KS. TRỊNH QUỐC TIẾN
và nhóm tin học thực dụng

HƯỚNG DẪN SỬ DỤNG WiMAX

CÔNG NGHỆ TRUY CẬP MẠNG KHÔNG DÂY BĂNG TẦN RỘNG ĐỜI MỚI

NHÀ XUẤT BẢN HỒNG ĐỨC

KS: TRỊNH QUỐC TIẾN
và nhóm tin học thực dụng

Hướng dẫn sử dụng WiMAX

Công nghệ truy cập mạng không dây băng tần rộng đời mới

NHÀ XUẤT BẢN HỒNG ĐỨC

LỜI NÓI ĐẦU

WiMAX hiện đang là một trong những hệ thống viễn thông toàn cầu đầy hứa hẹn nhất với nhiều ứng dụng. Đây là một công nghệ truy cập không dây băng tần rộng dựa trên chuẩn IEEE 802.16 và trên các tài liệu WiMAX Forum. Chính vì vậy, cuốn sách "***Hướng dẫn sử dụng WiMAX - Công nghệ truy cập mạng không dây băng tần rộng đời mới***" được biên soạn nhằm mục đích giới thiệu hoàn chỉnh về hệ thống WiMAX và sự phát triển kỹ thuật ở mọi khía cạnh của WiMAX.

Sách được chia thành bốn phần độc lập. Phần 1 giới thiệu chung về WiMAX. Phần 2 trình bày lớp vật lý WiMAX, tập trung vào những tính năng chính như truyền OFDM và dạng biến đổi của nó, OFDMA. Phần 3 mô tả lớp MAC và cụ thể hơn là tính năng đa truy cập và sự quản lý chất lượng dịch vụ QoS của WiMAX. Phần 4 bao gồm những chủ điểm như quản lý nguồn tài nguyên vô tuyến, tìm hiểu cấu trúc mạng, khả năng di động và bảo đảm sự an ninh cho mạng WiMAX.

Đây là cuốn sách nói về một công nghệ truy cập mạng không dây rất mới. Do đó, chúng tôi rất hy vọng cuốn sách này sẽ là một tài liệu tham khảo đặc biệt quý giá cho bạn đọc trong quá trình tìm hiểu và sử dụng hệ thống WiMAX.

Chúng tôi cũng rất mong nhận được những ý kiến đóng góp quý báu từ bạn đọc về một số sai sót khó tránh khỏi trong quá trình biên soạn cũng như các góp ý nhằm làm cho sách hoàn thiện hơn. Xin chân thành cảm ơn.

Tác giả.

Phần 1

Giới thiệu WiMAX

Chương 1

Giới thiệu sự truy cập không dây băng tần rộng

1.1 Nhu cầu truyền dữ liệu không dây

Kể từ những thập niên cuối cùng của thế kỷ thứ hai mươi, các mạng dữ liệu đã phát triển rất thành công và ổn định. Sau khi lắp đặt các mạng Internet cố định ở nhiều nơi trên khắp hành tinh và bây giờ càng được mở rộng, nhu cầu truy cập không dây (wireless access) hiện nay trở nên rất quan trọng. Chắc chắn rằng cuối thập niên đầu tiên của thế kỷ thứ hai mươi mốt, sự truy cập dữ liệu không dây tốc độ cao, nghĩa là tính bằng Mb/s sẽ được triển khai trên khắp toàn cầu.

Sự truyền thông không dây có từ cuối thế kỷ thứ mười chín khi các chương trình Maxwell cho thấy việc truyền thông tin có thể thực hiện được mà không cần đến một dây. Vài năm sau, những cuộc thử nghiệm chẳng hạn như cuộc thử nghiệm của Marconi đã chứng minh rằng truyền tải không dây có thể trở thành hiện thực và được với các khoảng cách khá dài. Qua thế kỷ thứ hai mươi, những khám phá và phát minh điện tử và sự lan truyền đã dọn đường cho nhiều hệ thống truyền tải không dây.

Trong những năm 1970, Bell Labs đã đề xuất khái niệm cellular, một ý tưởng kỳ diệu cho phép bao phủ một vùng lớn tùy thuộc mức độ cần thiết bằng cách sử dụng một băng thông tần số cố định. Kể từ sau đó, nhiều công nghệ wireless đã được sử dụng rộng rãi, thành công nhất cho đến bây giờ là GSM, sự truyền thông Global System for

Mobile (trước đây là Groupe Sp&eUcial Mobile), ban đầu là hệ thống di động thế hệ thứ hai của Châu Âu. GSM là một công nghệ được sử dụng chủ yếu để truyền tiếng bổ sung cho việc truyền dữ liệu tốc độ thấp chẳng hạn như Short Message Service (SMS).

GSM có những phát triển đã được sử dụng trong nhiều quốc gia. Những phát triển này được định hướng nhằm làm dễ dàng sự truyền dữ liệu tương đối cao trong các mạng dựa vào nền tảng GSM. Những phát triển quan trọng nhất là:

- **GPRS (General Packet Radio Service)**, sự phát triển chuyển gói dữ liệu (packet) của GSM.
- **EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)** bao gồm sự thích ứng hiệu suất điều biến liên kết hoặc digital (kỹ thuật số), nghĩa là sự thích ứng của những thuộc tính truyền đối với trạng thái kênh vô tuyến (thay đổi nhanh).

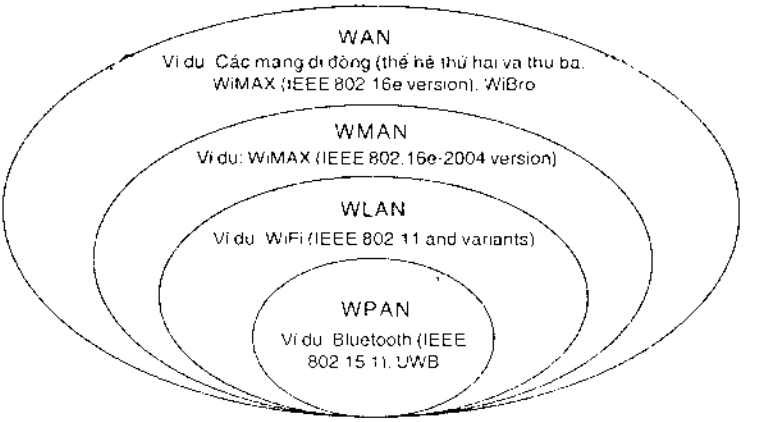
Ngoài GSM, các hệ thống di động thế hệ thứ ba (3G), ban đầu là công nghệ UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) của Châu Âu và Nhật Bản và ban đầu là công nghệ cdma2000 của Mỹ đã được triển khai và hứa hẹn là những hệ thống truyền thông không dây.

Các hệ thống di động đã bao phủ các khu vực rộng lớn bằng các quốc gia. Một phương pháp khác là sử dụng các mạng truy cập không dây mà ban đầu được đề xuất cho các mạng cục bộ (LAN) nhưng cũng được sử dụng cho các mạng diện rộng.

1.2 Các mạng Wireless và Broadband Wireless Access (BWA)

1.2.1 Các loại mạng dữ liệu khác nhau

Có một số lớn các công nghệ truyền không dây, những hệ thống khác vẫn đang được thiết kế. Những công nghệ này có thể được phân bố trên các họ mạng khác nhau dựa vào quy mô mạng. Trong hình 1.1, một sự thể hiện đặc trưng bây giờ (còn được gọi là "hình các quả trứng") về các hạng mục mạng không dây với những công nghệ nổi tiếng nhất cho các loại mạng.



Hình 1.1: Minh họa các loại mạng. Mỗi hạng mục cho các công nghệ phổ biến nhất. Với hình này, một số người thêm một "quả trứng" nhỏ hơn trong WPAN (Wireless Personal Area Network), tượng trưng WBAN (Wireless Body Area Network) với một vùng phủ sóng vài mét, nghĩa là vùng lân cận của một người nào đó.

Personal Area Network (PAN) là một mạng dữ liệu (thường không dây) được sử dụng để giao tiếp giữa các thiết bị dữ liệu gần một người. Phạm vi của một PAN sau đó là vài mét, thường được xem là nhỏ hơn 10m, mặc dù một số công nghệ WPAN có thể có phạm vi hoạt động lớn hơn. Các ví dụ về các công nghệ WPAN là Bluetooth, UWB và Zigbee.

Local Area Network (LAN - mạng cục bộ) là một mạng dữ liệu được sử dụng để giao tiếp giữa các thiết bị dữ liệu: máy tính, các máy điện thoại, máy in và máy hỗ trợ cá nhân kỹ thuật số (PDA). Mạng bao phủ một khu vực tương đối nhỏ như một căn nhà, một văn phòng hoặc một khuôn viên trường đại học nhỏ (hoặc một phần của một khuôn viên trường đại học). Phạm vi của LAN là 100 mét. Các LAN hiện được sử dụng nhiều nhất (cho đến bây giờ) là Ethernet (LAN cố định) và WiFi (Wireless LAN hoặc WLAN).

Metropolitan Area Network (MAN - mạng vùng đô thị) là một mạng dữ liệu có thể bao phủ lên đến vài kilômét, thường là một khuôn viên trường đại học lớn hoặc một thành phố. Ví dụ, một trường đại học có thể có một mạng MAN nối kết lại nhiều LAN của nó được đặt xung quanh site, mỗi LAN bao phủ nửa kilômét vuông. Sau đó từ MAN này, trường đại học cũng có thể có một số link dẫn đến những MAN khác vốn tạo nên một WAN. Các ví dụ của những công nghệ MAN là FDDI (Fiber-Distributed Data Interface), DQDB (Distributed Queue Dual Bus) và MAN dựa vào nền tảng Ethernet. WiMAX cố định có thể được xem là một Wireless MAN (WMAN).

Wide Area Network (WAN - mạng diện rộng) là một mạng dữ liệu bao phủ một khu vực địa lý rộng lớn bằng hành tinh. Các WAN dựa vào nối kết của các LAN, cho phép những người dùng trong một vị trí giao tiếp với những người dùng ở những vị trí khác. Một WAN thường gồm có nhiều nút chuyển mạch liên thông. WAN hiện được sử dụng nhiều nhất (cho đến bây giờ) là mạng Internet. Những ví dụ khác là các mạng 3G và mạng WiMAX di động vốn là các Wireless WAN. Các WAN thường có các tốc độ dữ liệu thấp hơn nhiều so với các LAN (ví dụ hãy xem xét Internet và Ethernet).

Đối với hình này, một số người thêm một "quả trứng" nhỏ hơn trong WPAN, tượng trưng cho WBAN, Wireless Body Area Network, với tầm phủ sống vài mét, nghĩa là vùng gần lân cận của một người nào đó. Ví dụ, một WBAN có thể kết nối handset với tai nghe, với quần áo "thông minh"...

1.2.2 Một số chuẩn mạng dữ liệu IEEE 802

WiMAX dựa vào chuẩn IEEE 802.16 [1], [2]. Những nỗ lực chuẩn hóa cho các mạng dữ liệu vùng cục bộ đã bắt đầu vào năm 1979 IEEE, viện kỹ sư điện và điện tử Hoa Kỳ. Tháng hai năm 1980 (80/2), nhóm (hoặc ủy ban) công tác IEEE 802 đã được thành lập nhằm định nghĩa các chuẩn IEEE cho các mạng LAN và MAN. Những giao thức (protocol) và dịch vụ (service) được xác định trong IEEE 802 ánh xạ sang hai lớp phía dưới (Data Link và Physical) của mô hình tham chiếu nối mạng OSI bảy lớp [3], [4]. IEEE 802 tách biệt lớp Data Link (liên kết dữ liệu) OSI thành hai lớp con có tên là Logical Link Control (LLC) và Media Access Control (MAC) (xem chương 3).

