكن استخلاص إشارة أية محطة من المحطات المرسلة عن طريق إجراء عملية الجداء الداخلي بين رقاقة المحطة المراد استخلاص إشارتها والإشارة المستقبلة من قناة الانتشار، أي بحال استخلاص إشارة المحطة 1: $Data=(d_1.c_1+d_2.c_2+d_3.c_3+d_4.c_4).c_1$.

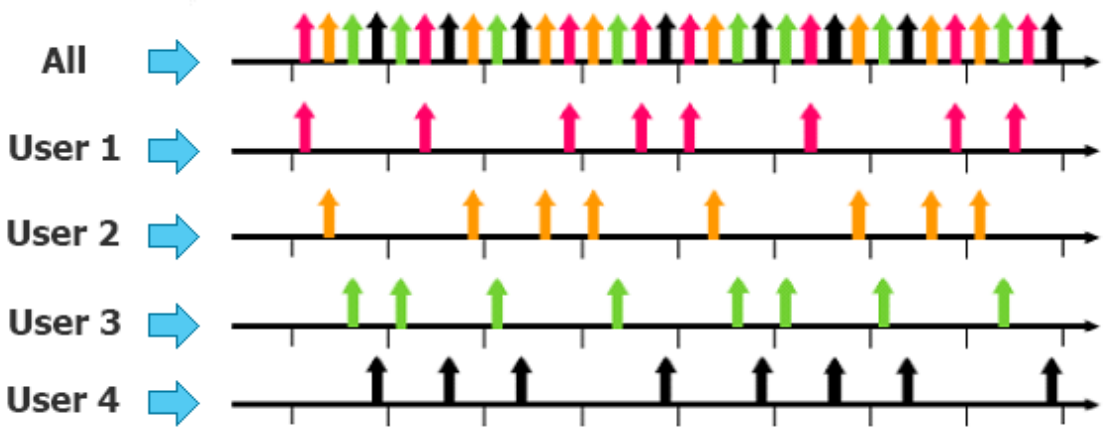
يمكن للنظم العاملة وفق تقنية CDMA أن تخدّم عدد أكبر من المشتركين ضمن حزمة ترددية محددة مقارنة مع تقنيات FDMA و TDMA، كما أن الطاقة المعدّة للإرسال هي أقل من مثيلاتها مقارنة مع باقي التقنيات.

من أهم النظم التي تستخدم تقنية CDMA هي: أنظمة الهاتف النقال CDMAOne, CDMA2000 و3G.

من الملاحظ أنه يمكن اعتبار تقنية CDMA كإحدى تقنيات الطيف المنثور كما سيجري شرحه.

النفاذ المتعدد باقتسام الترددات المتعامدة OFDMA.

جرى تطوير تقنية OFDM (Orthogonal Frequency–Division Multiplexing) – التي تعتمد على إرسال معطيات مشترك محدد باستخدام حوامل فرعية متعددة ومتعامدة فيما بينها – لتصبح تقنية نفاذ متعدد OFDMA. وفق هذه التقنية تُقسم عرض الحزمة المتاحة للإرسال إلى عدد كبير من الحوامل الترددية الفرعية المتعامدة فيما بينها، ويجري إرسال معطيات الدخل عبر توزيعها على الحوامل الفرعية وفق خوارزمية معينة. تقوم المحطة القاعدية بتخصيص كل مشترك مرتبط مع نظام الاتصال بعدد معيّن من الحوامل الفرعية مما يسمح لعدة مشتركين بالإرسال في وقت واحد. يوضح الشكل 6–2 مثالاً لتوزيع الحوامل الفرعية على أربعة محطات، كلاً منهم مخصَّص بعدد محدد من الحوامل الفرعية.

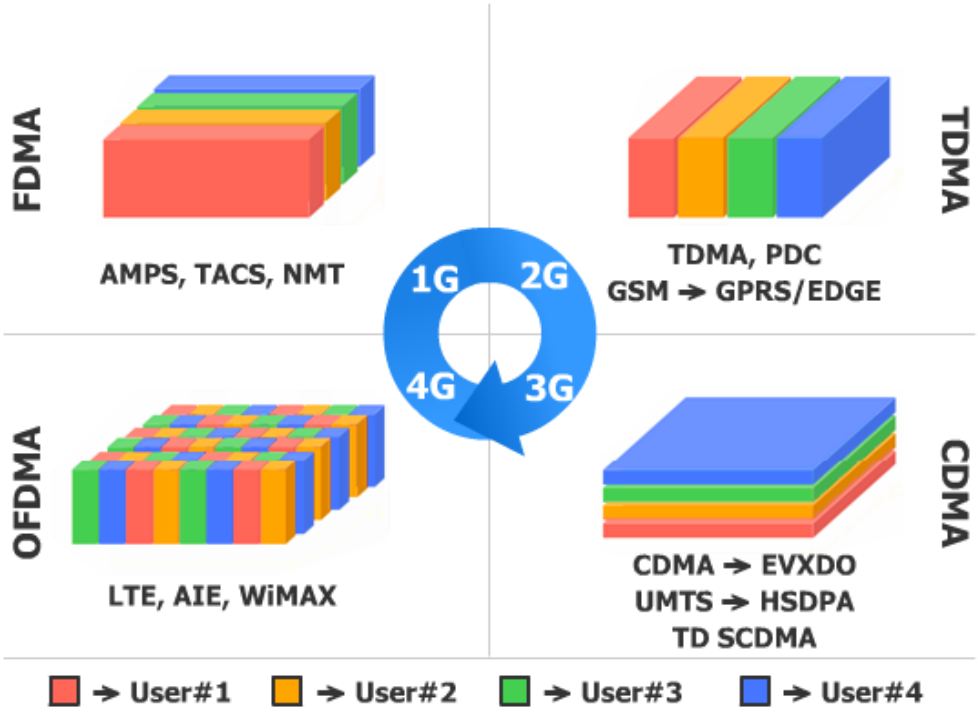


الشكل 6–2 مثال على توزيع الحوامل الفرعية المتعامدة على أربعة مشتركين

من ميزات هذه التقنية إمكانية تخصيص كل مشترك بحوامل فرعية خلال فترة محددة لتلبية احتياجاته وفق جودة الخدمة المطلوبة، كما ويمكن التحكم بطاقة الإرسال اللازمة لكل مشترك على حدة، إضافةً إلى ممانعة هذا التقنية للتداخل الناتج عن تعدد المسارات.

من أهم النظم التي تستخدم تقنية OFDMA هي: شبكات WiMAX ذات المعيار IEEE802.16، وشبكات الاتصالات النقالة 3GPP LTE.

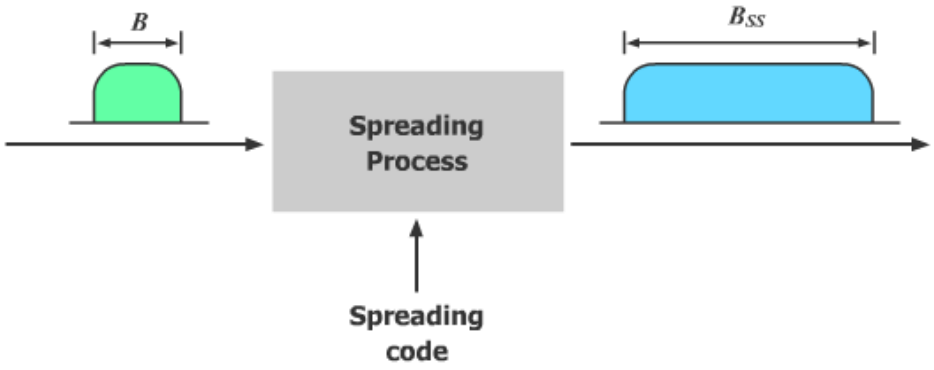
يلخص الشكل 7–2 تقنيات النفاذ المتعدد المختلفة ويذكر بعض الأنظمة النقالة التي تستخدمها .



الشكل 2-7 تقنيات النفاذ المتعدد وأمثلة عن الأنظمة المستخدمة لها

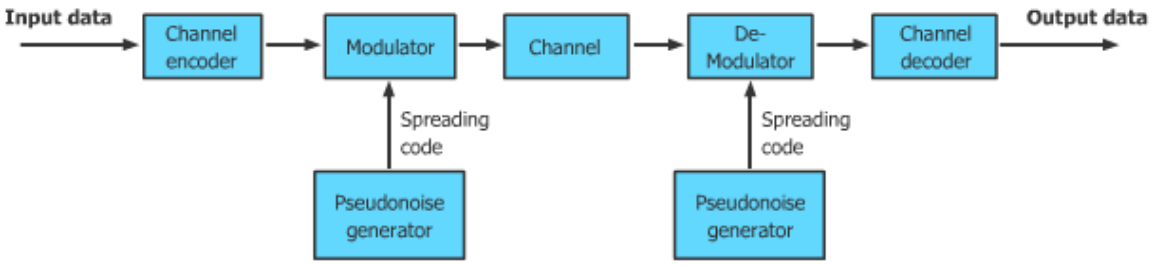
2.2. تقنيات الطيف المنثور Spread Spectrum

تهدف تقنيات الطيف المنثور إلى الاستخدام الفعال لعرض الحزمة الترددية، فقد جرى تصميم تقنيات الطيف المنثور للنظم اللاسلكية، مثل: الشبكات اللاسلكية المحلية والواسعة المجال. كان هدف تقنيات الطيف المنثور ببداياته للاستخدامات العسكرية لتجنب التشويش على الاتصالات ولمنع التنصت أيضاً، بينما أصبح استخدامه لاحقاً في النظم اللاسلكية لتشارك الحزمة الترددية بين عدد من المستخدمين أو عدد من النظم. تقوم فكرة هذه التقنية على زيادة عرض حزمة الإشارة الأصلية قيد الإرسال بشكل كبير بحيث تصبح بعرض الحزمة الترددية المخصصة لنظام الاتصالات. فإذا كان عرض حزمة الإشارة الأصلية B فبعد خضوعها لعملية النثر عبر رماز النثر يصبح عرض حزمة الإشارة المعدّة للإرسال Bss وبحيث يكون $Bss>>B$، كما يبين الشكل 2-8.



الشكل 8-2: تقنية نثر الطيف

ويبين الشكل 9-2 مخطط عام لنظام اتصالات بالطيف المنثور. يجري إدخال المعطيات المعدّة للإرسال إلى مرمز القناة الذي يُنتج إشارة بحزمة ضيقة حول تردد مركزي معين. تُعدّل تلك الإشارة بعد ذلك باستخدام سلسلة من البتات تُعرف بسلسلة النثر أو رماز النثر. وعادة، ولكن ليس دائماً، يجري توليد سلسلة النثر عن طريق مولد شبه عشوائي. والهدف من هذا التعديل هو زيادة عرض حزمة الإشارة بشكل كبير. ومن جهة الاستقبال يجري استخدام نفس سلسلة لفك تعديل الإشارة المستقبلة قبل إدخالها إلى مفكك الترميز لاستخلاص الإشارة.

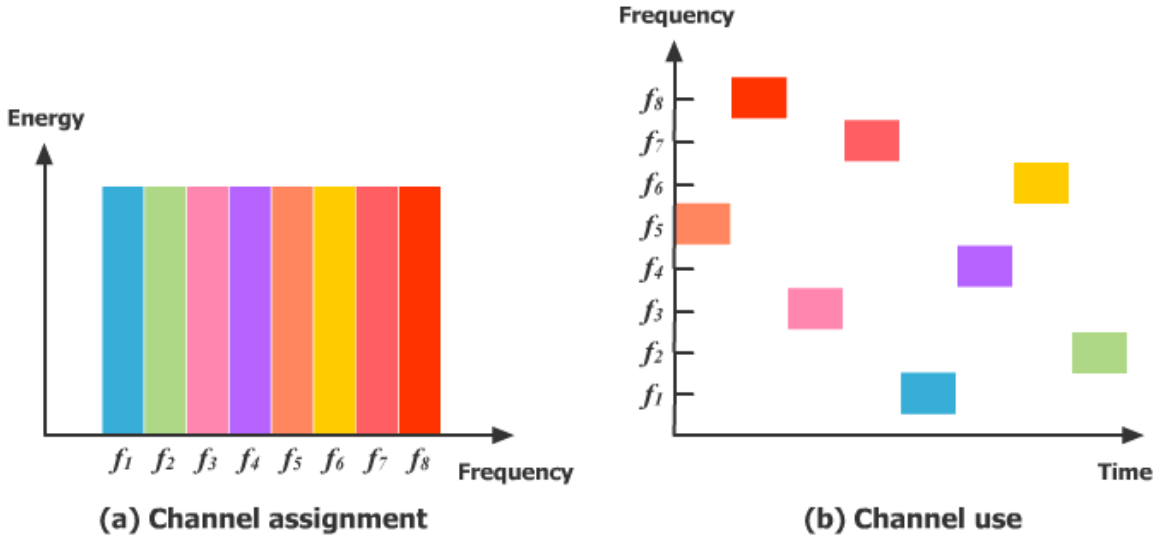


الشكل 9-2: مخطط عام لنظام اتصالات بالطيف المنثور

توجد تقنيتان للطيف المنثور: النثر بالقفز الترددي Frequency-Hopping Spread Spectrum ، والنثر بالسلسلة المباشرة Direct-Sequence Spread Spectrum.

الطيف المنثور بالقفز الترددي Frequency–Hopping Spread Spectrum:

يعمل نظام الاتصال بالقفز الترددي ضمن حزمة ترددية محددة، يجري تقسيم تلك الحزمة إلى عدد من القنوات الجزئية المخصصة لإرسال إشارات (معطيات) نظام القفز الترددي. يبلغ عدد الترددات الحاملة *k* مُشكلةً k قناة. وتكون المسافة الترددية بين كل قناة وأخرى مجاورة، ومنه عرض كل قناة، تابعة لعرض حزمة إشارة الدخل. يعمل المرسل على قناة واحدة لفترة محددة من الزمن. وخلال هذه الفترة يجري إرسال عدد من بتات إشارة الدخل باستخدام ترميز ما، ثم ينتقل النظام ليعمل على قناة أخرى. تُحدِّد سلسلة النثر تتابع القنوات المستخدمة، وتُحدِّد طول الفترة الزمنية المخصصة لكل قناة تردد القفز hop/sec. يستخدم المرسل والمستقبل نفس سلسلة النثر، وبتحقيق التزامن بين سلسلة نثر المرسل والمستقبل، يقوم المستقبل باستقبال الإشارة على القناة المحددة خلال الزمن المحدد. يبين الشكل 10–2 مثال نظام الطيف المنثور بالقفز الترددي، حيث يبين a الحزمة الترددية والقنوات الجزئية والترددات الحاملة الموافقة، بينما يبيّن b عمل نظام القفز زمنياً.



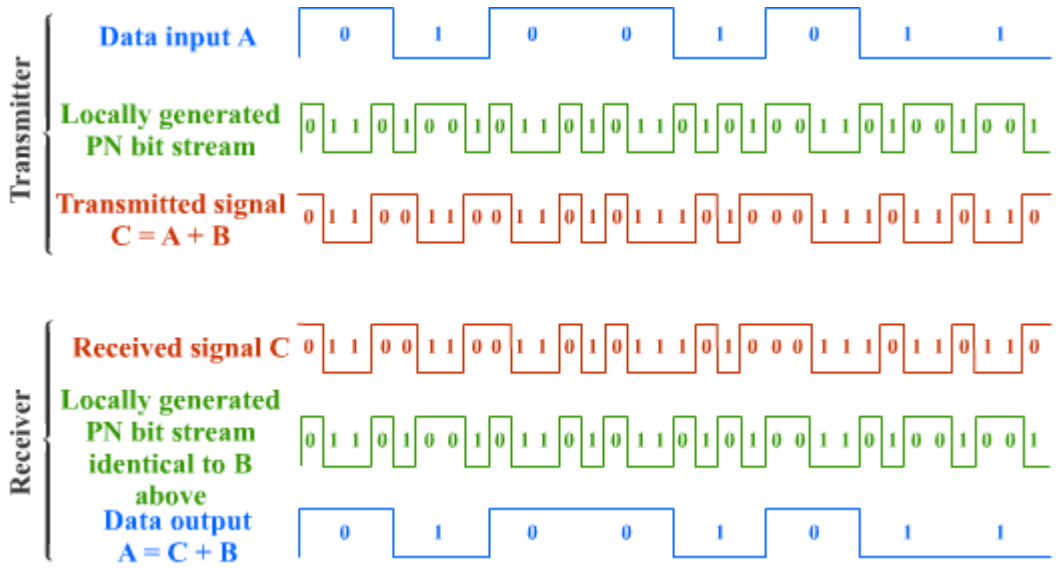
الشكل 10–2: مثال على نظام الطيف المنثور بالقفز الترددي

من مزايا هذه التقنية ممانعتها العالية للتداخل ضيق الحزمة (narrowband interference)، كما أنه يمكن للنظم العاملة وفق القفز الترددي أن تتشارك مع أنظمة تقليدية أخرى بالحد الأدنى من التداخل، إضافة إلى صعوبة اعتراض الإشارات المُرسلة.

من أهم النظم التي تستخدم تقنية القفز الترددي هي: Bluetooth ذات المعيار IEEE 802.15، والجيل الأول من الشبكات اللاسلكية المحلية ذات المعيار IEEE 802.11.

الطيف المنثور بالسلسة المباشرة Direct–Sequence Spread Spectrum:

وفق تقنية الطيف المنثور بالسلسلة المباشرة يجري تمثيل كل بت من الإشارة الأصلية بسلسلة من البتات ضمن الإشارة المرسلة باستخدام سلسلة نثر Spreading code. تقوم سلسلة النثر بنثر الإشارة الأصلية على مجال ترددي أعرض يتناسب مع عدد البتات المستخدمة مقابل كل بت. إحدى التقنيات المتّبعة بالسلسلة المباشرة هي بضم الإشارة الأصلية الرقمية مع سلسلة بتات النثر باستخدام العملية المنطقية Exclusive–OR. يبين الشكل 11–2 مثالاً على النثر بالسلسلة المباشرة. يظهَر على الشكل أن البت ذو القيمة "1" تَعكِس قيم سلسلة النثر الموافقة لها، بينما تُرسل قيم سلسلة النثر الموافقة لبت المعطيات ذو القيمة "0" بدون عكس. ويكون معدل إرسال المعطيات مساوياً لمعدل سلسلة النثر، وبهذا يكون عرض حزمة الإشارة المُرسلة أعرض من عرض حزمة الإشارة الأصلية. وبتحقيق التزامن بين سلسلة نثر المرسل والمستقبل، يقوم المستقبل بتطبيق سلسلة النثر على الإشارة المستقبَلة لاستخلاص الإشارة الأصلية. إن معدل البت في سلسلة النثر – في هذا المثال – هي أربعة أضعاف معدل البت في الإشارة الأصلية.



الشكل 11–2 مثال على نثر الطيف بالسلسة المباشرة

من أهم النظم التي تستخدم تقنية نثر الطيف بالسلسة المباشرة هي: الجيل الأول من الشبكات اللاسلكية المحلية ذات المعيار IEEE 802.11.

3.2. تقنيات النفاذ العشوائي Random Access

بتقنية النفاذ العشوائي تُعتبر جميع المحطات اللاسلكية لنظام ما المتشاركة بقناة ترددية متكافئة فيما بينها، إذا لاتوجد أية أفضلية مسبقة لمحطة لاسلكية على الأخرى في الإرسال، ولايمكن لأية محطة أن تسمح أو تمنع محطة أخرى من الإرسال. فعندما تقرر محطة إرسال معطيات تقوم بإتباع إجرائية تحددها تقنية النفاذ العشوائي المتبعة لاتخاذ القرار بالإرسال أو عدم الإرسال. يعتمد هذا القرار على حالة قناة الانتشار – مشغولة أو فارغة. وهكذا تقوم جميع المحطات اللاسلكية بتنفيذ خوارزمية موزعة يجري من خلالها تحديد أولوية الإرسال بين المحطات.

سُميَت هذه التقنية بالنفاذ العشوائي نتيجة خاصّيتين اثنتين، وهما: أولاً، لا يوجد جدول زمني لإرسال المعطيات للمحطة، فالإرسال عشوائي بين المحطات، ثانياً، لا توجد قواعد لتحديد أية محطة يجب أن تُرسل لاحقاً، وإنما تتنازع المحطات فيما بينها للنفاذ إلى قناة الإرسال.

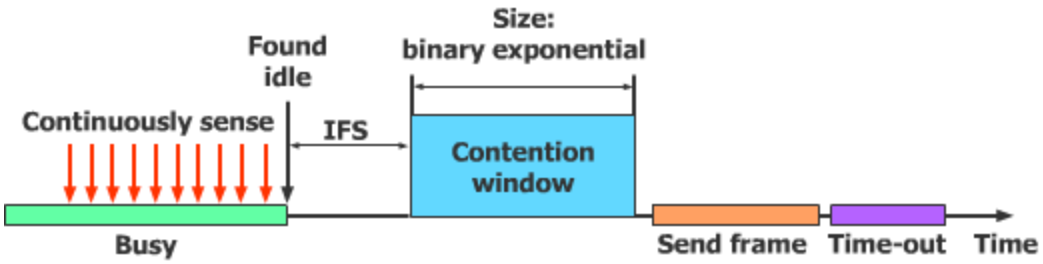
بحال إذا قامت أكثر من محطة بالإرسال بوقت واحد ستتصادم الإشارات مع بعضها البعض وسيحصل تصادم وستتلف حزم المعطيات. لذلك ولتجنب التصادم بين إشارات المحطات ولمعالجة تلف حزم المعطيات في حال حدوثها يتوجب على الخوارزمية الإجابة على مايلي: – متى تقرر المحطة النفاذ إلى قناة الانتشار؟ – كيف تتصرف المحطة إذا كانت قناة الانتشار مشغولة؟ – كيف يمكن للمحطة تحديد نجاح أو فشل الإرسال؟ – كيف يمكن أن تتصرف المحطة بحال حدوث تصادم؟

تستخدم شبكات الإيثرنت السلكية خوارزمية "تحسس الحامل مع كشف التصادم" CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection، ولكن لا يمكن استخدام هذه الخوارزمية في حال الانتشار اللاسلكي للإشارات، إذ يكون المجال الديناميكي للإشارة في وسط الانتشار واسعاً، ولا يمكن للمحطة اللاسلكية التمييز بين الإشارة المستقبلة الضعيفة وبين الضجيج ومنعكسات إرسال المحطة ذاتها، عدا أن التصادم يضيف طاقة محدودة للإشارة المنتشرة مما يجعل تمييز التصادم غير ممكناً.

جرى اعتماد آلية تجنب التصادم إضافةً لآلية تحسس الحامل لتصبح خوارزمية النفاذ المتعدد في وسط الانتشار اللاسلكي هي(CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance.

خوارزمية CSMA/CA

يعتمد عمل الخوارزمية على الأمور التالية: زمن التأخير IFS (Inter Frame Space) ونافذة التنازع contention window وإشعارات الاستلام Ack. يبين الشكل 12–2 مبدأ عمل الخوارزمية.



الشكل 12-2 مبدأ عمل خوارزمية CSMA/CA

تعمل الخوارزمية CSMA/CA وفق التالي: في حال جهوز معطيات للإرسال في طبقة الـ MAC وقبل البدء بتسليمها للطبقة الفيزيائية تمهيداً لإرسالها عبر وسط الانتشار، تقوم المحطة اللاسلكية بتحسس قناة الانتشار، وفي حال انشغالها تتصرف خوارزمية CSMA/CA وفق التالي، انظر الشكل 12-2. تستمر المحطة بتحسس قناة الانتشار إلى حين شغورها، ثم تنتظر المحطة زمن IFS (محدد مسبقاً من قبل الخوارزمية)، وخلال زمن الانتظار هذا ولاستكمال إجرائيات البدء بالإرسال يجب أن تبقى قناة الانتشار شاغرةً، وإلّا فالعودة لبداية الخوارزمية. بعد انقضاء زمن IFS، تنتظر المحطة فترة أخرى تسمى "نافذة التنازع" contention window. تُمثّل "نافذة التنازع" مقداراً زمنياً يُقسَّم إلى فجوات زمنية متساوية، ويعتمد زمن الانتظار على رقم شبه عشوائي تختاره الخوارزمية، ويمثل الرقم عدد الفجوات الزمنية الواجب انتظارها من قبل المحطة. يجب على المحطة تحسس قناة الانتشار بعد كل فجوة زمنية، ففي حال جرى انشغالها توقف المحطة عدادها الخاص بالفجوات الزمنية لتعيد تشغيله بعد شغور قناة الانتشار وإلّا وعند انقضاء عدّاد الفجوات الزمنية، تقوم المحطة بالإرسال. تفيد "نافذة التنازع" بتحديد أولوية الإرسال بين المحطات المتنازعة من أجل الإرسال.

أمّا في حال تحسست المحطة قناة الانتشار تمهيداً للإرسال وكانت شاغرةً، يجري تأخير الإرسال بمقدار زمني تحدده الخوارزمية، إذ وإن كانت قناة الانتشار شاغرةً عند تحسسها، يمكن لمحطة بعيدة أن تكون قد بدأت الإرسال ولم تصل إشارتها بعد للمحطة التي تتحسس القناة. فبعد انقضاء زمن الانتظار مع عدم تحسس أية إشارة خلاله يمكن للمحطة البدء بالإرسال.

تنتظر المحطة المُرسِلة زمناً time out يتوجب أن تتلقى خلاله إشعاراً بالاستلام من المحطة المستقبِلة للدلالة على صحة الاستلام. فإذا لم تتلق هذا الإشعار خلال تلك الفترة تعتبر المحطة أن حزمة المعطيات لم تصل إلى المستقبل فتعاود تنفيذ خوارزمية CSMA/CA من جديد.

تُساهم خوارزمية CSMA/CA في الحد من التصادم عبر استخدام كلاً من زمن التأخير IFS ونافذة التنازعcontention window، كما تضمن صحة إيصال المعطيات إلى المستقبل عبر إشعارات الاستلام.

تستخدم الشبكات اللاسلكية ذات المعيار IEEE 802.11 خوارزمية النفاذ المتعدد CSMA/CA عندما تعمل وفق نمط Ad hoc networks.

3. الأسئلة:

1. ما فائدة جعل النموذج TCP/IP على شكل طبقات؟
2. أي من طبقات النموذج TCP/IP تقوم بكل مهمة من المهام التالية:

- التحكم بالتدفق، – التوافق مع وسط النقل، – التسليم الموثوق من إجرائية إلى إجرائية، – اختيار مسار الطرد،
- تقديم خدمات للمستخدم مثل: نقل الملفات، – تصحيح الأخطاء وإعادة الإرسال، – نقل الطرود بين العقد المتجاورة، – إرسال دفق من البتات عبر وسط النقل، – تأمين الإرسال الموثوق للمعطيات، – تحديد الأطر المجهزة للإرسال.

3. عرّف تقنية النفاذ المتعدد، ولماذا نحتاج إلى تلك التقنية؟
4. وضح كيف يتشارك عدة مستخدمين قناة الاتصال وفق كل تقنية ممن تقنيات النفاذ المتعدد؟ وما هي مزايا ومساوئ كل تقنية من تلك التقنيات؟
5. قارن بين تقنيات النفاذ المتعدد من حيث عدد المستخدمين وطاقة الإرسال اللازمة.
6. وضح ميزات تقنية النفاذ المتعدد باقتسام الترددات المتعامدة بالمقارنة مع تقنية النفاذ المتعدد باقتسام التردد؟
7. لماذا جرى استخدام تقنية النفاذ المتعدد باقتسام الترددات المتعامدة بأنظمة الاتصالات اللاسلكية الحديثة؟
8. ما الهدف من تقنيات الطيف المنثور.
9. كيف تحقق تقنية القفز الترددي نثر الطيف؟
10. كيف تحقق تقنية السلسلة المباشرة نثر الطيف؟
11. اشرح المخطط الصندوقي لمـُرسل بتقنية نثر الطيف.
12. عرف النفاذ العشوائي.
13. لماذا لايمكن استخدام خوارزمية "تحسس الحامل وكشف التصادم" في حالة الانتشار اللاسلكي؟
14. مافائدة "نافذة التنازع" في خوارزمية CSMA/CA ؟
15. كيف تضمن خوارزمية CSMA/CA صحة إيصال المعطيات؟

الفصل الثالث: وصف الشبكات اللاسلكية المحلية Wireless local area networks description (WLAN)

عنوان الموضوع:

وصف الشبكات اللاسلكية المحلية: Wireless local area networks description (WLAN)

الشبكات اللاسلكية Wireless networks

الكلمات المفتاحية:

هيكلية الشبكات المحلية اللاسلكية Wireless local area networks architecture، معايير الشبكات المحلية اللاسلكية WLAN standards، تطبيقات الشبكات المحلية اللاسلكية WLAN applications، خوارزمية التنسيق الموّزعة Distributed coordination function، خوارزمية التنسيق المركزية Point coordination function، إطار طبقة النفاذ في الشبكات المحلية اللاسلكية WLAN MAC frame.

ملخص:

نقدم للطالب في هذا الفصل فكرة عن تطبيقات الشبكات اللاسلكية المحلية. يجري شرح الهيكليات المختلفة لهذه الشبكات. يتعرف الطالب على طبقة النفاذ وخوارزميات النفاذ المستخدمة وإطار طبقة النفاذ وآليات العنونة المختلفة المستخدمة فيه. كما يعطى الطالب فكرة عن التقانات المستخدمة في الطبقة الفيزيائية.

أهداف تعليمية:

يتعرف الطالب في هذا الفصل على:

- تطبيقات الشبكات اللاسلكية المحلية ومعاييرها.
- هيكليات الشبكات اللاسلكية المحلية.
- بنية إطار طبقة النفاذ.
- خوارزميات النفاذ.

المخطط:

1. تطبيقات الشبكات اللاسلكية المحلية WLAN applications.
2. الشروط المطلوبة من الشبكات اللاسلكية المحلية.
3. معايير الشبكات اللاسلكية المحلية.
4. هيكلية الشبكة.
5. وظائف معيار الشبكة اللاسلكية المحلية.
6. طبقة التحكم بالنفاذ:
   - خوارزمية التنسيق الموزعة.
   - خوارزمية التنسيق المركزية
7. إطار طبقة ا لتحكم بالنفاذ:
   - أنواع الأطر.
   - آليات العنونة.
8. الطبقة الفيزيائية.

مقدمة: وصف الشبكات اللاّسلكيّة المحلية WLAN:

ظهر مفهوم الشبكات اللاسلكية المحلية Wireless Local Area Networks (WLAN) في بدايات تسعينيات القرن الماضي بهدف دعم شبكات الإيثرنت (Ethernet) السلكية بدون اللجوء إلى استخدام وصلات سلكية عبر تأمين اتصال لاسلكي بين المستخدم وشبكة الإيثرنت باستخدام مجال ترددي متاح مجاناً لايحتاج إلى ترخيص. وبهذا فقد جرى تصميم بروتوكولات الشبكات اللاسلكية المحلية بحيث تعمل بوجود أنواع أخرى من الأجهزة تعمل ضمن نفس المجال الترددي. ومؤخراً وخلال السنوات الماضية اكتسبت WLAN موقعاً هائلاً في سوق الشبكات المحلية Local Area Network (LAN) وأصبحت من أكثر تقانات الاتصالات اللاسلكية قبولاً وانتشاراً، مؤَمنةً معدل نقل معطيات أعلى من التقانات اللاسلكية المـــُمَعيرة الأخرى. تعتمد WLAN على معايير تقدم حلولاً عملية متكاملة للربط الشبكي على مستوى الطبقة الأولى (الفيزيائية) والثانية (وصلة المعطيات) بشكل يؤمن الحركية، والمرونة، وسهولة التركيب. وتُزوَّد اليوم معظم الأجهزة المحمولة على اختلاف أنواعها ببطاقة شبكة لاسلكية، مثل: الحواسب المحمولة، الأجهزة الخلوية، الأجهزة اللوحية، وغيرها. يُعتبر التطبيق الأساسي للـــــ WLAN تأمين ولوج الأجهزة المحمولة إلى شبكة الإنترنت في مختلف بيئات العمل، مثل حرم الجامعات، والأماكن العامة كمحطات القطارات والمطارات والكثير غيرها، حيث يجرى نشر نقاط ولوج (Access Point) لتأمين الربط بين الأجهزة المحمولة وشبكة الإنترنت في تلك الأماكن. كما تتيح معايير WLAN عمليات الاتصال بين جهازين بطريقة الند–للند بهدف تبادل ملفات أو لأغراض أخرى مختلفة.

1. تطبيقات الشبكات اللاسلكية المحلية:

تشمل مجالات تطبيق الشبكات اللاسلكية المحلية WLAN النواحي التالية:

- توسعة مجال الشبكات المحلية السلكية: إذ ازدادت الحاجة لتوفر الشبكات المحلية بأماكن يصعب فيها نشر كابلات شبكية، مثل: المستودعات الكبيرة والمنتشرة على مساحة جغرافية واسعة، المصانع ومحيطها الخاص، المباني ذات الأماكن الواسعة المفتوحة، المباني غير المسموح نشر كبلات شبكية داخلها بسبب عوامل مختلفة،... في هذه الحالات تقدم الشبكات اللاسلكية المحلية بديلاً جذاباً. إذ تربط الشبكة المحلية السلكية مخدمات (servers) الشبكة وبعض محطات العمل الثابتة، بينما تتولى أجهزة الشبكات اللاسلكية – المرتبطة مع الشبكة السلكية المحلية– ربط المستخدمين إلى الشبكة المحلية وإلى الإنترنت أيضا.
- الربط الشبكي لعدة أبنية بعضها ببعض: ربط عدة شبكات محلية LAN متوضّعة داخل أبنية متجاورة بعضها ببعض عبر وصلة لاسلكية فيما بينهم نوع نقطة–لنقطة.
- إنشاء شبكات مخصصة Ad hoc networking: هي شبكة لاسلكية تجمع بين أجهزتها (الحواسب) علاقة الند– للند، تُنشأ بشكل مؤقت دون الحاجة لأيّــة بنية تحتية بهدف تلبية بعض المتطلبات (تبادل ملفات، الانخراط في لعبة جماعية بين الحواسب، ...)، وبالتالي يمكن لمجموعة من الحواسب ضمن مجال إرسال بعضهم البعض من تشكيل شبكة لاسلكية بشكل مؤقت فيما بينهم.

2. الشروط المطلوبة من الشبكات اللاسلكية المحلية:

يتوجب على WLAN تلبية متطلبات تماثل لما تقدمه الشبكات المحلية السلكية LAN، تتضمن فيما تتضمنه: تأمين سعة نقل عالية، إمكانية تغطية منطقة محددة، الاتصال الكامل بين الحواسب المرتبطة مع الشبكة المحلية، إمكانية تحقيق عملية البث broadcast على مستوى الشبكة المحلية. إضافةً لذلك، هناك بعض الجوانب تفرضها البيئة التي تعمل ضمنها WLAN، الأكثر أهمية هي:

- الإنتاجية Throughput: على بروتوكول طبقة النفاذ الاستفادة الفعالة من وسط الانتشار اللاسلكي لرفع الإنتاجية إلى أقصاها.
- عدد العقد المتصلة: يمكن لمئات العقد (الحواسب،...) الارتباط مع الشبكة اللاسلكية WLAN.
- الربط مع الشبكة السلكية LAN الفقارية: تُربط WLAN في أغلب التطبيقات مع الشبكة السلكية LAN التي تشكل العمود الفقاري للشبكة المحلية ككل.
- مساحة الخدمة: تتراوح مسافة تغطية WLAN بين 100 متر إلى 300 متر وفق شروط انتشار الإشارة المـــُرسَلة.
- طاقة البطارية: يمكن لبروتوكول طبقة النفاذ تخفيض استهلاك طاقة البطارية في حال عدم وجود تبادل معطيات وذلك عن طريق وضع بطاقة الربط اللاسلكية للجهاز بنمط العمل "وضعية النوم".
- نتيجة الانتشار الواسع لشبكات WLAN، فمن المرجح أن تعمل عدة شبكات WLAN ضمن نفس المنطقة الجغرافية، أو ضمن منطقة تتداخل فيها إشارات عدة شبكات لاسلكية بتقانات مختلفة، والتي يمكنها أن تعيق عمل خوارزمية طبقة النفاذ.
- تتعرض الشبكات اللاسلكية –نتيجةً لطبيعة انتشار الإشارات– إلى التشويش والتنصت، فعلى بروتوكول طبقة النفاذ أن يؤمن تراسل معطيات موثوق حتى بوجود ضجيج، كما وأن يؤمن بعض الأمان لمنع التنصت على المعطيات المرسلة.
- من المفضّل شراء وتركيب أجهزة WLAN دون الحاجة للحصول على ترخيص لاستخدام النطاق الترددي الذي تعمل عليه الأجهزة اللاسلكية.
- يجب على بروتوكول طبقة النفاذ تأمين انتقال الجهاز (الحاسوب) المتنقلة من خلية إلى أخرى ضمن الشبكة المحلية اللاسلكية.
- يجب أن تتيح طبقة النفاذ MAC addressing وبعض آليات إدارة الشبكة ضم مستخدمين جدد إلى الشبكة أو فصل بعض المستخدمين عن الشبكة بشكل آلي وديناميكي دون أن يؤثر ذلك على مستخدمي الشبكة الآخرين.

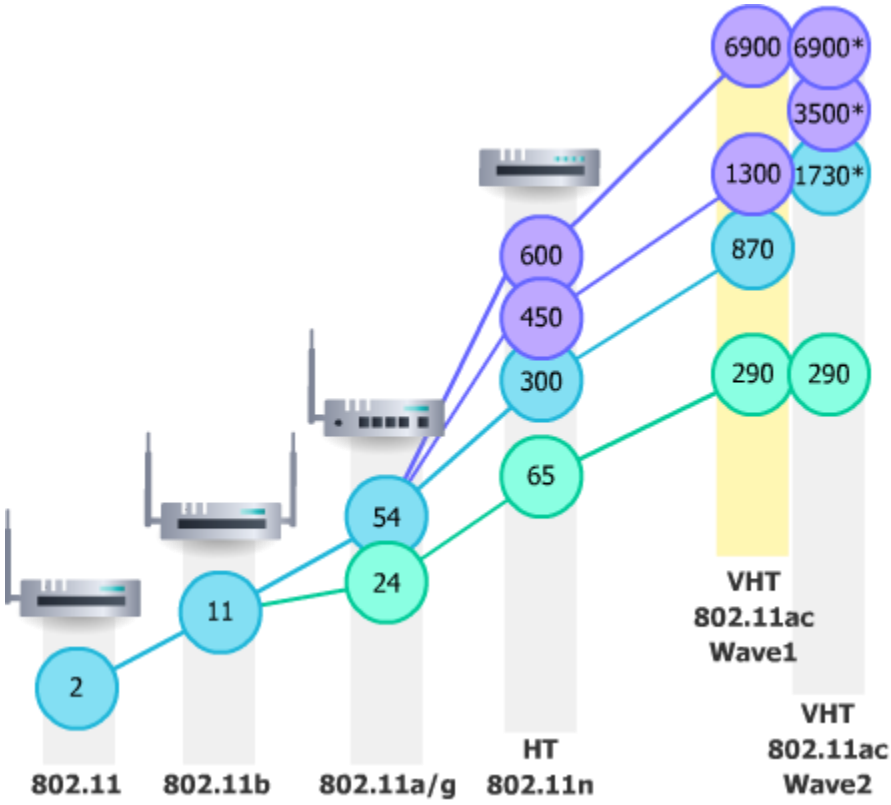
3. معيرة الشبكات المحلية اللاسلكية:

قامت هيئة المعايير والمقاييس IEEE بتعريف المعيار 802.11 بهدف توصيف ومعيرة الشبكات اللاسلكية المحلية WLAN ووضعها قيد التطبيق العملي، وقد سار هذا المعيار عبر عدة أجيال لمواكبة التطورات التقانية ولتلبية حاجات المستخدمين المتزايدة. يبين الشكل 1-3 تطور أجيال المعيار 802.11 موضحاً تطور معدل النقل بين جهازين من أجهزة الشبكة اللاسلكية. يلاحظ من الشكل وجود عدّة خطوط بيانية لمعدل النقل، فقد عرّف الجيلين الأوليين من المعيار 802.11 و802.11b معدل نقل ثابت، بينما ووفقاً للأجيال اللاحقة 802.11a/g فأعلى عرّف المعيار معدل نقل أدنى min يجري استخدامه ضمن شروط سيئة لانتشار الإشارة، بينما يمكن الوصول إلى معدل النقل الأعلى std max الذي يحدده المعيار ضمن شروط مثالية لانتشار الإشارة، ولكن يصعب الوصول إلى هذا المعدل الموصّف ضمن المعيار نظراً لصعوبة تنجيزه عملياً وفق التقانات المتاحة، لذلك يوضّح المنحني البياني معدل النقل الأعظمي الممكن تنجيزه وفق التقانات المتاحة حالياًproduct max ، بينما ضمن الشروط الطبيعية لانتشار الإشارة يحقق المعيار معدل نقل نموذجي وفق المنحني المبيّن typical.

أتاح معيار الشبكات اللاسلكية 802.11 استخدام تقانات إرسال متنوعة، هي: الأشعة تحت الحمراء infrared، الطيف المنثور Spread spectrum، الأمواج الميكروية ضيقة الحزمة Narrowband microwave، بينما تركزت تقانات الإرسال في المعايير اللاحقة على الطيف المنثور، وهي الشائعة حالياً. تعتمد WLAN في الكثير من تطبيقاتها على التنظيم متعدد الخلايا -كما سيأتي شرحه لاحقاً، وتستخدم الخلايا المتجاورة قنوات ترددية مختلفة - وفقاً لتقنية الطيف المنثور المستخدمة- لتجنب التشويش المتبادل فيما بينهم.

1.3. تحالف Wi-Fi:

عندما جرى قبول معايير 802.11 على نطاق واسع، كان هاجس الشركات الصانعة لأجهزة الشبكات اللاسلكية أن تعمل منتجاتها المختلفة مع بعضها البعض بالرغم من الاعتماد على المعيار ذاته. لمواجهة هذه المعضلة سعى تجمع من الشركات الصانعة – جرت تسميته بـــــــــــ Wireless Fidelity (Wi-Fi) في عام 1999 إلى وضع مجموعة من الاختبارات لفحص التجهيزات المصنعة من قبل الشركات وفق معايير 802.11 والتيقن من مطابقتها للمعيار ومن عملها المشترك مع التجهيزات المماثلة المصنعة من شركات أخرى، ثم إعطائها وثيقة مطابقة Wi-Fi.



الشكل 1-3: تطور أجيال الشبكات اللاسلكية المحلية 802.11، ويشير الرقم داخل الدوائر إلى معدل النقل مقدراً بـــــــــ Mbps

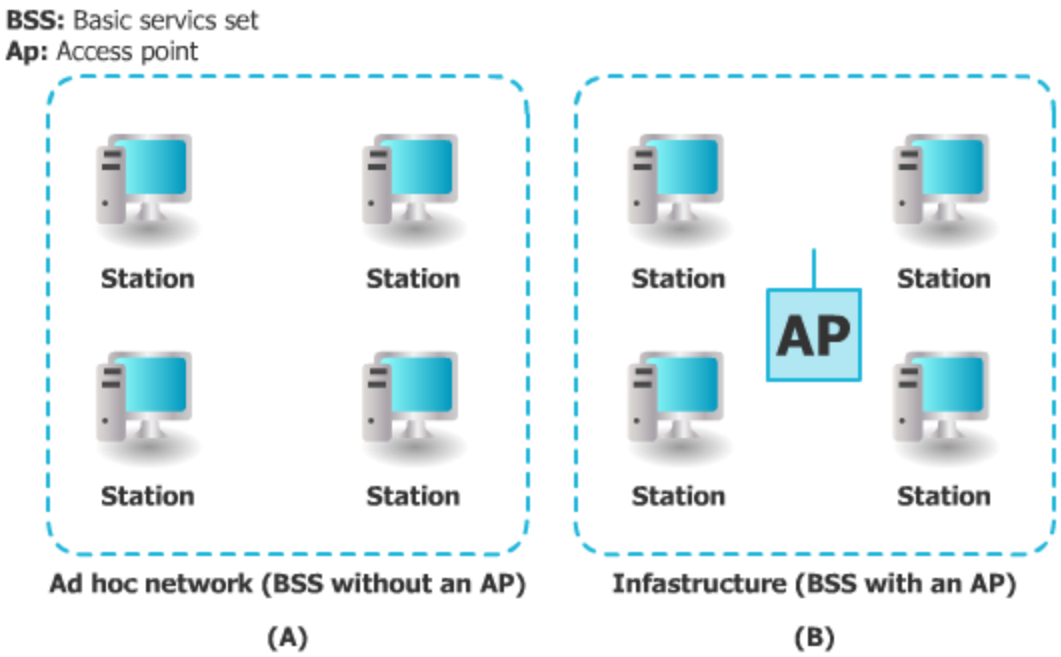
4. هيكلية الشبكة:

تتألف هيكلية 802.11 من عدة مكونات components تتفاعل فيما بينها لتشكل شبكة لاسلكية تدعم تنقلية الأجهزة وجعل تلك التنقلية شفافة للطبقات العليا (الطبقات الأعلى من طبقة MAC). يعرِّف المعيار 802.11 اللبنة الأساسية في الشبكات المحلية اللاسلكية ما يُدعى بـــــــــــ "مجموعة الخدمات الأساسية" ((Basic Service Set (BSS التي تتكون من محطتين لاسلكيتين أو أكثر تعمل معاً وفق المعيار 802.11، تتحكم بهم خوارزمية ضمن طبقة الـــــــ MAC لتقرر متى يُسمح لمحطة بأن تُرسل ومتى يمكنها الاستقبال من الوسط المحيط. يوصِّف المعيار 802.11 نوعين من هيكلية الشبكة اللاسلكية المحلية، تُدعى الهيكلية الأولى بـــــــ "مجموعة الخدمات الأساسية المستقلة" Independent BSS، بينما تُدعى الهيكلية الأخرى بـــــــ "مجموعة الخدمات الأساسية ذات البنية التحتية" Infrastructure BSS.

يبين الشكل 2-3 الهيكليتين المذكورتين. وبالاعتماد على الهيكلية ذات البنية التحتية وصَّف المعيار أيضاً هيكلية تُدعى "مجموعة الخدمات الموسّعة" ((Extended service set (ESS كما يبين الشكل 3-3.

1.4. مجموعة الخدمات الأساسية المستقلة Independent BSS أو المخصَّصة Ad hoc network:

تتكون هذه الهيكلية -الشكل 2-3 a- من محطتين لاسلكيتين أو أكثر تُشكِّل شبكة بدون بنية تحتية وتتراسل المحطات فيما بينها بشكل مباشر وفق منهجية الند-للند بشرط وجودها ضمن المجال الراديوي المشترك، ولايمكن للمحطات اللاسلكية ضمن هذه الهيكلية من التراسل مع محطات خارجها. ولايدعم المعيار 802.11 إمكانية التراسل بين محطتين عبر محطة وسيطة نتيجة لوجودهم خارج مجال تغطيتهم الخاصة بهم، أي لايدعم التراسل متعدد القفزات multihop. يجري تعريف كل BSS في كلا الهيكليتين السابقتين عبر هوية خاصة بتلك الوحدة تُدعى: هوية تعريف وحدة الخدمات الأساسية (BSSID) يجري تحديدها عند إنشاء الشبكة. تتكون الشبكة -عادةً- وفق هذه الهيكلية من عدد محدد من المحطات اللاسلكية يجري إنشاؤها لغرض محدد ولمدة محدودة من الزمن. مثلاً، لدعم لقاء في غرفة اجتماعات لتبادل بيانات معينة. فعند بدء الاجتماع تُنشأ الشبكة، وعند الانتهاء من الاجتماع تُنهى الشبكة. ونظراً لطبيعة هذه الشبكة من حيث فترة حياتها المحدودة، وحجمها الصغير، وهدفها المحدد فهي تُدعى بالشبكات المخصَّصة Ad hoc networks.



الشكل 2-3 : مجموعة الخدمات ذات البنية التحتية ومجموعة الخدمات المستقلة

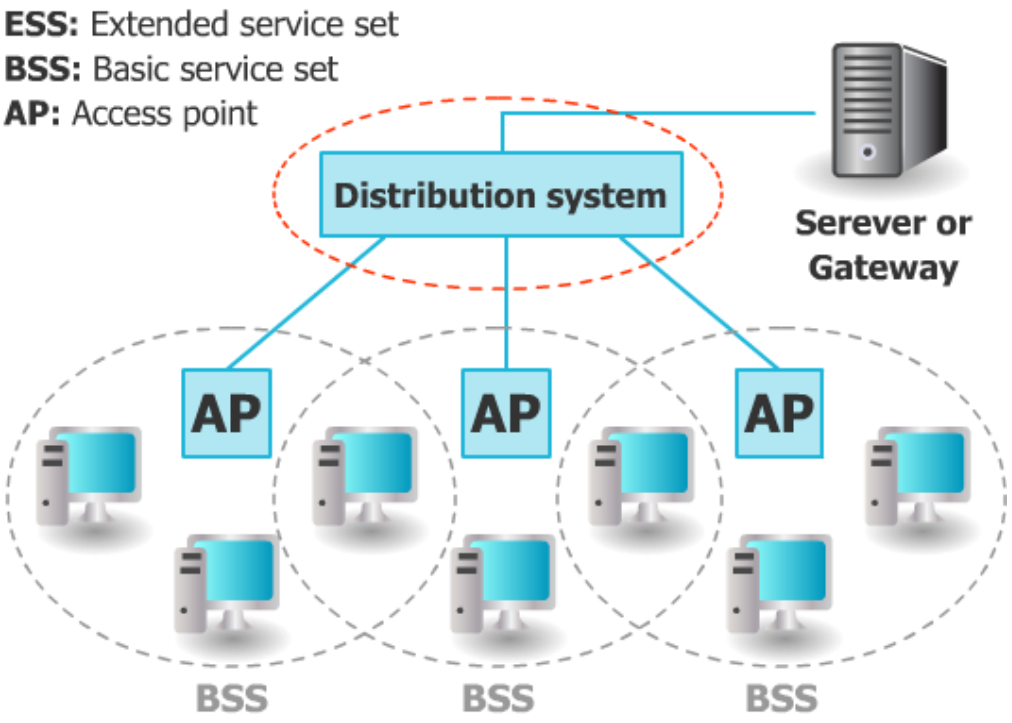
2.4. مجموعة الخدمات الأساسية ذات البنية التحتية Infrastructure BSS:

تتميز هذه الهيكلية عن سابقتها باستخدامها جهاز يُدعى نقطة ولوج Access Point (AP)، كما يبين الشكل 2-3 b، ترتبط مع نقطة الولوج مجموعة من المحطات اللاسلكية. وتُستخدم نقطة الولوج في جميع عمليات تبادل المعطيات ضمن هذه الهيكلية بما فيها تبادل المعطيات بين محطتين من المحطات المرتبطة مع نقطة الولوج. تعمل نقطة الولوج هنا كوحدة ربط بين المحطات اللاسلكية المرتبطة معها وبين البنية التحتية السلكية للشبكة المحلية. إذ تعمل AP هنا عمل المجمعة Hub في الشبكات المحلية السلكية، إذ تُرسل المحطات إلى المجمعة فقط وتستقبل منها فقط. فبحال أرادت محطة إرسال معطيات إلى محطة أخرى، فسترسل المعطيات أولاً إلى نقطة الولوج، والتي بدورها ستقوم بتحويلها باتجاه المحطة الأخرى. وبإمكان المحطات اللاسلكية التراسل مع محطات أخرى خارج هذه الهيكلية، أي خارج Infrastructure BSS. يجب على أية محطة لاسلكية أن تنضم إلى نقطة الولوج قبل أن تستطيع الاستفادة من الخدمات الشبكية. تبدأ دائماً المحطة اللاسلكية بإجرائية الانضمام ويمكن لنقطة الولوج أن تقبل أو ترفض الانضمام تبعاً لطلب الانضمام. ويمكن لمحطة لاسلكية أن تكون منضمة لنقطة ولوج واحدة فقط.

3.4. مجموعة الخدمات الموسّعة Extended Service Set:

لايمكن لمجموعة الخدمات الأساسية ذات البنية التحتية تأمين مدى تغطية واسع بل تغطية محدودة فقط، لذلك سمح المعيار 802.11 بتوسعة مجال التغطية إلى مدى واسع عبر ربط عدد من "مجموعة الخدمات الأساسية ذات البنية التحتية " لتشكيل مايسمى "مجموعة الخدمات الموسّعة" Extended Service Set (ESS). تتكون هذه الهيكلية ESS من مجموعتين أو أكثر من مجموعات الخدمات الأساسية ذات البنية التحتية مرتبطة مع الشبكة الفقارية التي تشكل نظام التوزيع Distribution system (DS)، حيث ترتبط كل نقطة من نقاط الولوج مع نظام التوزيع. يتكون نظام التوزيع في معظم الحالات بوقتنا هذا من شبكة إيثرنت Ethernet التي تشكل العمود الفقاري للشبكة المحلية.

يبين الشكل 3-3 مجموعة الخدمات الموسّعة المؤلفة من ثلاثة مجموعات Infrastructure BSS. تجري عملية التراسل بين محطتين تنتميان لمجموعتي خدمات مختلفتين عبر نقطتي الولوج التابعتين لهما مروراً بنظام التوزيع. الفكرة هنا شبيهة بالتراسل عبر شبكة خلوية إذ تمثل BSS الخلية وتمثل نقطة الولوج المحطة القاعدية. كما يجري تراسل محطة ما مع الشبكات الخارجية (الإنترنت مثلاً) عبر نقطة الولوج التابعة لها مروراً بشبكة التوزيع ثم ببوابة العبور Gateway.



الشكل 3-3: مجموعة الخدمات الموسّعة

يُظهر الشكل السابق تداخل في المجال الراديوي لنقاط الولوج. يتيح هذا التداخل للمحطات من التنقل ضمن المجال الراديوي لنقاط الولوج الثلاثة. ويبقى الهاجس الرئيسي أثناء نشر شبكة 802.11 تأمين تنقلية mobility للمحطات اللاسلكية واستمرار تراسل المعطيات أثناء تنقلها.

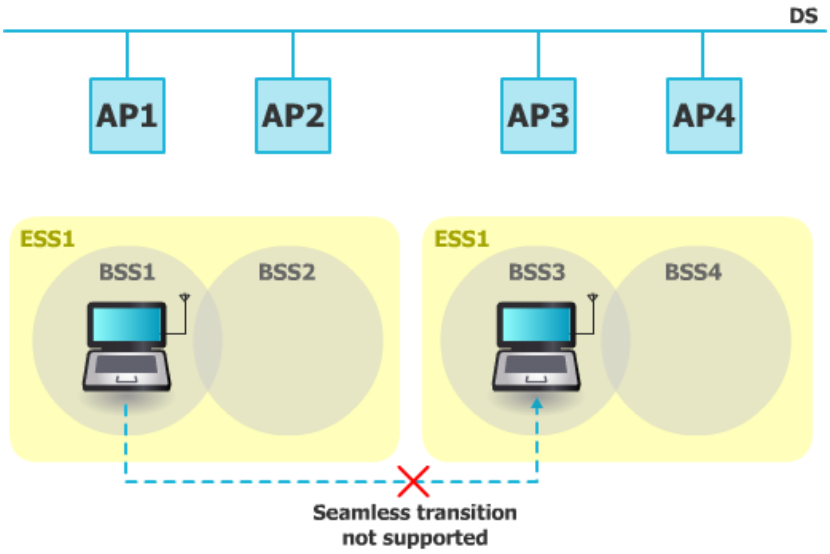
4.4. دعم التنقلية mobility support:

يدعم المعيار 802.11 التنقلية بين BSSs على مستوى طبقة وصلة المعطيات، ولا يعير أي اهتمام لما قد يحصل فوق هذه الطبقة. ووفق هذا المعيار توجد ثلاث أنواع من الانتقالات بين نقاط الولوج.

بدون انتقال No transition: عندما تتحرك محطة داخل النطاق الراديوي لنقطة ولوج ولا تتحرك خارجها، فلا يوجد داع لأي انتقال.

الانتقال بين مجموعات الخدمات الأساسية BSS transition: تراقب المحطات باستمرار شدّة الإشارة وجودتها لجميع نقاط الولوج المسؤولة عن "مجموعة الخدمات الموسّعة" ESS. يؤمن المعيار 802.11 التنقلية على مستوى MAC داخل ESS. يمكن لمحطات مرتبطة مع نظام التوزيع إرسال أطر موجّهة إلى محطات متنقلة وفق عنوانها الـــــ MAC، وتقوم نقاط الولوج بمهمة التسليم النهائي للمحطة المتنقلة. يتطلب هذا الانتقال التعاون بين نقاط الولوج ضمن ESS، إذ يتوجب على نقطة ولوج إخبار باقي نقاط الولوج ضمن ESS بالمحطات المرتبطة معها associated وبالمحطات التي أعادت ارتباطها معها reassociated.

الانتقال بين "مجموعات الخدمات الموسّعة" ESS transition: يشير هذا الانتقال إلى التحرك من ESS إلى ESS أخرى. يبين الشكل 4-3 مجموعتي ESSs مرتبطتين بنظام توزيع ومنفصلتين راديوياً- لايوجد تداخل بين نطاق التغطية لكل منها. وفق الشكل، لا يمكن لمحطة ضمن ESS 1 من الانتقال إلى ESS 2، إذ لا يدعم المعيار 802.11 هذا الانتقال. وفي حال انتقلت محطة من ESS 1 إلى ESS 2 فسيحصل انقطاع بالاتصال بالطبقات الأعلى من طبقة وصلة المعطيات.



الشكل 4-3: مجموعتي ESSs مرتبطتين بنظام توزيع ومنفصلتين راديوياً

5. وظائف المعيار 802.11:

يحدّد المعيار 802.11 مجموعة من الوظائف التي يجب أن تؤمنها الشبكات اللاسلكية لتقدم نفس الإمكانيات التشغيلية التي تؤمنها الشبكة المحلية السلكية. تكون تلك الوظائف مضمّنة داخل المحطات اللاسلكية أو نقاط الولوج أو ضمن نظام التوزيع. يدعم قسم من تلك الوظائف عمليات النفاذ والخصوصية، وتدعم الوظائف الأخرى عمليات تسليم أطر الـــــــ MAC بين محطات الشبكة، إذ تؤمن هذه الوظائف توزيع الأطر داخل نظام التوزيع إذا دعت الحاجة لمرور الطرود عبره، مثل حالة إرسال إطار من محطة ضمن BSS إلى محطة أخرى ضمن BSS آخر مع وجود كلتا المحطتين ضمن ESS واحدة، أما إذا كانت المحطات المتراسلة تقع ضمن ذات BSS فتدعم تلك الوظائف مرور الأطر عبر نقطة الولوج فقط. كما تؤمن الوظائف المخصصة لتسليم الأطر عمليات نقل الأطر من محطة 802.11 إلى أخرى 802.x -إيثرنت مثلاً- متصلة مع الشبكة المحلية.

يتوجب على نظام التوزيع من أجل القيام بعملية تسليم الأطر من التعرف على المحطات المتواجدة داخل ESS، وتضمن الوظائف المتعلقة بعمليات الارتباط مع نقطة الولوج من تزويد نظام التوزيع بالمعلومات اللازمة عن تلك المحطات. فعندما يحتاج نظام التوزيع تسليم طرد ما إلى محطة يجب عليه معرفة نقطة الولوج المناسبة لتسليمها الطرد ليصل إلى وجهته النهائية. لتحقيق تلك المهمة، يحب على المحطة اللاسلكية الحفاظ على الارتباط مع نقطة الولوج داخل BSS الخاصة بها، وتؤمن الوظائف التالية تلك المتطلبات:

- وظيفة الارتباط Association: إنشاء الارتباط الأولي بين المحطة اللاسلكية ونقطة الولوج. فقبل أن تتمكن المحطة اللاسلكية من إرسال واستقبال أطر المعطيات يجب أن تُعرف هويتها

وعنوانها، ولهذا السبب يجب على المحطة من إنشاء الارتباط مع نقطة ولوج. تقوم نقطة الولوج بعدها من نقل هذه المعلومات إلى نقاط الولوج الأخرى ضمن ESS لتسهيل تسليم الطرود إلى المحطة المطلوبة.

- وظيفة فك الارتباط Disassociation: إشعار يصدر من محطة أو من نقطة ولوج بإنهاء الارتباط القائم بين المحطة اللاسلكية ونقطة الولوج.
- وظيفة إعادة الارتباط Reassociation: تسمح لارتباط قائم بالانتقال من نقطة ولوج إلى نقطة ولوج أخرى، مما يسمح للمحطة اللاسلكية بالانتقال من BSS إلى أخرى.

في الشبكات المحلية السلكية تقوم محطة ما بالإرسال والاستقبال عند وصلها مع الشبكة، أي هناك نوع من سماحيات النفاذ والخصوصية Access and Privacy بالإرسال والاستقبال عبر هذا الوصل السلكي، بينما في الشبكات المحلية اللاسلكية يكفي أن تكون محطة ضمن مجال محطة أخرى لتقوم بالإرسال أو أن تقوم بالاستقبال إذا وقعت ضمن مجال إرسال محطة أخرى، لذلك جرى تعريف ثلاث وظائف تزود الشبكات اللاسلكية بمزايا النفاذ والخصوصية المماثلة للشبكات السلكية، وهي:

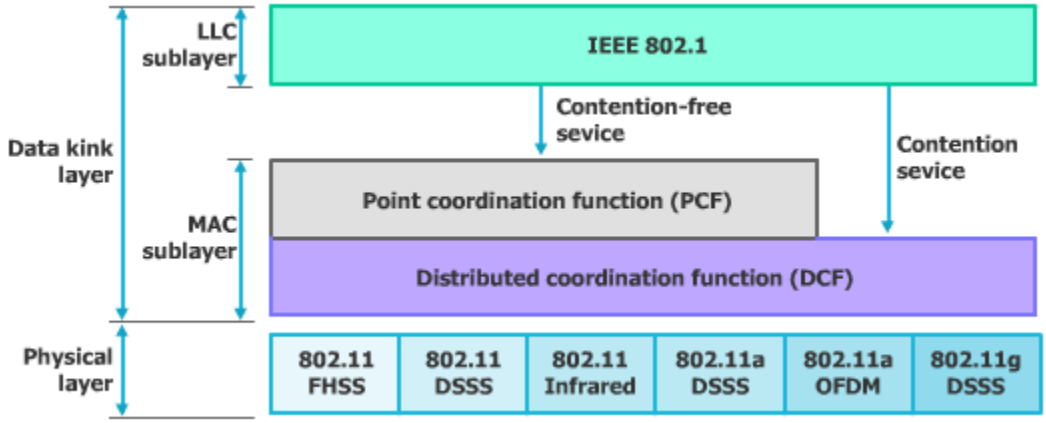
- الاستيقان Authentication: تسمح بالتحقق من هوية المحطة اللاسلكية قبل إجراء عملية الارتباط.
- إنهاء الاستيقان Deauthentication: تسمح بإنهاء الاستيقان قيد العمل.
- الخصوصية Privacy: تتيح استخدام التشفير في نقل المعطيات لضمان الخصوصية.

6. طبقة التحكم بالنفاذ في 802.11 Medium Access Control:

من الوظائف التي تؤمنها طبقة MAC في المعيار 802.11 التسليم الموثوق للمعطيات، والتحكم بالنفاذ إلى الوسط المحيط:

التسليم الموثوق للمعطيات Reliable Data Delivery: تتعرض إطارات الشبكة اللاسلكية المـُرسلة – من طبقة نقل المعطيات والطبقة الفيزيائية– عبر وسط الانتشار إلى الضجيج والتداخلات وبعض التشوهات الناجمة عن الانتشار مما يؤدي إلى ضياع نسبة محسوسة من الأطر المـُرسلة، وحتى بوجود رماز لكشف وتصحيح الأخطاء يبقى عدد من الأطر لايمكن استقبالها بشكل صحيح. تُعالَج حالات مماثلة عادة عن طريق آليات في الطبقات العليا لتحقيق وثوقية نقل المعطيات، طبقة TCP مثلاً، ولكن تبقى معالجة الأخطاء أكثر فاعلية لأداء الشبكة إذا جرى تنفيذها على مستوى طبقة الـــ MAC. لأجل هذا الغرض تعمل خوارزمية الإرسال في طبقة الـــ MAC كالتالي: عندما تستقبل المحطة إطار ما بشكل صحيح تُرسِل مباشرة إشعاراً بالاستلام ACK إلى المحطة المـُرسلة. فإذا لم يجر استقبال إشعار الاستلام لسبب ما – خطأ في الإطار المـُستقبَل أو خطأ في الإشعار– تُعيد المحطة إرسال الإطار ذاته. ولدعم الوثوقية أكثر، يمكن استخدام نموذج التبادل رباعي الأطر. في هذا النموذج يقوم المـرسل بإرسال إطار يحتوي طلب إرسال Request to send (RTS)، يرد عليه المستقبل بجهوزيته للاستقبال Clear to send (CTS)، عندها يقوم المرسل بإرسال إطار المعطيات ويرد عليه المستقبل بإشعار الاستلام. ينبِّه إطار RTS المحطات اللاسلكية الواقعة ضمن مجال الإرسال للمرسل بوجود أطر قيد التبادل، مما يؤدي إلى امتناع المحطات اللاسلكية عن الإرسال تجنباً لوقوع التصادم بين الأطر.

التحكم بالنفاذ إلى الوسط المحيط Medium Access Control: جرى تزويد طبقة الـــ MAC بخوارزميتين للتحكم بالنفاذ إلى الوسط، الأولى، هي خوارزمية نفاذ موزعة، تُدعى خوارزمية التنسيق الموزعة Distributed Coordination Function DCF، يكون فيها اتخاذ قرار النفاذ موزعاً بين المحطات اللاسلكية التي تستخدم آلية تحسس الحامل carrier sensing كالشبكات المخصصة Ad hoc Networks، والثانية، هي خوارزمية مركزية، تُدعى خوارزمية التنسيق المركزية Point Coordination Function PCF، تقوم فيها محطة مركزية بتحديد قواعد النفاذ للمحطات، كما في الشبكات ذات نقاط الولوج، إذ تلعب نقطة الولوج دور المحطة المركزية. يبين الشكل 5–3 بنية طبقة MAC. تكوِّن خوارزمية DCF الطبقة الفرعية الدنيا وتستخدم خوارزمية تنازع موزعة لتأمين النفاذ لجميع المحطات. وتؤمن خوارزمية PCF خدمة النفاذ بدون تنازع، وهي طبقة فرعية مبنية فوق الطبقة الفرعية DCF وتستخدم بعض مزايا DCF لتأمين النفاذ للمحطات. كما يبين الشكل 5–3 بعض تقانات الطبقة الفيزيائية لبعض أجيال معايير 802.11.



الشكل 5-3 تقسيمات طبقة الـــــMAC

1.6. خوارزمية التنسيق الموزعة Distributed Coordination Function:

ضمن شبكة Ad hoc، التي لايوجد فيها محطة مركزية لإدارة عمليات الإرسال والاستقبال، تحتاج المحطات اللاسلكية إلى خوارزمية موزعة لتتمكن من خلالها تحديد أولوية الإرسال بين المحطات، تلك الخوارزمية هي "خوارزمية التنسيق الموزعة" Distributed Coordination Function (DCF).

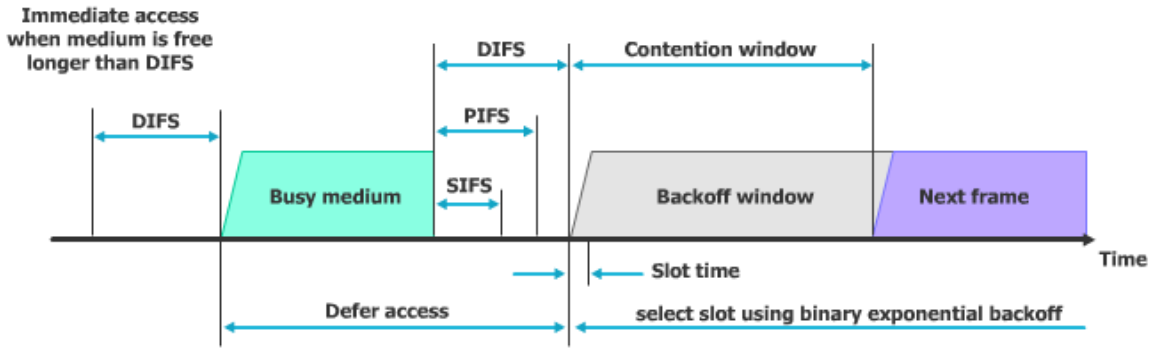
تستخدم DCF مبدأ عمل خوارزمية "تحسس الحامل-النفاذ المتعدد مع تجنب التصادم" Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance CSMA/CA التي جرى شرحها في فصل سابق.

يبين الشكل 6-3 مبدأ عمل خوارزمية CSMA/CA وأثر أزمان التأخير الثلاث في تحديد الأولوية.

يتضمن عمل DCF مجموعة من أزمان التأخير تُستخدم لتحديد الأولويات ضمن خوارزمية CSMA/CA، هي:

- الزمن القصير بين الأطر Short Interframe Space SIFS: وهو الزمن الأقصر المتضمّن في الخوارزمية، ويستخدم بحالة الحاجة لإرسال رد بشكل فوري بعد استقبال إطار ما، أي أن المحطة المستقبلة سترسل الرد بعد زمن مساوٍ لزمن SIFS. مثلاً: إرسال الإشعار بالاستلام Ack بعد استلام إطار.
- الزمن الخاص بخوارزمية التنسيق المركزية Point Coordination Function InterFrame Space PIFS: ويُعتبر ذو قيمة متوسطة بين أزمان التأخير الثلاثة، وتستخدمه نقطة الولوج عندما تريد الاستحواذ على الوسط لتتخاطب مع المحطات اللاسلكية المرتبطة معها.

- الزمن الخاص بخوارزمية التنسيق الموزعة Distributed Coordination Function InterFrame Space DIFS: وهو زمن التأخير الأطول بين أزمان التأخير الثلاثة وتستخدمه المحطات اللاسلكية في خوارزمية CSMA/CA لتتمكن من الاستحواذ على وسط الانتشار.



الشكل 6-3: مبدأ عمل خوارزمية CSMA/CA وأزمان التأخير الثلاث

يتضح من الشكل 6-3 كيف يمكن تحقيق الأولويات بين المحطات المختلفة بالاستحواذ على وسط الانتشار باستخدام أزمان التأخير SIFS و PIFS و DIFS. فكما ذُكر في الفصل السابق وتبعاً للشكل 2-11، تنتظر المحطات زمناً قدره IFS قبل الدخول في "نافذة التنازع". تعتمد المحطات التي تشكل شبكة Ad hoc على زمن التأخير DIFS قبل الدخول في "نافذة التنازع"، بينما تعتمد نقطة الولوج عند تنفيذها لخوارزمية PCF على زمن التأخير PIFS للاستحواذ على الوسط. وبما أن زمن التأخير PIFS أقل من زمن التأخير DIFS فسيكون لنقطة الولوج الأسبقية بالاستحواذ على الوسط.

كما ذُكر أعلاه، عندما تستقبل محطة إطار ما فإنها تقوم بإرسال إشعار استلام هذا طرد بعد انتظار زمن تأخير SIFS، وبما أن هذا الزمن هو الأقصر بين أزمان التأخير، فلا يمكن لأية محطة أخرى أن تحصل على الوسط خلال هذا الزمن. وبالتالي، فإنه يُنظر على عملية إرسال طرد والرد بإرسال إشعار الاستلام على أنها وحدة تخاطب أساسية لايمكن مقاطعتها من قبل أية محطة أخرى.