Nhiều phân ban của IEEE 802 kể từ đó đã được thành lập. Các công nghệ mạng được sử dụng rộng rãi nhất dựa vào các phân ban IEEE 802 như sau:

- **IEEE 802.2, Logical Link Control (LLC).** Lớp con LLC trình bày một giao diện đồng nhất cho người dùng dịch vụ liên kết dữ liệu thường là lớp mạng (lớp 3 của mô hình OSI).
- **IEEE 802.3, Ethernet.** Ethernet được chuẩn hóa bởi IEEE 802.3 là một họ các công nghệ mạng cho các LAN được chuẩn hóa bởi IEEE 802.3. Nó nhanh chóng trở thành công nghệ LAN phổ biến nhất cho đến hiện tại. Các tốc độ dữ liệu có thể có là 100 Mb/s, 1 Gb/s và 10 Gb/s.
- **IEEE 802.5, Token Ring.** Công nghệ LAN Token Ring đã được thúc đẩy bởi IBM trong những năm đầu 1980 và được chuẩn hóa bởi IEEE 802.5. Lúc đầu khá thành công, Token Ring đã nhường chỗ sau khi 10BASE-T xuất hiện vào những năm 1990.
- **IEEE 802.11, WLAN, IEEE 802.11** là phân ban đã tạo ra những gì mà bây giờ được gọi là công nghệ WiFi. Hệ thống Wireless Local

Area Network (WLAN) và nhiều loại khác được đề xuất bởi nhóm (và các phân ban) công tác IEEE 802.11, được thành lập vào năm 1990. WLAN bao phủ một khu vực có bán kính 100 mét (300 feet). Đầu tiên, IEEE 802.11 (http://www.ieee802.org/11) và hai loại liên kết vô tuyến vật lý của nó, các chuẩn 802.11a và 802.11b đã được đề xuất cuối những năm 1990. Các sản phẩm IEEE 802.11b được chứng nhận bởi tập đoàn WiFi (Wireless Fidelity) đã có mặt sớm sau đó. Những sản phẩm này gần như đã được biết đến bằng cái tên WiFi Technology. Những sản phẩm WiFi này đã nhanh chóng đạt được thành công lớn chủ yếu nhờ vào tính đơn giản của chúng và sự mạnh mẽ của công nghệ, ngoài chi phí tương đối thấp và việc sử dụng các dãy tần số 2.4 GHz và 5 GHz không có bản quyền. Những loại khác của chuẩn 802.11 cơ bản có sẵn (802.11e, 802.11g, 802.11h, 802.11i,...) hoặc đang ở giai đoạn phác thảo (802.11n,...)

- **IEEE 802.15, WPAN**. Các công nghệ WPAN khác nhau đã hoặc đang được định nghĩa trong IEEE 802.15. IEEE 802.15.1 đã bao gồm Bluetooth, ban đầu được xác định bởi một sự liên hiệp các nhà sản xuất và bây giờ nghiên cứu sự phát triển của Bluetooth. Ngày nay, Bluetooth là một công nghệ thay thế cáp (dữ liệu) rộng rãi với một phạm vi lý thuyết lên đến 20m. IEEE 802.15.3a đã nghiên cứu một hệ thống Ultra-Wide Band (UWB), một mạng có tốc độ rất cao và có khoảng cách rất thấp. Bản phác thảo IEEE 802.15.3a chưa được chấp thuận. IEEE 802.15.4 nói về ZigBee, một công nghệ có mức độ phức tạp thấp dành cho ứng dụng tự động và một môi trường công nghiệp.
- **IEEE 802.16, BWA.** IEEE 802.16 là nhóm công tác của IEEE 802 dành riêng cho BWA. Mục đích của nó là đề xuất các chuẩn cho WMAN (tốc độ dữ liệu cao). Các chuẩn IEEE 802.16 được trình bày chi tiết trong mục 2.2. Đối với các sản phẩm 802.11, một diễn đàn chứng nhận đã được thiết lập cho các sản phẩm IEEE 802.16, diễn đàn WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) cũng được mô tả trong chương 2. Người ta đã có thể nói rằng WiMAX là tên thường được sử dụng cho những sản phẩm IEEE 802.16.

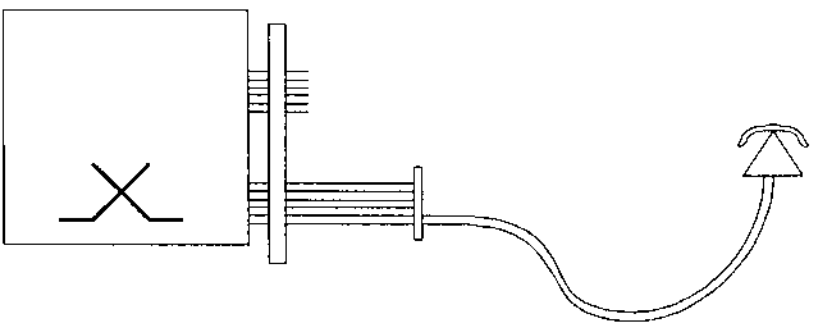
  Các mạng BWA có phạm vi hoạt động lớn hơn nhiều so với WLAN WiFi. Thực tế, IEEE 802.16 BWA có hai loại: IEEE 802.16-2004 định nghĩa một công nghệ WMAN truy cập không dây cố định và IEEE 802.16e là một sự chỉnh sửa của 802.16-2004 đã được chấp thuận trong tháng mười hai 2005. Nó có tính di động và sau đó là sự chuyển giao nhanh, cuối cùng trở thành một Wireless WAN (xem hình 1.1).
- **IEEE 802.20, Mobile Broadband Wireless Access (MBWA).** Mục đích của nhóm này là định nghĩa một công nghệ cho giao diện không khí dựa vào gói (packet) được thiết kế cho các dịch vụ dựa vào IP (IEEE Protocol). Công nghệ này được dành cho các thiết bị di động

tốc độ cao. Người ta đã báo cáo rằng MBWA sẽ dựa vào cái được gọi là công nghệ Flash OFDM do công ty Flarion đề xuất.

- Một thông số 802.20 phác thảo đã được bỏ phiếu kín và được chấp thuận vào ngày 18 tháng giêng 2006. Vào ngày 8 tháng sáu năm 2006, ủy ban tiêu chuẩn IEEE đã ra lệnh tất cả hoạt động của nhóm công tác 802.20 tạm thời bị trì hoãn [3].
- **IEEE 802.21, Media Independent Handover (MIH).** IEEE 802.21 là một chuẩn IEEE mới. Việc có một thiết bị viễn thông có khả năng hiểu được sự chuyển giao (handover) giữa hai công nghệ wireless không dây thì chắc chắn là điều thú vị. Một handover là hoạt động thay đổi base station (cell) tương ứng, kênh truyền thông, công nghệ,... mà không làm gián đoạn một phiên liên lạc từ xa đang tiến triển (cuộc trao đổi). IEEE 802.21 nghiên cứu các chuẩn nhằm cho phép chuyển giao và liên vận hành giữa các loại mạng khác nhau vốn được gọi là MIH. Những loại mạng này có thể thuộc họ IEEE 802 hoặc không. Ví dụ, chuẩn 802.21 cung cấp thông tin nhằm cho phép chuyển giao giữa các mạng 3G và mạng 802.11/WiFi.

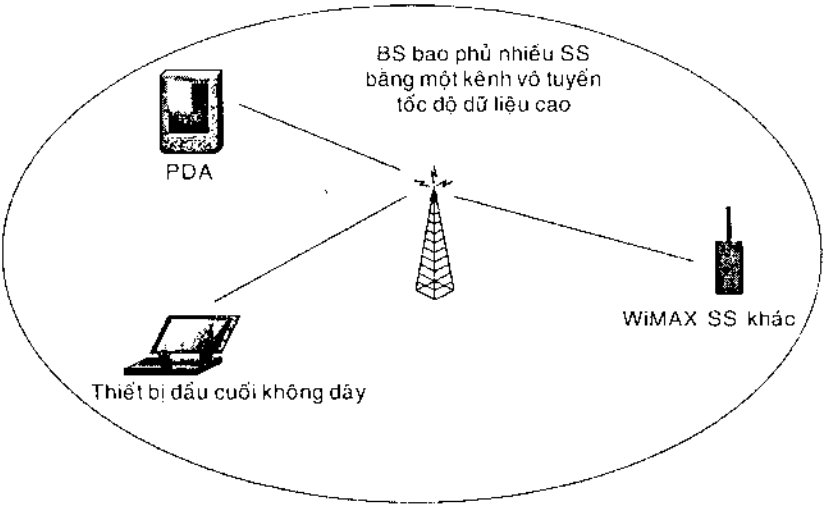
1.2.3 Các hệ thống điện thoại WLL không dây

Cùng với sự tiến triển trong các hệ thống di động và các mạng dữ liệu không dây, các hệ thống điện thoại wireless đã bắt đầu xuất hiện. Một ngân sách quan trọng cho nhà điều hành điện thoại hoặc hãng truyền thông đã luôn là vòng cục bộ, còn được gọi là 'last mile' (dặm cuối cùng) kết nối thuê bao điện thoại với các thành phần cuối cùng của mạng. Người ta đã thấy đối với một số cấu hình, Wireless Local Loop (WLL) (vô tuyến) có thể là một giải pháp thay thế thú vị cho một vòng cục bộ (chủ yếu là đồng) cố định. Các hệ thống WLL này đã phải cung cấp một mạch truyền thông, ban đầu dành cho tiếng, và một số dịch vụ dữ liệu tốc độ thấp. Nguyên tắc chung của một vòng cục bộ được minh họa trong hình 1.2.



Hình 1.2: Vòng cục bộ của một hệ thống điện thoại (tiếng) đặc trưng

Trong một hệ thống WLL, các trạm đầu cuối được kết nối với một Base Station (BS) qua kênh vô tuyến (xem hình 1.3). Sự khác biệt chính giữa WLL và các hệ thống di động (cellular) là ở chỗ trong một hệ thống cellular, một thuê bao có thể kết nối với một BS này hoặc một BS khác. Một thuê bao cũng có thể thay đổi BS trong một cuộc truyền thông mà không gây ra sự gián đoạn, đây được gọi là thủ tục handover (hoặc cũng handoff).



Vùng phủ sóng BS có thể được xem là cell BS

Hình 1.3: Phạm vi phủ sóng của một vùng bởi một BS

Một số công nghệ đã được đề xuất cho các hệ thống WLL, còn được gọi là các hệ thống điện thoại không dây (hoặc các hệ thống không dây). Sau các hệ thống analogue (tương tự), chủ yếu độc quyền, một hệ thống kỹ thuật số (digital) đã được đề xuất, CT2/CAI (Cordless Telephone 2/Common Air Interface), trong năm 1991. Với CT2/CAI, sự chiếm giữ của một người dùng (thoại) là 100kHz.

Viện tiêu chuẩn viễn thông Châu Âu (ETSI) đã xuất bản một hệ thống không dây WLL trong năm 1992 có tên gọi là DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications). Phạm vi của các thiết bị DECT lên đến vài trăm mét. DECT hoạt động trong băng thông 1.9 GHz.

DECT là một bộ TDMA (Time Division Multiple Access) kỹ thuật số dành cho thoại và các ứng dụng dữ liệu tốc độ thấp. Một số phát triển của DECT có nhiều slot (khe) mỗi người dùng, đề xuất các tốc độ dữ liệu cao hơn lên đến hàng trăm kb/s. Ngày nay, DECT có mức độ thành công tương đối cao, tuy nhiên nó là một hệ thống có dung lượng giới hạn vì các hệ thống chỉ TDMA không sử dụng băng thông

hiệu quả cho lắm (một người dùng lấy nhiều slot để lại rất ít tài nguyên cho những người dùng khác). Việc sử dụng rộng rãi các hệ thống WLL cho các giao tiếp điện thoại và một số giao tiếp tốc độ dữ liệu thấp khác đã nhường chỗ cho các hệ thống BWA tốc độ dữ liệu cao, được giới thiệu trong mục 1.2.2 và được mô tả thêm chi tiết ở mục kế tiếp.

[1] IEEE 802.16-2004, chuẩn IEEE cho các mạng cục bộ và mạng vùng đô thị, một giao diện cho các hệ thống truy cập không dây băng tần rộng cố định, tháng mười 2004.

[2] IEEE 802.16e, chuẩn IEEE cho các mạng vùng cục bộ và vùng đô thị, giao diện cho các hệ thống truy cập không dây băng tần rộng cố định, sửa đổi: các lớp vật lý (physical) và lớp kiểm soát truy cập phương tiện (Medium Access Control) cho hoạt động cố định và di động kết hợp trong các dải tần số có bản quyền và bản đính chính 1, tháng hai 2006 (được chấp thuận: 7 tháng mười hai 2005).

[3] Wikipedia, từ điển bách khoa miễn phí, http://www.wikipedia.org.

[4] Tanenbaum, A. Computer Networks, Prentice-Hall, tháng tám 2002.

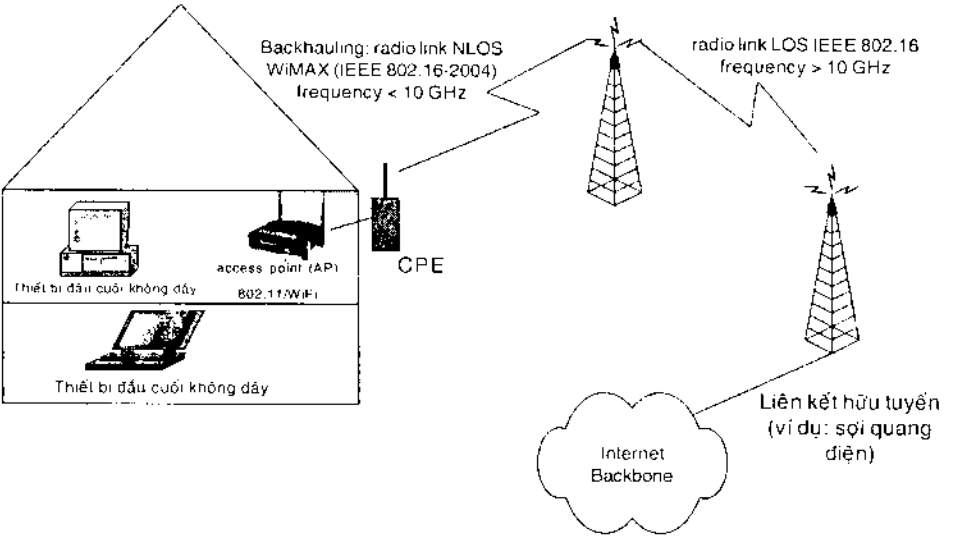
1.3 Các ứng dụng của BWA

Đã được giới thiệu ở trên với IEEE 802.16, hệ thống BWA là một WMAN hoặc WWAN tốc độ dữ liệu cao (tính bằng Mb/s). Hệ thống BWA có thể được xem như là một sự phát triển của các hệ thống WLL, chủ yếu có những tốc độ dữ liệu cao hơn đáng kể. Trong khi các hệ thống WLL chủ yếu được dành cho sự truyền thông bằng tiếng và tốc độ dữ liệu thấp (nghĩa là nhỏ hơn 50kb/s), các BWA nhằm mục đích phân phối các dòng dữ liệu tính bằng Mb/s (hoặc hơi thấp hơn).

Ứng dụng đầu tiên của BWA là truy cập tốc độ dữ liệu cao vị trí cố định. Sau đó, sự truy cập đó có thể được sử dụng rõ ràng cho Internet, TV và những ứng dụng tốc độ dữ liệu cao mong đợi khác chẳng hạn như Video-on-Demand (VoD). Chắc chắn nó cũng sẽ được sử dụng cho những ứng dụng khác vốn không thật sự rõ ràng. Nói cách khác, mục tiêu đầu tiên của BWA là DSL không dây (Digital Subscriber Line, ban đầu được gọi là Digital Subscriber Loop) hoặc cũng một lựa chọn wireless cho cáp. Một số nhà phân tích kinh doanh cho rằng loại ứng dụng BWA này chỉ thú vị trong những quốc gia và khu vực có hạ tầng viễn thông tương đối chưa được phát triển. Thật vậy, sử dụng WiMAX cho Internet không dây vị trí cố định ở Paris hoặc New York dường như không có lợi về mặt kinh tế.

Một công dụng khác của sự truy cập tốc độ dữ liệu cao của BWA là WiFi Backhauling. Như được minh họa trong hình 1.4, cái được gọi là

mạng xương sống Internet được liên kết với một BS vốn có thể nằm trong Line-of-Sight (LOS - tầm ngắm) của một BS khác. Mạng xương sống này có tầm phủ sóng Non-Line-of-Sight (NLOS - không nằm trong tầm ngắm) của các Subscriber Station (SS). Sự khác biệt giữa các công nghệ NLOS và LOS IEEE 802.16 sẽ được trình bày chi tiết trong chương 2.

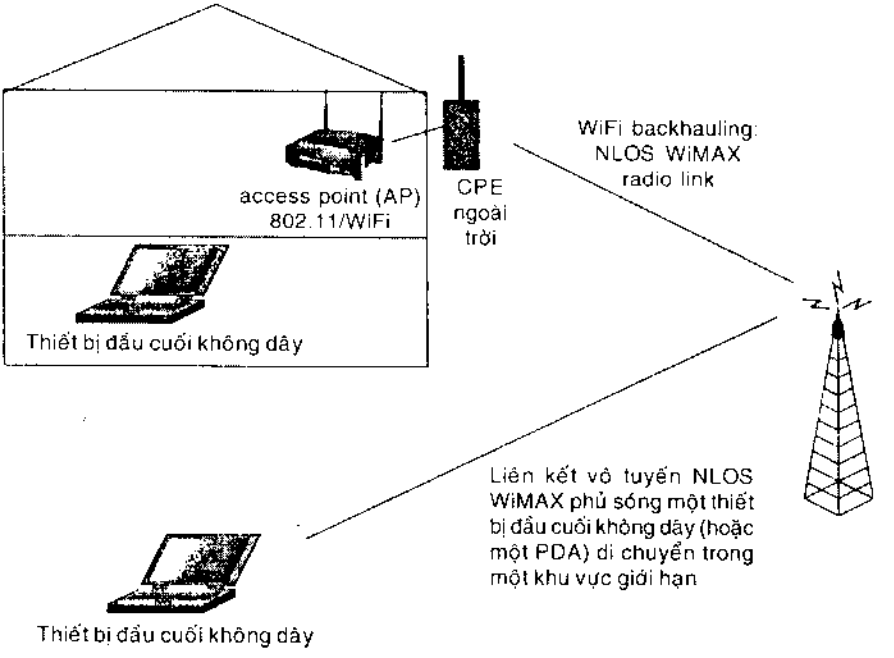


Hình 1.4: Các ứng dụng Broadband Wireless Access (BWA) với một sự truy cập cố định. Hai ứng dụng chính của một BWA cố định là last-mile không dây cho tốc độ dữ liệu cao và (cụ thể hơn) backhauling (hành trình ngược) WiFi.

SS trong hình 1.4 là Consumer Premises Equipment (CPE). CPE là một thiết bị bao hàm radio (vô tuyến) vốn nhận ra sự liên kết giữa BSS và thiết bị đầu cuối của người dùng. Sau CPE, người dùng có thể lắp đặt một thiết bị đầu cuối (terminal) chẳng hạn như một máy tính cá nhân (PC) hoặc một TV, và cũng có thể kết nối một Access Point WiFi và một WLAN (sau đó BWA nhận ra backhauling mạng WiFi). Do đó, hai ứng dụng chính của BWA cố định là last-mile không dây cho tốc độ dữ liệu cao và (cụ thể hơn) backhauling WiFi. Như được minh họa trong hình này, một thiết bị đầu cuối không dây sau đó có thể cố định (về phương diện vật lý) hoặc không. Đây có thể là trường hợp của một máy laptop kết nối với CPE bằng một nối kết WiFi (xem hình).

Sự truy cập cố định là công dụng đầu tiên của BWA, bước kế tiếp là sự chuyển vùng (xem mục 1.3.1 để biết sự khác biệt giữa sự chuyển vùng và sự di động. Một sự phát triển đầu tiên của SS sẽ là trường hợp khi nó không còn là một CPE nữa mà là một card được lắp đặt trong một laptop nào đó. Sự truy cập chuyển vùng (nomadic), được minh họa trong hình 1.5 là sự truy cập mà người dùng hoặc thuê bao

có thể di chuyển trong một khu vực giới hạn, ví dụ trong một căn hộ hoặc một khuôn viên trường học nhỏ. Khu vực này là khu vực được bao phủ bởi một BS. Bất cứ khi nào người dùng di chuyển ra khỏi vùng, sự giao tiếp (hoặc phiên làm việc) bị gián đoạn. Một ví dụ điển hình về sự truy cập di động là việc sử dụng WLAN/WiFi trong các phiên bản đầu tiên của nó (802.11, 802.11b và 802.11a), trong đó một phiên làm việc bị gián đoạn khi thiết bị đầu cuối ra khỏi vùng phủ sóng WLAN thậm chí nếu nó đi vào một vùng được bao phủ bởi một WLAN khác, ví dụ trong hai công ty lân cận.



Hình 1.5: BWA chuyển vùng hoặc di động

Sự truy cập chuyển vùng rất hữu dụng trong một số trường hợp, chẳng hạn như các khuôn viên trường đại học, khu vực công ty, khu liên hợp,... Có thể quan sát thấy rằng do vị trí này không cố định, sự liên kết giữa BS và SS phải là NLOS (nó có thể chỉ là LOS trong trường hợp của các CPE cố định, về mặt lý thuyết). Sự truy cập chuyển vùng đôi khi còn được gọi là sự truy cập không dây. Bước mong đợi cuối cùng của WiMAX là một thiết bị di động. Sự khác biệt giữa không dây (wireless) và di động (mobile) bây giờ sẽ được thảo luận.