يبين الشكل 6-3 أيضاً أنه في حال تحسست المحطة الوسط تمهيداً للإرسال وكان الوسط شاغراً ، يجري تجنب التصادم عبر تأخير الإرسال حتى إن كان وسط الانتشار شاغراً، في هذه الحالة تنتظر المحطة زمناً مقداره DIFS، إذ وإن كان الوسط شاغراً عند تحسسه، يمكن أن تكون محطة بعيدة قد بدأت بالإرسال ولم تصل إشارتها بعد للمحطة التي تتحسس الوسط. فبعد انقضاء زمن DIFS مع عدم تحسس أية إشارة خلاله بإمكان المحطة البدء بالإرسال.

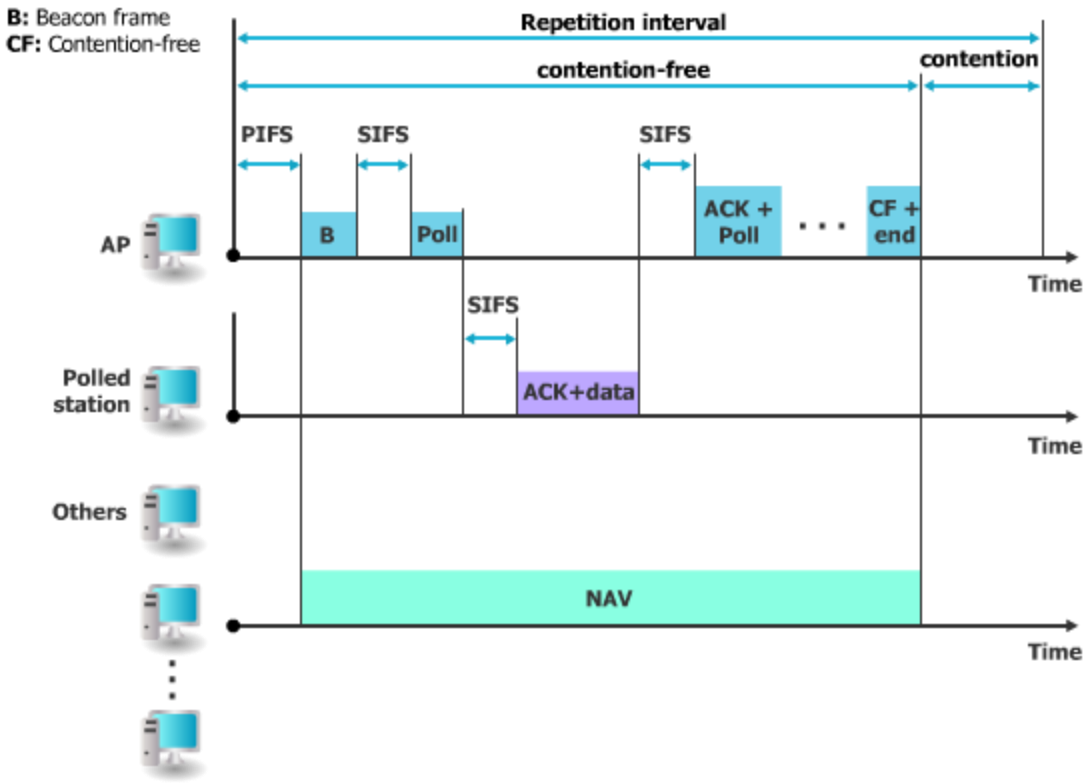
2.6. خوارزمية التنسيق المركزية Point Coordination Function:

هي خوارزمية بديلة لخوارزمية التنسيق الموزعة تُستخدم من قبل المتحكم المركزي (نقطة الولوج) بالشبكة اللاسلكية ذات البنية التحتية Infrastructure BSS. تقوم نقطة الولوج بهذه الشبكة بعملية تقصي (polling) للمحطات اللاسلكية المرتبطة معها بهدف الإرسال إليها أو الاستقبال منها.

عند وجود شبكة Infrastructure BSS تستطيع نقطة الولوج باستخدام زمن التأخير PIFS من الاستحواذ على وسط الانتشار والبدء بإجراء تقصي Polling المحطات المرتبطة معها نتيجة أن زمن التأخير PIFS له أسبقية على زمن التأخير DIFS مما يمكّن نقطة الولوج من استحواذ الوسط ومنع المحطات الأخرى – Ad hoc networks – من ذلك.

تعمل نقطة الولوج وفق دورات متعاقبة، خلال كل دورة تتقصى فيها محطة من المحطات المرتبطة معها، كما وتتيح المجال للمحطات الأخرى – Ad hoc networks – بالعمل أيضاً كما يبين الشكل 7-3، وفق مايلي:

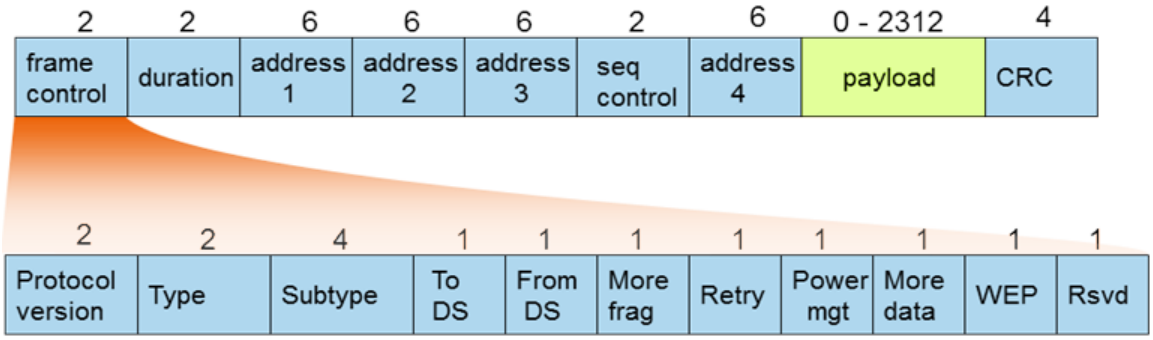
تبدأ دورة عمل نقطة الولوج عند استحواذها على وسط، تُرسل بدايةً إطار مُرشد Beacon frame تُخبر من خلاله جميع المحطات اللاسلكية في منطقة التغطية الخاصة بها ببدء دورة عمل تمتد لفترة محددة، تقوم بعدها نقطة الولوج بإجراء تقصي لإحدى المحطات اللاسلكية المرتبطة معها بهدف إرسال معطيات لها أو استقبال معطيات منها، وتقوم بعدها بإعلان تخليها عن الوسط عبر إرسال إطار CF end. تتيح نقطة الولوج بعد إرسال الإطار السابق الذكر المجال للمحطات الأخرى – Ad hoc networks – للتنازع فيما بينها للاستحواذ على وسط الانتشار باستخدام خوارزمية CSMA/CA. تعود بعدها نقطة الولوج لبدء دورة عمل جديدة.



الشكل 7-3 دورة عمل نقطة الولوج

7. إطار طبقة الـــــ MAC:

تقوم طبقة الـــــــ MAC بإعداد الإطار وفق المعيار 802.11 تمهيداً لتسليمه للطبقة الفيزيائية لإرساله عبر الوسط. يبين الشكل 8-3 الحقول الجزئية للإطار المـــُشكّل، وهي:



الشكل 8-3 الحقول الجزئية لإطار طبقة الـــــــ MAC

- حقل التحكم: وفيه عدد من الحقول الجزئية هي:
  - Protocol version: تحديد نسخة المعيار المستخدمة.
  - Type, Subtype: تحدّد تلك الخانتان معاً نوع الإطار - إطار معطيات، إطار يحمل أوامر تحكمية، إطار لإدارة الوصلة.
  - To DS, From DS: تحدد تلك الخانتان معاً وجهة أو مصدر الإطار -كما سيجري شرحه لاحقاً.
  - More fragment: عند تجزئة الإطار (fragmentation) في طرف المرسل إلى عدة أطر جزئية وإرسالهم بالتتالي إلى المستقبل فتدل هذه الخانة عند تفعيلها على وجود إطار جزئي تابع للإطار الحالي سيجري إرساله.
  - Power management: تدل هذه الخانة عند تفعيلها على أن المحطة المـــــُرسلة تعمل بنمط توفير الطاقة -"نمط النوم ".
  - More data: تخبر هذه الخانة المحطة أنه مازال هناك معطيات تخصها لدى المحطة المـــُرسلة.
  - WEP: تدل على استخدام التشفير.
  - Rsvd: غير مستخدمة.
- Duration: يدل هذا الحقل على الزمن اللازم لإرسال الإطار.

- Address4 ,..., Address1: أربعة حقول لعناوين الـــــــــ MAC كل منها بعرض 48 bit، يجري استخدام هذه الحقول بحسب سياق الإرسال والاستقبال، ترتبط تلك الحقول مع الخانتين To DS, From DS كما سيجري شرحه لاحقاً.
- Sequence control: يحدد هذا الحقل الرقم التسلسلي للإطار المـــــرُسَل.
- Payload: حقل المعطيات، ويمكن أن يبلغ طوله الأعظمي 2312 بايت.
- CRC: تُستخدم لكشف وتصحيح الأخطاء ضمن الإطار.

1.7. آليات العنونة:

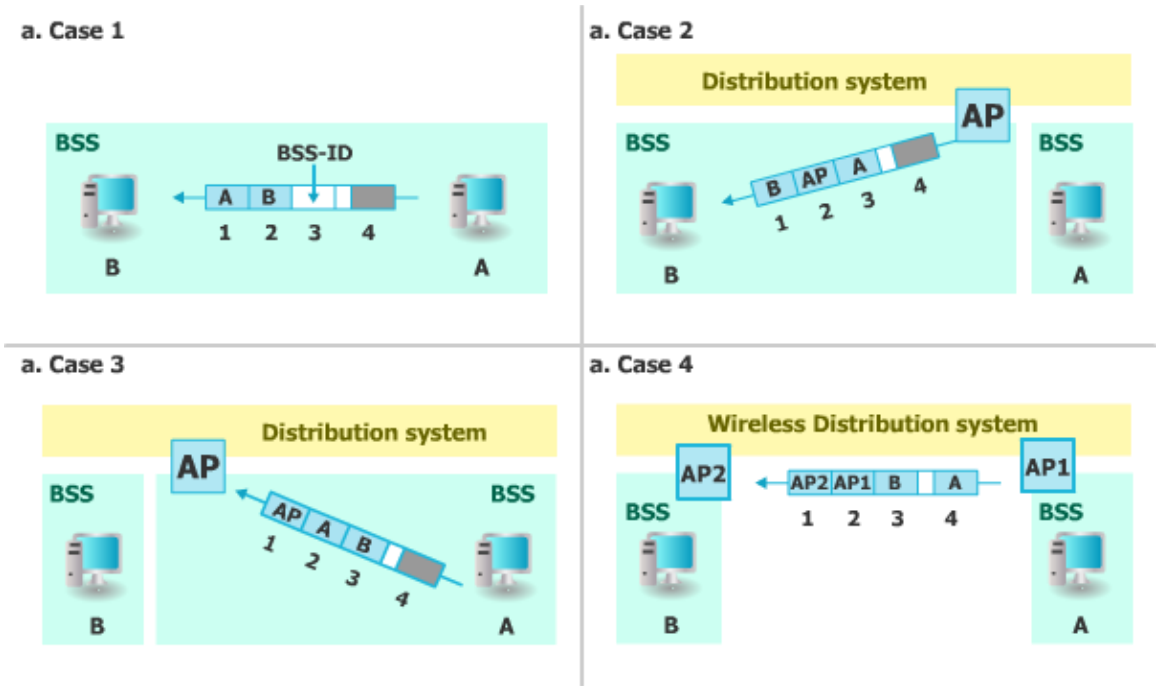
تتضمن آليات العنونة أربعة حالات يجري تحديدها وفق الخانتين To DS, From DS، وتمثل العناوين الفيزيائية للمحطات– أي العنونة على مستوى طبقة MAC. يبين الشكل 9–3 الحالات الأربعة.

تُستخدم الحالة الأولى عند الإرسال من محطة لأخرى مباشرة – حالة Ad hoc network وتشغل ثلاثة حقول من حقول العنونة، يُحدَّد فيها عنوان المرسل وعنوان المستقبل والرقم التعريفي للشبكة Service Set ID (SSID). عند إنشاء الشبكة يجري إعطاؤها رقم تعريفي SSID يجري استخدامه عند تبادل الأطر بين محطات الشبكة. يمثل الحقل الأول عنوان مستقبل الإطار والحقل الثاني عنوان مرسل الإطار والحقل الثالث الرقم التعريفي للشبكة.

تُستخدم الحالة الثانية عند إرسال إطار من نقطة ولوج إلى محطة مرتبطة معها. يمثل الحقل الأول عنوان المحطة المستقبلة والحقل الثاني عنوان نقطة الولوج المـــــرُسلة للإطار، ويمثل الحقل الثالث عنوان المحطة مَصدر الإطار. يعبر الإطار بهذه الحالة نظام التوزيع.

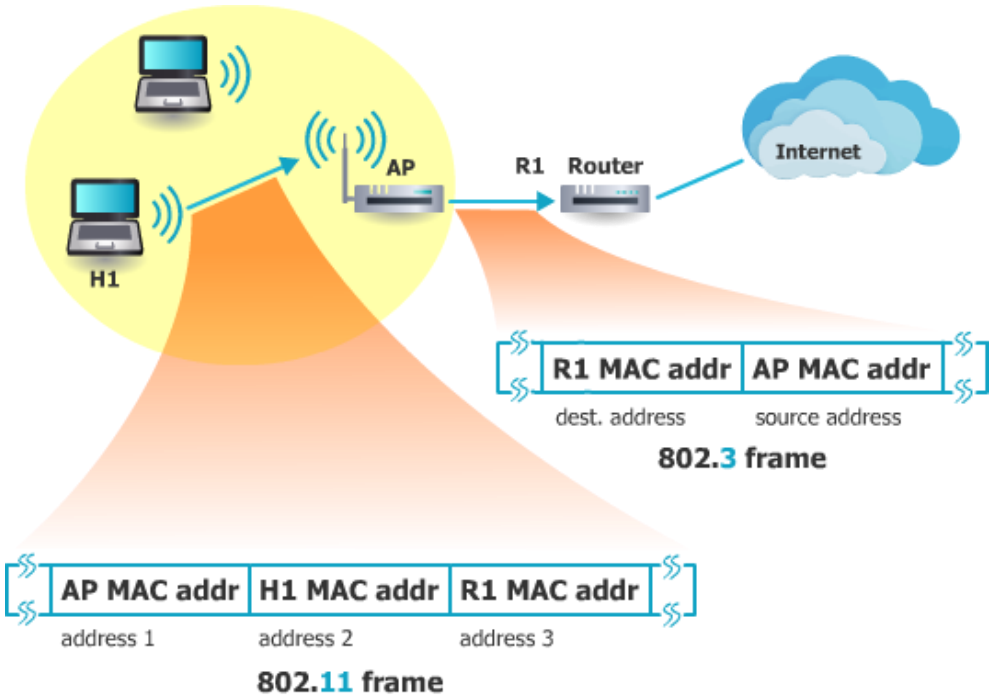
تُستخدم الحالة الثالثة عند إرسال إطار من محطة مرتبطة مع نقطة ولوج إلى نقطة الولوج بهدف إيصاله إلى المحطة الهدف. يمثل الحقل الأول عنوان نقطة الولوج المستقبِلة للإطار، والحقل الثاني عنوان المحطة المـــــرُسِلة للإطار، ويمثل الحقل الثالث عنوان المحطة هدف الإطار. كما يعبر الإطار بهذه الحالة نظام التوزيع.

الحالة الرابعة، تُستخدم في حال كان نظام التوزيع لاسلكياً. ترتبط نقطتا ولوج في هذه التشكيلة لتكون شبكة لاسلكية فيما بينهما، بينما تكوّن كل نقطة ولوج Infrastructure BSS. يمثل حقل الأول عنوان نقطة الولوج المستقبِلة للإطار، ويمثل حقل العنوان الثاني عنوان نقطة الولوج المـــــرُسِلة للإطار، ويمثل الحقل الثالث عنوان المحطة هدف الإطار، بينما يمثل الحقل الرابع عنوان المحطة مصدر الإطار. سيعبر الإطار بهذه الحالة نظام التوزيع اللاسلكي.



الشكل 9-3 آليات العنونة الأربعة في المعيار 802.11

يتضح أنه لايجري استخدام حقول العنونة جميعها، وإنما وفق الحالة. يبين الشكل 10-3 آلية العنونة الأكثر شيوعاً وهي الاتصال مع الانترنت، ففي الشكل تُرسل المحطة H1 المرتبطة مع نقطة الولوج إطاراً إلى وجهة ما في الإنترنت. يتضمن إطار الـــــ MAC الصادر من المحطة H1 عنوان المستقبل – بهذه الحالة نقطة الولوج، وعنوان المرسل – بهذه الحالة H1، وعنوان وجهة الإطار – بهذه الحالة المسير الخاص بالشبكة المحلية. يقوم المسير عندها بتسيير الإطار خارج نطاق شبكته المحلية.



الشكل 10-3: إرسال إطار إلى خارج نطاق الشبكة المحلية

2.7. أنواع الأطر:

يعرّف المعيار 802.11 ثلاثة أنواع من الأطر، هي: أطر المعطيات، أطر التحكم، وأطر إدارة الشبكة.

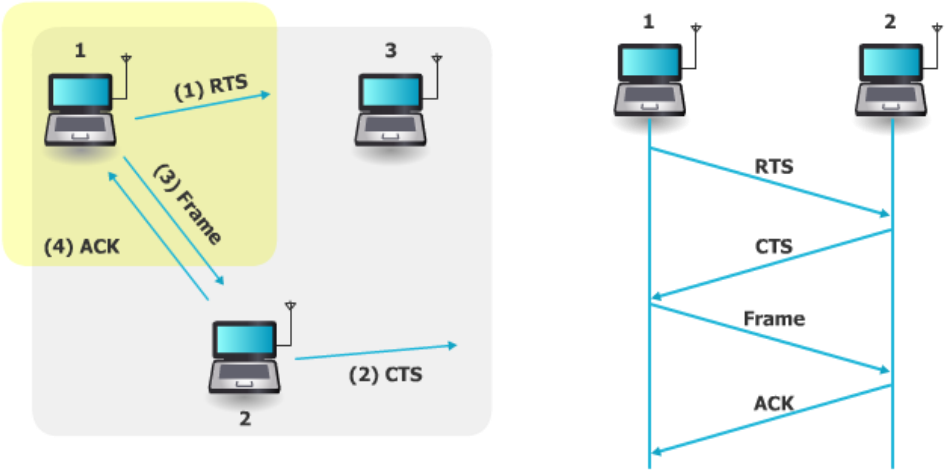
أطر المعطيات Data frames: يحمل هذا النوع من الأطر معطيات الطبقة العليا للمحطة المـُرسلة إلى المحطة المستقبِلة. وإضافة لوظيفته نقل المعطيات، يستخدم أيضاً لإشعار الطرف الآخر باستلام أطره Ack.

أطر التحكم Control frames: تضمن أطر التحكم إيصال أطر المعطيات بشكل موثوق إلى المستقبل. تشمل هذه الأطر:

- إطار "طلب إرسال" Request to send (RTS): وهو أول إطار ضمن سيرورة إرسال إطار معطيات. تقوم المحطة المـُرسلة لهذا الإطار بإخبار المحطة المستقبِلة المعنية وكل محطات الجوار ضمن المجال الراديوي عن نيتها بإرسال إطار معطيات إلى المحطة المعنية. يبين الشكل 3-11 المراحل الأربعة لتحقيق إرسال إطار بشكل موثوق. وفق الشكل تقوم المحطة 1 بإرسال إطار RTS إلى المحطة 2.
- إطار "جهوزية المستقبل" Clear to send (CTS): وهو الإطار الثاني ضمن سيرورة إرسال إطار معطيات. تقوم المحطة التي استقبلت إطار RTS بالإجابة على هذا الإطار بإطار CTS،

للدلالة على جهوزيتها لاستقبال إطار معطيات. وفق الشكل تقوم المحطة 2 بالإجابة بإطار CTS. بعد استلام هذا الإطار من المحطة 1 تقوم هذه بإرسال إطار المعطيات إلى المحطة 2.

- إطار "إشعار الاستلام" ACK: وهو آخر إطار ضمن سيرورة إرسال إطار معطيات. تقوم المحطة التي استقبلت إطار معطيات بإشعار المحطة المـــــرُسِلة بأنها استلمت إطار المعطيات بشكل سليم عبر إرسال إطار "إشعار الاستلام" إلى تلك المحطة. وفق الشكل تقوم المحطة 2 بإشعار المحطة 1 بالاستلام السليم لإطار المعطيات. كما ويُستخدم إطار "إشعار الاستلام" للدلالة على الاستقبال السليم لأطر "إدارة الوصلة".



الشكل 11-3: المراحل الأربعة لتحقيق إرسال إطار بشكل موثوق

أطر "إدارة الوصلة" Management frames: تهدف أطر إدارة الوصلة إلى إنشاء وإدارة الاتصال بين المحطة اللاسلكية ونقطة الولوج. تشمل هذه الأطر مايلي:

- الأطر التي جرى ذكرها بوظائف المعيار 802.11 وهي: طلب ارتباط Association request، الرد على طلب الارتباط Association response، طلب إعادة الارتباط Reassociation request، الرد على طلب إعادة الارتباط Reassociation response، طلب إنهاء الارتباط Disassociation.
- الإطار المـــــرُشد Beacon frame: تقوم نقطة الولوج بإرسال إطار مُـــــرشد بشكل دوري للدلالة على وجودها ولتقوم بتعريف BSS الخاصة بها.
- إطار السبر Probe request: تقوم محطة بإرسال إطار السبر للحصول على معلومات من محطة أخرى أو من نقطة ولوج.
- رد على إطار السبر Probe response: الرد على إطار السبر.

8. الطبقة الفيزيائية:

تهدف الطبقة الفيزيائية بشكل رئيسي إلى إرسال أطر الـ MAC إلى الوسط المحيط، كذلك استقبال الأطر من الوسط المحيط وتسليمها إلى طبقة الـ MAC.

من جهة المـُرسل، يصل الإطار من طبقة الـ MAC إلى الطبقة الفيزيائية مرفقاً مع مجموعة من المعاملات. تحدِّد تلك المعاملات الخيارات التي ستستخدمها الطبقة الفيزيائية لإرسال الإطار عبر الوسط المحيط. تختلف تلك المعاملات تبعاً للطبقة الفيزيائية المـُستخدمة والتي تختلف من جيل لآخر في شبكات الـ WiFi. يمكن أن تتضمن تلك المعاملات التالي: معدل الإرسال، الفترة الزمنية لإرسال الإطار، نوع التعديل المـُستخدم، مستوى استطاعة الإشارة المـُرسلة. يلاحظ أنه يجري تحديد تلك المعاملات من قبل طبقة الـ MAC. ويساهم اختيار تلك المعاملات في الحصول على أعلى أداء ممكن للشبكة اللاسلكية ضمن شروط البيئة المحيطة.

من جهة المستقبل، تستقبل الطبقة الفيزيائية الإطار من الوسط المحيط، لتقوم باستخلاص إطار الـ MAC وترسله إلى طبقة الـ MAC مع مجموعة من المعاملات. تُماثل هذه المعاملات تلك المذكورة أعلاه مضافاً إليها شدة الإشارة المـُستقبلة. يُفيد قياس ومعرفة شدة الإشارة المستقبلة لضبط مستوى الإشارة التي سترسل لاحقاً.

تطورت تقانات الطبقة الفيزيائية تبعاً لأجيال المعيار 802.11. اعتمدت الطبقة الفيزيائية للجيل الأول الذي يرمز له ببساطة 802.11 على عدة تقانات وبلغ معدل إرسال المعطيات 1Mbps أو 2 Mbp وتقانات الإرسال هي: الطيف المنثور بالسلسة المباشرة DSSS والطيف المنثور بالقفز الترددي FHSS في المجال الترددي ISM band 2.4 Ghz، والتقانة الثالثة هي الأشعة تحت الحمراء بأطوال موجه بين 850 و950 نانومتر. جرى استبدال الجيل الأول سريعاً بأجيال لاحقة ولم تعد لتلك التقانات وجود منذ فترة طويلة في بطاقات الشبكات اللاسلكية.

يبين الجدول 1-3 التقانات اللاحقة للمعيار 802.11 ويتضمن الجدول المجال الترددي المستخدم وأنواع التعديل المختلفة المستخدمة بكل نوع وتقانات الإرسال. إضافةً لأنواع التعديل المختلفة يجري في الطبقة الفيزيائية استخدام ترميز تلفيفي Convolutional code بمعدلات 1/2، 2/3، 3/4 لترميز المعطيات المعدة للإرسال. يعطي الترميز التلفيفي إمكانية كشف وتصحيح الأخطاء في الإطار المستخدم، ففي معدل الترميز الأول 1/2 يولد المرمز بتان مقابل كل بت معطيات، وفي الحالة الثانية 2/3 يولد ثلاثة بتات مقابل بتان معطيات، أما في الحالة الأخيرة 3/4 فيولد أربعة بتات مقابل ثلاث بتات معطيات. يعطي معدل الترميز الأول 1/2 أفضل أداء من ناحية كشف وتصحيح الأخطاء، ولكن على حساب مضاعفة عدد البتات المرسلة بالنسبة للمعطيات الأصلية.

	Year Introduced	Frequency Band (GHz)	Transmit Schemes	Modulation Types
802.11a	1999	5	DSSS/OFDM	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
802.11b	1999	2.4	DSSS	CCK
802.11g	2003	2.4, 5	DSSS/OFDM	CCK,BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
802.11n	2009 (est.)	5	MIMO-OFDM	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
802.11ac	2013	5	MIMO-OFDM	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM

الجدول 1-3: تقانات المعيار 802.11

يجري تحديد معدل الإرسال وفقاً لنوع التعديل ومعدل الترميز المستخدمين تبعاً لجودة الإشارة في وسط الانتشار بين المرسل والمستقبل. ففي وسط انتشار ذو ضجيج مرتفع يجري اختيار أدنى نوع تعديل، مثلاً: BPSK، وأفضل معدل ترميز، 1/2 وبهذا يجري الحصول على أدنى معدل إرسال متاح للمعيار. وبالعكس، إذا كان وسط الانتشار خال تقريباً من الضجيج يجري اختيار أعلى نوع تعديل، مثلاً: 64-QAM، وأدنى معدل ترميز، 3/4 وبهذا يجري الحصول على أعلى معدل إرسال متاح للمعيار. وبهذا تُتاح خيارات متعددة من نوع التعديل ومعدل الترميز للحصول على أفضل أداء للشبكة اللاسلكية وفق الشروط المحيطية.

9. الأسئلة:

1. ماهي مجالات التطبيق المختلفة للشبكات اللاسلكية المحلية.
2. اشرح المتطلبات الواجب على الشبكات اللاسلكية المحلية تلبيتها.
3. ما الفرق بين المعيار 802.11 و Wi-Fi.
4. اشرح أنواع هيكليات الشبكة التي يؤمنها المعيار 802.11.
5. اشرح أنواع التنقلية التي يدعمها المعيار 802.11.
6. اشرح الوظائف التي يؤمنها المعيار 802.11 لتقدم الشبكات اللاسلكية نفس الإمكانيات التشغيلية التي تؤمنها الشبكة المحلية السلكية.
7. وضّح كيف يؤمن المعيار 802.11 التسليم الموثوق للمعطيات.
8. ما الفرق بين خوارزميتي التحكم بالنفاذ: خوارزمية التنسيق الموزعة و خوارزمية التنسيق المركزية.
9. وضّح كيف يمكن أن تحدد أزمان التأخير المختلفة المستخدمة ضمن خوارزمية CSMA/CA أولويات الإرسال للمحطات.
10. اشرح كيف يمكن لشبكة Ad hoc networks وشبكة Infrastructure BSS أن تتنازعا للاستحواذ على وسط الانتشار ضمن نفس المنطقة الجغرافية.
11. ما الفائدة من حقول العنونة الموجودة ضمن إطار طبقة الـــــ MAC. اشرح طريقة استخدامهم.
12. ماهي أنواع الأطر التي يستخدمها المعيار 802.11، واشرح وظيفة كل نوع.
13. كيف يجري تحديد معاملات الإرسال في الطبقة الفيزيائية، ولماذا يجري تغيير تلك المعاملات من فترة لأخرى؟
14. ماهي معاملات الإرسال بحال وجود ضجيج مرتفع في وسط الانتشار؟ وماهي تلك المعاملات في حال كان وسط الانتشار خال تقريباً من الضجيج؟

الفصل الرابع: وصف الشبكات اللاّسلكيّة واسعة المجال
Wideband wireless networks description (WiMax)

عنوان الموضوع:

وصف الشبكات اللاّسلكيّة واسعة المجال WiMax: Wideband wireless networks description
الشبكات اللاسلكية Wireless networks

الكلمات المفتاحية:

هيكلية الشبكات اللاسلكية واسعة المجال WiMAX WiMAX architecture، معايير الشبكات اللاسلكية واسعة المجال WiMAX WiMAX standards، بنية الإطار في الوصلة الهابطة والصاعدة للمعيار WiMAX – WiMAX downlink and uplink frame structure، جودة الخدمة في المعيار WiMAX – WiMAX quality of service، طبقة النفاذ في المعيار WiMAX MAC layer.

ملخص:

نقدم للطالب في هذا الفصل فكرة عن الهدف من تطوير الشبكات اللاسلكية واسعة المجال. يجري شرح هيكلية هيكلية الشبكة اللاسلكية WiMAX ومكوناتها. يتعرف الطالب على مهام طبقة النفاذ وعلى تكوين الإطار. يجري إعطاء فكرة عن أنواع جودة الخدمة التي يقدمها المعيار WiMAX, كما يعرف الطالب على التقانات المختلفة المستخدمة بالطبقة الفيزيائية.

أهداف تعليمية:

يتعرف الطالب في هذا الفصل على:

- تطبيقات الشبكات اللاسلكية واسعة المجال WiMAX.
- هيكلية الشبكة WiMAX.
- مهام طبقة النفاذ وتكوين الإطار.
- جودة الخدمة.
- تقنيات الطبقة الفيزيائية.

المخطط:

1. تطور تقانات الشبكات اللاسلكية واسعة المجال WiMAX ومواصفاتها.
2. هيكلية الشبكة WiMAX.
3. تقنية الإرسال باستخدام OFDMA.
4. بنية الإطار في الوصلة الهابطة الصاعدة.
5. التقنيات في الطبقة الفيزيائية:
   - كشف وتصحيح الأخطاء والتعديل المتكيف.
   - تعدد الهوائيات.
6. مهام طبقة النفاذ.
7. جودة الخدمة المقدمة.
8. منهجية الانضمام إلى الشبكة.

مقدمة: وصف الشبكات اللاّسلكيّة واسعة المجال WiMax.

جرى تطوير شبكات WiMAX وشبكات WiFi بشكل مستقل الواحدة عن الأخرى لمجالات ترددية مختلفة ولأهداف متباينة. فقد جرى العمل على شبكات WiMAX من خلال السعي لتقديم نفاذ لاسلكي للشبكات واسعة المجال، بينما كان هدف شبكات WiFi توسعة لاسلكية للشبكات المحلية السلكية. وبناءً على ذلك تباينت التقانات المستخدمة في طبقات الـــ MAC والطبقات الفيزيائية نتيجة أن كلاً منها جرى تصميمه بالشكل الأمثلي لتحقيق الهدف المرجو منه. ومع ذلك يجمع كلا النوعين قاسم مشترك بكونهم جرى تطويرهم تحت جناح هيئة IEEE 802، التي طورت معايير متنوعة للاتصال وللنفاذ مستندةً على مبدأ "نمط بروتوكول الإنترنت" IP-mode المعتمِد على تقنية الحِزَم Packet-mode.

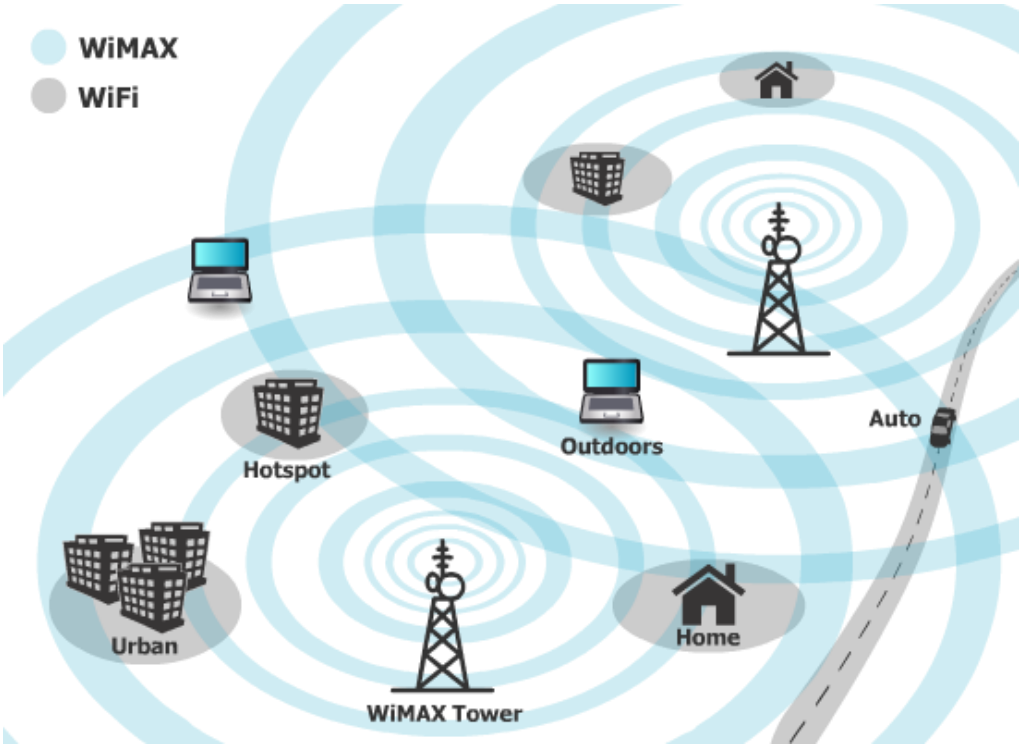
يبين الشكل 1-4 البنية العامة لشبكة WiMAX، وتظهر فيه البنية الخلوية للشبكة، حيث يقوم كل برج من أبراج الشبكة بتغطية منطقة تتضمن مختلف أنواع المستخدمين بما فيها شبكات محلية لاسلكية WiFi.

تحالف WiMAX:

كما هو الحال بتسمية WiFi جرى اعتماد اسم WiMAX "World Interoperability for Microwave Access" بعام 2001 من قبل الشركات الصانعة لتجهيزات الشبكات اللاسلكية كوثيقة مطابقة للتجهيزات التي تعمل وفق المعيار 802.16 لضمان العمل المشترك للتجهيزات بعضها مع بعض المصنّعة من شركات مختلفة.

مواصفات WiMAX:

تعتمد WiMAX على المعيار IEEE 802.16 وتُعتبر من نوع الشبكات الإقليمية Metropolitan Area Networks (MAN). تغطي شبكة WiMAX مساحة نصف قطرها يتعدى 15 كم وفق الجيل المستخدم، ويدعم المحطات اللاسلكية الثابتة والمتنقلة والمحمولة. تُعتبر WiMAX مناسبة للتطبيقات التالية: تؤمن للمشتركين وخاصةً البعيدين منهم (Last mile users) اتصالاً لاسلكياً عريض الحزمة مع مزودي الخدمة كبديل عن الخطوط المحورية أو خطوط "حلقة المستخدم الرقمية" Digital Subscriber Loop (DSL)، تتيح التنقل للمحطات اللاسلكية المحمولة عبر المدن والبلدان، تتيح الاتصال مع الإنترنت بما يتضمنه من تراسل للمعطيات والتراسل الصوتي عبر الإنترنت إضافةً لخدمات البث التلفزيوني على الإنترنت (IPTV). ونتيجةً لتهاود أسعار نشر شبكة WiMAX مقارنة مع الأنظمة الخلوية النقالة أو مع الكابلات النحاسية أو الضوئية تقدم هذه التقنية حلاً عملياً للمشتركين البعيدين عبر تزويدهم بالاتصال اللاسلكي عريض الحزمة مع الإنترنت.



الشكل1-4: البنية العامة لشبكة WiMAX

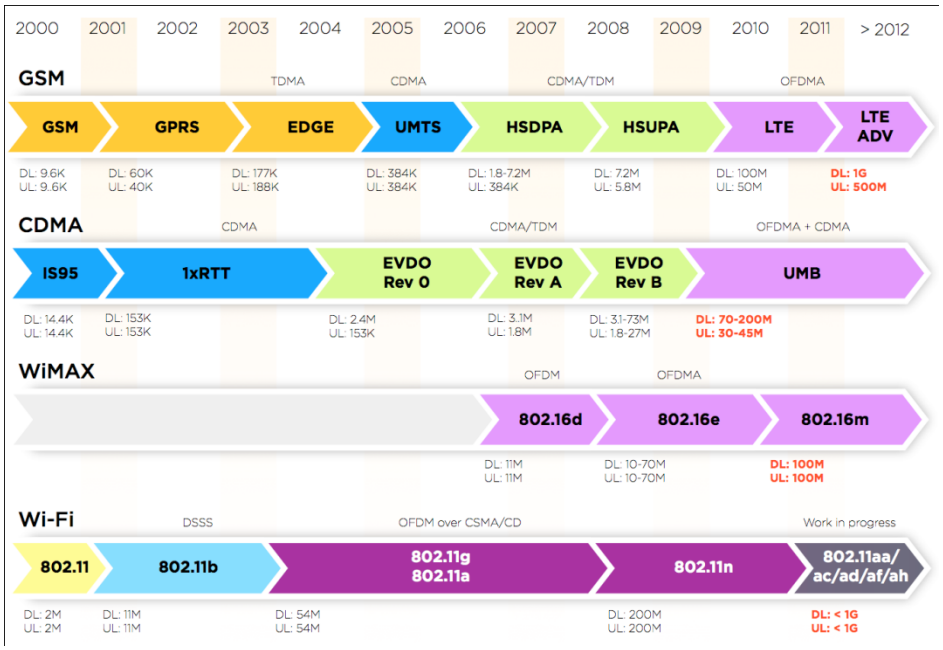
1. تطور تقانات الشبكات اللاسلكية واسعة الحزمة:

مرّت تقانات الشبكات اللاسلكية واسعة الحزمة عبر أربعة مراحل

يبين الشكل 2-4 تطور تقنيات WiMAX مقارنة مع WiFi ومع التقانات المختلفة للأنظمة النقالة من حيث سعة النقل في الوصلة الصاعدة والهابطة.

- الأنظمة اللاسلكية المحلية ذات الحزمة الضيقة: وُضِعت بالخدمة بأواسط تسعينيات القرن الماضي، وأدت دوراً فعالاً في البلاد قيد التطوّر كبنية تحتية للخدمات التلفونية.
- الجيل الأول من الأنظمة اللاسلكية واسعة الحزمة: كانت تعمل تلك الأنظمة في المجالين الترددين 24 GHz و 39 GHz، ويتطلب العمل في هذين المجالين توفر خط نظر Line of sight بين المرسل والمستقبل لتحقيق الاتصال. تطلب هذا الجيل نشر أبراج عالية الارتفاع التي تتيح تحقيق خط نظر لمسافة تبلغ 50 كيلومتر باستخدام مرسلات ذات استطاعة عالية. وتوجب على المستخدمين نشر هوائيات خارج المنازل لتحقيق خط النظر.

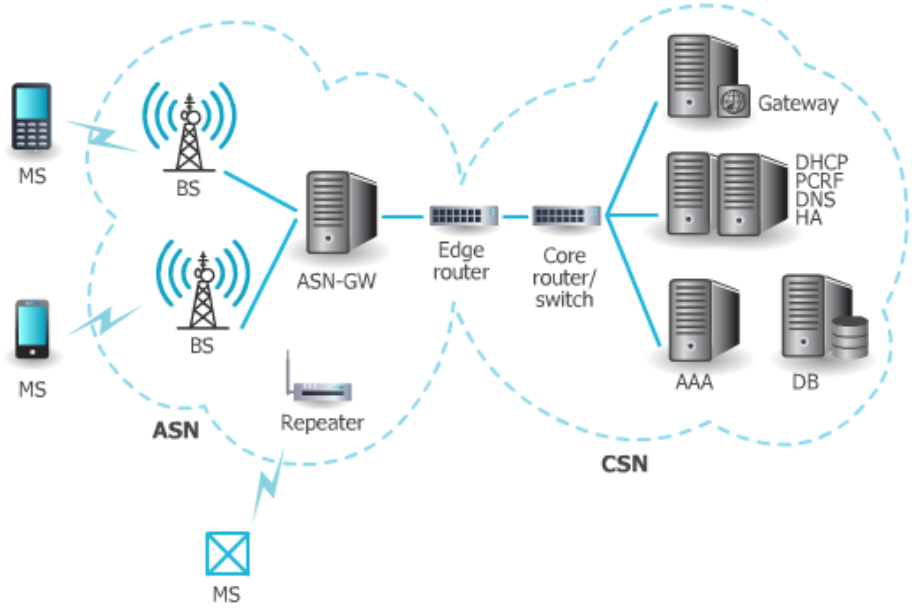
- الجيل الثاني من الأنظمة اللاسلكية واسعة الحزمة: يعمل هذا الجيل في المجال الترددي 11 GHz، ولا يتطلب تحقيق خط نظر بين المرسل والمستقبل، وهو ذو بنية خلوية ويستخدم تقنيات متقدمة لرفع أداء نظام في ظل وجود مسارات متعددة للإشارة المرسلة.
- الجيل المعتمد على المعايير: في بدايات الألفية الثانية جرى اعتماد المعيار 802.16 للشبكات اللاسلكية الإقليمية ليعمل بدايةً في المجال الترددي من 10 GHz إلى 66 GHz، ثمّ في الأجيال اللاحقة ليعمل في المجال من 2 GHz إلى 11 GHz أي ليعمل بدون تحقيق خط نظر بين المرسل والمستقبل.



الشكل 2-4: مقارنة بين تطور تقنيات WiMAX و WiFi وتقانات الاتصالات النقالة

2. هيكلية الشبكة:

تقدّم هيكلية الشبكة رؤية عن تجهيزاتها والارتباطات الفيزيائية بين عناصرها كما يبين الشكل 3-4. تُقسّم الكيانات الوظيفية ضمن شبكة WiMAX إلى ثلاثة مجموعات هي: المحطة المتنقلة Mobile Station (MS)، و"شبكة خدمات النفاذ" Access Service Network (ASN) و"شبكة خدمات الاتصال" Connectivity Service Network (CSN). تُعتبر المحطة المتنقلة الطرفية النهائية للشبكة، و"شبكة خدمات النفاذ" الكيان المسؤول عن النفاذ للشبكة، و"شبكة خدمات النفاذ" نواة الشبكة التي تقدم الخدمات الداعمة.



ASN (Access Service Network).

BSs and ASN-GWs (Access Service Network Gateways).

CSN (Connectivity Service Network) : routers/switches and various servers, such as Authentication, uthorization, and Accounting (AAA) server, Home Agent (HA), dynamic host configuration protocol (DHCP) server, Domain Name Service (DNS) server, and policy and charging rules function (PCRF) server.

الشكل3-4: هيكلية شبكة WiMAX

المحطة المتنقلة MS:

المحطة المتنقلة أو ماتُعرف بتسمية أخرى "محطة المشترك" Subscriber station (SS) هي بشكل عام جهاز يؤمن الاتصال بين المشترك والمحطة القاعدية. ويمكن للمحطة الواحدة أن تكون عبارة عن مشترك وحيد أو عدة مشتركين.

شبكة خدمات النفاذ ASN:

شبكة خدمات النفاذ عبارة عن مجموعة متكاملة من الوظائف الشبكية اللازمة لتأمين النفاذ اللاسلكي للمشتركين بشبكة WiMAX. تحتوي شبكة خدمات النفاذ على المحطات القاعدية Base Station (BS) وبوابة (أو بوابات) عبور Gateway (GW) إلى شبكة خدمات الاتصال CSN. تمثّل المحطة القاعدية قِطاعاً من قِطاعات الشبكة ويُخصص لها مجال ترددي محدد للعمل ضمنه. وتتضمن المحطة القاعدية مجدولاً لإدارة موارد الحزمة الهابطة والصاعدة وفقاً لمتطلبات المشتركين. ترتبط كل محطة متنقلة مع محطة قاعدية واحدة، بينما يتوجب ارتباط كل محطة قاعدية مع أكثر بوابة عبور بهدف توزيع الأحمال من جهة، وتأمين خطوط بديلة لزيادة وثوقية الشبكة.

شبكة خدمات الاتصال CSN:

شبكة خدمات الاتصال عبارة عن مجموعة من الخدمات الشبكية التي تؤمن خدمات الاتصال للمشتركين على مستوى بروتوكول الإنترنت IP. ولتأمين تلك الخدمات، تتضمن شبكة خدمات الاتصال عدد من المسيّرات routers والمبدّلات switches للربط بين مختلف وحداتها الداخلية وللربط بينها وبين شبكة خدمات النفاذ من جهة، وبينها وبين شبكة الإنترنت من جهة أخرى، كما تتضمن شبكة خدمات الاتصال أيضاً مجموعة من المخدّمات، مثل: مخدم "التحقق من الهوية والسماح بالنفاذ وإدارة الحسابات" Authentication, authorization, and accounting (AAA) server، مخدّم "توزيع عناوين الإنترنت" Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) المعني بالتوزيع الديناميكي لعناوين الإنترنت على المشتركين عند دخولهم إلى شبكة WiMAX، ومخدّم "وكيل المنزل" Home Agent (HA) المختص بإدارة العناوين المخصصة للمشتركين عند تجوالهم، ومخدّم "أسماء النطاقات"Domain Name Service (DNS) لتحويل عناوين IP إلى أسماء وبالعكس تحويل أسماء نظام شبكة الإنترنت إلى عناوين IP، ومخدّم "قواعد السياسات والفوترة" Policy and Charging rules function (PCRF) المختص بإدارة سياسات الخدمة ولإصدار المعلومات الخاصة بإعدادات جودة الخدمة والمحاسبة.

الطبقة الفيزيائية:

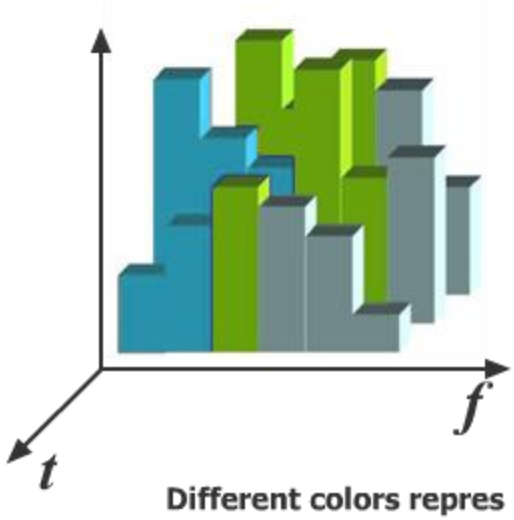
يتضمن المعيار 802.16 أربعة أنواع مختلفة من الطبقات الفيزيائية تعمل ضمن مجالات ترددية مختلفة وتعتمد على تقانات نفاذ مختلفة. وتعتمد Mobile WiMAX على تقنية النفاذ OFDMA، ونظراً لحداثة هذه التقنية نسبياً مقارنةً مع التقانات الأخرى، سيُقتَصر الشرح على الطبقة الفيزيائية التي تستخدم تلك التقنية.

تقدم تقانات OFDM، OFDMA و SOFDMA (Scaleable OFDMA) المستخدمة ضمن الطبقة الفيزيائية مقاومة عالية لظاهرة تعدد المسارات في استقبال الإشارة، وبهذا تسمح بالعمل ضمن شروط عدم وجود خط نظر بين المرسل والمستقبل، إضافة لذلك، وبالتضافر مع استخدام تقانة الهوائيات المتعددة MIMO (Multiple Inputs Multiple Outputs) يسمح للمحطة بحركية تتجاوز 200 كم/سا، كما وتسمح بنية الطبقة الفيزيائية من التوسع بحيث يمكن زيادة عرض الحزمة المستخدمة مما يسمح بزيادة معدل الإرسال.

3. تقنية الإرسال وفق OFDMA:

كما ذُكر في الفصل الثاني، تعمل تقنية OFDMA على تقسيم عرض الحزمة المتاحة للإرسال إلى عدد كبير من الحوامل الترددية الفرعية، ويجري تخصيص كل محطة متنقلة مرتبطة مع المحطة القاعدية بعدد معيّن من الحوامل الفرعية. ويبين الشكل 6-2 في فصل سابق مثالاً لتوزيع الحوامل الفرعية على أربعة محطات، كلاً منهم مخصَّص بعدد محدد من الحوامل الفرعية.

يدعم المعيار WiMAX عدد من المنهجيات لتوزيع الموارد الترددية والزمنية بين المستخدمين، مهمتها تعريف قنوات فرعية ضمن القناة الأساسية – قناة فرعية لكل مستخدم، ويجري تعريف القنوات الفرعية عن طرق حيـــزّات slots. يعتبر الحيـــزّ الوحدة الأساسية التي يمكن للمحطة القاعدية أن تخصّصها لمحطة متنقلة من الموارد الترددية-الزمنية. ويعرَّف الحيـــزّ بعدد من الحوامل الترددية الفرعية الممتدة زمنياً لفترة رشقة واحدة symbol من رشقات OFDMA أو رشقتين أو ثلاث رشقات، ويعتمد عددهم على خوارزمية التخصيص المتّبعة في المحطة القاعدية. والحيـــزّ هو أقل مورد يمكن حجزه لمحطة أو مستخدم. تقوم خوارزمية الجدولة في المحطة القاعدية بتخصيص كل محطة مرتبطة معها بعدد من الحيـــزّات وفقاً لطلب المحطة وجودة الخدمة المطلوبة وحالة قناة الانتشار. يبين الشكل 4-4 مثالاً لتوزيع حيـــزّات على ثلاثة محطات. يمثل الشكل ثلاثة رشقات OFDMA، تقوم المحطة القاعدية بكل منها بتخصيص عدد من الحوامل الفرعية الترددية لمحطة ويشير كل لون على الترددات المخصصة لمحطة محددة.



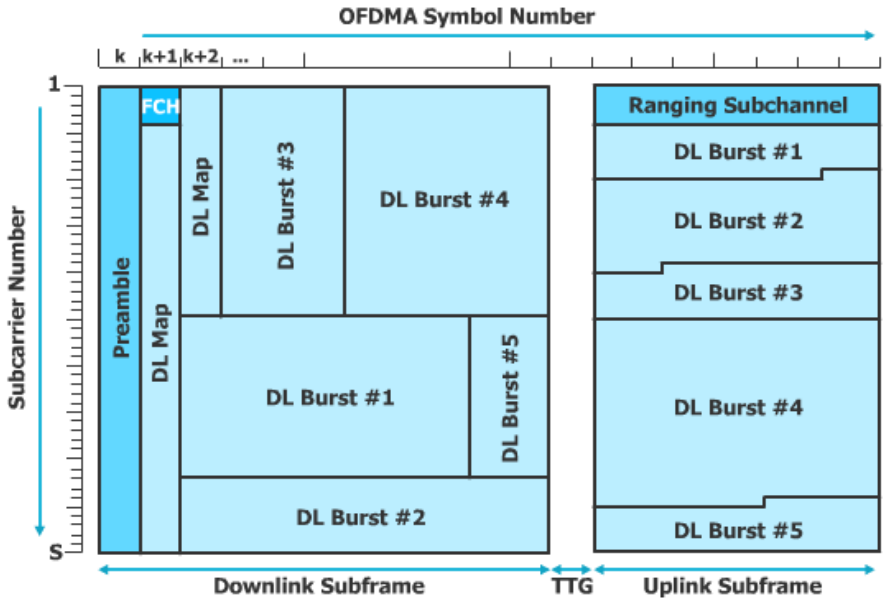
الشكل 4-4: مثال على تخصيص حوامل ترددية فرعية على ثلاثة مستخدمين

4. بنية الإطار:

يوضح الشكل 4-5 مثالاً لهيكلية إطار OFDMA لمعيار WiMAX باستخدام منهجية TDD. يتكون الإطار من زمن مخصص للوصلة الهابطة – من المحطة القاعدية إلى المستخدمين Down Link DL، وزمن مخصص للوصلة الصاعدة – من المستخدمين إلى المحطة القاعدية Up Link UL يفصل بينهما فجوة زمنية محددة. يدل الترقيم *K, K+1,...* على تسلسل رشقات OFDMA، بينما يدل الترقيم *1,...,S* على الحوامل الترددية الفرعية.

يبدأ الإطار في الوصلة الهابطة برشقة تمهيدية Preamble تحدد بداية رشقات المحطة القاعدية، وتفيد في ضبط التزامن عند المحطات المـُستقبِلة مع الإطار القادم، كما وتستخدم هذه الرشقة التمهيدية لتقدير حالة قناة الانتشار.

تلي الرشقة التمهيدية مجموعة الحقول FCH, DL map, UL map. يحدد الحقل الأول Frame Control Header FCH مجموعة من المحددات مثل طول الإطار في الوصلة الهابطة والصاعدة. ويحدد الحقل الثاني DL map المعلومات الخاصة بالاستقبال لكل محطة من المحطات المتنقلة المرتبطة مع المحطة القاعدية، حيث يجري إخبار كل محطة عن الحيزات الزمنية المخصصة لها خلال الوصلة الهابطة وتتضمن الحوامل الترددية الفرعية وعدد الرشقات لهذه المحطة. وفق الشكل 4-5 تقوم المحطة القاعدية بالإرسال لخمسة محطات لكل منها حيـــزّاتها المحددة وفق الشكل.



الشكل 5-4: مثال على هيكلية إطار OFDMA لمعيار 802.16

يحدد الحقل الثالث UL map المعلومات الخاصة بالإرسال لكل محطة من المحطات المتنقلة المرتبطة مع المحطة القاعدية، حيث يجري إخبار كل محطة عن الحيـــزّات المخصصة لها خلال الوصلة الصاعدة وتتضمن الحوامل الترددية الفرعية وعدد الرشقات لهذه المحطة. وفق الشكل 5-4 تقوم خمس محطات بالإرسال إلى المحطة القاعدية لكل منها حيـــزّاتها الخاصة بها.

ضمن الوصلة الصاعدة يُخصّص عدد من الحوامل الفرعية لأهداف متنوعة تسمى Ranging subchannels، يجري استخدام تلك الحوامل الفرعية من المحطات الراغبة بالانضمام إلى الشبكة وتستخدم تلك المحطات تقنيات النفاذ العشوائي لإرسال طلبها إلى المحطة القاعدية، كما وتُستخدم تلك الحوامل الفرعية لإجراء عمليات الضبط الدورية للتردد والزمن واستطاعة الإرسال.

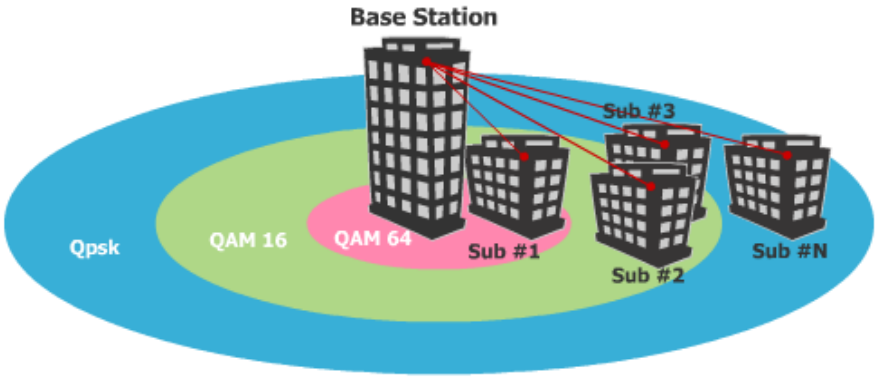
وبهذا يتيح المعيار 802.16 حمل معطيات ضمن إطار واحد لعدة محطات بأحجام وأنماط مختلفة، كما وإن حجم الإطار يتغير من إطار لآخر. ويمكن لإطار واحد من أطر المعيار 802.16 أن يحمل عدة أطر أو جزء من تلك الأطر -ذات حجم ثابت أو متغيرة الحجم- التابعة لأحد المحطات الواردة من تطبيقات الطبقات العليا.

5. التقنيات في الطبقة الفيزيائية:

1.5. كشف وتصحيح الأخطاء والتعديل المتكيف:

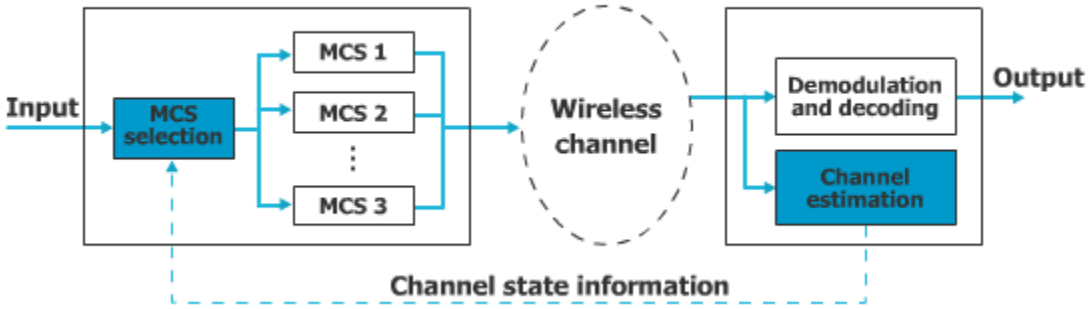
تستخدم الطبقة الفيزيائية الترميز التلفيفي (convolutional coding) لكشف وتصحيح الأخطاء بمعدلات ترميز 1/2 و 2/3 و 3/4 و 5/6. من جهة الإرسال تخضع المعطيات المعدَّة للإرسال إلى الترميز بأحد المعدلات المتاحة قبل إعدادها للإرسال. ثمّ تُعدّل المعطيات بعد ترميزها بأحد أنواع التعديل BPSK ، QPSK ، 16 QAM أو 16 QAM ليجري توزيعها على الحوامل الفرعية المخصصة لتلك المعطيات. ومن جهة المـــُستقبل يجري استخلاص الإشارات من الحوامل الفرعية وفك تعديلها ومن ثم فك ترميزها للحصول على معطيات الخرج. تقوم الطبقة الفيزيائية – المدعومة بعدة أنواع من التعديل وعدة أنواع من الترميز بمعدلات مختلفة – بتخصيص كل مستخدم بنوع من التعديل والترميز وبكل إطار مـــُرسل اعتماداً على حالة قناة الانتشار.

ففي حال كون المحطة المتنقلة قريبة من المحطة القاعدية مع وجود شروط جيدة لقناة الانتشار يجري استخدام تعديل ذو رتبة عالية– مثلاً 64–QAM، ومعدل ترميز عالي– مثلاً 5/6 لرفع معدل الإرسال. بينما وعلى حدود الخلية للمحطة القاعدية حيث تكون شروط قناة الانتشار ضعيفة – تخميد عال والتشويش الناجم عن الخلايا المجاورة – يجري استخدام تعديل ذو رتبة منخفضة – مثلاً QPSK، ومعدل ترميز منخفض – مثلاً 1/2 لحماية المعطيات المـــُرسلة من الأخطاء على حساب تخفيض معدل الإرسال، كما هو مبين في الشكل 6–4.



الشكل 6–4: الترميز والتعديل المتكيّف.

يقوم المستقبل في المحطة المتنقلة بتقدير حالة قناة الانتشار ويُخبر المحطة القاعدية بتلك المعطيات عبر التغذية الراجعة Feed–back، لتقوم المحطة القاعدية بتحديد رتبة التعديل ومعدل الترميز Modulation and Coding Scheme (MCS) الواجب استخدامهم مع تلك المحطة على الوصلة الهابطة والصاعدة خلال الإطار القادم، كما يبين الشكل 7–4.



الشكل 7–4: تحديد الترميز والتعديل المناسب للإرسال .

وهكذا بإمكان شبكة WiMAX تأمين معدل إرسال عالٍ لمحطة متنقلة ما شريطة توفر جودة إشارة مناسبة وذلك باستخدام رتبة تعديل ملائمة، ومعدل ترميز لكشف وتصحيح الأخطاء، والتعددية في هوائيات الإرسال.

2.5. تعدد الهوائيات:

يدعم المعيار 802.16 في الطبقة الفيزيائية استخدام تقنيات الهوائيات المتعددة Multiple input– Multiple output (MIMO) لأهداف مختلفة:

- يجري استخدام تقنية تشكيل شعاع الإرسال Beamforming لرفع معدل الإرسال باتجاه محطة معينة عبر تشكيل وتوجيه شعاع الإرسال من عدة هوائيات باتجاه المحطة المستهدفة.
- يجري استخدام تقنية الترميز الزماني–المكاني Space–time coding لرفع وثوقية الإرسال باتجاه محطة ما، حيث يجري ترميز الإشارة قيد الإرسال وإرسالها عبر هوائيان، لكل إشارته الخاصة.
- يجري استخدام التنضيد المكاني spatial multiplexing لإرسال إشارات من المحطة القاعدية إلى عدة محطات، وتُرسل كل إشارة عبر هوائي بعد ترميزها وفق ترميز معين.

6. طبقة النفاذ:

تقوم طبقة النفاذ بالوظائف التالية:

- تؤمن الربط مع مختلف بروتوكولات الطبقة الأعلى المتوفرة حالياً، وبإمكانها التأقلم مع بروتوكولات أخرى مستقبلاً.
- تؤمن مرونة وفاعلية بالإرسال، بإمكانها تجزئة الأطر المـــُستلمة من الطبقات العليا – إذا كانت أكبر من عتبة معينة – قبل تسليمها إلى الطبقة الفيزيائية، وبالمقابل يمكنها دمج عدة أطر – بحجوم متساوية أو مختلفة – مـــــُستلمة من الطبقات العليا بإطار واحد قبل تسليمها إلى الطبقة الفيزيائية.
- تقوم بانتقاء المحددات واستطاعة الإرسال المناسبة لإرسال إطار المعطيات باتجاه محطة معينة.
- تحدد طبقة النفاذ جودة الخدمة المطلوبة لمحطة ما، وبناءً عليها تقوم بتخصيص هذه المحطة بالحيـــّزات اللازمة له بكل إطار صادر من المحطة المركزية.
- بعد تشكيل إطار المعطيات يجري تسليمه إلى المجدول. ونظراً لارتباط عدد كبير من المحطات مع المحطة القاعدية وتباين متطلبات المحطات من عرض الحزمة وجودة الخدمة يقوم المجدول في طبقة النفاذ بجدولة إرسال الأطر التابعة للمحطات المختلفة وفق الموارد المتاحة وجودة الخدمة المطلوبة.
- بما أن بنية شبكة WiMAX هي بنية خلوية، تؤمن طبقة النفاذ إدارة حركية المستخدمين بين خلايا الشبكة. يسمح المعيار انتقال مستخدم من محطة قاعدية لأخرى بطريقة مرنة seamless handover بدون انقطاع الاتصال. ولتحقيق ذلك يتطلب التعاون بين طبقة النفاذ وطبقة الإنترنت من جهة، وبين طبقة النفاذ والطبقة الفيزيائية من جهة أخرى.
- تؤمن طبقة النفاذ مستوى عالٍ من السرية بنقل المعطيات.
- تقوم بإعادة إرسال الإطار الذي جرى استقباله بشكل خاطئ، في حال جرى استخدام منهجية الإعادة الآلية.
- تدعم أنماط متنوعة من "حفظ الطاقة". يمكن لمحطة أن توقف اتصالها مع المحطة القاعدية لمدة محددة من الوقت وتضع نفسها بنمط sleep أو idle. خلال النمط الأول يتبع حالة التوقف زمن محدد لمتابعة الاتصال مع المحطة القاعدية. ويجري الاتفاق بين المحطة المتنقلة والمحطة القاعدية على زمن التوقف وزمن المتابعة. بينما خلال النمط الثاني لايتم تحديد زمن للمتابعة.
- تقوم بإجرائيات إنشاء الاتصال بين المحطة المتنقلة والمحطة القاعدية وإدامته.
- تؤمن خوارزمية نفاذ لتتشارك جميع المحطات المتنقلة بالترددات المخصصة لإنشاء الاتصال أو لطلب عرض حزمة محدد.

7. جودة الخدمة:

تُخصِّص المحطة القاعدية عرض حزمة محدد لكل مستخدِم من مستخدمي شبكة WiMAX وفقاً للتطبيق. ولتلبية المتطلبات المختلفة تدعم WiMAX أنماط متنوعة من جودة الخدمة تلبي حاجات التطبيقات المتباينة، بما فيها تطبيقات الخدمات الصوتية والوسائط المتنوعة، وذلك عبر تخصيصها عرض حزمة مناسب لكل نمط من أنماط جودة الخدمة. وقد جرى تصميم WiMAX لدعم عدد كبير من المستخدمين لكل منهم متطلباته من جودة الخدمة.

تصنَّف أنماط جودة الخدمة التي تدعمها WiMAX وفق:

- تدفق معطيات ثابت (constant bit rate): تدعم إرسال أطر ذات حجم ومعدل إرسال ثابتين. كمثال: خدمات نقل المكالمات الهاتفية بعد تنضيدها ضمن أطر E1 أو T1.
- تدفق معطيات بالزمن الحقيقي (real-time traffic): تدعم خدمات بالزمن الحقيقي ذات تدفق معطيات متغير (variable bit rate)، كمثال: خدمات الفيديو MPEG، التي تولِّد أطر بشكل دوري وبحجوم مختلفة.
- تدفق معطيات ليست بالزمن الحقيقي (non real-time traffic): تدعم الخدمات التي تتسامح مع التأخير الزمني بوصول طرودها، كمثال: بروتوكول نقل الملفات FTP.
- تدفق معطيات وفق "المتاح" (best effort): للتطبيقات التي لاتفرض قيوداً على جودة الخدمة، كمثال: تصفح الإنترنت.
- تدفق معطيات بالزمن الحقيقي الموسّع (Extended real-time traffic): تدعم خدمات بالزمن الحقيقي ذات تدفق معطيات متغير ولكن تتطلب حداً أدنى لكل من معدل الإرسال والتأخير. كمثال: خدمات الصوت باستخدام بروتوكول الإنترنت مع حذف الصمت (VoIP with silence suppression)، التي تولِّد أطر بشكل دوري وبحجوم مختلفة.

الأمان:

يدعم WiMAX نظام تشفير ذو جودة عالية باستخدام "معيار التشفير المتقدم" Advanced Encryption Standard AES، و3DES Triple Data Encryption Standard، بمفاتيح تشفير بطول 128بت أو 256 بت، ومعيار "إدارة المفاتيح" Key-Management protocol، كما يوفِّر نظاماً مرناً للتحقق من الهوية بالاعتماد على "معيار التحقق من الهوية القابل للتوسع" Extensible Authentication Protocol (EAP).

8. الانضمام إلى الشبكة:

تحتاج المحطة المتنقلة إلى تنفيذ إجرائية الدخول إلى شبكة WiMAX عبر المحطة القاعدية والتسجيل فيها قبل البدء بعملية إرسال أو استقبال معطيات. تقوم المحطة بالخطوات التالية:

1. تبحث المحطة ضمن المجال الترددي للمحطات القاعدية عن القنوات المحتملة للقناة الهابطة حتى تجد إشارة وصلة هابطة صحيحة.
2. بعد الحصول على إشارة وصلة هابطة، تحاول المحطة على بداية الإطار في الوصلة الهابطة.
3. بعد الحصول على بادئة الإطار، تتمكن المحطة من التعرف على المحطة القاعدية.
4. بحال حصلت المحطة على عدة إشارات لوصلات هابطة، فإنها تتعامل مع المحطة القاعدية ذات الإشارة الأقوى.
5. بعد استقبال بادئة الإطار تستقبل المحطة المحددات الخاصة بالوصلة الهابطة والصاعدة، مما يمكنها من معرفة القنوات الترددية والحيـــزّات المخصصة لطلب إنشاء اتصال مع المحطة القاعدية.
6. تُرسل المحطة طلب إنشاء اتصال عبر القنوات الترددية المتاحة في الوصلة الصاعدة.
7. عبر إجابة المحطة القاعدية للطلب والردود اللاحقة من المحطة المتنقلة، يجري تحديد مواصفات وإمكانيات الطبقة الفيزيائية للمحطة وعرض الحزمة المطلوب.
8. يجري التحقق من هوية المحطة، وتحديد خوارزمية التشفير الواجب اتباعها، وتوليد مفتاح التشفير وإرساله للمحطة.
9. تزويد المحطة بعنوان الإنترنت لتبدأ باستخدامه بتراسل المعطيات اللاحق.
10. إضافةً لتحقيق إنشاء الاتصال وتراسل المعطيات، يجب على المحطة المتنقلة متابعة جودة الاتصال مع المحطة القاعدية من عدة نواحٍ:
    - متابعة الانزياح الترددي والزمني بين المحطة والمحطة القاعدية.
    - ضبط بداية الإرسال للمحطة وفق بعدها أو قربها من المحطة القاعدية بشكل أن يؤخذ بعين الاعتبار فروق انتشار الإشارة بين المحطات المختلفة والمحطة القاعدية بحيث تصل إشارات جميع المحطات التابعة لرشقة OFDMA بنفس الوقت إلى المحطة القاعدية.
    - ضبط استطاعة الإرسال بحيث تكون الاستطاعة المستقبلة من جميع المحطات عند مدخل مستقبل المحطة القاعدية متقاربة.

الأسئلة:

1. ما هي الفائدة العملية التي تقدمها شبكة WiMAX؟
2. ما هي الفروق الجوهرية بين أجيال الأنظمة اللاسلكية واسعة الحزمة؟
3. اشرح الهدف من كل مكون من مكونات "شبكة خدمات النفاذ" و "شبكة خدمات الاتصال".
4. اشرح كيف يجري تخصيص محطة ما بعرض الحزمة اللازمة للإرسال وللاستقبال.
5. ما فائدة الرشقة التمهيدية في الإطار الهابط؟
6. كيف يجري إعلام المحطات بالموارد المخصصة لهم للإرسال وللاستقبال؟
7. لماذا يجري استخدام عدة أنواع من الترامیز وعدة أنواع من التعديل؟
8. كيف يجري تحديد رتبة التعديل ومعدل الترميز قيد الاستخدام في الإرسال؟
9. اشرح الاستخدامات المختلفة لتقنية لتعدد الهوائيات في شبكة WiMAX.
10. اشرح الوظائف المختلفة لطبقة النفاذ في شبكة WiMAX.
11. ما هي أنماط جودة الخدمة التي تدعمها WiMAX، مبيناً الفروقات الجوهرية بين متطلبات تلك الأنماط؟
12. اشرح الإجرائيات اللازمة لانضمام محطة متنقلة إلى محطة قاعدية؟
13. كيف يجري متابعة جودة الاتصال بين المحطة المتنقلة والمحطة القاعدية؟

الفصل الخامس: وصف الشبكات اللاسلكية الشخصية
Wireless personal networks description

عنوان الموضوع:

وصف الشبكات اللاسلكية الشخصية: Wireless personal networks description

الشبكات اللاسلكية Wireless networks

الكلمات المفتاحية:

الشبكات اللاسلكية الشخصية Wireless personal networks ، تطبيقات شبكة Bluetooth – Bluetooth network applications، هيكلية شبكة Bluetooth – Bluetooth architecture، الطبقة القاعدية لشبكة Bluetooth Bluetooth baseband layer، بنية أطر Bluetooth Bluetooth frame structure.