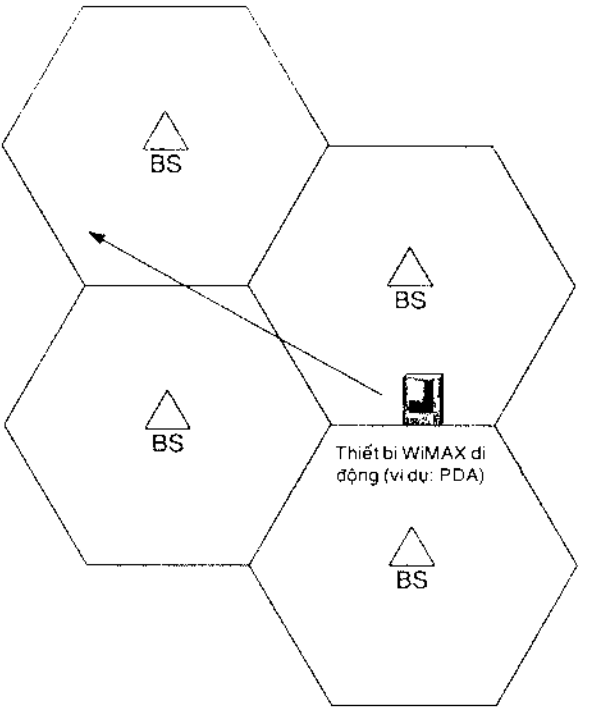
1.3.1 Wireless không phải là Mobile!

Những tình huống khác nhau về tính di động có thể được xem xét. Tình huống đơn giản nhất là khi hai BS lân cận thuộc về cùng nhà

vận hành. Do đó, cùng một hệ thống lập hóa đơn và bộ phận chăm sóc khách hàng áp dụng vào hai BS. Trong trường hợp này, một người dùng di chuyển từ một cell sang một cell lân cận phải bắt đầu lại phiên làm việc (session). Tính năng này là sự chuyển vùng thay vì sự di động. Sự di động (hoặc sự di động đầy đủ) là tình huống mà phiên làm việc bị gián đoạn cho dù đây là một phiên làm việc dữ liệu, một sự truyền thông bằng tiếng (trên IP hay không), một sự truyền video...

Có sự khác biệt giữa truy cập cố định không dây (nhưng xét về khía cạnh vật lý), sự chuyển vùng, sự mang chuyển được và sự di động. Sự mang chuyển được là khi một người dùng có thể di chuyển với tốc độ hợp lý trên một khu vực lớn được bao phủ bởi nhiều BS mà không làm gián đoạn phiên làm việc hoặc sự giao tiếp có thể đang mở. Giá trị được xem là tốc độ hợp lý là 120km/giờ. Sự di động giống như sự mang chuyển được nhưng không có giới hạn tốc độ thật sự; nghĩa là nếu sự di động được nhận biết, một BWA có thể được sử dụng trong các tàu lửa cao tốc có tốc độ vượt quá 350km/giờ.

Trong các hệ thống di động (cellular), thế hệ thứ hai hoặc sau này, sự truyền thông bằng tiếng không bị gián đoạn khi thiết bị di động di chuyển từ cell này sang một cell khác. Đây là cái được gọi là 'handover'. Các hệ thống di động sau đó là các mạng di động. WiMAX có phải là một mạng di động (cellular) hay không? Xét rằng một cell là vùng được bao phủ bởi một BS, điều kiện duy nhất là một tính năng handover tốc độ cao. Tính năng này sẽ được nhận ra với sự phát triển 802.16e của 802.16. Tuy nhiên, người ta không mong đợi một handover WiMAX xảy ra với các tốc độ rất cao để chính xác, các tốc độ hơn 100km/giờ. Mục đích cuối cùng của WiMAX là một hệ thống di động. Trong trường hợp này, một phần hoặc toàn bộ một lãnh thổ hoặc quốc gia sẽ được phủ sóng bởi các cell gần kề với sự chuyển giao session không giới hạn giữa các cell, như trong một hệ thống di động (xem hình 1.6). Rõ ràng WiMAX sau đó sẽ trở thành một đối thủ của các hệ thống di động 3G.



Hình 1.6: Mobile Broadband Wireless Access (BWA). Một thiết bị WiMAX di động có thể di chuyển qua tất cả cell trong một session không giới hạn.

Một số nhà cung cấp dịch vụ định nghĩa cuộc chơi tay ba là sự kết hợp của dữ liệu (Internet), thoại (các cuộc gọi điện thoại không giới hạn) và video (TV, video theo yêu cầu). Điều này phát triển thành một cuộc chơi bốn phần bằng cách thêm tính di động. Trong bước đầu tiên, tính di động thực tế này sẽ là tính chuyển vùng, nghĩa là sử dụng đăng ký WiMAX để truy cập Internet trong một tiệm cà phê cách xa nhà.

Đôi khi một ứng dụng khác được đề cập cho BWA là đo từ xa (telemetering): sử dụng BWA để lập báo cáo điện, gas, nước... Điều này tượng trưng cho một thị trường nhỏ nhưng có lẽ thú vị. Các sản phẩm đo từ xa WiMAX đã được báo cáo. Rõ ràng, WiMAX không phải là công nghệ duy nhất được sử dụng để đo từ xa.

1.3.2 Tóm tắt các ứng dụng WiMAX BWA

Tóm lại các ứng dụng được biết hoặc được mong đợi ngày nay của WiMAX như là một hệ thống BWA là:

- Truy cập không dây cố định băng tần rộng. WiMAX là đối thủ cạnh tranh cho các nhà cung cấp tốc độ dữ liệu cao đường truyền cố định trong các môi trường đô thị và nông thôn.
- Backhauling WiFi.
- Đo từ xa (telemetering). Đại diện cho một thị trường nhỏ nhưng có lẽ thú vị.
- Sự truy cập Internet chuyển vùng.
- Sự truy cập tốc độ dữ liệu cao di động (các session không giới hạn).

Chương 2

Nguồn gốc và Framework WiMAX

2.1 Chuẩn IEEE 802.16

Những tính năng chính của công nghệ IEEE 802.16/WiMAX là:

- Tần số (mang) <11 GHz. Hiện giờ các dải tần số được xem xét là 2.5 GHz, 3.5 GHz và 5.7GHz.
- OFDM. 802.16 (chủ yếu) dựa vào kỹ thuật truyền Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) được biết đến vì hiệu suất sử dụng tài nguyên vô tuyến cao của nó.
- Các tốc độ dữ liệu. Một số hợp lý là 10 Mb/s. Các báo cáo đã đưa ra những con số đầy tham vọng hơn lên đến 70 Mb/s hoặc thậm chí 100 Mb/s. Những giá trị này dành cho một tình trạng rất tốt của kênh vô tuyến hoặc cho một dung lượng cell rất nhỏ, làm cho những giá trị này trở nên quá lạc quan đối với thời điểm đó.
- Khoảng cách. Lên đến 20 km, hơi nhỏ hơn đối với các thiết bị trong nhà.

Như được đề cập trong chương 1, chuẩn IEEE 802.16 là công nghệ mạng được sử dụng cho WiMAX. Nhóm công tác IEEE 802.16 cho BWA đã được thành lập năm 1999. Nó được chia thành hai nhóm công tác:

- 802.16a, tần số trung tâm trong khoảng 2-11 GHz. Sau đó, công nghệ này sẽ được sử dụng cho WiMAX.
- 802.16, với khoảng giá trị tần số 10-66 GHz.

Nhiều tài liệu đã được phê chuẩn và được xuất bản bởi các phân ban 802.16. Chúng được trình bày trong bảng 2.1.

Bảng 2.1: Các tài liệu IEEE 802.16 chính

Ngày tháng và tên của tài liệu	Mô tả
Tháng mười hai 2001, 802.16	10-66 GHz; line-of-sight (LOS); 2-5 km; các giá trị băng thông kênh: 20, 25 và 28 MHz
Tháng giêng 2003, 802.16a	2-11 GHz; none-line-of-sight (NLOS)
Tháng mười 1004, 802.16-2004	Chỉnh sửa và hợp nhất các chuẩn 802.16 trước đó; thay thế 16a và 16; 5-50 km
7 tháng mười hai, 2005, 802.16 phê chuẩn điểm sửa đổi 802.16e của 802.16-2004	Tính di động; OFDMA (SOFDMA)
Các điểm sửa đổi 802.16 khác được phê chuẩn hoặc trong giai đoạn phác thảo: 802.16f, 802.16g, 802.16f...	Xem mục 2.5

Như đã nêu trong 802.16-2004 [1], chuẩn này sửa đổi và hợp nhất các chuẩn IEEE 802.16-2001, 802.16a-2003 và 802.16c-2002. Trước khi đi đến 802.16-2004, một bản sửa đổi được gọi là 802.16d đã được bắt đầu trong tháng chín 2003 với mục đích xem xét chuẩn ETSI HiperMAN BWA [3]. Sau đó, dự án 802.16d đã được ký kết bằng sự phê chuẩn tài liệu 802.16-2004 và việc rút lại các tài liệu 802.16 trước đó, bao gồm các điểm sửa đổi a, b và c. Thật sự gây nhầm lẫn, một số người vẫn gọi 802.16-2004 là 802.16d (hoặc thậm chí 16d).

2.1.1 Từ 802.16-2004 đến 802.16e

802.16-2004 chắc chắn rất hữu dụng, thay thế bộ tài liệu mô tả các phần khác nhau của cùng một công nghệ, với những hướng sửa đổi khác nhau. Tuy nhiên, sau khi được xuất bản, nó vẫn cần được nâng cấp chủ yếu để bổ sung các tính năng di động (mobility). Những tính năng khác đã được cần đến và một số lỗi phải được hiệu chỉnh. Điều này nhường chỗ cho điểm sửa đổi 802.16e được phê chuẩn vào ngày 7 tháng mười hai, 2005 và được xuất bản vào tháng hai 2006 [2].

Nên chú ý 802.16e không phải là một tài liệu độc lập. Nó chỉ đề xuất các thay đổi và bổ sung (đôi khi quan trọng) cho văn bản 802.16-2004. Do đó, một người muốn đọc các chi tiết về thông tin cụ thể trong 802.16, nghĩa là "Định dạng frame trong 802.16 là gì?" đầu tiên

phải đọc phần liên quan của 802.16-2004 rồi sau đó tiếp tục đọc những thay đổi có thể có trong 802.16e. Đã có báo cáo rằng mục đích IEEE là có một tài liệu duy nhất có được từ sự liên kết 16-2004 và 16e, còn được gọi là 802.16-2005. Tuy nhiên, mùa đông 2006, tài liệu này không hiện hữu. Tuy nhiên, chuẩn 802.16-2004 và điểm sửa đổi 802.16e đôi khi được gọi là chuẩn IEEE 802.16-2005.

Những điểm khác biệt chính của 802.16e đối với 802.16-2004 như sau (danh sách không toàn diện):

- Các trạm di động (MS) xuất hiện. Một trạm (station) là một dịch vụ viễn thông di động được sử dụng trong khi đang di động hoặc trong thời gian tạm dừng không xác định tại các thời điểm. Tuy nhiên, một MS 802.16e cũng là một subscriber station (SS) (trạm thuê bao).
- Các thủ tục chuyển giao (handover) lớp MAC. Có hai loại handover (xem chương 14).
- Các chế độ tiết kiệm điện (cho các MS hỗ trợ sự di động): chế độ sleep và chế độ idle (xem chương 14).
- SOFDMA (Scalable OFDMA). Nói chung, lớp OFDMA PHY, nghĩa là phần 8.4 của chuẩn 802.16 đã hoàn toàn được viết lại giữa 16-2004 và 16e. Mặc dù từ SOFDMA không xuất hiện trong tài liệu 802.16e, nhưng nó là loại OFDMA được chuẩn hóa. Đối với OFDMA và SOFDMA, xem chương 5.
- An ninh (lớp con bảo mật). An ninh của 16-2004 hoàn toàn được cập nhật (xem chương 15).
- Các kỹ thuật Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) và Adaptive Antenna System (AAS) đã được giới thiệu trong 802.16-2004 có nhiều chi tiết cải tiến và thực thi được cung cấp trong 802.16e (xem chương 12).
- Tính năng multicast and broadcast services (MBS).
- Một lớp QoS (thứ năm) mới: ertPS. (Ngoài rtPS 802.16-2004), lớp (Class) ertPS hỗ trợ các dòng dịch vụ thời gian thực vốn tạo các gói dữ liệu có kích cỡ khả biến trên cơ sở định kỳ, đó là VoIP có chức năng triệt khoảng lặn.
- Mã Low-Density Parity Check (LDPC) là một mã kênh tùy chọn...