ملخص:

نقدم للطالب في هذا الفصل فكرة عن تطبيقات الشبكات اللاسلكية الشخصية Bluetooth. يجري توصيف الخصائص والمزايا لتلك الشبكات. يتعرف الطالب على هيكلية الشبكة، وعلى الطبقة الراديوية والقاعدية. كما يتعرف الطالب على إطار الطبقة القاعدية وأنواع الترابط بين تجهيزات الشبكة.

أهداف تعليمية:

يتعرف الطالب في هذا الفصل على:

- تطبيقات ومزايا الشبكات اللاسلكية الشخصية Bluetooth.
- هيكلية الشبكة.
- مهمات الطبقة القاعدية.
- إطار الطبقة القاعدية.

المخطط:

1. خصائص ومزايا الشبكات اللاسلكية الشخصية Bluetooth
2. هيكلية الشبكة.
   - الشبكة الصّغرية.
   - الشبكة المنثورة.
3. الطبقة الراديوية.
4. الطبقة القاعدية.
5. أنواع الترابط.
6. العنونة.
7. أطر Bluetooth وبنيتها.
8. منهجيات تصحيح الأخطاء.
9. إجرائية إنشاء الشبكة.

مقدمة: وصف الشبكات اللاّسلكيّة الشخصية بلوتوث Bluetooth

مع الانتشار الكبير للتجهيزات التقانية الشخصية والحاجة إلى تبادل المعلومات فيما بينها، ومع تعقيد الربط السلكي بين تلك التجهيزات، ظهرت الحاجة إلى وجود تقنية اتصال لاسلكي تتخلص من كابلات الربط وتسمح لعدد من الأجهزة بالاتصال وتبادل المعلومات بطريقة سهلة عند الطلب وباستخدام مجال ترددي ليس بحاجة لترخيص. في عام 1998 شكلت خمس شركات عالمية مجموعة عمل خرجت بتقنية بلوتوث، والتي تشكل تقانة لاسلكية تمكّن الأجهزة من تشكيل شبكة لاسلكية قصيرة المدى، وأصبحت الحواسب الشخصية والمحمولة وأجهزة الهواتف المحمولة والمفكرات الشخصية PDA والتجهيزات التقانية الشخصية الأخرى، مثل: طرفيات الحاسب كالفأرة ولوحة المفاتيح والطابعات والماسحات الضوئية، الخ... مجهّزة بتقنية بلوتوث. سمّيت بلوتوث بهذا الاسم نسبة لملك الفايكينغ "هارالد بلاتاند الثاني" في الدانمارك الملقّب بـ "السن الأزرق" (Bluetooth) نسبة إلى لون سنه، ويُعزى إلى الملك قيامه بتوحيد الفايكينغ في كل من الدانمارك والنرويج، لذلك ارتبط اسمه بهذه التقنية التي تهدف إلى خلق وسيلة معيارية لمختلف أنواع الأجهزة لتتصل مع بعضها البعض من خلال اتصال لاسلكي.

1. الخصائص التقنية للبلوتوث:

تُعتبر تقنية البلوتوث تطبيقاً للمعيار IEEE 802.15 الذي يُعرِّف شبكة لاسلكية شخصية محددة جغرافياً Wireless personal– Area network (WPAN) للعمل ضمن غرفة أو قاعة بقطر حوالي عشرة أمتار كحد أقصى. يتيح للتجهيزات اللاسلكية إنشاء شبكة بدون بنية تحتية من نوع Ad hoc عندما تتواجد ضمن المجال الراديوي لكلٍ منها. وبهذا تتيح تلك التقنية الإمكانيات التالية: 1- الاستعاضة عن الكابلات لربط التجهيزات الشخصية بعضها ببعض، كمثال ربط طرفيات الحاسب معه لاسلكياً عبر بلوتوث، 2- الإرسال الصوتي وللمعطيات عبر الربط اللاسلكي بين تجهيزة اتصالات محمولة وأخرى ثابتة، كمثال نقل الصوت من سماعة تحوي بلوتوث إلى جهاز التلفون الثابت، 3- إضافة إلى إنشاء اتصال سريع ومباشر بين تجهيزتين عندما تكونان ضمن المجال الراديوي لكلاً منهما، كمثال حاسبان يُنشِآن الربط عبر بلوتوث لنقل ملفات فيما بينهم.

1.1. مزايا البلوتوث:

يعود سبب استخدام وانتشار البلوتوث إلى تمتعه بمزايا تجعل منه تقانة جذابة للعديد من التطبيقات، منها استهلاكه القليل للطاقة، وكفاءته في الشبكات اللاسلكية القصيرة المدى، وهو مصمم ليكون صغير الحجم ويمكن تضمينه بشكل عملي ضمن أي جهاز، وقد صُمِّم أيضاً لإبقاء التكلفة منخفضة، كما ويتمتع بالعديد من الخصائص مثل اكتشاف الخدمة التي تجعل من عملية انتشار التطبيقات أكثر سهولة. فبفضل ميزة الاستعلام الموجودة ضمن معيار بلوتوث يمكن إيجاد الأجهزة الموجودة في الجوار واستكشاف الخدمة المطلوبة مما يسمح بإيجاد المعلومات المطلوبة من هذه الأجهزة وكل الإعدادات الضرورية لإجراء الاتصال مع الجهاز الذي يستخدم بلوتوث.

كما وتتمتع تقانة البلوتوث بتكاملها العالي مع التطبيقات الموجودة، فقد جرى تصميمه ليدعم عدد غير منته من التطبيقات، مع إمكانية تأمين جودة خدمة معينة وفق التطبيق المستهدف. وقد حسّنت النسخة الحديثة من البلوتوث من معدل نقل المعطيات لتصبح ملائمة لمعدلات النقل العالية المناسبة للنقل الفيديوي.

جرى تصميم معيار بلوتوث ليعمل ضمن بيئة مشتركة متعددة المستخدمين. فيمكن لعشرة شبكات صغريّة مستقلة عن بعضها التواجد والعمل ضمن مجال التغطية الراديوية لكلٍ منها. ولتحقيق الأمان والسرية بالاتصال، يجري ترميز كل اتصال ضمن الشبكة لتأمينه من التنصت وتداخل الإشارات.

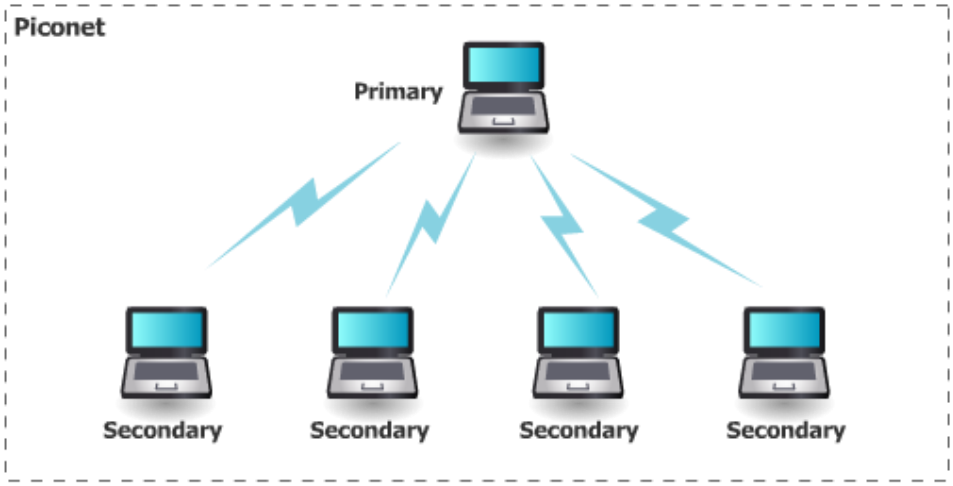
إحدى المزايا الهامة للبلوتوث هي استقلاليته عن بروتوكول الإنترنت IP. تتيح تلك الخاصية التعامل مع التجهيزات دون الاهتمام بمسائل الطبقات العليا، مثل تخصيص العناوين، عنوان المسيّر الافتراضي، قناع الشبكة، الخ... مما يؤدي إلى سهولة كبيرة في إعداد الشبكة.

2. هيكلية الشبكة:

تُعرِّف بلوتوث نوعان من الشبكات: الشبكة الصّغريّة piconet والشبكة المنثورة scatternet.

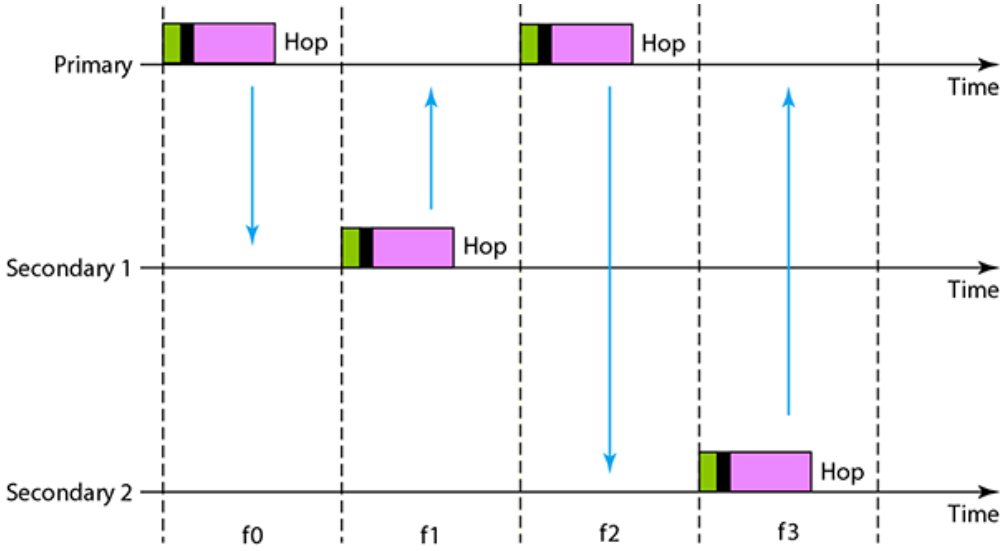
1.2. الشبكة الصّغريّة:

تُدعى الشبكة الأساسية للبلوتوث بالشبكة الصّغريّة. يمكن لهذه الشبكة أن تتألف من ثمانية تجهيزات تحوي كلاً منها على بطاقة بلوتوث. يُطلق على إحدى تجهيزات الشبكة الصغريّة بالتجهيزة الأساسية، بينما تدعى التجهيزات الأخرى بالتجهيزات الثانوية، كما يبين الشكل 1-5. تقع على عاتق التجهيزة الأساسية تقصّي (Polling) التجهيزات الثانوية، كما وتعطي السماحية بالانضمام أو عدم الانضمام للشبكة الصغريّة الخاصة بها، وهي مسؤولةٌ أيضاً على تأمين التزامن بينها وبين التجهيزات الثانوية، ومن ضمن هذا التزامن تحديد سلسلة القفز الترددية الخاصة بهذه الشبكة الصغريّة والزمن الخاص بالشبكة. تحوي الشبكة الصّغريّة تجهيزة أساسية واحدة. ويجري تراسل المعطيات بين التجهيزة الأساسية والتجهيزات الثانوية وفق مبدأ "واحد لواحد" أو مبدأ "واحد للكل". تقود التجهيزة الأساسية عملية التراسل ضمن الشبكة الصغريّة وفق مبدأ "التقسيم الزمني" TDD، إذ تبدأ التجهيزة الأساسية بمخاطبة إحدى التجهيزات الثانوية ضمن حصة زمنية محددة، ويجري الرد من التجهيزة الثانوية خلال الحصة الزمنية اللاحقة. يبين الشكل 2-5 المخطط الزمني لتراسل المعطيات ضمن شبكة صغريّة. وتتراسل التجهيزة الثانوية مع التجهيزة الأساسية فقط، ولايمكنها إرسال أية معطيات إلّا إذا جرى تقصّيها من التجهيزة الأساسية.



الشكل 1-5: شبكة صغريّة

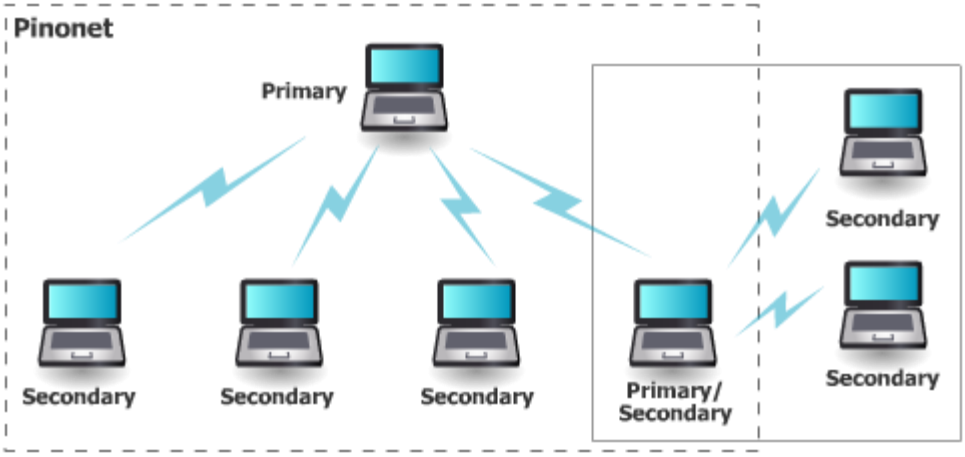
بالرغم من إمكانية الشبكة الصّغريّة أن تتضمن سبعة تجهيزات ثانوية، يمكن لتجهيزة ثامنة إضافية أن تكون ضمن هذه الشبكة ولكن بنمط عمل "التوقف" Parked mode. تتزامن التجهيزة التي تعمل بنمط عمل "التوقف" مع التجهيزة الأساسية للشبكة الصغريّة ولكنها لا يمكنها المشاركة بتراسل المعطيات إلّا إذا تركت نمط عمل "التوقف". ولتفعيل التجهيزة من نمط عمل "التوقف" يتوجب على إحدى التجهيزات الفعّالة السبعة من الانتقال إلى نمط عمل "التوقف".



الشكل 2-5: الاتصال بين تجهيزة رئيسية وتجهيزتين ثانويتين.

2.2. الشبكة المنثورة:

يمكن لشبكتين صغرييتين أن تتحدا لتشكلان مايسمى "شبكة منثورة". فإحدى التجهيزات الثانوية ضمن شبكة صغريّة تعمل كتجهيزة رئيسية في شبكة صغريّة أخرى، كما يبين الشكل 3-5. تتمكن تلك التجهيزة من استقبال معطيات من التجهيزة الأساسية –بصفتها تجهيزة ثانوية – في الشبكة الصغريّة الأولى، وإرسال تلك المعطيات –بصفتها تجهيزة أساسية فيها– إلى تجهيزة ثانوية ضمن الشبكة الصغريّة الثانية.



الشكل 3-5: هيكلية شبكة منثورة.

3. الطبقة الراديوية Radio Link:

تعمل تجهيزات البلوتوث بأجياله المختلفة ضمن المجال الترددي 2.4-2.48 GHz أي ضمن مجال ISM Band، وبهذا فهو متاح عالمياً للاستخدام لجميع المستخدمين بدون الحصول على ترخيص. يبلغ معدل تبادل المعطيات 720 kbps في الجيل الأول لتبلغ 2-3 MHz في الأجيال التالية. أمّا مسافة الإرسال فتتعلق بفئة التجهيزة، فقد عرف المعيار 802.15 ثلاث فئات من التجهيزات محددُ لكلٍ منها استطاعة إرسال معينة – منخفضة، متوسطة، معتدلة. وتستخدم الطبقة الراديوية خوارزمية تحكم باستطاعة الإرسال بين التجهيزة الرئيسية والثانوية لكي لا تستخدم التجهيزة استطاعة أعلى من اللازم. وتستخدم الطبقة الراديوية تقنية القفز الترددي في الإرسال.

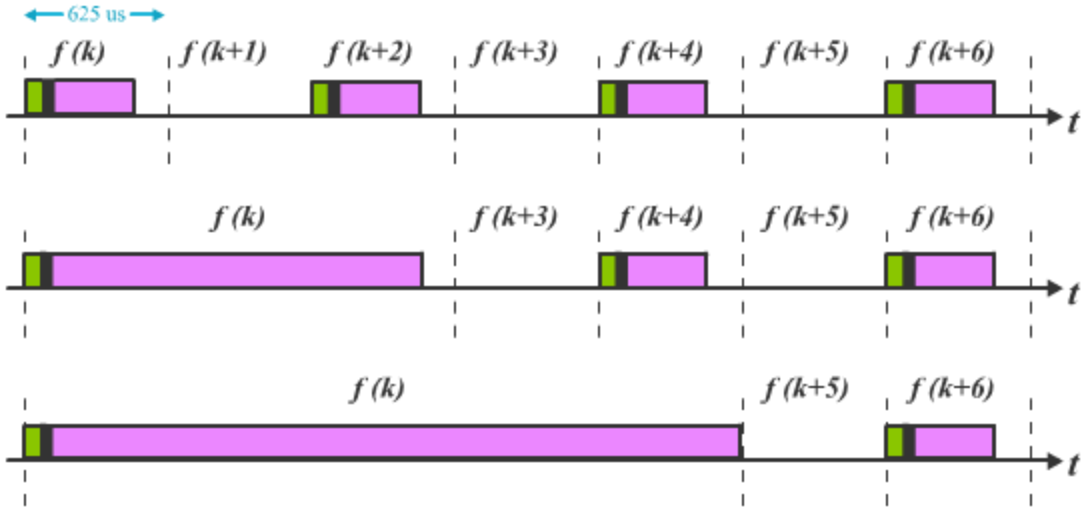
4. الطبقة القاعدية Baseband layer:

تقوم الطبقة القاعدية بتنفيذ عدد كبير من الإجراءات مثل: تأطير المعطيات وفق المعيار المحدد، تحديد مهام الطبقة وفق وظيفة التجهيزة كونها أساسية أم ثانوية، تحديد سلسلة القفز، إدارة التجهيزة وفق نمط التوقف أو الارتباط، ضبط ساعة التجهيزة، التحكم بالوصلة وبالإرسال الصوتي، وتأمين رماز كشف وتصحيح الأخطاء.

تَستخدم البلوتوث في الإرسال تقنية نثر الطيف بالقفز الترددي لتأمين الممانعة ضد الضجيج وظاهرة تعدد المسارات من جهة، ولتحقيق نوع من النفاذ المتعدد لوسط الانتشار بين التجهيزات المتجاورة والتابعة لشبكات صغريّة مختلفة من جهة أخرى.

يعمل مخطط القفز الترددي وفق التالي: يجري تقسيم مجال العمل الترددي للبلوتوث إلى 79 قناة انتشار فيزيائية عرض كلٍ منها 1 MHZ، ويحصل القفز الترددي بالانتقال من قناة فيزيائية إلى أخرى بتسلسل شبه عشوائي، وتتشارك كل التجهيزات ضمن نفس الشبكة الصغريّة تسلسل القفز ذاته. ويبلغ معدّل القفز 1600 قفزة بالثانية، أي تبقى القناة الفيزيائية الواحدة مشغولة لفترة 0.625 ms. يُشار إلى كل فترة 0.625 ms بـ "الحيّز الزمني" ويجري ترقيم الحيّزات الزمنية تسلسلياً. يبيّن الشكل 2-5 (السابق) الحيّزات الزمنية مشارُ إليها بالرموز *f0, f1, f2, f3, ...*. كل رمز يمثل إحدى أقنية الانتشار الفيزيائية، أي أحد الترددات.

تُرسِل التجهيزة الأساسية خلال الحيّزات الزمنية الفردية، بينما تُرسِل التجهيزة الثانوية خلال الحيّزات الزمنية الزوجية. إضافةً للإرسال خلال حيّز زمني واحد، يتيح المعيار 802.15 لتجهيزة ما بالإرسال خلال ثلاث أو خمسة حيّزات زمنية متتالية إذا اقتضى حجم الإطار ذلك. يبين الشكل 4-5 الحالات الثلاث للإرسال وفق حيّز زمني واحد أو ثلاث أو خمسة، وتمثل الرموز *f(k)* ، *f(k+1)*، ... الحيّزات الزمنية. في بداية كل حيّز زمني تبدأ التجهيزة بإرسال إطار، ويُستخدم في بداية كل إطار تتابع خاص من الإشارات للدلالة على بداية الإطار تُسمّى "رمز النفاذ" Access code.



الشكل 4-5: الإرسال وفق حيّز زمني واحد، ثلاث، أو خمسة حيّزات زمنية

تعمل الطبقة الراديوية وفق مبدأ "التقسيم الزمني" TDD. يمنع هذا المبدأ ظاهرة التسميع المتبادل Crosstalk بين عمليات الإرسال والإستقبال ضمن المستقبل الراديوي. وبما أنه يتمّ الإرسال والاستقبال ضمن حيّزات زمنية مختلفة فإنه يجري استخدام ترددات مختلفة بكلٍ منهم. تقوم التجهيزة الأساسية ضمن الشبكة الصغريّة بتحديد سلسلة القفز ضمن هذه الشبكة، ويجري تحديد تلك السلسلة بناءً على العنوان الفيزيائي MAC address للتجهيزة الأساسية. نتيجةً لذلك، وعند تواجد عدة شبكات صغريّة لكلٍ منها تجهيزتها الأساسية ستستخدم كل شبكة سلسلة قفز مختلفة عن الأخرى، وبالتالي ستعمل تلك الشبكات الصغريّة على أقنية فيزيائية مختلفة.

5. أنواع الترابط:

تعتمد عرض الحزمة المخصصة بين تجهيزتين على نوع الترابط بينهما. يمكن إنشاء عدة أنواع من الترابط بين التجهيزة الأساسية والثانوية –أو بين التجهيزة الأساسية وعدة تجهيزات ثانوية– ويجري تجديد نوع الترابط وفق طبيعة الخدمة المطلوبة منها. يتمحور أنواع الترابط حول نوعين هما:

- الترابط المتزامن: ويُستخدم للاتصال الصوتي وفق نمط الدارة الهاتفية، أي وفق الاتصال الهاتفي، كما ويُستخدم للخدمات التي تتطلب تراسل معطيات متناظرة بين التجهيزتين الرئيسية والثانوية. يؤدي حجز فسحات زمنية بانتظام إلى تراسل معطيات بمعدل 64 Kbps لكل حيّز زمني. يُخَصِّص النوع المتناظر من الترابط نفس عدد الحيّزات الزمنية للوصلة الصاعدة والهابطة، وتُعتبر هذه الوصلة من نوع نقطة لنقطة. ويمكن للتجهيزة الأساسية أن تدعم ثلاث ترابطات متزامنة بنفس الوقت. لايعاد إرسال أي طرد وفق هذا النمط من الترابط بحال لم يجر استلامه بشكل صحيح أو بحال تعرضه للتلف أثناء الإرسال والإنتشار في وسط الانتشار. وبالتالي يؤمن الترابط المتزامن معدل نقل ثابت بدون أية ضمانة.
- الترابط غير المتزامن: ويُستخدم لتراسل المعطيات غير المتناظرة بين الوصلة الصاعدة والهابطة بين التجهيزات، كما ويُستخدم في مرحلة استكشاف التجهيزات المجاورة (neighbour discovery) ومرحلة الإعلام (paging). تقوم التجهيزة الأساسية خلال الحيّزات الزمنية غير المحجوزة للترابط المتزامن بتبادل المعطيات مع التجهيزات الثانوية، ولايُسمح لأية تجهيزة ثانوية بإرسال طرد خلال حيّز زمني إلّا إذا جرى جرى تقصّيها من قبل التجهيزة الأساسية، وهنا يمكن تخصيص حيّز زمني أو ثلاث أو خمسة حيّزات لتحقيق تراسل المعطيات المطلوب. ويمكن تحقيق معدل نقل أعظمي مقداره 721 Kbps بتخصيص خمسة حيّزات زمنية باتجاه و 57.6 Kbps بتخصيص حيّز زمني واحد بالاتجاه الآخر. يجري تطبيق قاعدة إعادة الإرسال (Automatic Repeat Request – ARQ) وفق هذا النمط من الترابط بحال لم يجر استلام الطرد بشكل صحيح أو بحال تعرضه للتلف أثناء الإرسال والإنتشار في وسط الانتشار.

6. العنونة:

يستخدم البلوتوث أربعة أنواع من العناوين خلال أطوار عمله المختلفة، وهي:

- العنوان الثابت لتجهيزة البلوتوث BD_Addr: يجري تزويد كل تجهيزة بلوتوث بعنوان ثابت من قبل الشركة المصنِّعة، ولكل تجهيزة بلوتوث عنوان فريد بطول 48 bits، وهو العنوان الخاص بطبقة النفاذ MAC Addr. يُستخدم هذا العنوان في مرحلة واحدة من مراحل عمل البلوتوث وهي مرحلة إنشاء الارتباط مع التجهيزة الرئيسية ولايُستخدم مطلقاً خلال المراحل اللاحقة. وهو العنوان الوحيد الذي لايتغير من ضمن مجموعة العناوين التي يستخدمها البلوتوث.
- العنوان الفعّال لتجهيزة البلوتوث AM_Addr: وهو رقم بعرض 3–bits، مما يُفسّر العدد الأعظمي للتجهيزات التي تتكون منها الشبكة الصغريّة. ولكل تجهيزة ضمن الشبكة الصغرية عنواناً من ضمن هذه الأرقام، ويبقى هذا العنوان صالحاً طالما بقيت التجهيزة فعالة ضمن الشبكة. وبما أنه لا يمكن للتجهيزات الثانوية من التراسل مباشرة فيما بينها، فيحدد هذا العنوان التجهيزة الثانوية في الوصلة الهابطة.
- العنوان غير الفعّال لتجهيزة البلوتوث PM_Addr: تُخصص هذه العناوين للتجهيزات الغير فعالة، وهي بعرض 8–bits وتكون فعالة بحال كانت التجهيزة بوضعية "التوقف". تقوم التجهيزة الرئيسية بتزويد التجهيزة الثانوية بعنوان PM_addr أثناء تنفيذ إجرائية التوقف.
- عنوان لطلب النفاذ لتجهيزة البلوتوث AR_Addr: وهو عنوان مؤقت أيضاً، إذ تقوم التجهيزة الرئيسية بتزويد التجهيزة الثانوية بهذا العنوان أثناء تنفيذ إجرائية التوقف. ويُستخدم من قبل التجهيزات بوضعية "توقف" لتحديد الحيّز الزمني المصرّح لها استخدامها لإرسال طلب نفاذ إلى الشبكة. ويبقى هذا العنوان فعّالاً طالما أن التجهيزة بوضعية "توقف".

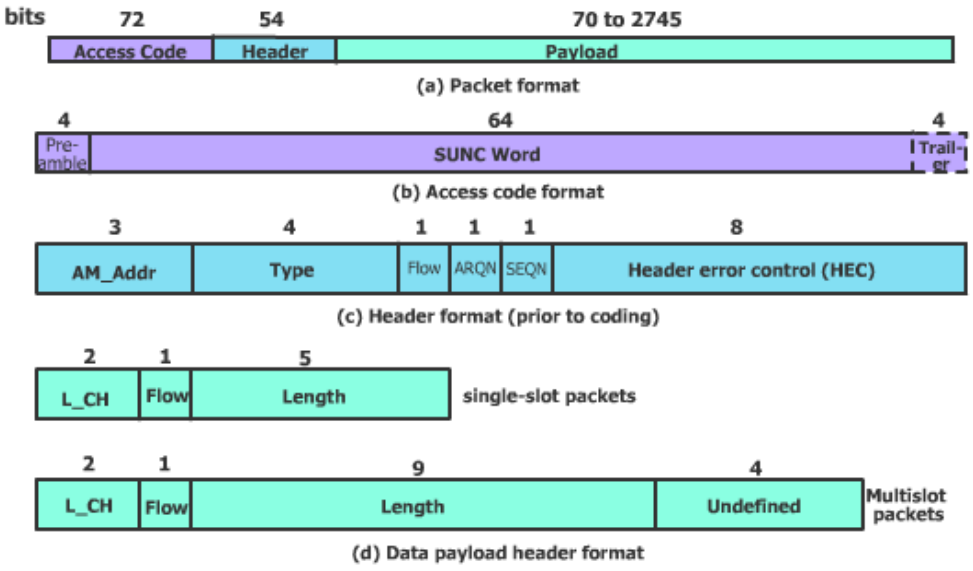
7. أطر البلوتوث وبنيتها:

تتكون بنية إطار البلوتوث من ثلاثة حقول وهي مشتركة لجميع أنواع الأطر، كما يبين الشكل 5-5 (a). يُستخدم الحقل الأول – رماز النفاذ– من أجل ضبط التزامن بين التجهيزة المرُسِلة والمستقبِلة إضافةً لاستخدامه بعمليات الاستعلام (inquiry) وعملية إعلام التجهيزة (paging). يُحدِّد الحقل الثاني – الترويسة– نوع الإطار وبعض المعطيات التحكمية. أما الحقل الثالث –حقل المعطيات– فيتكون في حال وجوده من معطيات المُستخدم.

يوجد لحقل "رماز النفاذ" ثلاثة أنواع، الشكل 5-5 (b)، يعرِّف النوع الأول الشبكة الصغريّة وهو وحيد لأجل كل شبكة، ويُستخدم النوع الثاني من أجل عمليات إعلام التجهيزة والأجوبة اللاحقة المتعلقة بها، أمّا النوع الثالث فمُخصّص لعمليات الاستعلام.

الحقل الثاني من إطار البلوتوث هو للترويسة، ويتألف من ستة حقول كما هو مبين بالشكل 5-5 (c) وفق مايلي:

- AM_Addr (العنوان الفعّال): كما ذُكِر سابقاً تتضمن الشبكة الصغريّة كحد أقصى سبعة تجهيزات ثانوية، ويتضمن هذا الحقل المؤلف من ثلاثة بتات العنوان الفعّال لإحدى التجهيزات السبع الثانوية، وهو عنوان مؤقت يخصص للتجهيزة الثانوية ضمن الشبكة الصغريّة. يحوي هذا الحقل العنوان الفعّال للتجهيزة الثانوية عند الإرسال من التجهيزة الرئيسية إلى التجهيزة الثانوية أو بالعكس. وتُخصَّص القيمة 0 في هذا الحقل لعملية البث من التجهيزة الرئيسية إلى كل التجهيزات الثانوية ضمن الشبكة الصغريّة. وتفقد التجهيزة هذا العنوان عندما تتحول إلى نمط عمل "التوقف".



الشكل5-5: بنية إطار البلوتوث

- Type (النمط): يحدد هذا الحقل نوع الإطار. وتشمل الأطر الأنواع التالية: الأطر التحكمية الخاصة لكلا نوعي الارتباط المتزامن وغير المتزامن، والأطر المخصّصة لنقل معطيات المُستخدم وفق أحد نوعي الارتباط ووفق عرض الحزمة الموافقة لنوع الخدمة المطلوبة. تحمل الأطر التحكمية معطيات مرتبطة بمعاملات الإرسال عبر وسط الانتشار مثل سلسلة القفز الترددي، أو معطيات مرتبطة بإنشاء الاتصال وبأمن الوصلة، أو معطيات لطلب إنشاء الاتصال.
- Flow (التدفق): يحقق هذا الحقل المكوّن من بت واحدة التحكم بالتدفق بين التجهيزتين قيد التراسل، فبإمكان تجهيزة من إيقاف إرسال التجهيزة المرتبطة معها عبر هذه الخانة.
- ARQN (إعادة الإرسال الآلي): يزوّد هذا الحقل المكوَّن من بت واحدة التجهيزة المُرسِلة بإشعار الاستلام، ويجري إعادة إرسال الإطار السابق إذا لم يتم استقباله بشكل صحيح اعتماداً على محتوى هذا البت.
- SEQN (الترقيم التسلسلي): يرقّم هذا الحقل المكوّن من بت واحدة الأُطر المُرسَلة، وبالتالي تكون الأطر مرقمةً بشكل متتالي 0,1. وتكمن الحاجة إلى هذا الحقل للتمييز بين الأطر المُستقبلة في حال جرى إعادة إرسال الإطار من قبل التجهيزة المُرسِلة نتيجةً لفشل استقبال إشعار الاستلام.
- HEC (التحكم بأخطاء الترويسة): يحتوي هذا الحقل على رماز تصحيح الأخطاء لحماية ترويسة الإطار.

الحقل الثالث من إطار البلوتوث هو حقل المعطيات، يحمل معطيات المُستخدم بنوعيها الصوتية أو المعطيات، وهو متغير الطول تبعاً للمعطيات المحمولة داخله، ويبين الشكل 5-5 (d) ترويسة حقل المعطيات بحالة استخدام حيّز زمني واحد لإرسال المعطيات وبحالة استخدام عدة حيّزات زمنية.

8. تصحيح الأخطاء:

يستخدم معيار بلوتوث ضمن الطبقة القاعدية ثلاثة منهجيات لتصحيح الأخطاء، ويجري استخدام كل منهجية وفق نوع الترابط، وهي:

- 1/3 rate FEC: يجري استخدامه عند نقل الصوت. وفق هذه المنهجية تُرسل ثلاثة بتات مقابل كل بت واحدة من المعطيات، ويقوم المستقبل باستخدام "مبدأ الأغلبية" لتحديد البت المستقبَلة.
- 2/3 rate FEC: يجري استخدامه عند إرسال الأوامر التحكمية. يتم استخدام رماز "هامينغ" لتوليد 15 بت مقابل 10 بتات معطيات. باستخدام هذا الرماز يمكن اكتشاف وتصحيح عدد محدد من الأخطاء.
- منهجية إعادة الإرسال الآلية ARQ scheme: يجري استخدامه عند نقل بيانات. تتكون هذه المنهجية من ثلاثة عناصر:
  - اكتشاف الخطأ: يقوم المستقبل باكتشاف الخطأ في حال حدوثه باستخدام CRC المتضمن داخل الإطار، وإهمال الطرد المتضمن أخطاء.
  - إرسال إشعار بالاستلام بحال كون الإطار خال من الأخطاء.
  - إعادة إرسال الطرد الذي لم يجر استلام إشعاراً باستلامه.
  - إرسال إشعار سلبي من قبل المستقبِل بحال اكتشف خطأ بالإطار، ويقوم المرسل بدوره بإعادة إرسال الإطار.

9. إجرائية إنشاء الشبكة:

تتكون الخطوة الأولى لإنشاء شبكة صغريّة بأن تقوم التجهيزة الرئيسية بالتعرّف على التجهيزات المحيطة بها ضمن مجالها الراديوي والتي ترغب بالانضمام إلى شبكتها الصغريّة. بدافعٍ من المستخدم أو التطبيق الموجود ضمن التجهيزة تبدأ هذه التجهيزة بإجرائية الاستعلام لهذا الغرض، إذ تقوم بإرسال إطار يتضمن هوية هذه التجهيزة إضافة إلى رمز الاستعلام المشترك بين جميع تجهيزات البلوتوث.

تُرسل التجهيزة الرئيسية هذا الإطار دورياً على عدد معين ومعروف من الترددات، بينما تقوم التجهيزات الراغبة بالانضمام إلى الشبكة بالبحث عن إطار الاستعلام. عند استلام إطار الاستعلام تقوم التجهيزة بالرد على التجهيزة الرئيسية بتزويدها بعنوان الـ MAC الخاص بها وببعض المعلومات اللازمة لتتمكن التجهيزة الرئيسية من البدء بإجرائية الارتباط. حالما تستلم التجهيزة الرئيسية رداً على إطار الاستعلام من تجهيزة ما يمكنها عندئذٍ من إنشاء ارتباط معها عبر مخاطبتها بعنوان الـ MAC الخاص بتلك التجهيزة وتزويدها بالعنوان الفعّال وبالمعطيات اللازمة لسلسة القفز الخاصة بهذه الشبكة الصغريّة.حالما ترتبط التجهيزة الثانوية مع التجهيزة الرئيسية تبدأ الأخيرة بإجراء التقصي للتجهيزة الثانوية.