[1] IEEE 802.16-2004, chuẩn IEEE cho mạng cục bộ và mạng vùng đô thị, giao diện không khí (Air Interface) cho các hệ thống truy cập không dây băng tần rộng cố định, tháng mười 2004.

[3] Wikipedia, từ điển bách khoa miễn phí, http://www.wikipedia.org.

[2] IEEE 802.16e, chuẩn IEEE cho mạng cục bộ và mạng vùng đô thị, giao diện không khí cho các hệ thống truy cập không dây băng tần rộng cố định, điểm sửa đổi 2: lớp vật lý và lớp kiểm soát truy cập

phương tiện cho sự vận hành cố định và di động kết hợp trong các dải tần số có bản quyền và bản đính chính 1, tháng hai 2006 (được phê chuẩn: 7 tháng mười hai 2005).

2.2 Diễn đàn WiMAX

Các chuẩn IEEE 802.16 cung cấp chỉ công nghệ. Nó cần phải có những bộ phận khác để chứng nhận sự phù hợp và kiểm tra khả năng liên vận hành. Trong trường hợp của WLAN IEEE 802.11, tập đoàn Wireless Fidelity Alliance (WiFi hoặc Wi-Fi) đóng một vai trò chính trong sự thành công của công nghệ WiFi như nó được biết bây giờ. Thật ra, việc hai thiết bị WLAN IEEE 802.11 được chứng nhận bởi WiFi bảo đảm hoạt động cùng với nhau đã mở đường cho sự lan rộng to lớn của các sản phẩm WiFi.

Vấn đề thử nghiệm đã thậm chí quan trọng hơn đối với WiMAX vì nhiều nhà sản xuất sản phẩm tuyên bố rằng họ đã thử nghiệm chuẩn 802.16. Forum WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) (http://www.wimaxforum.org) đã được thành lập vào tháng sáu 2001 với mục đích Forum WiMAX đóng chính xác cùng một vai trò cho IEEE 802.16 như WiFi đối với 802.16.11. Forum WiMAX cung cấp sự chứng nhận tính phù hợp, tính tương thích và khả năng liên vận hành của các sản phẩm IEEE 802.16. Sau một khoảng thời gian gián đoạn, Forum WiMAX đã được tái kích hoạt vào tháng tư 2003. Một số nguồn xác định ngày tháng sau này là ngày thiết lập Forum WiMAX. Intel và Nokia, cùng với những hãng khác đã đóng một vai trò chính trong việc thiết lập Forum. Sau đó, Nokia trở nên ít tham gia hoạt động hơn, khẳng định rằng nó muốn tập trung vào 3G. Tuy nhiên, Nokia lần nữa là một người chơi chủ động của WiMAX.

Các thành viên Forum WiMAX là những nhà sản xuất hệ thống và chất bán dẫn, những nhà cung cấp thiết bị khác, nhà vận hành mạng, các học giả chuyên nghiệp và những người hoạt động khác trong lĩnh vực viễn thông. Một danh sách hoàn chỉnh các thành viên Forum WiMAX có thể được tìm thấy trên trang web Forum Member Roster. Một danh sách không toàn diện về các thành viên WiMAX được trình bày trong bảng 2.2.

Bảng 2.2: Một số thành viên Forum WiMAX

Các nhà sản xuất	Airspan, Alcatel, Alvarion, Broadcom, Cisco, Ericsson. Fujitsu, Huawei, Intel, LG, Lucent, Motorola, Navini, Nokia, Nortel, NEC Proxim, Sagem, Samsung, Sequans, Siemens, ZTE...

Các nhà cung cấp dịch vụ	British Telecom, France Telecom, KT (Korea Telecom), PCCW, Sprint Nextel, Telmex...

Site của WiMAX Forum cho biết mục tiêu của nó là làm dễ dàng việc triển khai các mạng không dây băng tần rộng dựa vào chuẩn IEEE 802.16 bằng cách bảo đảm khả năng tương thích và sự liên vận hành của thiết bị không dây băng tần rộng. Phần 2.3 nói thêm chi tiết về việc chứng nhận WiMAX.

2.2.1 Các nhóm công tác WiMAX Forum

WiMAX Forum được tổ chức thành các nhóm công tác (Working Group - WG). Phạm vi của những WG này được trình bày trong bảng 2.3 như được xác định trên website WiMAX Forum.

Bảng 2.3: Các nhóm công tác WiMAX Forum. Kể từ tháng sáu 2006, website Forum cũng đã ấn định Global Roaming Working Group (GRWG)

Tên nhóm công tác	Phạm vi
Application Working Group (AWG)	Định nghĩa các ứng dụng trên WiMAX cần thiết để đáp ứng những đề nghị cạnh tranh cốt lõi và được cải tiến duy nhất bởi WiMAX
Certification Working Group (CWG)	Giải quyết những khía cạnh vận hành của chương trình chứng nhận WiMAX Forum; giao diện với lab chứng nhận; chọn lab chứng nhận mới.
Marketing Working Group (MWG)	Xúc tiến WiMAX Forum, các nhãn hiệu của nó và các chuẩn vốn hình thành cơ sở cho sự liên vận hành các hệ thống BWA toàn cầu.
Network Working Group (NWG)	Tạo các thông số nối mạng cấp cao hơn cho các hệ thống WiMAX cố định, chuyển vùng, mang chuẩn và di động ngoài những gì được định nghĩa trong phạm vi của 802.16, cụ thể NWG định nghĩa cấu trúc của một mạng WiMAX.
Regulatory Working Group (RWG)	Ảnh hưởng đến các cơ quan quy định toàn cầu để xúc tiến sự cấp phát phổ thân thiện WiMAX, hài hòa toàn cầu.
Service Provider Working Group (SPWG)	Cung cấp cho các nhà cung cấp dịch vụ một nền để tác động đến các yêu cầu sản phẩm BWA và phổ nhằm bảo đảm

	các nhu cầu thị trường riêng lẻ của họ được đáp ứng.
Technical Working Group (TWG)	Phát triển những thông số thử nghiệm tính phù hợp và các dịch vụ chứng nhận và các profile dựa vào những thông lệ được chấp nhận toàn cầu để đạt được sự liên vận hành của các hệ thống BWA khắp toàn cầu.

Cấu trúc mạng WiMAX như được định nghĩa bởi NWG được mô tả trong chương 13.

2.3 Chứng nhận các sản phẩm WiMAX

Forum WiMAX đầu tiên đã công nhận Centro de Tecnologia de las Comunicaciones, (Cetecom Lab) (http://www.cetecom.es), đặt tại Malaga, Tây ban Nha, là lab chứng nhận đầu tiên của các sản phẩm WiMAX. Tháng hai 2006, WiMAX Forum đã chỉ định IT Testing and Certification Lab của Telecommunications Technology Association (TTA) tại Seoul, Nam Triều Tiên, là lab thứ hai có sẵn cho các thành viên WiMAX Forum để chứng nhận tính tương thích và khả năng liên vận hành của các sản phẩm WiMAX. Những chứng nhận đầu tiên của lab sau này được mong đợi trong năm 2007. Tiến trình chọn một lab chứng nhận WiMAX thứ ba ở Trung Quốc đã được báo cáo.

Tính phù hợp WiMAX không nên nhầm lẫn với khả năng liên vận hành [5]. Sự kết hợp hai loại thử nghiệm (test) này tạo nên test chứng nhận. Test tính phù hợp WiMAX là một tiến trình mà các nhà sản xuất BS và SS test các thiết bị nhằm bảo đảm chúng hoạt động phù hợp theo những thông số kỹ thuật được đề xuất trong các tài liệu WiMAX Protocol Implementation Conformance Specification (PICS). Các tài liệu WiMAX PICS đã được đề xuất bởi TWG (xem phần trước). Khi test tính phù hợp, các thiết bị BS/SS phải vượt qua tất cả điều kiện test bắt buộc và ngăn cấm đã được kêu gọi bởi kế hoạch test cho một profile hệ thống riêng biệt. Các profile hệ thống WiMAX cũng được đề xuất bởi TWG.

Khả năng liên vận hành WiMAX là một tiến trình test giữa nhiều nhà cung cấp (≥3) được tổ chức bởi lab chứng nhận để test hiệu suất của BS và/hoặc SS từ một nhà cung cấp để truyền và nhận các chớp tín hiệu dữ liệu của BS và/hoặc SS này từ một nhà cung cấp khác dựa vào WiMAX PICS. Sau đó, ví dụ mỗi SS được test với ba BS, một BS từ cùng những nhà sản xuất đó, hai BS từ những nhà sản xuất khác nhau.

Một cuộc test nhóm được chính thức gọi là plugfest [6], là một cuộc họp mà nhiều nhà cung cấp có thể kiểm chứng khả năng liên vận hành của các thiết bị của họ.

2.3.1 Các sản phẩm do WiMAX chứng nhận

Tiến trình chứng nhận đã bắt đầu vào mùa hè năm 2005 ở Cetecom. Sự chứng nhận thiết bị đầu tiên đã xảy ra vào ngày 24 tháng giêng 2006. Danh sách đầy đủ các thiết bị WiMAX được chứng nhận có thể được tìm thấy trên http://www.wimaxforum.org/kshowcase/view. Tất cả các thiết bị này đã được chứng nhận cho các profile IEEE 802.16-2004 (WiMAX cố định). Việc chứng nhận các thiết bị dựa vào các profile WiMAX di động (hoặc, chẳng bao lâu trên các thiết bị WiMAX di động) xảy ra vào nửa đầu của năm 2007.

Các thiết bị đã được chứng nhận đến từ ba loại nhà sản xuất WiMAX:

- những công ty đã trải nghiệm tiền WiMAX;
- các công ty ban đầu chuyên về các sản phẩm mạng di động hơn, ví dụ như Motorola trong hai hạng mục này.
- những người mới đến bắt đầu kinh doanh chuyên về các sản phẩm WiMAX.

[5] Agis, A. et al., Global, các mạng không dây băng tần rộng có thể liên vận hành mở rộng công nghệ WiMAX sang sự di động, Intel Technology Journal, tháng tám 2004.

[6] WiMAX Forum White Paper, plugfest WiMAX Forum thế hệ thứ 3 - phương pháp test và những kiến thức quan trọng, tháng ba 2006.

2.4 Các sản phẩm dự kiến và sự triển khai

2.4.1 Các loại sản phẩm

Các loại sản phẩm WiMAX khác nhau được mong đợi.

- Bước thứ nhất: các sản phẩm CPE. Các sản phẩm CPE này đầu tiên ở ngoài trời (xem hình 1.5) và sau đó ở trong nhà. Đây là những sản phẩm đã được chứng nhận (chủ yếu ngoài trời lúc này). Đối với các sản phẩm WiMAX CPE, một số nhà cung cấp có thể đòi hỏi chỉ những người được ủy quyền mới được lắp đặt các thiết bị cho những thuê bao. Người ta có thể mong đợi các CPE tự lắp đặt sẽ xuất hiện nhanh.