10. الأسئلة:

1. ما هي الخصائص والمزايا العامة لتقنية بلوتوث؟
2. اشرح هيكلية الشبكة الصغريّة.
3. ممّ تتألف الشبكة المنثورة، ولماذا تستخدم؟
4. اشرح كيف يجري تبادل المعطيات داخل الشبكة الصغريّة.
5. ما لفرق بين الترابط المتزامن والغير متزامن؟
6. ما هي الأنواع المختلفة للعنونة التي يستخدمها تستخدمها تقنية، ومتى يجري استخدام كل نوع منها؟
7. اشرح الهدف من الحقول المشتركة بأطر الطبقة القاعدية للبلوتوث؟
8. ما هي المنهجيات المتبعة بتقنية بلوتوث لكشف وتصحيح الأخطاء؟
9. اشرح خطوات إنشاء شبكة صغريّة.

الفصل السادس: وصف نظام الاتصالات عبر الساتل
Satellites communication description

عنوان الموضوع:

وصف نظام الاتصالات عبر الساتل: Satellites communication description

الشبكات اللاسلكية Wireless networks

الكلمات المفتاحية:

الاتصالات عبر الساتل Satellites communication، مدارات السواتل Satellites orbits، تطبيقات الاتصالات عبر الساتل Satellite communications applications، هيكلية شبكة السواتل Satellites network architecture، تخصيص الحزمة بشبكات السواتل Bandwidth allocation in satellites networks.

ملخص:

نقدم للطالب في هذا الفصل فكرة عن تطبيقات الاتصالات عبر السواتل. يجري شرح المدارات المختلفة لهذه السواتل. يتعرف الطالب على الهيكليات المختلفة لنظم السواتل. كما يعطى الطالب فكرة عن كيفية تخصيص الحزمة في نظم السواتل.

أهداف تعليمية:

يتعرف الطالب في هذا الفصل على:

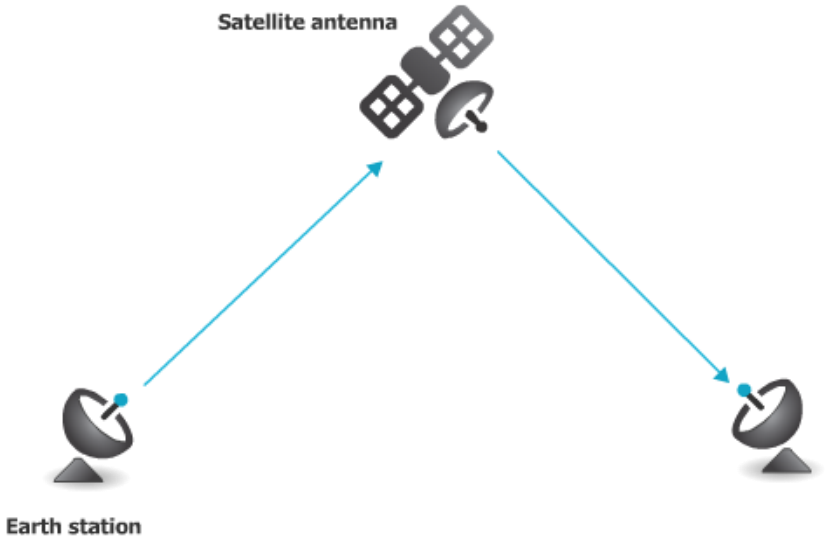
1. تطبيقات الاتصالات عبر الساتل.
2. مدارات السواتل.
3. هيكليات نظم السواتل.
4. تخصيص عرض حزمة الساتل.

المخطط:

1. وصف نظام الاتصالات غبر الساتل.
2. تصنيف الاتصالات غبر الساتل.
3. مدارات السواتل:
   - السواتل المتزامنة مع الأرض.
   - السواتل ذات المدار ذو الارتفاع المنخفض.
   - السواتل ذات المدار ذو الارتفاع المتوسط.
4. تطبيقات نظم السواتل.
5. المجالات الترددية للسواتل.
6. نطاق التغطية للساتل.
7. تخامد إشارة السواتل في جو الأرض.
8. تشكيلات شبكة السواتل.
9. تخصيص عرض حزمة الساتل.

1. وصف نظام الاتصالات عبر الساتل:

تُقَارن الاتصالات عبر الساتل بالألياف الضوئية وذلك لأهميتها في تطور الاتصالات وتبادل المعلومات. يُعتبر الساتل المتواجد على مدار ثابت فوق الأرض حجر الأساس في منظومة الاتصالات عبر الساتل. تتألف هذه المنظومة من محطات أرضية (eath stations) مزوّدة بهوائيات قطعية (parabolic)، ويُدعى الاتصال من المحطة الأرضية إلى الساتل بالوصلة الصاعدة، بينما يُدعى الاتصال من الساتل إلى المحطة الأرضية بالوصلة الهابطة، ويبين الشكل 1-6 منظومة أساسية للاتصالات عبر الساتل. ويقوم transponder المتواجد داخل الساتل بتحويل الإشارة المستقبلة من الوصلة الصاعدة إلى إشارة أخرى في الوصلة الهابطة.



الشكل 1-6: منظومة أساسية للاتصالات عبر الساتل

2. تصنيف الاتصالات عبر الساتل:

تكمن الفكرة الأساسية للاتصالات عبر الساتل، إذاً، بإرسال معطيات من محطة أرضية إلى الساتل وإرسالها من جديد من الساتل إلى محطة أرضية أخرى بمكان آخر من الكوكب الأرضي. ويجري تصنيف الاتصالات عبر الساتل وفق معايير متنوعة، منها:

مساحة التغطية: عالمية، إقليمية، محلية. وكلّما اتسعت المساحة المطلوبة للتغطية، ازدادت أعداد السواتل اللازمة للعمل ضمن منظومة شبكية واحدة.

نوع الخدمة: خدمة البث التلفزيوني أو الإذاعي، خدمات محددة وثابتة، خدمات التجوال.

استخدامات عامة: تجارية، عسكرية، هواة، تجريبية.

يمكن ملاحظة العديد من الاختلافات بين الاتصالات المعتمدة على السواتل والاتصالات اللاسلكية الأرضية التي يجب أن تؤخذ بالحسبان عند تصميم منظومة الاتصالات، منها:

- مساحة التغطية: تتجاوز مساحة التغطية لمنظومة الساتل بمراحل عديدة منظومات الاتصالات اللاسلكية الأرضية، ففي حال الساتل المتزامن مع الأرض يغطي ساتل واحد حوالي ربع مساحة الكرة الارضية.
- التغذية الكهربائية وعرض الحزمة: تُعتبر التغذية الكهربائية وعرض الحزمة المخصصة للساتل من الموارد المحدودة والتي تتطلب حرصاً بتصميم معاملات الساتل والمحطة الأرضية.
- التأخير الزمني: تتأثر الاتصالات عبر السواتل بتأخيرات زمنية ناتجة عن زمن انتشار الإشارة في الفضاء الحر تتجاوز بمراحل عديدة التأخيرات الزمنية في منظومات الاتصالات الأرضية اللاسلكية، ويجب أن يؤخذ هذا التأخير بعين الاعتبار عند تصميم منظومات السواتل.
- أنماط إرسال متنوعة: تدعم منظومة الساتل نمط الإرسال نقطة لنقطة، و نمط الإرسال المتعدد بالإضافة إلى نمط البث.
- جودة الإرسال: رغم تعرض إشارة الساتل الصاعدة أو الهابطة إلى بعض التراجع اللحظي في جودتها، إلّا أنّ جودة الإشارة تبقى عالية جداً.
- معدل النقل: يمكن أن تخصص منظومة الساتل عرض حزمة عالية جداً لبعض المستخدمين حسب الطلب.

3. مدارات السواتل:

تصنف مدارات السواتل بعدة طرق:

- يمكن أن يكون المدار دائرياً بمركز هو مركز الأرض، أو إهليجياً بشكل قطع ناقص ويكون مركز الأرض هو أحد محرقي المدار.
- يمكن أن يكون المدار حول الأرض وفق أسطح مختلفة. كالمدار الاستوائي الذي يتوضع ويمر فوق خط الاستواء، أو المدار القطبي الذي يتوضع ويمر فوق كلا القطبين، أو المدارات المائلة التي تشمل باقي المدارات.
- كما تصنّف المدارات أيضاً وفق ارتفاع الساتل، كالمدار المتزامن مع الأرض (GEO)، والمدار ذو الارتفاع المتوسط (MEO)، والمدار ذو الارتفاع المنخفض (LEO).

1.3. السواتل المتزامنة مع الأرض (GEO):

تُعتبر السواتل المتزامنة مع الأرض من أكثر السواتل استخداماً، ذات مدارٍ دائريٍ وتتوضع على ارتفاع 35,836 km من على سطح الأرض، كما يبين الشكل 2-6. ولهذا المدار مزايا متعددة، منها:

- نظراً لكون الساتل ثابتاً نسبياً بالنسبة للأرض فلن تبرز مشكلة الانزياح الترددي التي تنتج عن الحركة النسبية بين المــُرسل والمستقبل –ظاهرة دوبلر.
- سهولة ملاحقة الساتل من المحطة الأرضية.
- على هذا الارتفاع، يغطي ساتل واحد حوالي ربع مساحة الكرة الارضية، وهكذا بإمكان ثلاثة سواتل متباعدة بمقدار 120 درجة عن بعضها البعض ومتموضعة فوق خط الاستواء من تغطية معظم الكرة الأرضية عدا المنطقتين القطبيتين.

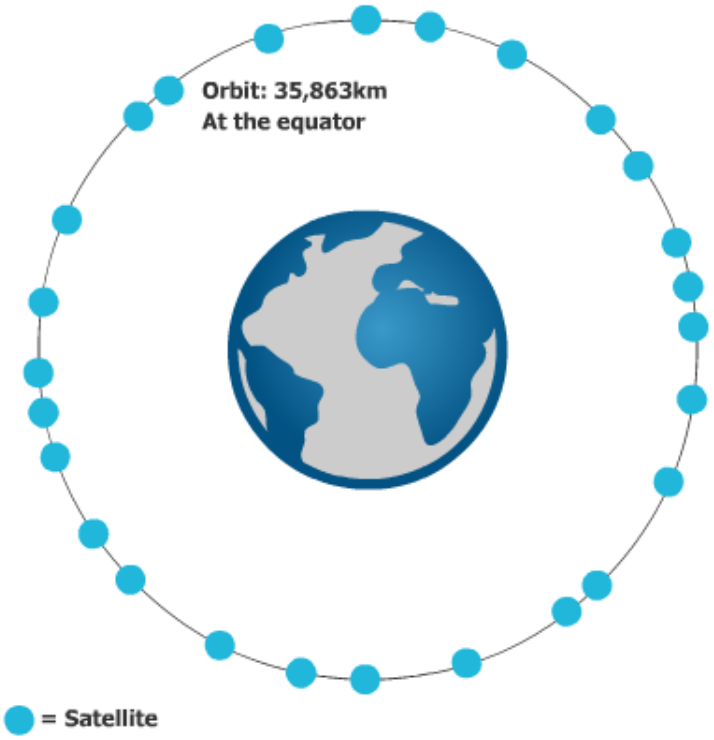
ولكن مع ذلك تبرز بعض الإشكالات، منها:

1. ضعف الإشارة المــُستقبلة بعد انتشارها لهذه المسافة الطويلة.
2. ضعف الإشارة في الدائرتين القطبيتين الشمالية والجنوبية.
3. زمن تأخير محسوس بإرسال إشارة من محطة أرضية إلى الساتل ومنه إلى محطة أرضية أخرى، فإذا كانت وصلة الساتل تُستخدم للاتصالات التلفونية فسيكون زمن التأخير من رتبة نصف ثانية.

2.3. السواتل ذات المدار ذو الارتفاع المنخفض (LEO):

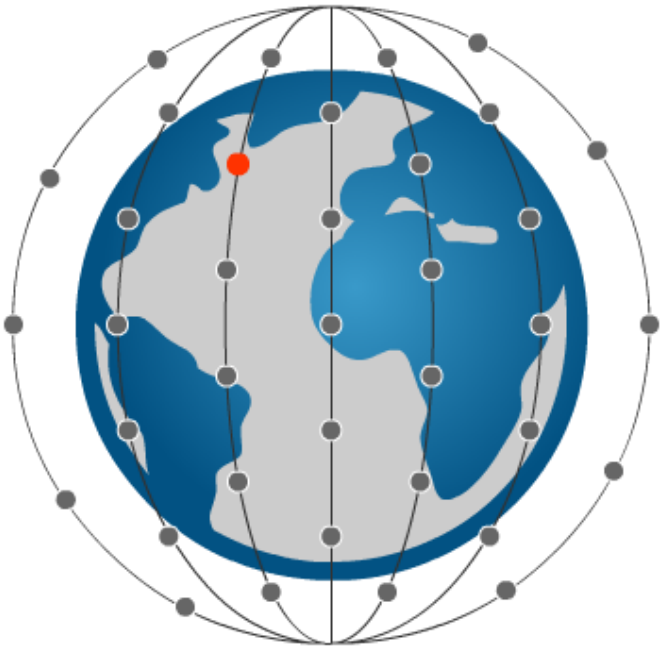
تتوضع السواتل على مدارات بارتفاع بين 500 – 1500 km فوق سطح الأرض، كما يبين الشكل 3-6، وتمتاز عن سواتل GEO إضافةً لزمن إنتشار الإشارة المحدود والذي يبلغ حوالي 20 m.s، فإن شدّة الإشارة أعلى بكثير من إشارة ساتل GEO من أجل نفس استطاعة الإرسال، ولكن من مساوئ سواتل LEO هو تعرّض الإشارة المنتشرة إلى انزياح ترددي كبير نتيجة ظاهرة دوبلر. ومن بعض خصائص هذه السواتل:

1. يتراوح زمن الدورة الواحدة حول الأرض للساتل من ساعة ونصف إلى ساعتين.
2. يبلغ نصف قطر مساحة التغطية للساتل 8000 km.
3. يبقى الساتل ظاهراً لمدة زمنية لاتتعدى 20 min.



الشكل 2-6: السواتل المتزامنة مع الأرض (GEO)

ولأجل تغطية الكرة الأرضية بشكل كامل وعلى مدار الساعة يلزم العديد من السواتل، وقد جرى استخدام مدارات LEO لنشر عدة منظومات اتصال تغطي الكرة الأرضية لأغراض متنوعة بما فيها خدمات الاتصال الصوتي. يتطلب الاستخدام العملي لهذه المنظومة عدة مدارات بأسطح مختلفة، كل سطح يتضمن عدد من السواتل، ويتطلب تحقيق اتصال بين محطتين أرضيتين تسليم الإشارات من ساتل لآخر.



الشكل3 –6: السواتل ذات الارتفاع المنخفض (LEO)

3.3. السواتل ذات المدار ذو الارتفاع المتوسط (MEO):

تتوضع السواتل على مدارات بارتفاع بين 5000 – 20,000 km فوق سطح الأرض، كما يبين الشكل 4–6، وكذلك تمتاز عن سواتل GEO بزمن إنتشار الإشارة المحدود والذي يقلّ عن 50 m.s، وكذلك فإن شدّة الإشارة أعلى بكثير من أجل نفس استطاعة الإرسال، ولكن تبقى مشكلة الانزياح الترددي الكبير نتيجة ظاهرة دوبلر. ومن بعض خصائص هذه السواتل:

- يتراوح زمن الدورة الواحدة حول الأرض للساتل 10 hr – 5.
- يبلغ نصف قطر مساحة التغطية للساتل 10,000–15,000 km.
- يبقى الساتل ظاهراً لبضع ساعات.

(b) Medium earth orbit:
inelined to the equator, at 5000 to 18,000 km altitude

الشكل 4-6: السواتل ذات الارتفاع المتوسط (MEO)

لأجل تغطية الكرة الأرضية بشكل كامل وعلى مدار الساعة يلزم عدد من السواتل أقل من تلك اللازمة بسواتل LEO. ويتطلب تحقيق اتصال بين محطتين أرضيتين تسليم الإشارات بين عدد أقل من السواتل مقارنة مع نظام LEO.

4. تطبيقات نظم السواتل:

جرى استخدام السواتل على نطاق واسع على مستوى العالم. تتضمن تطبيقات نظم السواتل البث التلفزيوني والإذاعي والاتصالات الهاتفية، وتلك المخصصة للخرائط وللمراقبة في الزمن الحقيقي، وسواتل الطقس والصور، والعديد غيرها.

تَستخدم أنظمة البث التلفزيوني السواتل المتزامنة GEO لما تقدمه تلك السواتل من مزايا لخدمات البث التلفزيوني، وخاصة وأنه سيخصَّص الساتل بترددات محدودة لتغطية مسحات شاسعة بالبث التلفزيوني. ومن الأمثلة على منظومات الاتصال التي تستخدم مدارات LEO هي منظومة الاتصال Iridium التي تتألف من 66 ساتل موزعة على ستة مدارات. تتصل تلك السواتل مباشرة مع هواتف خلوية رقمية في أي مكان على سطح الأرض للتراسل الصوتي وتراسل معطيات.

جرى استخدام مدارات MEO لنشر عدة منظومات اتصال تغطي الكرة الأرضية لأغراض متنوعة تتضمن فيما تتضمنه نظام التموضع العالمي GPS وخدمات الاتصال الصوتي. تتألف منظومة التموضع العالمية GPS من 24 ساتل يُرسل كلاً منها إشارة خاصة به، ويستطيع المستقبل استقبال إشارات أربعة سواتل بنفس الوقت، وتبعاً لتلك الإشارات يستطيع تحديد موقعه.

ضمن شبكة الإنترنت، يمكن للسواتل أن تلعب أدوار عدة، فيمكن لمنظومة سواتل أن تقوم بربط نقاط نفاذ بعضها ببعض، كما يمكنها إيصال خدمة النفاذ للإنترنت للمناطق النائية.

تلعب نظم السواتل العسكرية دوراً محورياً في المراقبة على مدار الساعة وبالزمن الحقيقي لسطح الارض، كذلك تقوم بتأمين الاتصالات العسكرية.

5. المجالات الترددية للسواتل:

يبين الجدول 1-6 المجالات الترددية المتاحة لسواتل الاتصالات. من الملاحظ أن ازدياد عرض الحزمة المتاحة متعلق بازدياد المجال الترددي. ولكن، وبشكل عام، مع ارتفاع قيمة التردد يزداد تأثر الإشارة المـــُرسلة بمعوقات متنوعة.

يجري استخدام الترددات في المجال L و S في سواتل خدمات الاتصالات النقالة. ففي تلك المجالات مقارنة، مع الترددات الأعلى، تتعرض الترددات لدرجة انكسار أعلى كما وتتمكن من اختراق الحواجز الفيزيائية بدرجة أعلى. وهذه الخصائص مرغوب فيها بالنسبة للاتصالات النقالة. ولكن، تستخدم الكثير من التطبيقات الأرضية بصورة كبيرة المجالان L وS، مما يجعل التنافس كبيراً بين مختلف الخدمات ضمن هذين المجالين.

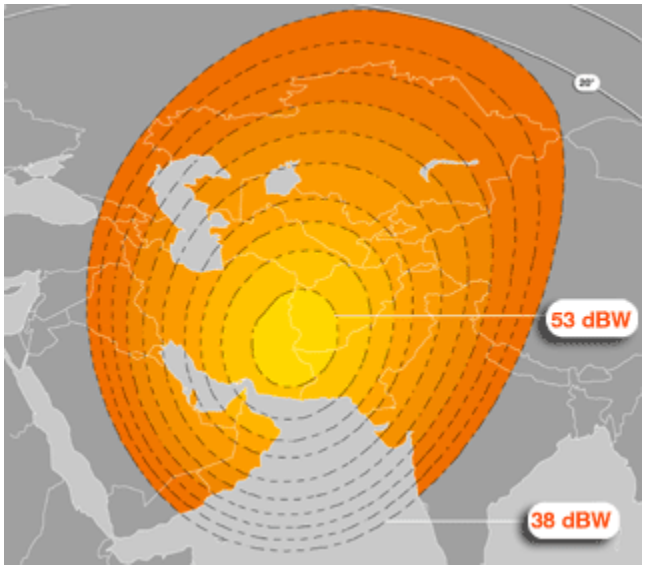
Band	Frequency Range	Total Bandwidth
L	1 to 2 GHz	1 GHz
S	2 to 4 GHz	2 GHz
C	4 to 8 GHz	4 GHz
X	8 to 12.5 GHz	4.5 GHz
Ku	12.5 to 18 GHz	5.5 GHz
K	18 to 26.5 GHz	8.5 GHz
Ka	26.5 to 40 GHz	13.5 GHz

الجدول1-6: المجالات الترددية لسواتل الاتصالات

ضمن أي مجال من المجالات الترددية المتاحة للسواتل، يجري تخصيص تردد معين للوصلة الصاعدة وتردد آخر للوصلة الهابطة، ويكون تردد الوصلة الصاعدة أعلى دوماً من تردد الوصلة الهابطة، وذلك لأن التردد الأعلى يتعرض لتخامد أكبر في الفضاء الحر وبالتالي يحتاج إلى استطاعة أعلى في الإرسال، الأمر المتاح دوماً في المحطة القاعدية.

6. نطاق تغطية الساتل:

تستخدم السواتل الترددات المايكروية والتي تحتاج إلى هوائيات عالية الاتجاهية، وبالتالي يجري توجيه الإشارة إلى نقطة محددة على الأرض بالاعتماد على المنطقة المرغوب تغطيتها. تستقبل النقطة المركزية لهذه المنطقة أقوى شدّة إشارة مُرسَلة، وتنخفض شدّة الإشارة كلما ابتعدنا عن النقطة المركزية، وتعتمد تلك الشدّة على الطاقة المقدمة لهوائي الساتل واتجاهيته. يجري عرض هذه الظاهرة كمخطط بياني يُعرَف بنطاق التغطية للساتل، كما يبين الشكل 5-6. ويبين مخطط نطاق التغطية شدّة الإشارة الفعالة للساتل في كل نقطة من نقاط التغطية.



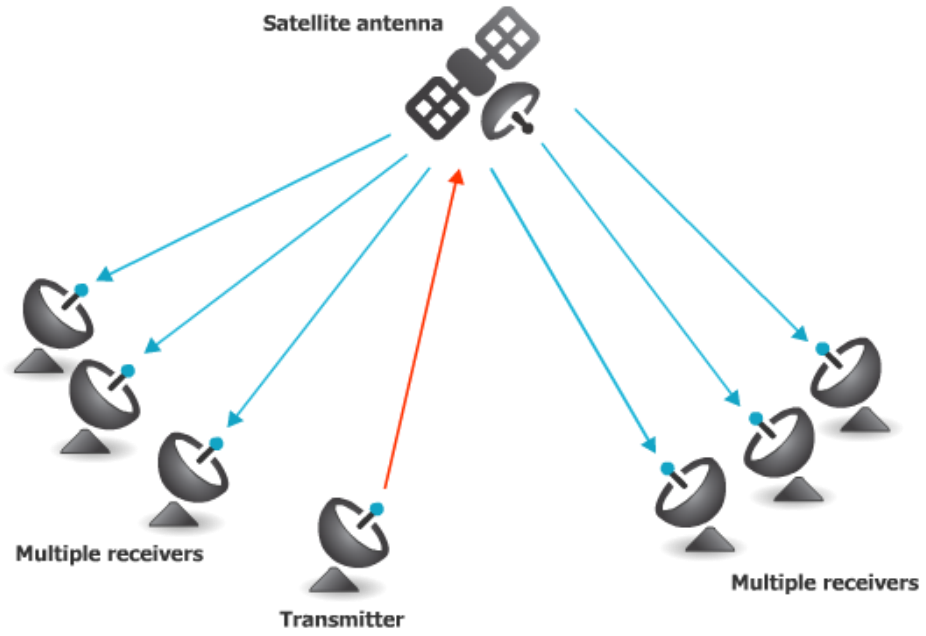
الشكل 5-6: نطاق التغطية لساتل وتدرج شدّة الإشارة

7. تخامد الإشارة في جو الأرض:

إن السبب الرئيسي لتخامد إشارة الساتل في الجو هو غاز الأوكسجين – الموجود دائماً في الجو– ورطوبة الجو المتمثلة بوجود ضباب أو مطر. ويوجد سبب آخر يؤثر على تخامد الإشارة وهو زاوية ارتفاع هوائي الاستقبال. فكلما صغرت زاوية ارتفاع الهوائي كلما زادت المسافة الواجب أن تقطعها الإشارة في الجو قبل أن تصل الإشارة لهوائي الاستقبال. إضافةً لذلك، يزداد تخامد الإشارة بازدياد ترددها.

8. تشكيلات شبكة السواتل:

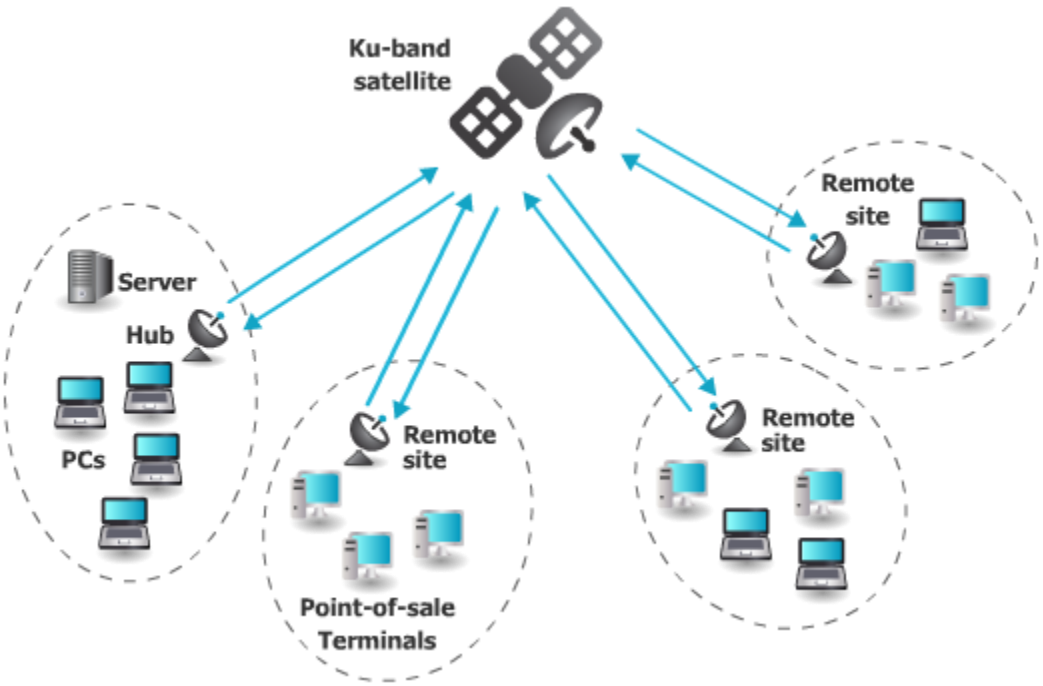
من أكثر تشكيلات السواتل شيوعاً وصلة نقطة لنقطة بين محطتين أرضيتين متباعدتين جغرافياً كما هو مبيين بالشكل السابق 1–6، وتؤمن التشكيلة الأخرى، الشكل 6–6، الاتصال بين محطة أرضية مُرسِلة والعديد من المـُستقبلات الأرضية، وبهذه التشكيلة يؤمن الساتل البث لعدد كبير من المستخدمين.



الشكل 6–6: تشكيلة البث

تبرز الحاجة أحياناً لربط عدد من المستخدمين –أو مجموعات من المستخدمين، ضمن شبكة ما، وتمنع بعض الصعوبات – وجودهم بمناطق نائية، وعدم توفر بنية تحتية جاهزة مع صعوبة تنفيذها، من تحقيق المتطلب، بهذه الحالة يمكن تصميم منظومة مشتقّة من التشكيلة الثانية المذكورة أعلاه، حيث يمكن

للمحطات الأرضية الإرسال والاستقبال من الساتل الذي يلعب هنا دور المجمّعة التي تستقبل من محطة أرضية وتعيد توجيه وإرسال المعطيات بالاتجاه المطلوب، وتفيد تلك التشكيلة بربط مشتركين بعضهم ببعض والتراسل فيما بينهم. تدعى هذه التشكيلة باسم VSAT (very small aperture terminal) كما يبين الشكل 7–6، وفيها يتشارك المشتركين بالسعة المخصصة للساتل في الوصلتين الصاعدة والهابطة وفق إحدى الآليات التي سيجري شرحها لاحقاً.

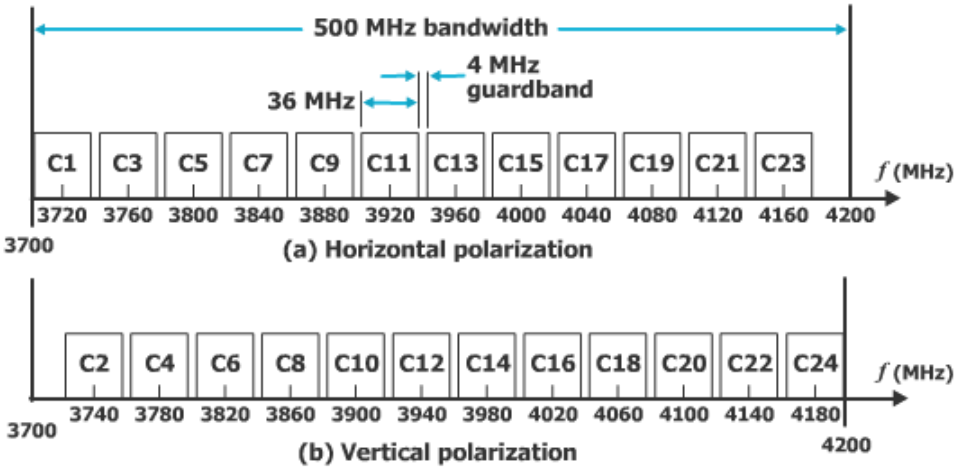


الشكل 7–6: تشكيلة VSAT

9. تخصيص عرض حزمة الساتل:

يمتلك ساتل من نوع GEO عرض حزمة ترددية واسعة يقوم بتجزئتها إلى حزم ترددية أضيق ويوزعها على عدد من الأقنية. في بعض الحالات تخصّص قناة واحدة لمستخدِم وحيد أو لتطبيق وحيد كتخصيصها للبث التلفزيوني أو تبادل معطيات رقمية مع مستخدم ما، ولكن من أجل الاستخدام الفعّال لعرض حزمة الساتل يجري مشاطرة كل قناة بين عدد من المستخدمين باستخدام تقنية التضميم (Multiplexing). يجري تخصيص الحزم الترددية في بعض الحالات عن طريق متحكم مركزي – الساتل بهذه الحالة، ولكن بالحالات الأخرى يجري التخصيص عن طريق المحطات الأرضية. تنقسم استراتيجيات التخصيص إلى ثلاث تقنيات: النفاذ المتعدد باقتسام التردد، النفاذ المتعدد باقتسام الزمن، النفاذ المتعدد باقتسام الرماز.

- النفاذ المتعدد باقتسام التردد: كما ذُكر أعلاه، يجري تجزئة عرض حزمة الساتل إلى عدد من الأقنية. ويمثل ذلك أعلى مستوى من التقسيم، إذ يجري تقسيم الحزمة الترددية لكل قناة إلى حزم أضيق، وهذا مماثل للتضميم باقتسام التردد (Frequency Division Multiplexing). يبين الشكل 6-4 مثالاً لعرض الحزمة الترددية لساتل وتقسيماتها. يستخدم هذا الساتل المجال الترددي C بعرض حزمة 500 MHz، ويمكنه ضغط 24 قناة كل منها بعرض حزمة ترددية 40 MHz داخل الحزمة الرئيسية بالاعتماد على مبدأ "إعادة استخدام التردد" frequency reuse وفق مايلي: يجري استخدام كل تردد من قبل حاملين اثنين بقطبيتين متعامدتين، ويوضح الشكل 6-8 أيضاً الأقنية ذات القطبية الأفقية والأقنية ذات القطبية الشاقولية. كما ويُترك فاصل حماية (Guardband) مقداره 4 MHz بين كل قناتين متجاورتين، وبذلك يصبح عرض الحزمة الترددية لكل قناة 36 MHz.

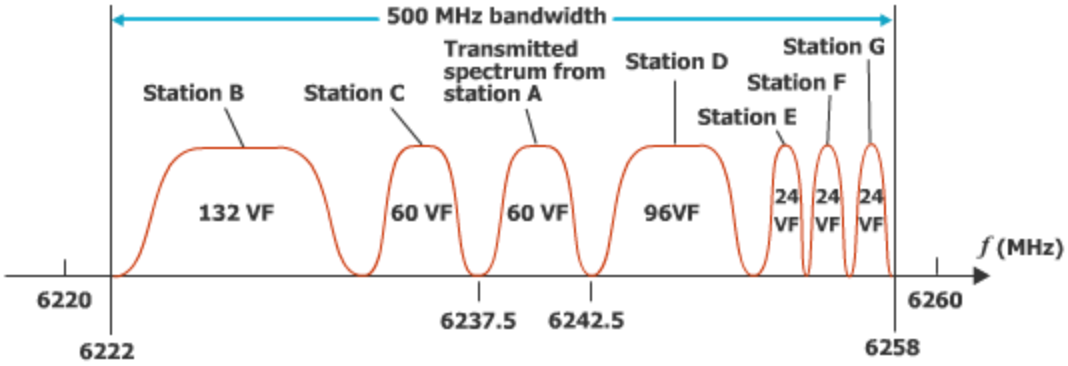


الشكل 6-8: تخصيص نموذجي للوصلة الهابطة لأحد أنظمة الساتل

عندما يُخصَّص الساتل للعمل وفق تشكيلة نقطة لنقطة بين محطتين أرضيتين، عندها يمكن لكل قناة أن تُستخدم لأغراض متعددة منها:

1. 1200 قناة صوتية Voice-Frequency (VF)
2. 50 Mbps دفق معطيات وحيد
3. 16 قناة كل منها ذات دفق معطيات 1.544 Mbps
4. 400 قناة كل منها ذات دفق معطيات 64 Kbps
5. إشارة تلفزيونية وحيدة تمثيلية
6. من 6 إلى 8 إشارات تلفزيونية رقمية.

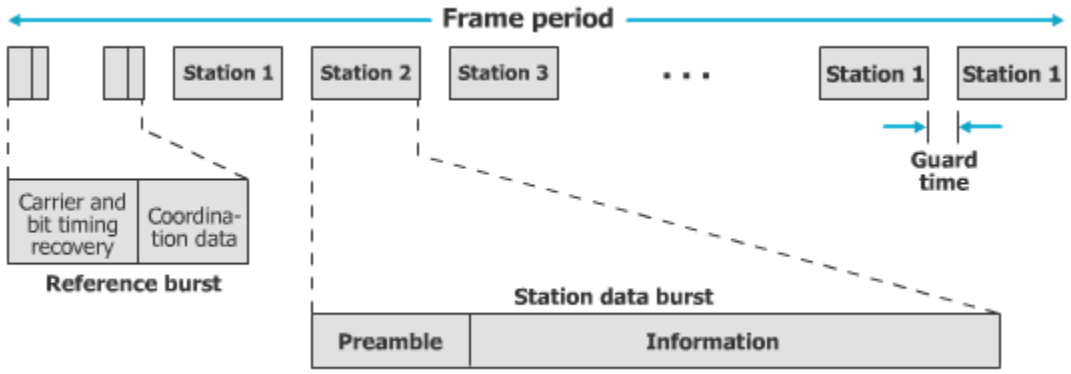
نتيجة اتساع مساحة التغطية للساتل، تلجأ بعض أنظمة الساتل إلى تقسيم القناة الواحدة إلى أقنية فرعية جزئية، كل منها مخصص لمحطة أرضية وتحمل عدد من الأقنية الصوتية، وبالتالي بإمكان عدة محطات أرضية من النفاذ إلى قناة واحدة من أقنية الساتل، ويمثل ذلك تقنية النفاذ المتعدد باقتسام التردد. يبين الشكل9-6 الأقنية الفرعية الجزئية لقناة واحدة وعدد القنوات الصوتية التي بداخلها وتوزيعها على عدد من المحطات الأرضية.