Bước thứ hai: các thiết bị được lắp đặt trên các thiết bị mang chuyển được. Những thiết bị mang chuyển được này đầu tiên sẽ là các laptop. Người ta mong đợi các thiết bị WiMAX được lắp đặt trên laptop này có thể là một nối kết USB (Universal Serial Bus), PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association) (ít có khả năng hơn), một nối kết PCI (Peripheral Component Interconnect) hoặc một loại nối kết khác. Trong trường hợp này, một thuê bao WiMAX có thể di chuyển trong một giới hạn (khu vực được bao phủ bởi BS) và sau đó tính chuyển vùng sẽ được nhận ra.

Sau đó, một thiết bị được lắp đặt tại xưởng bên trong WiMAX trong các laptop có lẽ sẽ xuất hiện như trường hợp đối với WiFi. Điều này rõ ràng sẽ tạo ra một tình huống mà WiMAX sẽ lan truyền rộng rãi. Những khó khăn gặp phải bao gồm hai loại:

- Các thiết bị sản xuất đủ nhỏ; điều này dường như không phải là một vấn đề khó;
- Những vấn đề xem xét kỹ thuật và triển khai vô tuyến, nơi công nghệ và các kỹ thuật triển khai đủ trưởng thành để có một mật độ thuê bao cao.

Bước cuối cùng: các thiết bị WiMAX trong PDA và các thiết bị cầm tay khác chẳng hạn như một điện thoại di động. Đối với điều này, các thiết bị WiMAX cần thậm chí nhỏ hơn. Chúng có thể mang hình dáng của các card SIM (Subscriber Udentity Module) hiện được sử dụng cho các hệ thống di động (thế hệ thứ hai và thứ ba). Do đó, WiMAX sẽ là một mạng di động và sau đó là một đối thủ cạnh tranh cho các hệ thống 3G.

2.4.2 Các sản phẩm và thời biểu triển khai

Một khi sự phát triển WiMAX được mô tả, chúng ta cần biết về thời biểu của những sản phẩm này. Còn về những triển khai mạng thì sao? Kể từ hôm nay, một số lớn các mạng tiền WiMAX hiện hữu khắp thế giới, cả trong các nước phát triển và các nước đang phát triển. Những triển khai này thường có một quy mô nhỏ hơn toàn quốc gia, thường giới hạn chỉ trong một khu vực hoặc một vùng đô thị. Ví dụ ở Pháp, nhà vận hành Altitude Telecom đề xuất sự đăng ký BWA trong bốn khu vực: Calvados, Orne, Seine-et-Marne và Vendee. Tốc độ dữ liệu hiển thị là 1 Mb/s (tháng sáu 2006). Sắp tới sẽ có nhiều mạng WiMAX cố định (sử dụng các sản phẩm được chứng nhận gần đây), một số thuộc về các nhà vận hành tiền WiMAX đang lập kế hoạch nâng cấp lên WiMAX được chứng nhận.

Bảng 2.5 dựa vào các tài liệu và hội nghị của những nhà thực thi WiMAX. Các ngày tháng dự tính (e) chỉ là giả định. Một số ngày tháng xem trước này có thể thay đổi trong tương lai.

Bảng 2.5: Thời biểu các sản phẩm và mạng WiMAX: dự tính (e)

	Các sản phẩm	Chứng nhận	Mạng
2005	Độc quyền (tiền WiMAX); CPE ngoài trời		Cố định
2006	Các thiết bị tiền WiMAX; đầu tiên sử dụng các sản	Kể từ tháng giêng 2006, chứng nhận các thiết bị WiMAX	Khởi động dịch vụ WiBro ở Hàn Quốc; (e) sử dụng chuyển vùng

	phẩm do WiMAX chứng nhận	cố định dựa vào IEEE 802.16-2004 (xem mục 2.3.1)	WiMAX đầu tiên?
2007	(e) Trong nhà, tự lắp đặt; (e) lần đầu tiên sử dụng WiMAX di động, sóng 1 (không MIMO và AAS...)	(e) Chứng nhận các thiết bị WiMAX di động dựa vào IEEE 802.16e	(e) Sử dụng chuyển vùng WiMAX
2008	(e) Sự gia tăng các sản phẩm WiMAX di động. Sóng 1 và sóng 2 (MIMO và AAS)		(e) Tính di động

2.5 Các chuẩn 802.16 khác

Ngoài điểm sửa đổi 802.16e của chuẩn 802.16, những điểm sửa đổi khác đã được tiến hành vẫn đang được chuẩn bị. Mục đích của các điểm sửa đổi này là nhằm cải thiện những khía cạnh nhất định của hệ thống (ví dụ có một handover hiệu quả hơn) hoặc làm rõ ràng những khía cạnh khác (ví dụ thông tin quản lý).

Điểm sửa đổi 802.16f có tựa đề 'Management Information Base' đã được xuất bản tháng mười hai 2005 và cung cấp những cải tiến cho IEEE 802.16-2004, định nghĩa một Management Information Base (MIB) cho MAC và PHY và những thủ tục quản lý kết hợp (xem mục 3.6 để biết thêm chi tiết về 802.16f).

Điểm sửa đổi 802.16g vẫn đang ở giai đoạn phác thảo trong tháng mười 2006. Bản phác thảo có tựa đề là 'Management Plane Procedures and Services' và dự kiến chấp thuận điểm sửa đổi trong tháng năm 2007 (thông tin tháng mười 2006). Nó cung cấp các thành phần cho sự chuyển giao (handover) hiệu quả, quản lý chất lượng dịch vụ QoS hiệu suất cao và những thủ tục quản lý tài nguyên vô tuyến.

Những điểm sửa đổi khác ở giai đoạn phác thảo như sau (từ website IEEE 802.16, tháng bảy 2006):

- 802.16/Conformance04 - Protocol Implementation Conformance Statement (PICS) theo quy ước cho các tần số dưới 11 GHz;
- 802.16k - Các Bridge (cầu nối) Media Access Control (MAC) - Bridging (tạo cầu nối) của 802.16.

Những điểm sửa đổi vào giai đoạn tiền phác thảo là:

- 802.16h - Những cơ cấu đồng tồn tại cải tiến cho hoạt động miễn bản quyền;

- 802.16i - Mobile Management Information Base, mục đích là bổ sung hỗ trợ di động cho chuẩn MIB cố định 802.16f.

Việc đưa ra bản phác thảo sửa đổi 802.16j đã được báo cáo đề cập đến Multi-hop Mobile Radio (MMR). Do đó, 802.16j cung cấp một số cải tiến cho chế độ Mesh. Project Authorization Request (PAR) của 802.16j đã được phê chuẩn trong tháng ba 2006.

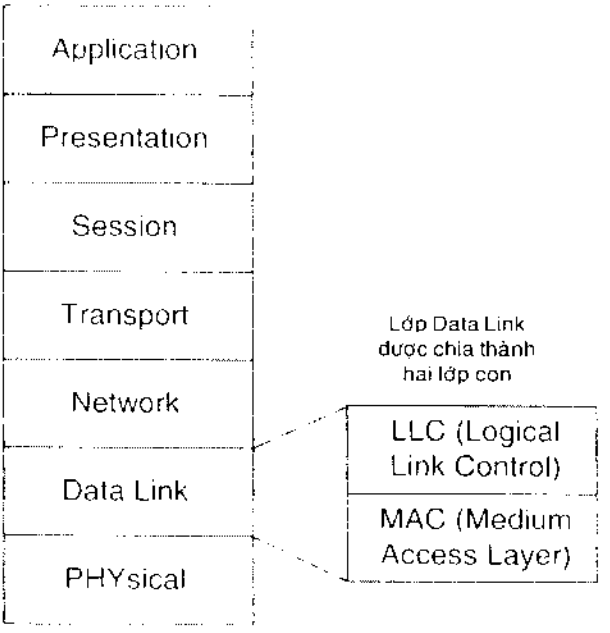
Chương 3

Các lớp giao thức và Tôpô

Chương này giới thiệu cấu trúc lớp giao thức của WiMAX/802.16. Các mục đích chính của mỗi lớp con được trình bày cũng như những chức năng tổng thể mà chúng nhận ra. Các liên kết được cung cấp dẫn đến các chương của sách này, nơi mà từng lớp con này hoặc thủ tục được mô tả chi tiết hơn.

3.1 Các lớp giao thức của WiMAX

Chuẩn mạng BWA IEEE 802.16 áp dụng cái được gọi là mô hình bảy lớp tham chiếu mạng Open Systems Interconnection (OSI), còn được gọi là mô hình bảy lớp OSI. Mô hình này rất thường được sử dụng để mô tả những khía cạnh khác nhau của một công nghệ mạng. Nó bắt đầu từ lớp ứng dụng (Application Layer), hoặc lớp 7 ở đỉnh và kết thúc với lớp PHYsical (PHY) (lớp vật lý) hoặc lớp 1 ở đáy (xem hình 3.1).



Hình 3.1: Mô hình OSI bảy lớp cho các mạng. Trong WiMAX/802.16, chỉ hai lớp đầu tiên được định nghĩa

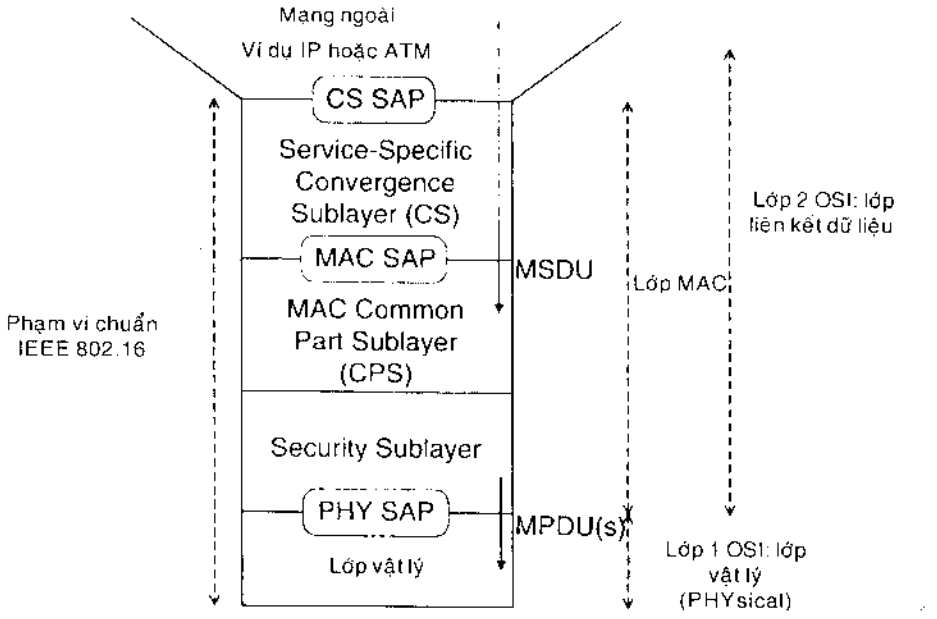
Mô hình OSI phân chia các chức năng của những giao thức khác nhau thành một loạt các lớp (layer), mỗi lớp sử dụng chỉ các chức năng của lớp bên dưới và xuất dữ liệu sang lớp ở trên. Ví dụ, IP (Internet Protocol) nằm ở lớp 3 hoặc lớp truyền (Routing Layer). Chỉ các lớp dưới thường được thực thi trong phần cứng trong khi các lớp cao hơn được thực thi trong phần mềm.

Hai lớp thấp nhất là lớp Physical (PHY) hoặc lớp 1 và lớp Data Link hoặc lớp 2. IEEE 802 tách lớp Data Link OSI thành hai lớp con có tên nhà Logical Link Control (LLC) và Media Access Control (MAC). Lớp PHY tạo nối kết vật lý giữa hai thực thể giao tiếp (các thực thể ngang hàng), trong khi lớp MAC có trách nhiệm thiết lập và bảo trì nối kết (đa truy cập, lập thời biểu...).

Chuẩn IEEE 802.16 xác định giao diện không khí (air interface) của một hệ thống BWA cố định hỗ trợ các dịch vụ đa phương tiện (multimedia). Lớp Medium Access Control (MAC) hỗ trợ một cấu trúc chủ yếu point-to-multipoint (PMP) với một tôpô mạng lưới tùy chọn (xem mục 3.7). Lớp MAC được tạo cấu trúc để hỗ trợ nhiều lớp vật lý (PHY) được xác định trong cùng một chuẩn. Thực tế, chỉ hai trong các lớp đó được sử dụng trong WiMAX.

Cấu trúc các lớp giao thức được định nghĩa trong WiMAX/802.16 được minh họa trong hình 3.2. Có thể thấy rằng chuẩn 802.16 định nghĩa chỉ hai lớp thấp nhất, lớp PHYsical (vật lý) và lớp MAC vốn là phần chính của lớp Data Link (liên kết dữ liệu), với lớp LLC rất thường áp dụng chuẩn IEEE 802.16. Bản thân lớp MAC gồm ba lớp

con, CS (Convergence Sublayer), CPS (Common Part Sublayer) và Security Sublayer.



Hình 3.2: Các lớp giao thức của chuẩn BWA 802.16

Sự đối thoại giữa các lớp giao thức hoặc thực thể tương ứng được tiến hành như sau: Một lớp X gởi một XPDU (Layer X Protocol Data Unit) đến một lớp X tương ứng (lớp X của thực thể ngang hàng). XPDU này được nhận dưới dạng một (X-1)SDU (lớp X-1 Service Data Unit) bởi lớp X-1 của thiết bị được xem xét. Ví dụ, khi lớp MAC của thiết bị gởi một MPDU (MAC PDU) đến một thiết bị tương ứng, MPDU này được nhận dưới dạng một PSDU (PHYsical SDU) bởi lớp PHYsical (xem hình 3.2).

Trong chương này, các lớp khác nhau được giới thiệu. Từng lớp này hoặc các lớp con và nhiều chức năng của chúng được mô tả trong các mục tiếp theo.

3.2 Convergence Sublayer (CS)

Convergence Sublayer (CS) dành riêng cho dịch vụ, thường đơn giản được gọi là CS, nằm ngay trên lớp con MAC CPS (xem hình 3.2). CS sử dụng các dịch vụ (service) được cung cấp bởi MAC CPS thông qua MAC Service Access Point (SAP). CS thực thi các chức năng sau đây:

- Chấp nhận các PDU lớp cao hơn từ các lớp cao hơn. Trong phiên bản hiện tại của chuẩn [1], các thông số CS cho hai loại lớp cao hơn được cung cấp: CSS (ATM) asynchronous transfer mode (chế độ

truyền không đồng bộ) và CS packet (gói). Đối với packet CS, các giao thức lớp cao hơn có thể là IP v4 (phiên bản 4) hoặc v6 (phiên bản 6).

- Phân loại và ánh xạ các MSDU vào các CID (Connection IDentifier) thích hợp. Đây là một chức năng cơ bản của cơ cấu quản lý Quality of Service (QoS - chất lượng dịch vụ) của 802.16 BWA.
- Xử lý (nếu được yêu cầu) các PDU lớp cao hơn dựa vào việc phân loại.
- Một chức năng tùy chọn của CS là PHS (Payload Header Suppression), tiến trình bỏ qua các phần lặp lại của các header tải trọng tại bộ gởi và phục hồi các header này tại bộ thu.
- Gởi các PDU CS đến MAC SAP thích hợp và nhận các PDU CS từ thực thể ngang hàng.

Các thủ tục và hoạt động CS được nêu chi tiết trong chương 7.

3.3 Medium Access Control Common Part Sublayer (MAC CPS)

Common Part Sublayer (CPS) nằm ở giữa lớp MAC. CPS tượng trưng cho phần cốt lõi của giao thức MAC và có trách nhiệm:

- cấp phát băng thông;
- thiết lập nối kết;
- bảo trì nối kết giữa hai bên.

Chuẩn 802.16-2004 định nghĩa một tập hợp thông báo quản lý và chuyển. Các thông báo quản lý được trao đổi giữa SS và BS trước và trong quá trình thiết lập nối kết. Khi nối kết được thiết lập, các thông báo chuyển có thể được trao đổi để cho phép truyền dữ liệu.

CPS nhận dữ liệu từ các CSS khác nhau thông qua MAC SAP, được phân loại cho các nối kết MAC cụ thể. QoS được xem xét để truyền và lập dữ liệu trên lớp PHY. CPS có nhiều thủ tục thuộc các loại khác nhau: xây dựng frame (khung), sự đa truy cập (multiple access), các yêu cầu và cấp phát băng thông, lập thời biểu (scheduling), quản lý tài nguyên vô tuyến, quản lý QoS... Những chức năng này được nêu chi tiết trong các chương 8 đến chương 11.

3.4 Security Sublayer

MAC Sublayer cũng chứa một Security Sublayer riêng biệt (hình 3.2) cung cấp chức năng xác thực, trao đổi khóa an toàn, mã hóa và kiểm soát tính toàn vẹn qua hệ thống BWA. Hai chủ điểm chính của một an ninh mạng dữ liệu là mã hóa và xác thực dữ liệu. Các thuật toán nhận ra những mục tiêu này sẽ ngăn tất cả cuộc tấn công an ninh đã biết vốn có những mục tiêu là từ chối dịch vụ, đánh cắp dịch vụ...

Trong chuẩn 802.16, việc mã hóa nối kết giữa SS và BS được thực hiện bằng một giao thức mã hóa dữ liệu được áp dụng cho cả hai chiều. Giao thức này định nghĩa một tập hợp bộ mật mã được hỗ trợ, nghĩa là ghép đôi các thuật toán mã hóa và xác thực dữ liệu. Một giao thức đóng gói (encapsulation) được sử dụng để mã hóa các gói dữ liệu qua BWA. Giao thức này định nghĩa một tập hợp bộ mật mã được hỗ trợ, nghĩa là ghép đôi các thuật toán mã hóa và xác thực dữ liệu. Những quy tắc để áp dụng những thuật toán này vào một tải trọng MAC PDU cũng được trình bày.

Một giao thức xác thực (authentication), giao thức Privacy Key Management (PKM) được sử dụng để cung cấp việc phân phối an toàn dữ liệu khóa (key) từ BS đến SS. Thông qua việc trao đổi khóa an toàn này, do giao thức quản lý khóa SS và BS đồng bộ hóa dữ liệu khóa. Các cơ cấu bảo mật cơ bản được củng cố bằng cách thêm sự xác thực SS dựa vào chứng nhận kỹ thuật số (digital-certificate) và giao thức quản lý khóa. Ngoài ra, BS sử dụng giao thức PKM để bảo đảm sự truy cập có điều kiện đến các dịch vụ mạng. Điểm sửa đổi 802.16e đã định nghĩa PKMv2 vốn có cùng một framework như PKM, được đặt lại tên là PKMvl, với một số bổ sung chẳng hạn như các thuật toán mã hóa, xác thực lẫn nhau giữa SS và BS, hỗ trợ một handover và một thuật toán kiểm soát tính toàn vẹn mới.

Các thủ tục an ninh WiMAX được nêu chi tiết trong chương 15.

3.5 Lớp PHYsical

WiMAX là một hệ thống BWA. Do đó, dữ liệu được truyền với tốc độ cao trên giao diện không khí qua các sóng điện từ (vô tuyến) sử dụng một tần số (tần số hoạt động) được cho.

Lớp PHY thiết lập nối kết vật lý giữa cả hai phía thường trong hai chiều (uplink và downlink). Khi 802.16 rõ ràng là một công nghệ digital (kỹ thuật số), lớp PHYsical có trách nhiệm truyền các dãy bit. Nó định nghĩa loại tín hiệu được sử dụng, loại điều biến và dãy điều biến, khả năng truyền và cũng những đặc điểm vật lý khác. Chuẩn 802.16 xem xét dải tần số 2-66GHz. Dải tần số này được chia thành hai phần:

- Dải thứ nhất giữa 2 và 11 GHz được ấn định cho các nội dung truyền NLOS. Trước đó đây là chuẩn 802.16a. Đây là dãy duy nhất hiện được đưa vào WiMAX.
- Dải thứ hai giữa 11 và 66 GHz được ấn định cho các nội dung truyền LOS. Nó không được sử dụng cho WiMAX.

Năm giao diện PHYsical được định nghĩa trong chuẩn 802.16. Những giao diện vật lý này được nêu tóm tắt trong bảng 3.1. Năm giao diện vật lý mỗi giao diện được mô tả trong một phần riêng biệt của chuẩn

802.16 (và các điểm sửa đổi). Các tùy chọn MAC (AAS, ARQ, STC, HARQ...) sẽ được mô tả thêm trong sách này. Cả hai chế độ song công (duplexing), Time Division Duplexing (TDD) và Frequency Division Duplexing (FDD) có thể được đưa vào các hệ thống 802.16.

Bảng 3.1: Năm giao diện PHYsial được định nghĩa trong chuẩn 802.16.

Tên	Dải tần số	Phần trong chuẩn	Duplexing	Các tùy chọn MAC
WirelessMAN-SC (được gọi là SC)	10-66GHz	8.1	TDD và FDD	
Wireless MAN-SC (được gọi là SCa)	Dưới 11 GHz (NLOS); có bản quyền	8.2	TDD và FDD	AAS (6.3.7.6), ARQ (6.3.4); STC (8.2.1.4.3), tính di động
WirelessMAN-OFDM (được gọi là OFDM)	Dưới 11 GHz; có bản quyền	8.3	TDD và FDD	AAS (6.3.7.6), ARQ (6.3.4), STC (8.3.8), tính di động mạng lưới (6.3.6.6)
WirelessMAN-OFDMA (được gọi là OFDMA)	Dưới 11 GHz; có bản quyền	8.4	TDD và FDD	AAS (6.3.7.6), ARQ (6.3.4), HARQ (6.3.17), STC (8.4.8), tính di động
WirelessHUMAN	Dưới 11 GHz; miễn bản quyền	8.5 (ngoài 8.2.3 hoặc 8.4)	Chỉ TDD	ASS (6.3.7.6), ARQ (6.3.4), STC (xem ở trên), chỉ với 8.3, mạng lưới (6.3.6.6)

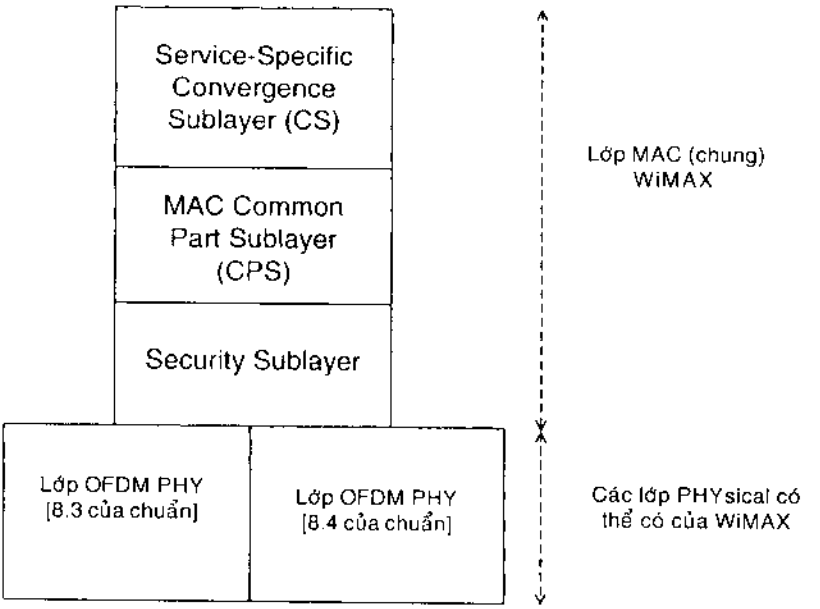
Đối với các tần số trong khoảng 10-66 GHz (LOS), WirelessMAN-SC PHY được xác định. Đối với các tần số dưới 11 GHz (LOS) ba giao diện PHYsical được đề xuất:

- WirelessMAN-OFDM, được gọi là OFDM và sử dụng việc truyền OFDM;
- WirelessMAN-OFDMA, được gọi là OFDMA và sử dụng việc truyền OFDM và Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA), với lớp PHY OFDMA được mô tả trong mục 8.4 của chuẩn 802.16, hoàn toàn được viết lại giữa 802.16-2004 và 802.16e;
- WirelessMAN-SCa, được gọi là SCa và sử dụng các điều biến sóng mang đơn.