الشكل 9-6: مثال عن تقسيم قناة من أقنية الساتل لأقنية فرعية

- النفاذ المتعدد باقتسام الزمن:

انتشرت تقنيات التضميم باقتسام الزمن على حساب التضميم باقتسام التردد نظراً للفعالية المتزايدة لتلك التقنية مقارنة مع الأولى. يجري الإرسال بهذه التقنية وفق تتابع متكرر من الأطر. يتألف كل إطارٍ من تلك الأطر من فسحات زمنية، ويُخصّص موقع كل فسحة زمنية ضمن هذا الإطار إلى مرسل محدد. وبحسب منظومة الساتل، يتراوح زمن الإطار عادةً بين 100 µ.s إلى أكثر من 2 m.s ويتألف من 3 إلى مايتجاوز 100 فسحة زمنية. كما ويتراوح معدل إرسال المعطيات بين 10 Mbps إلى عدة مئات من Mbps. يبين الشكل 10-6 مثالاً على إطار يتألف من N فسحة زمنية. يبدأ الإطار عادة برشقتين مرجعيتين لتحديد بداية الإطار والتي تسمح بضبط التزامن وفق الساعة المرجعية. تأتي كل رشقة من الرشقتين من محطة أرضية مختلفة بهدف استمرار عمل المنظومة حتى وإن فُقِدت إشارة إحدى المحطتين المرجعيتين بسبب عطل ما.

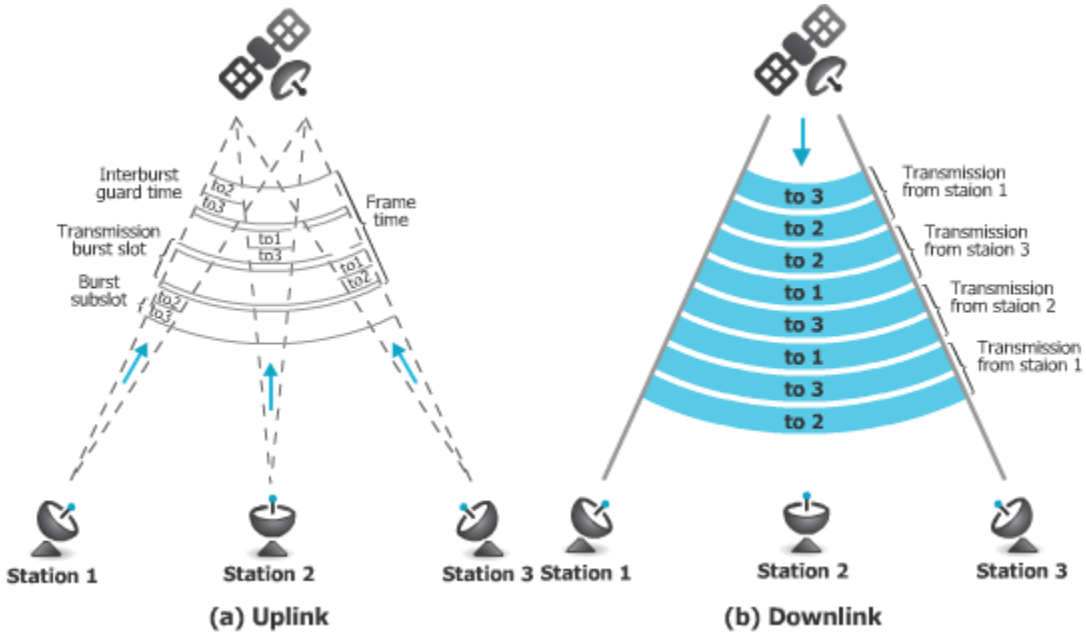


الشكل 10-6: مثال على إطار وفق تقنية النفاذ المتعدد باقتسام الزمن TDMA

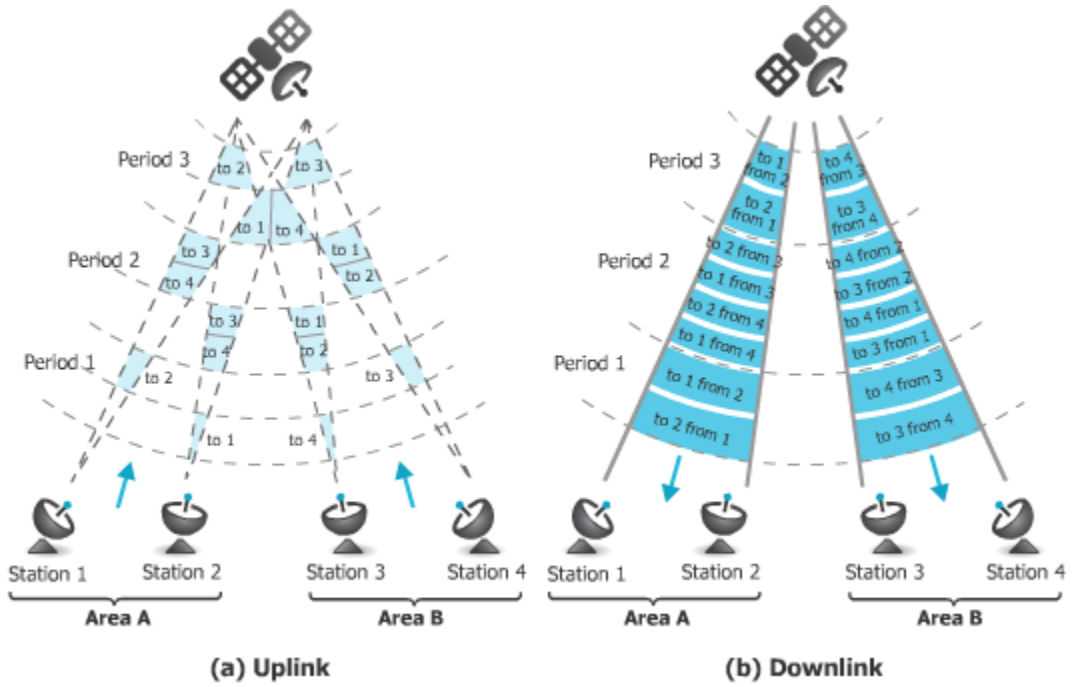
يبين الشكل 11-6 عمل منظومة الساتل وفق تقنية TDMA. يتوالى إرسال المحطات الأرضية في الوصلة الصاعدة، كل محطة تُرسل رشقة معطيات ضمن الفسحة الزمنية المخصصة بها. وتقوم الساتل بإعادة إرسال جميع الإشارات المستقبلة والتي تُبَث إلى جميع المحطات الأرضية، وكذلك يقوم الساتل يعيد إرسال الرشقات المرجعية لتتمكن المحطات من المزامنة مع الإطار القادم. وهكذا فعلى المحطات الأرضية معرفة الفسحة الزمنية لاستخدامها في الوصلة الصاعدة وكذلك معرفة الفسحة الزمنية المخصصة لها للاستقبال لاستخدامها في الوصلة الهابطة، كما يبين الشكل 11-6.

ويمكن الحصول على فاعلية اكبر باستخدام المجالات الترددية العالية، مثل مجالات Ku و k. عندها يمكن للساتل باستخدام ترددات تلك المجالات من الحصول على شعاع beam بتوجيهية عالية باتجاه منطقة محددة، مما يسمح بإرسال عدة أشعة بنفس التردد لأماكن مختلفة. وبهذا يمكن للساتل خدمة مناطق

متعددة لكل منها محطاته الأرضية الخاصة بها. تجري الاتصالات بين المحطات ضمن المنطقة الواحدة وفق الشكل 11–6، بينما تجري الاتصالات بين المحطات ضمن المناطق المتعددة عبر إرسال عدة أشعة منفصلة كل منها موجه باتجاه منطقة محددة ويحمل المعطيات المخصصة لها. يبين الشكل 12–6 مثالاً على منظومة اتصالات تجمع منطقتين منفصلتين كل منهما مكوّن من محطتين أرضيتين، ويمثل الساتل هنا عمل المجمعة switch يقوم بتسليم كل منطقة المعطيات المخصصة لها والقادمة من محطات أرضية تنتمي إلى كلا المنطقتين.



الشكل 11–6: منظومة اتصال تعمل وفق النفاذ المتعدد باقتسام الزمن



الشكل 12–6: منظومة اتصال تجمع منطقتين وتعمل وفق النفاذ المتعدد باقتسام الزمن

- النفاذ المتعدد باقتسام الرماز

10. الأسئلة:

1. ما هي المعايير التي تصنف على أساسها أنظمة السواتل؟
2. قارن بين ميزات ومساوئ مدارات السواتل مختلفة الارتفاع؟
3. اشرح باختصار أهم تطبيقات نظم السواتل.
4. ما هي أهم تشكيلات شبكات السواتل، ومجالات استخدامها؟
5. قارن بين تقنية النفاذ المتعدد باقتسام التردد، وتقنية النفاذ المتعدد باقتسام الزمن المستخدمة بتخصيص عرض حزمة السواتل.

الفصل السابع: وصف شبكات الاتصالات الخلوية (أو النقالة)
Cellular (Mobile) networks description

عنوان الموضوع:

وصف شبكات الاتصالات الخلوية (أو النقالة): Cellular (Mobile) networks description

الشبكات اللاسلكية Wireless networks

الكلمات المفتاحية:

الشبكة الخلوية GSM – Global System for Mobile communications، الشبكة الخلوية GPRS– General Packet Radio Service، الشبكة الخلوية UMTS – Universal Mobile Telecommunications System، الشبكة الخلوية LTE Long Term Evolutions.

ملخص:

نقدم للطالب في هذا الفصل فكرة عن مبدأ عمل الشبكات الخلوية. يجري شرح هيكلية الشبكة الخلوية GSM ومكوناتها والخدمات المقدمة. يتعرف الطالب على التطورات على هيكلية شبكة GSM لتلبية متطلبات وخدمات جديدة. يجري شرح هيكلية الشبكة الخلوية للجيل الثالث وخصائصها، والانتقال من الجيل الثاني للجيل الثالث. إعطاء فكرة عن التطور من الجيل الثالث للرابع وخصائصها والخدمات المقدمة.

أهداف تعليمية:

يتعرف الطالب في هذا الفصل على:

- مبدأ عمل الشبكات الخلوية.
- هيكلية الشبكات الخلوية.
- الخدمات المختلفة التي تقدمها الشبكات الخلوية.
- تقنيات الربط الراديوي لأجيال الشبكات الخلوية.

المخطط:

1. مبدأ عمل الشبكات الخلوية.
   - تنظيم الشبكة الخلوية.
   - إعادة استخدام الترددات.
   - عمل الأنظمة الخلوية.
   - إجرائية الاتصال.
   - مبدأ التسليم.
   - التحكم بطاقة الإرسال.
2. وصف شبكة GSM.
   - مكونات الشبكة الأساسية و المركزية.
   - بنية الأطر TDMA frame format.
3. وصف شبكة GPRS.
   - التغيير على بنية الشبكة للانتقال نحو الجيل الثالث.
   - الخصائص والخدمات.
4. وصف شبكة UMTS.
   - بنية الشبكة.
   - الخصائص.
5. وصف شبكة LTE.
   - المتطلبات.
   - بنية الشبكة.

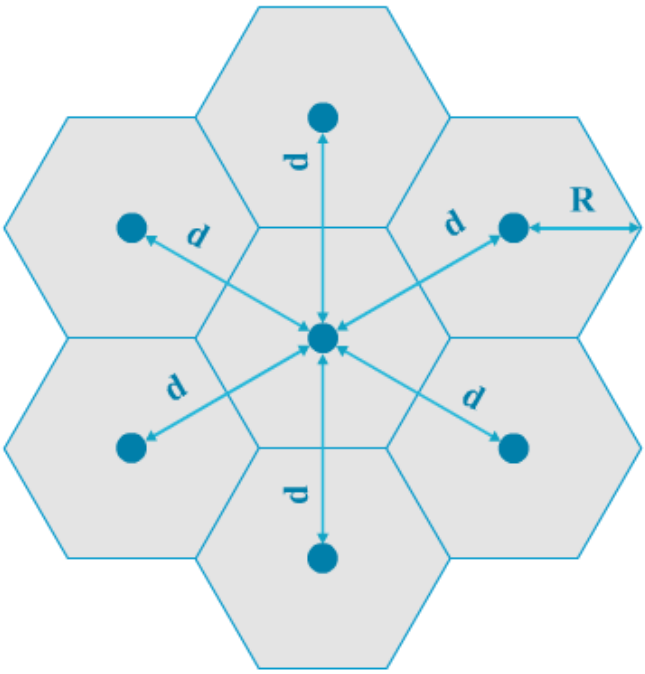
مقدمة: وصف شبكات الاتصالات الخلوية Cellular networks

تعتبر نظم الاتصالات الخلوية حالياً واحدة من بين أعظم الإنجازات في حقل الاتصالات وتبادل المعطيات وأكثرها نجاحاً، وتُعتبر التقانة الخلوية أساساً للاتصالات النقالة وتدعم مستخدمين بأماكن من الصعب تخديمهم بالشبكة الهاتفية التقليدية.

إن جوهر عمل الشبكة الخلوية هو استخدام محطات إرسال متعددة باستطاعات منخفضة، وبما أن مجال تغطية المرسل محدودة يجري تقسيم منطقة ما إلى خلايا تقوم محطة إرسال –محطة قاعدية– بتغطيتها. يجري تخصيص كل خلية بنطاق ترددي محدد، وتختلف النطاقات الترددية المخصصة للخلايا المتجاورة لتجنب التداخل أو التسميع المتبادل crosstalk، ومع ذلك يمكن لخلايا بعيدة نسبياً عن بعضها البعض من استخدام نفس النطاق الترددي.

تشكيل الخلايا:

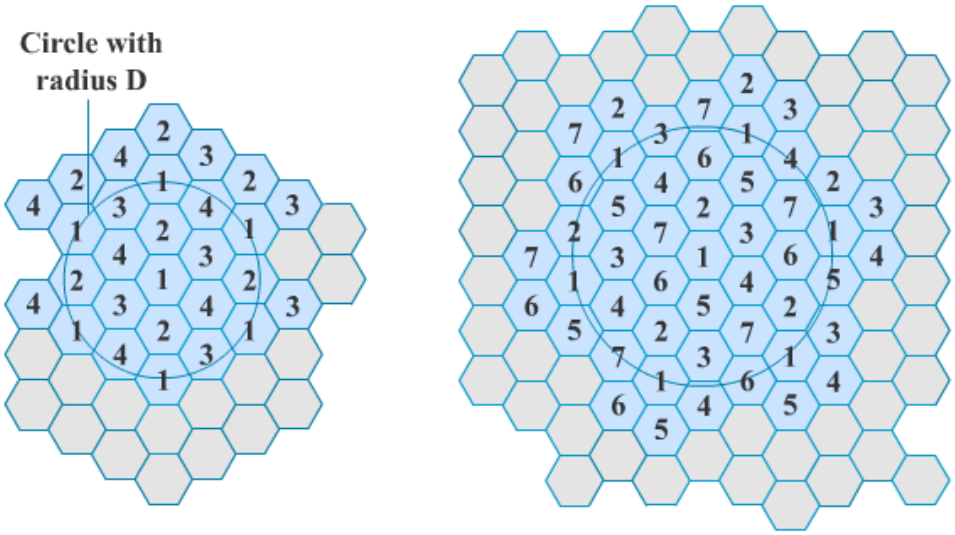
من المفضل، عند تصميم خلايا النظام، أن تكون المحطات القاعدية المتوضعة بمركز كل خلية على مسافات متساوية تقريباً. ويؤمن الشكل السداسي الأضلاع مسافات متساوية بين المحطات القاعدية، كما يبين الشكل 1–7. ولكن، يصعب الحصول عملياً على خلايا بأضلاع سداسية نتيجة جغرافية الأرض المخصصة لعمل النظام، أو طبيعة انتشار إشارة المحطات القاعدية أو صعوبات تقنية بتوضّع الهوائيات.



الشكل 1–7: النموذج السداسي للخلايا

إعادة استخدام النطاقات الترددية:

يجري تخصيص الخلايا المتجاورة بنطاقات ترددية مختلفة، ويمكن استخدام نفس النطاق الترددي في خلايا تبعد عن بعضها مسافة ما، مما يسمح باستخدام التردد ذاته لإجراء اتصالات متعددة في خلايا مختلفة. يكمن التصميم في توزيع النطاقات الترددية بتحديد المسافة الدنيا التي يجب أن تفصل بين خليتين تستخدمان ذات النطاق الترددي لكي لا تتداخل إشارتيهما مع بعضهما البعض. تتوافر نماذج متعددة تتيح إعادة استخدام النطاق الترددي، حيث يجري توزيع الترددات المتاحة ضمن نطاقات ترددية وتخصيص كل خلية بنطاق ترددي. يظهر الشكل 2–7a توزيع أربعة نطاقات ترددية، بينما يظهر الشكل 2–7b توزيع سبعة نطاقات ترددية على خلايا النظام.



الشكل 2–7: a) توزيع أربعة نطاقات ترددية، b) توزيع سبعة نطاقات ترددية

زيادة سعة خلية:

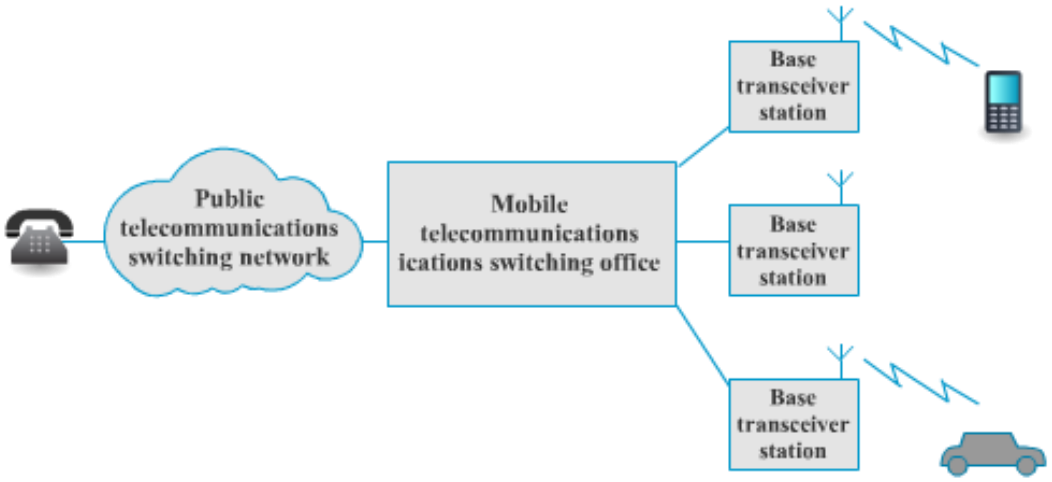
من المحتمل أن تتعرض خلية ما إلى ازدياد عدد المستخدمين داخلها، ما يؤدي بدوره إلى استهلاك مواردها من الترددات ويجعلها غير قادرة على تلبية المزيد من طلبات الخدمة. جرى استخدام عدة حلول للتغلب على هذه الحالة، وهي:

- وضع ترددات جديدة بالخدمة داخل الخلية بحال لم يجر استخدام كامل ترددات النطاق الترددي.
- استعارة تردد من خلية مجاورة بحال لم تكن تلك الخلية في حاجة له في الوقت الراهن، ويمكن توزيع الترددات ديناميكياً وفق الحاجة.

- يمكن في المناطق ذات الكثافة العالية لمستخدمي النظام الخلوي تجزئة الخلية الواحدة إلى عدة خلايا أصغر، ويمكن لتلك الخلايا الناتجة أن تجزأ أيضاً. من الواضح أنه عندما يجري تجزئة الخلايا فإن الاستطاعة المستخدمة يجب تخفيضها لكي تبقى الإشارة داخل نطاق الخلية.
- تجزئة الخلية إلى قطاعات ويخصص لكل قطاع عدد من الترددات وتستخدم المحطة القاعدية هوائيات موجهة باتجاه كل قطاع.

1. مبدأ عمل الشبكات الخلوية:

يبين 3-7 الشكل العناصر الرئيسية لنظام اتصالات خلوي. تقع في مركز كل خلية تقريباً محطة قاعدية base station تتضمن مجموعة من الهوائيات ومتحكم controller وعدد من المرسلات والمستقبلات للاتصال عبر القنوات المخصصة لتلك الخلية. يقوم المتحكم بمعالجة إجرائية الاتصال بين الوحدة المتحركة وباقي الشبكة. يمكن لعدد من الوحدات المتحركة -في أي وقت من الأوقات- من إجراء الاتصال عبر المحطة القاعدية والتحرك ضمن الخلية.



الشكل 3-7: العناصر الرئيسية لنظام خلوي

ترتبط كل محطة قاعدية مع مركز تبديل الاتصالات النقالة Mobile telecommunications switching office (MTSO) الذي يقوم بتخديم عدد من المحطات القاعدية كما يوضح الشكل. ويكون الربط عادة بين MTSO والمحطات القاعدية سلكياً، مع أنه يمكن أن يكون لاسلكياً. تؤمن MTSO الاتصال بين الوحدات المتحركة، كما ترتبط MTSO أيضاً مع شبكة الاتصالات الهاتفية العمومية Public telephone switching network لتأمين الاتصال بين مشتركي الهاتف الثابت ومشتركي الشبكة الخلوية. تخصّص

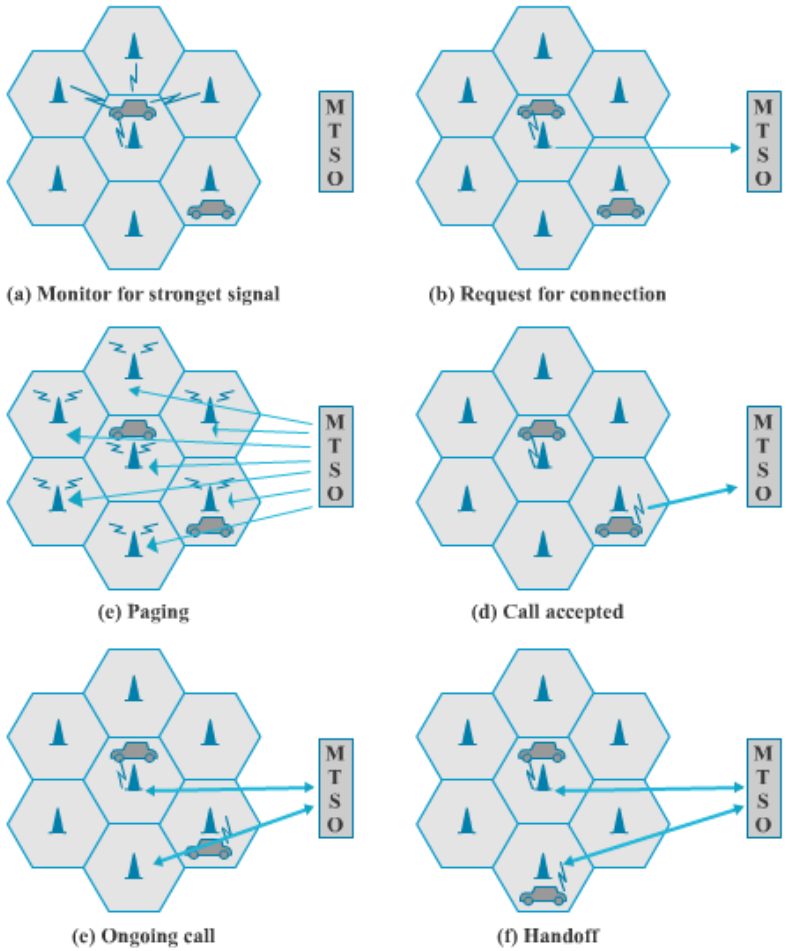
MTSO كل اتصال بقناة صوتية خاصة به أثناء إجراء الاتصال، وتُجري عمليات التسليم –ستُشرح لاحقاً– كما تقوم بمراقبة الاتصال طوال فترة تواجده.

يتوافر نوعان من القنوات بين الوحدة المتحركة والمحطة القاعدية: قنوات التحكم وقنوات "نقل المعلومات". تُستخدم قنوات "نقل المعلومات" Traffic channels لنقل المعلومات الرقمية الأساسية بين طرفي الاتصال. وقد تُمثِّل المعلومات التي تنقلها هذه القنوات "إشارة كلامية" Speech traffic ضمن اتصال هاتفي أو "معطيات رقمية" data يُرسلها أحد طرفي الاتصال. أما قنوات التحكم فيعتمد عليها النظام الخلوي لإنجاز مهام تنسيق مختلفة ومتشعبة، منها ما هو خاص بالتحكم بأطوار الاتصال المختلفة، ومنها ما يتعلق بتحقيق التزامن بين الشبكة والوحدات المتحركة، أو بتنسيق التشارك في موارد الشبكة.

1.1. خطوات إجراء اتصال:

يبين الشكل 4–7 خطوات إجراء اتصال نموذجي بين وحدتين متحركتين ضمن منطقة تُديرها MTSO واحدة، وهي:

- تهيئة الوحدة المتحركة: تقوم الوحدة المتحركة عند تشغيلها بفحص وانتقاء أقوى إشارة لقناة تحكم تابعة لإحدى المحطات القاعدية المجاورة، الشكل 4–7–a. إذ تقوم كل محطة قاعدية بشكل متكرر بالبث على قناة للتهيئة set up خاصة بها. تجري عمليات التحقق من هوية المحطة المتحركة وتسجيل موقعه الحالي. وطالما بقيت الوحدة المتحركة بوضعية تشغيل تستمر بفحص قنوات التحكم بشكل دوري بهدف مراقبة تحرك الوحدة المتحركة. فإذا دخلت الوحدة المتحركة ضمن نطاق خلية جديدة فسيجري انتقاء المحطة القاعدية التابعة لها. إضافةً لذلك، يجري مراقبة الوحدة المتحركة لأجل إجراء عمليات النداء Paging –ستشرح لاحقاً.



الشكل 4-7: خطوات إجراء اتصال ضمن MTSO واحدة

- الاتصال الناشئ عن الوحدة المتحركة: تقوم الوحدة المتحركة بإنشاء اتصال بإرسال الرقم المطلوب عبر قناة التهيئة المنتقاة مسبقاً وفق الشكل 2-7-b. قبل إرسال الرقم تتأكد الوحدة المتحركة من خلو قناة التهيئة الصاعدة، وعند التأكد من خلوها تقوم بإرسال الرقم المطلوب إلى المحطة القاعدية، التي تُرسل هذا الطلب إلى MTSO. خلال مرحلة إنشاء الاتصال، إذا كانت جميع قنوات نقل المعلومات التابعة للمحطة القاعدية المعنية مشغولة، تجري عدة محاولات متتابعة متكررة لإنشاء الاتصال قبل إعلان فشل تحقيق الاتصال.
- إجرائية النداء Paging: تحاول MTSO إجراء الاتصال مع الوحدة المطلوبة. تُرسل MTSO رسالة النداء إلى بعض المحطات القاعدية بالاعتماد على رقم الوحدة المطلوبة وفق الشكل 2-7-c. تقوم كل محطة قاعدية بدورها بإرسال رسالة النداء عبر قناة التهيئة الهابطة الخاصة بها.
- قبول الاتصال: تتعرف الوحدة المطلوبة – عبر مراقبتها المستمرة لقناة التهيئة الهابطة – على رقمها وتقوم بإجابة المحطة القاعدية، التي بدورها تُرسل الإجابة إلى MTSO. تختار MTSO قناة

اتصال عاملة متاحة لكل محطة من المحطتين القاعديتين مخصصتين للوحدة الطالبة والمطلوبة وتخبر كل محطة قاعدية بقناة نقل المعلومات المخصصة لهذا الاتصال، بدورها تُعلم MTSO الوحدة المتحركة التابعة لها بهذه القناة، وفق الشكل 2-7-d.

- استمرار الاتصال: طوال فترة الاتصال، تتبادل الوحدتان الإشارات الصوتية أو أية معطيات أخرى عبر المحطات القاعدية و MTSO المعنية. خلال مرحلة الاتصال هذه، إذا تدنت الإشارة المستقبلة تحت المستوى المقبول لفترة من الزمن إما بسبب تشويش ما أو ضعف بالإشارة بمناطق محددة يجري تحرير (إنهاء) هذا الاتصال ويُعلَم MTSO بذلك وتُحرَّر قنوات نقل المعلومات.
- التسليم handover: إذا تحركت الوحدة المتحركة أثناء الاتصال خارج نطاق الخلية التابعة لها ودخلت ضمن نطاق خلية أخرى فيتوجب تخصيص قناة عاملة جديدة لهذه الوحدة تابعة للمحطة القاعدية الجديدة. الشكل 2-7-f. تقوم MTSO بهذا التغيير بدون انقطاع الاتصال أو إخبار المستخدم عن هذا التسليم.
- تحرير الاتصال Call release: عندما يقوم أحد مستخدمي الاتصال بإنهاء ذلك الاتصال، سيجري إخبار MTSO وسيجري تحرير قنوات نقل المعلومات لكلا المحطتين القاعديتين.

2.1.مبدأ التسليم Handoff:

يشير التسليم إلى إجرائية تغيير ارتباط وحدة متحركة من محطة قاعدية إلى أخرى وذلك عند تحركها من خلية إلى أخرى. تُعالَج مسألة التسليم بطرق متنوعة في الأنظمة المختلفة ويدخل فيها عدة عوامل. يمكن أن تبدأ إجرائية التسليم من المحطة القاعدية بناءً على شدة الإشارة المستقبلة من الوحدة المتحركة. وبشكل آخر، يمكن للوحدة المتحركة، وبناءً على الإشارات المستقبلة، أن تساهم بقرار البدء بإجرائية التسليم. إن العامل الرئيسي المستخدم للبدء بإجرائية التسليم هو وسطي الإشارة المستقبلة –إن كان من طرف الوحدة المتحركة أو من طرف المحطة القاعدية– ويجري حسابه خلال فترة من الزمن لإلغاء أثر التذبذب بشدة الإشارة الناجمة عن تعدد مسارات الإشارة. جرى طرح عدة استراتيجيات بهدف اتخاذ قرار البدء بإجرائية التسليم، ويُتخّذ في الشرح اللاحق الإشارات الواصلة إلى الوحدة المتحركة من المحطتين القاعديتين كمرجع للقياس.

تعتمد الإستراتيجية الأولى على شدة الإشارة النسبية بين المحطة القاعدية الأولى والثانية، فإن تجاوزت إشارة إحدى المحطتين الأخرى بدأت إجرائية التسليم نحو المحطة ذات الإشارة الأقوى. يمكن أن تؤدي هذه الإستراتيجية إلى تأرجح ارتباط الوحدة المتنقلة بين المحطتين القاعديتين في حال كانت شدة إشارة المحطتين القاعديتين تتذبذب بسبب ظروف انتشار إشارتيهما.

تعتمد الإستراتيجية الثانية على بقاء الوحدة المتنقلة مرتبطة مع المحطة القاعدية طالما أن شدة إشارتها فوق عتبة محددة، أي بشكل تسمح باستمرار الاتصال بنوعية مقبولة. ففي حال تدنت شدة إشارة المحطة القاعدية تحت مستوى العتبة وكانت شدة إشارة المحطة القاعدية الثانية أقوى من الأولى بدأت إجرائية التسليم.
أما الإستراتيجية الثالثة فتعتمد على بدء إجرائية التسليم عندما تتجاوز شدة إشارة المحطة الثانية شدة إشارة المحطة المرتبطة معها الوحدة المتحركة بعتبة محددة. تتجنب هذه الإستراتيجية مشكلة الأرجحة إذ لا يمكن للمحطة المتحركة أن تعيد ارتباطها مع المحطة الأولى السابقة إلّا إذا تجاوزت شدة إشارتها إشارة المحطة الحالية بالعتبة المحددة.

3.1. التحكم بطاقة الإرسال:

ساهمت عدّة مسائل في الأنظمة الخلوية في جعل موضوع التحكم الديناميكي بطاقة الإرسال من الأمور الواجب أخذها بعين الاعتبار، منها:

- يجب على الإشارة المستقبلة أن تكون فوق عتبة معينة لتحقيق اتصال فعال، ما يفرض استطاعة إرسال معينة.
- بنفس الوقت، من المحبذ تخفيض طاقة إرسال الوحدات المتنقلة للحد من تداخل الإشارات مع الإشارات المماثلة في الخلايا المجاورة، وللحفاظ على طاقة البطارية لفترة أطول، وكذلك لاعتبارات تمس الصحة بشكل عام.
- في أنظمة الطيف المنثور التي تستخدم تقنية CDMA من المفضل أن تكون شدة إشارات الوحدات المتحركة الواصلة إلى المحطة القاعدية متساوية للحفاظ على أداء النظام. ما يستدعي التحكم بطاقة إرسال كل محطة كلاً على حدة.

تقترح الأنظمة الخلوية إستراتيجيتين اثنين للتحكم بطاقة الإرسال. تُسمّى الأولى "حلقة التحكم المفتوحة بالطاقة" وتتخذ القرار فيها الوحدة المتحركة بدون أية مساعدة أو معلومات من المحطة القاعدية. تستند الوحدة المتحركة في هذه الإستراتيجية على شدة الإشارة المستقبلة من المحطة القاعدية وبناءً عليها تحدد طاقة إرسالها بشكل يتناسب عكسياً مع شدة الإشارة المستقبلة. تُسمّى الإستراتيجية الثانية "حلقة التحكم المغلقة بالطاقة" ومن خلالها تقوم المحطة القاعدية عبر إجراء قياسات على إشارة المحطة المتحركة المستقبلة من اتخاذ القرار بشأن طاقة إرسال المحطة المتنقلة وتُخبرها بذلك عبر قنوات الوصلة الهابطة المخصصة لهذا الأمر.

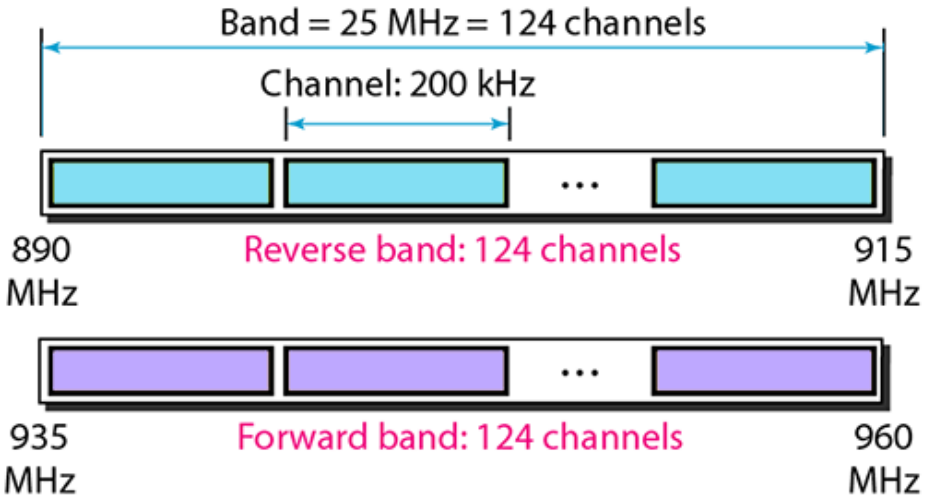
الجيل الثاني من نظم الاتصالات الخلوية المعتمِدة على تقنية TDMA

كانت الأجيال الأولى من الشبكات الخلوية، والتي تُعرف باسم "أنظمة الجيل الأول"، تعتمد "تقنيات تماثلية" "Analogue systems"، ذات سعات محدودة، وتقتصر على توفير خدمات الاتصالات الصوتية التقليدية، وتفتقر إلى خدمات التجوال الدولي، ولم يكن هناك أي تجانس بين المواصفات الفنية بين الشبكات القطرية.

جرى العمل على تطوير وبناء نظم، جرى تسميتها بالجيل الثاني، تعتمد تقنيات رقمية من جهة، وتستند إلى معايير معتمدة في عدة بلدان، ما يضمن انتشاراً أوسع وأسرع لها. لعل أهم فارق بين الجيلين الأول والثاني هو أن الأول تماثلي بالكامل بينما الجيل الثاني رقمي بالكامل بقنواته التحكمية وقنوات نقل المعطيات. تجعل هذه الميزة النظام ملائماً لنقل معطيات رقمية data كذلك يجري ترميز الصوت رقمياً قبل إرساله. يتيح ذلك تشفير المعطيات والصوت لمنع التنصّت، كذلك يتيح استخدام تقنيات كشف وتصحيح الأخطاء مما يؤدي إلى جودة في استقبال الصوت. يستخدم الجيل الثاني تقنيات النفاذ بالاقتسام المتعدد بالزمن TDMA أو بالرماز CDMA الذي يؤدي إلى تشارك عدة مستخدمين بقناة اتصال وحيدة، بينما ووفق الجيل الأول كان يخصص كل مستخدم بقناة مستقلة.

2. شبكة الجيل الثاني GSM network architecture:

يُعتبر نظام الشبكات الخلوي Global system for mobile communications (GSM) أبرز أنظمة الجيل الثاني، الذي طُوِّرت مواصفاته الفنية ضمن جهود أوروبية مشتركة، وأصبح هذا النظام في غضون سنوات قليلة النظام المهيمن تجارياً وتقنياً في العالم أجمع. استخدم نظام GSM النطاق الترددي حول التردد 900 MHz بعدد قنوات عددها 124 قناة مضاعفة (124 للوصلة الصاعدة و124 للوصلة الهابطة) بعرض حزمة 200 KHz للقناة الواحدة، كما يبين الشكل 5-7. ويتشارك كل ثمانية مشتركين بقناة واحدة وفق تقنية TDMA.



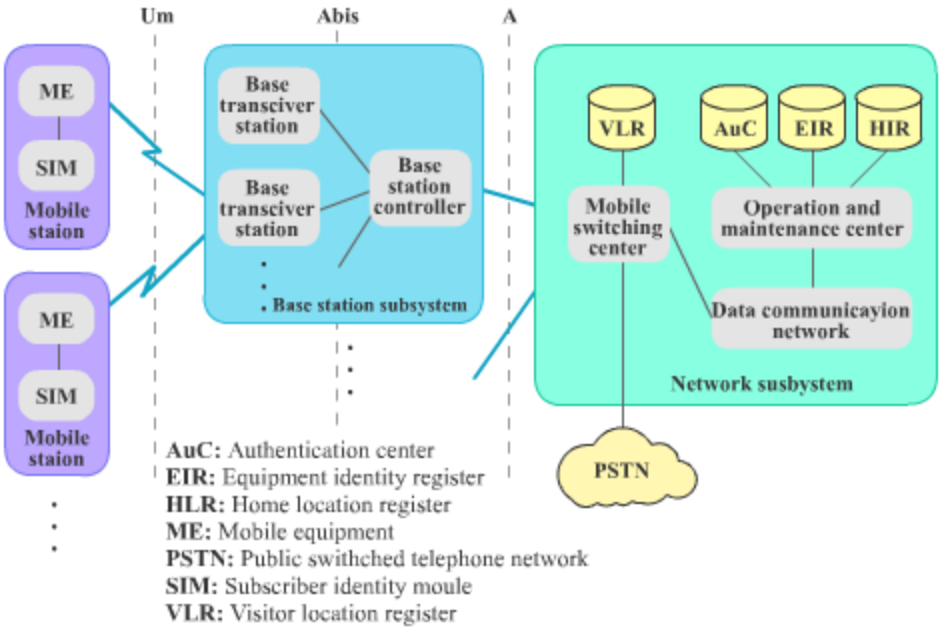
الشكل 5-7: النطاق الترددي لنظام GSM

ومع الانتشار الواسع لنظام GSM وازدياد عدد المشتركين، جرت إضافة نطاقات ترددية أخرى لأنظمة GSM وهي:1800 MHz و1900 MHz.

1.2. بنية شبكة نظام GSM:

يبين الشكل 6-7 المكونات الأساسية لنظام الاتصالات الخلوي من الجيل الثاني GSM. تُشير الحدود Um وA وAbis إلى واجهات التخاطب Interface بين الوحدات العاملة لنظام GSM، وهي موصَّفة بشكل كامل بالمواصفات الفنية لنظام GSM، مما يتيح لأجهزة متنوعة ومصنعَّة من قبل شركات مختلفة من العمل فيما بينها. ويتألف نظام GSM من:

- "الوحدة المتحركة" mobile equipment (ME): تتخاطب الوحدة المتحركة مع المحطة القاعدية الخاصة بالخلية التابعة لها عبر واجهة التخاطب Um ويُعرف أيضاً بـ "واجهة التخاطب مع قناة الانتشار اللاسلكية". يُشير مصطلح الوحدة المتحركة إلى جهاز الاتصال، مثل جهاز الاتصال النقال أو غيره من الأجهزة المماثلة. يحتوي جهاز الاتصال على وحدة الربط اللاسلكي والمعالجة mobile equipment (ME)، وعلى شريحة تعريف المشترك Subscriber identity module (SIM)، وهي عبارة عن بطاقة ذكية Smart card تحوي رقم المشترك والشبكات المرخّص التعامل معها، إضافة إلى مفتاح التشفير المستخدم بتشفير المعطيات الصوتية والرقمية بين الوحدة المتنقلة والمحطة القاعدية. وبالتالي يبقى جهاز الاتصال النقال عمومي إلى حين إدخال شريحة SIM داخله. يتكون رقم المشترك من 15 خانة ويدعى هوية المشترك المتنقل العالمية International Mobile Subscriber Identity (IMSI) ويتضمن هذا الرقم رمز البلد العالمي مما يسمح لهذه الشريحة SIM بالتجوال العالمي.



الشكل 6-7: المكونات الأساسية لنظام الاتصالات الخلوي من الجيل الثاني GSM

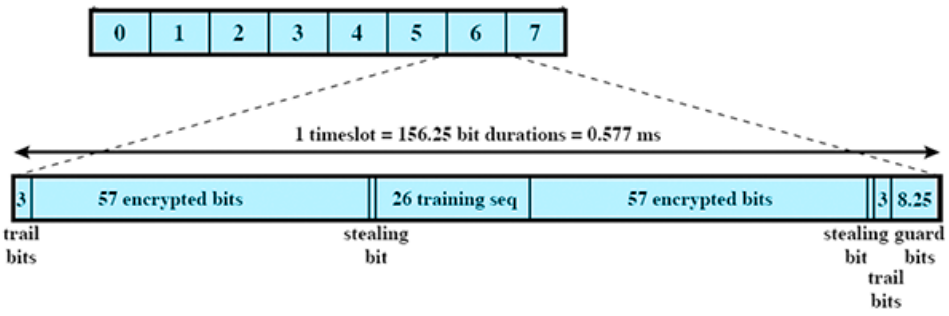
- الوحدة الفرعية للمحطات القاعدية Base station subsystem (BSS): تتألف تلك الوحدة الفرعية من عدد من المحطات القاعدية Base transceiver station (BTS) كل منها تعرِّف خلية واحدة، ويتراوح نصف قطر الخلية من 100 متر حتى 35 كيلومتر تعتمد بذلك على بيئة انتشار الإشارات وعلى تصميم الشبكة. ويتحكم بتلك بالمحطات القاعدية متحكِّم خاص Base station controller (BSC) ويماثل MTSO المذكور سابقاً، إذ يقوم بتخصيص قنوات المعطيات، ويدير عمليات التسليم، ويتحكم بإجراءات النداء Paging.
- الوحدة الفرعية الشبكية Network subsystem (NS): تؤمن هذه الوحدة الفرعية الربط بين الشبكة الخلوية GSM وشبكة الهاتف الثابت العمومية. كما تؤمن عمليات التسليم بين BSSs مختلفة، وتتوثق من هويات المستخدمين وتتحقق من صحة حساباتهم، كما تحتوي على الوظائف اللازمة لتأمين عملية التجوال Roaming. وتكوِّن وحدة التبديل المركزية mobile switching center (MSC) العنصر الرئيس ضمن NS. تتضمن وحدة التبديل MSC تقنياتٍ مختلفة لتبديل الدارات Circuit-switching وتتصل مع شبكة الهاتف الثابت العمومية. يدعم عملها أربعة أنواع من قواعد المعطيات، وهي:
- سجل مقر الاشتراك Home location register (HLR): عندما يحصل المشترك على الشريحة الخاصة به بعد اشتراكه بخدمات الشبكة، يجري تسجيل أو حفظ أهم المعلومات المتعلقة بنوع وطبيعة ومزايا اشتراكه في هذا السجل.

- سجل المقر الحالي Visitor location register (VLR): لابد لتوجيه اتصال ما، سواءً من أو إلى مشترك، من أن تتوفر لدى NS معلومات عن المشترك وخصوصاً مكانه. يجري تحديد مكان المشترك الحالي عن طريق "سجل المقر الحالي" الذي يحوي معلومات عن المشتركين الموجودين فيزيائياً ضمن المنطقة التابعة لمركز تبديل MSC.
- قاعدة معطيات التَوثُّق Authentication center database (AuC): يجري حفظ معلومات التوثُّق ومفاتيح التشفير الخاصة بكل مشترك.
- سجل أجهزة المشتركين Equipment identity register database (EIR): يمثل هذا السجل قاعدة معطيات تتضمن نوع ورقم الجهاز المحمول المستخدم من قبل المشترك. يتألف رقم الجهاز من 15 خانة ويدعى هوية الجهاز المتنقل العالمية International Mobile Equipment Identity (IMEI) ويخزن هذا الرقم داخل الجهاز من قبل الشركة الصانعة عند تصنيعه. يتيح السجل EIR التأكد من سلامة الأجهزة التي تلج إلى الشبكة فنياً وقانونياً. فيمكن مثلاً حظر استخدام أجهزة ذات منشأ معين، أو أجهزة ضمن نموذج معين أو التي ذات أرقام تصنيع محددة.

2.2. بنية إطار المعطيات TDMA frame format:

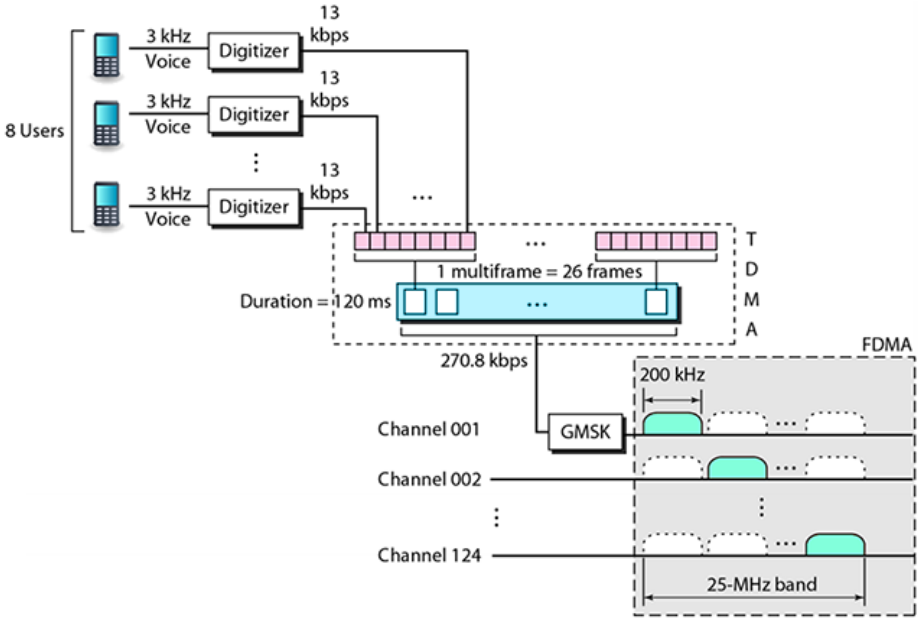
يبلغ عرض حزمة القناة الواحدة 200 KHz، ويتشارك في القناة الواحدة ثمانية مشتركين وفق تقنية TDMA لكل مشترك الحيّز الزمني المخصص له للإرسال. يجري تشكيل الرشقة burst الخاصة بالمشترك المعدَّة للإرسال ضمن الحيز الزمني كما يبين الشكل 7-7. يجري ضغط الإشارة الصوتية باستخدام خوارزمية Linear predictive coder، ثم تُرمَّز المعطيات الناتجة باستخدام الترميز التلفيفي convolutional error correcting code الذي يؤمن إمكانية كشف وتصحيح الأخطاء، يجري بعد ذلك تشفير المعطيات المرمزة باستخدام مفتاح التشفير الخاص بالمشترك، ثم يجري تشكيل الرشقة وتعدَّل وفق التعديل Gaussian minimum shift keying (GMSK). تُشكِّل الرشقة الواحدة، وفق الشكل 7-7، من:

- 114 بت من معطيات المستخدم الناتجة عن عملية التشفير encrypted bits
- تتابع من البتات trail bits تسمح بمزامنة إرسال الوحدات المتحركة المتوضعة على مسافات مختلفة عن المحطة القاعدية
- تتابع من بتات التدريب training sequence تُستخدم لضبط المستقبل وفق الإشارة المستقبلة
- stealing bit تحدد فيما إذا كانت المعطيات المرفقة هي معطيات للمشترك أو تُستخدم حالياً لنقل إشارات تحكمية طارئة
- بتات حماية guard bits وتستخدم لتجنب التراكب مع رشقات أخرى نتيجة تباين زمن وصول الإشارات الناتج عن اختلاف مسارات الانتشار



الشكل 7-7: تشكيل رشقة واحدة

يوضح الشكل 7-8 نظام GSM. تُخصَّص كل قناة من أقنية نقل المعطيات إلى ثمانية مشتركين وفق تقنية TDMA. ويتشكل إطار المعطيات من رشقات متتالية من ثمانية مشتركين وهو يُعتبر المستوى الأدنى من التسلسل الهرمي لتجميع الأطر. يجري تجميع 24 إطار معطيات يتبعهما إطاري تحكم ليتشكل منهم الإطار المتعدد multiframe الذي يتكرر ضمن القناة الواحدة.



الشكل 7-8: نظام GSM

خدمات الجيل الثاني:

جرى تصميم نظام GSM خلال طوره الأول بشكل رئيسي للتراسل الصوتي، وخلال طوره الثاني جرى تعريف وإدخال خدمة الفاكس، وتُستخدم قناة نقل المعلومات لنقل المعطيات الصوتية ومعطيات الفاكس. وفي الطور الثالث جرى تزويد نظام GSM بالخدمة الأكثر أهمية وهي: خدمة الرسائل القصيرة SMS. إن إدخال هذه الخدمة اقتضى من مشغلي الأنظمة الخلوية إجراء تعديل على بنية الشبكة عبر إحداث مركز خدمات مهمته تلقي الرسائل القصيرة ومعالجتها وفق مبدأ "التخزين والترحيل" Store and forward، وبالتالي فإن التسليم سيكون مزاحاً زمنياً. لا يتطلب إرسال SMS إنشاء اتصال، كما إنه يعتمد على التسليم الموثوق، أي بحاجة إلى تأكيد الاستلام acknowledgment، وتعتمد على بروتوكول "توجيه الرزم" packet switching protocol. جرى توسعة مفهوم SMS من خلال EMS مع إمكانية إرسال صور بأحجام محددة.

نحو الانتقال إلى الجيل الثالث:

عند البدء بطرح خدمات جديدة وتطوير الأخرى المتاحة سلفاً لدى نظام GSM كان لدى المطورون الخيار بتصميم نظام جديد كلياً لدعم تلك الخدمات، ولكن هكذا اتجاه كان سيعارضه الكثير من مشغلي الأنظمة الخلوية لما فيه من تكلفة باهظة ناجمة عن تغيير البنية التحتية. عوضاً عن ذلك نحى المصممون نحو بناء الخدمات الجديدة بالاعتماد على بنية GSM وإضافة مكونات للشبكة تسمح بتلبية الاحتياجات الجديدة.

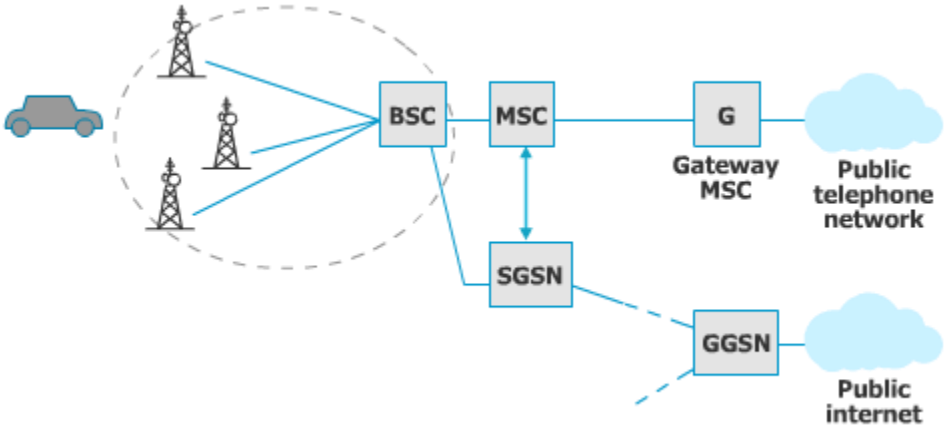
سمح نظام GSM بتبادل معطيات بسرعة محدودة بـ 9.6 Kbps عبر تخصيص حيز زمني واحد لهذا الغرض وهو المخصص أصلاً للمشترك. كتطوير مباشر لنظام GSM طرح نظام High-speed circuit switched data (HSCSD) إمكانية تخصيص عدة حيِّزات زمنية لنفس الاتصال وطوال فترة إجراء الاتصال مما يرفع من سرعة نقل المعطيات، ولكن على حساب استهلاك حيِّزات زمنية كان من الممكن تخصيصها لمشتركين بحاجة لإنشاء اتصال.

جرى مَعيَرة إرسال معطيات بشكل أطر بهدف التمكن من النفاذ إلى "الشبكة العمومية لنقل المعطيات بتوجيه الأطر" "packet switched public data network"، مثل شبكة الإنترنت. يجري إرسال أطر المعطيات بشكل رشقات bursts على خلاف نظام GSM الذي يقوم بحجز حيِّز طوال فترة الاتصال، وإذا جرى استخدامه بهذه الطريقة لنقل الأطر سيؤدي إلى استهلاك كبير غير مبرر لموارد النظام. وللتغلب على هذه المشكلة جرى تطوير نظام "خدمات الإرسال الراديوي الرُزمي" "General Packet Radio Service (GPRS) باستخدام واجهة التخاطب Um الخاصة بنظام GSM، تبعه تطوير آخر لرفع معدل تبادل المعطيات بشكل كبير وجرت تسميته "نظام ذو تراسل معطيات محسّن لتطوير GSM" Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE).

3. بنية شبكة GPRS:

يقوم نظام GPRS بحجز الموارد عند الحاجة لإرسال إطار أو لاستقباله، يتيح هذا الحل مرونة كبيرة في حجز الموارد، ويتشارك المستخدمون النشطون بالموارد المتاحة، فبإمكان عدة مستخدمين من التشارك بقناة واحدة (حيِّز زمني) وبالمقابل بإمكان مستخدم واحد من حجز عدة حيِّزات زمنية. ونتيجة عدم تناظر إرسال واستقبال الأطر، بشكل عام، يجري حجز الموارد ضمن الوصلة الصاعدة والهابطة بشكل مستقل.

جرى إضافة وحدات شبكية إضافية إلى بنية شبكة GSM لكي تتكامل خدمات GPRS معها، جرت تسميتها بـ "العقد الداعمة لنظام GPRS" "GPRS support nodes (GSN)". مهمة هذه العقد تسليم وتوجيه الأطر بين الوحدات المتحركة والشبكة العمومية لنقل المعطيات. يبين الشكل 9-7 بنية مبسطة لشبكة GPRS.



الشكل 9-7 بنية مبسطة لشبكة GPRS

تقوم العقدة Serving GPRS support node (SGSN) بتسليم أطر المعطيات من وإلى الوحدات المتحركة ضمن منطقة تغطيتها، ويتضمن عملها تسيير ونقل الأطر، ووصل وفصل الوحدات المتحركة والتوثُّق منهم. وتحتوي العقدة SGSN سجل الاشتراك location register المماثل لسجل مقر الاشتراك HLR الخاص بوحدة MSC بشبكة GSM، ويحتوي هذا السجل على معلومات المشتركين بشبكة GPRS والمسجلين ضمن SGSN المحددة، وتشمل المعلومات: الخلية الحالية، سجل المقر الحالي VLR، رقم المشترك، العنوان المخصص للمشترك في شبكة تراسل المعطيات.

تعمل العقدة A Gateway GPRS Support Node (GGSN) كصلة وصل مع شبكة تراسل المعطيات (الإنترنت مثلاً). تقوم بتحويل أطر GPRS الواردة من العقدة SGSN إلى أطر وفق الشكل

المناسب لشبكة تراسل المعطيات وترسلهم إلى الجهة المطلوبة، وبالعكس تقوم بتحويل الأطر الواردة من شبكة تراسل المعطيات إلى أطر GPRS ليجري تسليمها إلى الوجهة المطلوبة.

بنية شبكة EDGE:

ترفع شبكة EDGE من أداء وصلة الانتشار اللاسلكي بين الوحدة المتحركة والمحطة القاعدية بشكل كبير مقارنة مع GSM أو GPRS. تتطلب شبكة EDGE إجراء بعض التعديلات في الوحدات المتحركة (أجهزة الهاتف النقالة،...) وفي المحطات القاعدية، وكذلك في المتحكِّم BSC. بينما تبقى باقي عناصر شبكة GSM وشبكة GPRS كما هي.

استندت منهجية EDGE على استخدام قناة الانتشار بشكل أمثلي. فبدلاً من تقنية التعديل GMSK المطبقة بشبكة GSM و GPRS جرى إدراج تقنية التعديل (8-PSK) Octagonal phase shift keying التي تسمح بزيادة عدد البتات في الرمز الواحد، إضافةً إلى إدراج نماذج جديدة من الترميز Coding schemes.

باستخدام التقنيات المُحدَثة في شبكة EDGE يمكن مضاعفة معدلات النقل ثلاث مرات مقارنة مع مثيلاتها في شبكة GPRS.

1.3. الخدمات:

إضافةً للخدمات المقدمة من شبكة GSM، تقدم GPRS نقل معطيات بين المشتركين وفق تقنية "تبديل الرزم" packet switching. تقدم تلك الخدمات وفق نمط الترابط Connection-oriented mode أو نمط اللاترابط Connectionless mode. يمكن لشبكة GPRS من استخدام بروتوكولات "التسيير الموجّه لمجموعة بث" multicasting routing protocols، حيث يجري توجيه الأطر التابعة لمجموعة بث multicast group إلى أعضاء تلك المجموعة. يمكن لمزودي خدمة GPRS تزويد المشتركين بخدمات النفاذ إلى قواعد معطيات محددة، وبخدمات التراسل عبر البريد الالكتروني وبخدمات الكترونية أخرى. ولعل أكثر الخدمات أهمية هي النفاذ إلى شبكة الإنترنت.

4. الجيل الثالث UMTS:

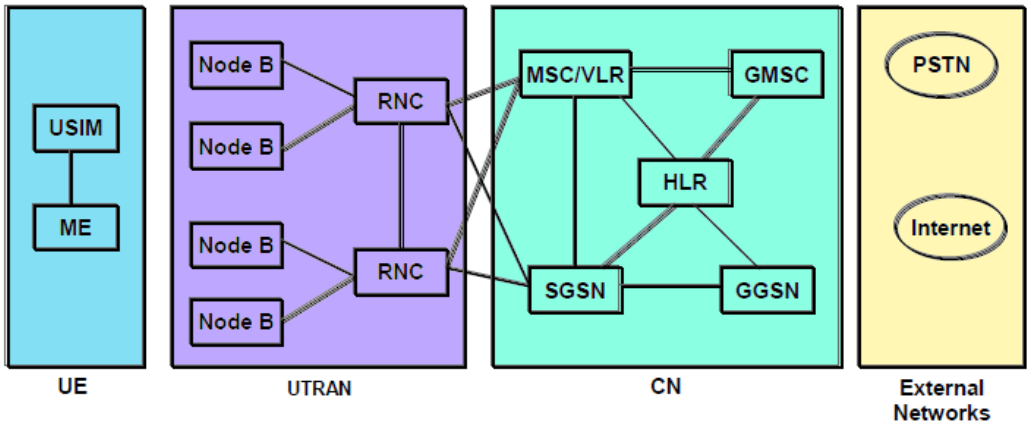
جرى إنشاء فريق عمل تحت اسم "مشروع الشراكة من أجل الجيل الثالث" 3rd Generation Partnership Project (3GPP) بنهاية القرن الماضي مهمته تطوير نظام خلوي جديد موحَّد. أطلق علية اسم "نظام الاتصالات النقال العالمي" Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). جرى استخدام تقنية "النفاذ المتعدد باقتسام الرماز عريض الحزمة" wideband code division multiple access (W-CDMA) كتقنية نفاذ راديوية بهدف زيادة الفعالية الطيفية وكذلك عرض الحزمة لمشغلي النظام. يوصِّف UMTS نظام الشبكة كاملاً والتي تتضمن شبكة النفاذ الراديوي، الشبكة اللبية core network، والتوثق من المشتركين عبر الشريحة SIM، وبالتالي يتطلب العمل بالنظام UMTS إنشاء بنية تحتية جديدة كلياً. ومع ذلك فقد أُخِذ بعين الاعتبار عند وضع تصميم الأجهزة النقالة للجيل الثالث أن تتوافق مع تقنيات الجيل الثاني GSM و GPRS. يدعم نظام UMTS، كما هو الحال بنظام GPRS، معدلات مختلفة لنقل المعطيات تتراوح من 384 Kbps في حالة الحركة وتصل إلى 2 Mbps في حالة الثبات.

يمكن تقسيم الشبكة اللبيّة إلى قسمين منفصلين منطقياً، الأول لتقديم الخدمات وفق نمط "تبديل الدارات" مع ملاحظة أن الوحدات المؤلفة له هي عناصر مشابهة لمثيلاتها في نظام GSM ولكن محدّثة وفق مواصفات UMTS، والقسم الثاني لتقديم الخدمات وفق نمط "تبديل الرزم" مع ملاحظة أن الوحدات المؤلفة له هي عناصر مشابهة لمثيلاتها في نظام GPRS ولكن محدّثة وفق مواصفات UMTS.

يبين الشكل 10-7 بنية مبسطة لشبكة UMTS، وتتألف من:

- الوحدة المتحركة أو الجهاز النقال User equipment (UE) مزوَّد بشريحة UMTS SIM تتضمن رقم المشترك والخدمات المقدمة له، إضافةً للتوثق ومفاتيح التشفير.
- وحدة شبكة النفاذ UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)، وهي تُدير جميع الوظائف المتعلقة بالربط الراديوي، وتتألف من مجموعة من العقد B مكافئة للعقد BTS في نظام GSM، ووظيفتها إجراء عمليات ترميز القناة، وتخصيص المشترك بمعدل النقل المناسب، إضافةً لعمليات التزامن والتحكم بطاقة الإرسال. كما تتضمن وحدة شبكة النفاذ مجموعة من عقد التحكم Radio Network Controller (RNC) مكافئة للعقد BSC في نظام GSM، وظيفتها التحكم في إدارة الموارد الراديوية للعقد B، كما تتولى الوظائف المتعلقة بالتسليم handover، والتحكم بالاختناقات، والتشفير، وإدارة عمليات قبول الاتصال، وتقوم أيضاً بالتحويل بين بروتوكولات المشترك التي يؤمنها الجهاز النقال وبروتوكولات الشبكات العالمية المختلفة.

- الشبكة اللبيّة Core network (CN)، ومهمتها إجراء عمليات التبديل switching والتسيير routing للمكالمات وللمعطيات، إضافةً إلى عمليات تسجيل المشتركين وتتبعهم. تتألف الشبكة اللبية من:
- قاعدة معطيات "سجل مقر الاشتراك" Home Location Register (HLR) مشابهة لمثيلتها في نظام GSM مضافاً عليها الخدمات المقدمة لكل مشترك.



الشكل 10-7 بنية مبسطة لشبكة UMTS

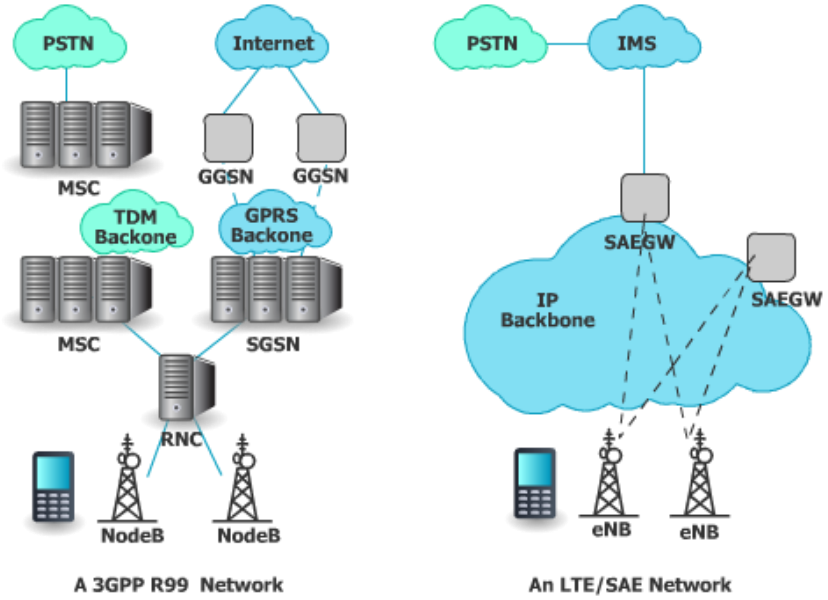
- قاعدة معطيات "سجل المقر الحالي" للدلالة على الموقع الحالي للمشترك، مضافاً إليها مبدل switch للقيام بمهمة التبديل switching للخدمات التي تتطلب العمل وفق نمط "تبديل الدارات" circuit switching
- مبدل Gateway MSC (GMSC) وظيفته ربط نظام UMTS مع الشبكة الهاتفية الأرضية Public switching telephone network (PSTN)
- مبدل Serving GPRS Support Node (SGSN) وظيفته دعم الخدمات ذات نمط الاتصال "تبديل الرزم" packet switching.
- مبدل Gateway GPRS Support Node (GGSN) لربط نظام UMTS مع شبكة تراسل المعطيات ذات نمط الاتصال "تبديل الرزم".

5. الجيل الرابع LTE:

يشير مصطلح LTE إلى Long term evolution، وقد جرى وضعه من قبل التجمع 3GPP بهدف وضع مواصفات لجيل من الاتصالات الخلوية لما بعد الجيل الثالث، وتم الاتفاق على تسمية النظم وفق تلك المواصفات بالجيل الرابع 4G. كان المحفز الأساسي لتطوير الشبكة الخلوية لما وراء UMTS هو النمو السريع لحركة تبادل المعطيات، وحاجة التطبيقات الحديثة – التي تقدمها شبكة الإنترنت، وغيرها – إلى المزيد من عرض الحزمة المخصصة لكل مشترك والاستجابة لتلك التطبيقات بالحد الأدنى من التأخير. للاستجابة إلى تلك المتطلبات سعى المصممون إلى تبسيط بنية الشبكة عبر جعلها معتمدةً كلياً على "بروتوكول الإنترنت" Internet protocol (IP)، وبالتالي توجّب إعادة تصميم شبكة النفاذ الراديوي والشبكة اللبيّة للاستفادة من الشبكة الفقارية للإنترنت. ولكي تكون تلك التغييرات كافية لخدمات الزمن الحقيقي بنمط "تبديل الرزم" جرى تطوير عقدة بإسم: "بوابة لتطوير بنية النظام" System Architecture Evolution Gateway (SAEGW). تسمح تلك العقدة برفع معدل تبادل المعطيات بشكل كبير مقارنة مع الجيل السابق –300 Mbps للوصلة الهابطة و 75 Mbps للوصلة الصاعدة، كما أن التصميم سمح بتقليص عدد عقد أو وحدات المعالجة الموجودة ضمن الشبكة مما أدى إلى تقليص زمن استجابة الشبكة ككل، الذي بدوره أدى إلى إمكانية العمل بتطبيقات الزمن الحقيقي.

جرى استخدام تقنية "النفاذ المتعدد باقتسام الترددات المتعامدة" Orthogonal frequency division multiple access (OFDMA) كتقنية نفاذ راديوية والتخلي نهائياً عن تقنية النفاذ CDMA المستخدمة في الجيل الثالث، لما تقدمه تقنية OFDMA من إمكانية زيادة عرض الحزمة الطيفية مع رفع معدل النقل والمناعة ضد مشاكل انتشار الإشارة متعدد المسارات. كذلك من جهة النفاذ الراديوي جرى استخدام تقنية الهوائيات المتعددة Multiple input multiple output (MIMO) بهدف زيادة معدل النقل من جهة ولرفع كفاءة الاتصال.

يبين الشكل 11–7 الفروقات الجوهرية بين بنية UMTS وLTE. ويلاحظ تقليص عدد عقد المعالجة ضمن النظام LTE.



الشكل 11-7 الفروقات الجوهرية بين بنية UMTS وLTE

تقوم العقد eNB بدور المحطات القاعدية وترتبط بعقد SAEGW عبر الشبكة الفقارية IP backbone، أي يمكن لأية عقدة eNB التخاطب مع أية عقدة SAEGW. تقوم العقدة SAEGW بمهام شبكة GPRS المتمثلة بإدارة الحركية والتسليم، وبوابة للنفاذ لخدمات الشبكات المختلفة، إضافةً إلى قواعد بيانات المشتركين، كما تتيح العقدة الحركية والتسليم بين نظام LTE وأنظمة أخرى، مثل: WiMAX أو أنظمة الجيل الثاني والثالث الخلوية.

6. الأسئلة:

1. اشرح كيف يجري إعادة استخدام الترددات في خلايا نظم الاتصالات الخلوية.
2. ما هي العناصر الرئيسية لنظام اتصالات خلوي؟
3. اشرح الخطوات العامة لإجراء اتصال خلوي.
4. اشرح الاستراتيجيات المتنوعة المستخدمة لإجراء التسليم.
5. ناقش أهمية التحكم بطاقة الإرسال في الأنظمة الخلوية.
6. ما هي الفروق الأساسية بين الجيل الأول والثاني من نظم الاتصالات الخلوية؟
7. اشرح المكونات الرئيسية لنظام الاتصالات الخلوي GSM مبيناً أنواع قواعد المعطيات المستخدمة فيه والهدف منها.
8. اشرح بنية إطار المعطيات لنظام الاتصالات الخلوي GSM، وكيف يجري تجميع الأطر هرمياً؟
9. ما التطوير المقترح على نظام الاتصالات الخلوي GSM لرفع سرعة نقل المعطيات.
10. ما الفروقات الجوهرية بين نظام GSM ونظام GPRS.
11. كيف يمكن شبكة EDGE من مضاعفة معدلات النقل مقارنة مع نظام GPRS؟
12. اشرح المكونات الأساسية لبنية مبسطة لشبكة UMTS.
13. وضح الفروقات الجوهرية بين بنية UMTS و LTE.