Một số thông số kỹ thuật được cung cấp cho các dải tần số không có bản quyền được sử dụng cho 802.16-2004 trong framework của lớp PHYsical WirelessHUMAN (High-speed Unlicensed Metropolitan Area Network). Tần số không bản quyền được đưa vào việc chứng nhận

WiMAX cố định. Đối với các dải tần số không bản quyền, ngoài các tính năng được đề cập trong bảng 3.1, chuẩn đòi hỏi những cơ cấu chẳng hạn như Dynamic Frequency Selection (DFS) để làm dễ dàng việc phát hiện và tránh nhiễu, đồng thời ngăn nhiễu có hại cho những người dùng khác, kể cả những người dùng phổ riêng biệt được nhận dạng là những người dùng ưu tiên bởi các quy định.

WiMAX xem xét chỉ các lớp PHYsical OFDM và OFDMA của 802.16 (xem hình 3.3). Lớp PHYsical được mô tả trong chương 7, nơi kỹ thuật truyền OFDM được mô tả. Việc sử dụng hiệu quả băng thông tần số được đề cập ở chương 12.



Hình 3.3: Lớp MAC chung của IEEE 802.16 có thể được sử dụng với hai lớp PHYsical trong WiMAX.

3.6.1 Single Carrier (SC) và OFDM

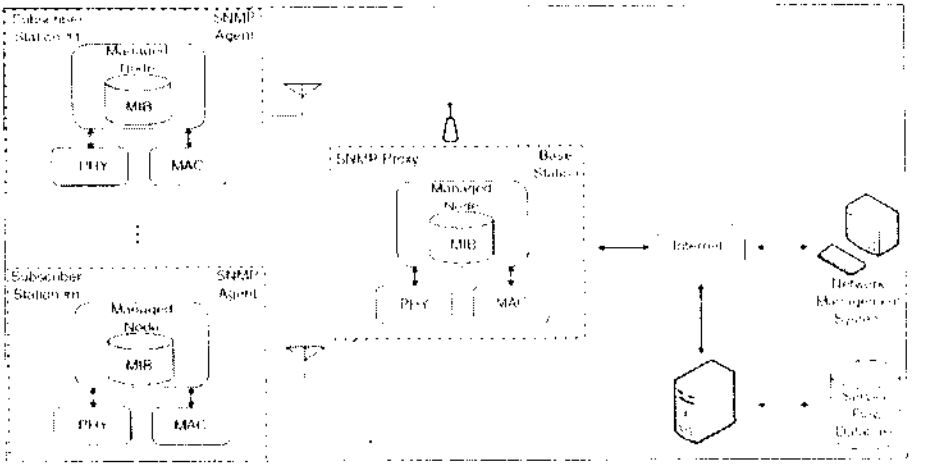
Việc sử dụng OFDM tăng dung lượng dữ liệu và cuối cùng tăng hiệu quả băng thông đối với việc truyền Single Carrier (SC) đặc trưng. Điều này được thực hiện bằng cách có các sóng mang (carrier) rất gần nhau nhưng vẫn tránh nhiễu do bản chất trực giao của những sóng mang này. Do đó, OFDM trình bày một hiệu suất phổ tương đối cao. Các số có độ lớn 3.5-5 b/s Hz cho hiệu suất phổ thường được cung cấp. Số này lớn hơn những giá trị thường được cung cấp cho CDMA (Code Division Multiple Access) được sử dụng cho 3G, mặc dù đây không phải là một giả định cuối cùng vì nó tùy thuộc rất lớn vào môi trường và những tham số hệ thống khác.

Kỹ thuật OFDM và việc sử dụng nó trong các lớp vật lý OFDM và OFDM của WiMAX được mô tả trong chương 5.

3.6 Mô hình tham chiếu quản lý mạng

Điểm sửa đổi 802.16f cung cấp những cải tiến cho IEEE 802.16-2004 định nghĩa một Management Information Base (MIB) cho MAC và PHY và những thủ tục quản lý đi kèm. Tài liệu này mô tả việc sử dụng một Simple Network Management Protocol (SNMP), một giao thức Internet Engineering Task Force (IETF) (các RFC 1902, 1903, 3411-5 và 3418) là một mô hình tham chiếu quản lý mạng.

802.16f gồm một Network Management System (NMS), các nút được quản lý và một cơ sở dòng đồng hồ (xem hình 3.4). Các nút được quản lý BS và SS thu thập và lưu trữ các đối tượng được quản lý dưới dạng WiressMan Interface MIB và wmanDevMib, được định nghĩa trong tài liệu 802.16f có sẵn cho các NMS thông qua các giao thức quản lý chẳng hạn như Simple Network Management Protocol (SNMP). Cơ sở dòng dịch vụ chứa dòng dịch vụ và thông tin QoS đi kèm vốn cần được kết hợp với BS và SS khi một SS đi vào mạng BS.

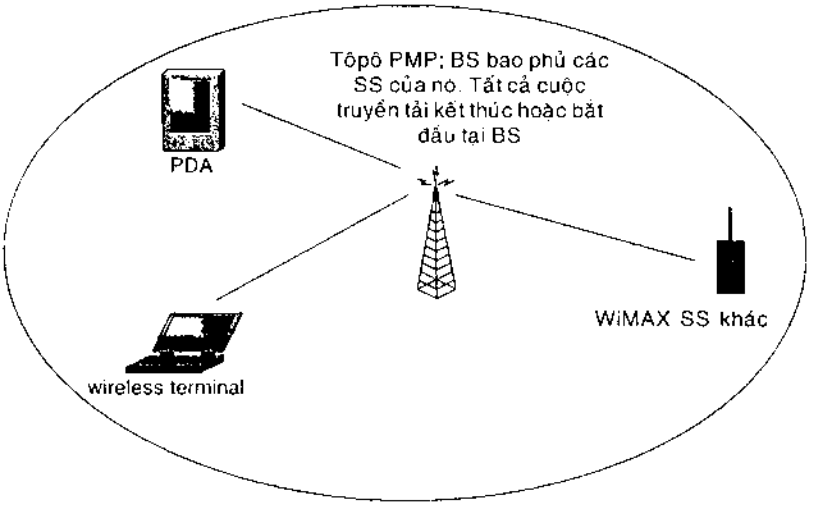


Hình 3.4: Mô hình tham chiếu quản lý mạng như được định nghĩa trong 802.16f.

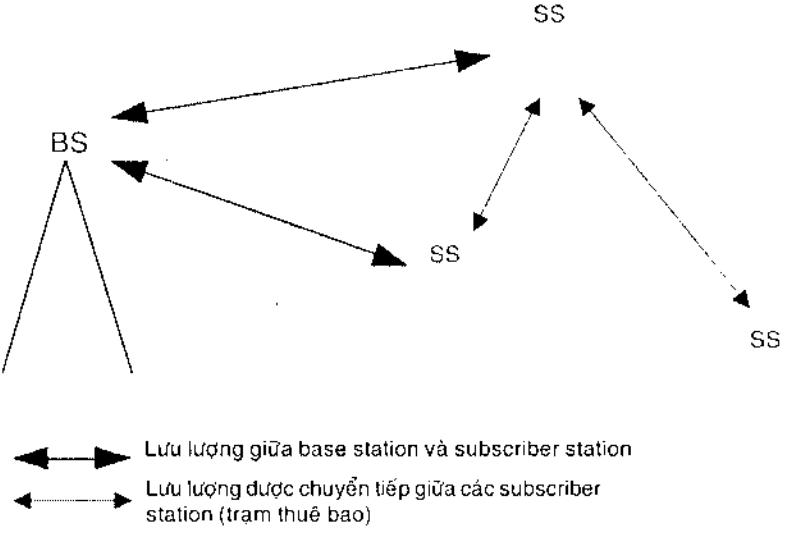
3.7 Các Tôpô WiMAX

Chuẩn IEEE 802.16 định nghĩa hai tôpô (địa hình) mạng (xem hình 3.6):

- Tôpô PMP (Point-to-Multipoint) (xem hình 3.5);



Hình 3.5: Tôpô PMP



Hình 3.6: Tôpô mạng lưới. BS không còn là trung tâm của tôpô nữa, như trong chế độ PMP đặc trưng

- Tôpô mạng lưới (mesh) hoặc chế độ Mesh (xem hình 3.6)

Sự khác biệt chính giữa hai chế độ như sau: trong chế độ PMP, lưu lượng có thể xảy ra chỉ giữa một BS và các SS của nó, trong khi trong chế độ Mesh lưu lượng có thể chuyển được chuyển qua các SS khác cho đến khi BS và thậm chí có thể xảy ra chỉ giữa các SS. PMP là một tôpô tập trung mà BS là trung tâm của hệ thống trong khi ở tôpô Mesh thì nó không phải như vậy. Các thành phần của một mạng Mesh được gọi là các node (nút), ví dụ một Mesh SS là một nút.

Trong tôpô Mesh, mỗi station (trạm) có thể tạo sự giao tiếp riêng của nó với bất kỳ trạm khác trong mạng và sau đó không bị giới hạn chỉ giao tiếp với BS. Do đó, một ưu điểm lớn của chế độ Mesh là tầm hoạt động của một BS có thể lớn hơn nhiều, phụ thuộc vào số bước nhảy (hop), cho đến SS xa nhất. Nói cách khác, việc sử dụng chế độ Mesh mang lại chủ đề nghiên cứu toàn diện về sự định tuyến các mạng ad hoc (không có hạ tầng cố định).

Khi được ủy quyền cho một mạng Mesh, một nút SS ứng cử nhận một Node ID (IDentifier) 16 bit sau một yêu cầu đối với SS được nhận dạng là Mesh BS. Node ID và cơ sở nhận dạng nút. Node ID được chuyển đến tiêu đề con (subheader) Mesh của một khung MAC chung chung trong các thông báo unicast và broadcast (xem chương 8 để biết các dạng frame).

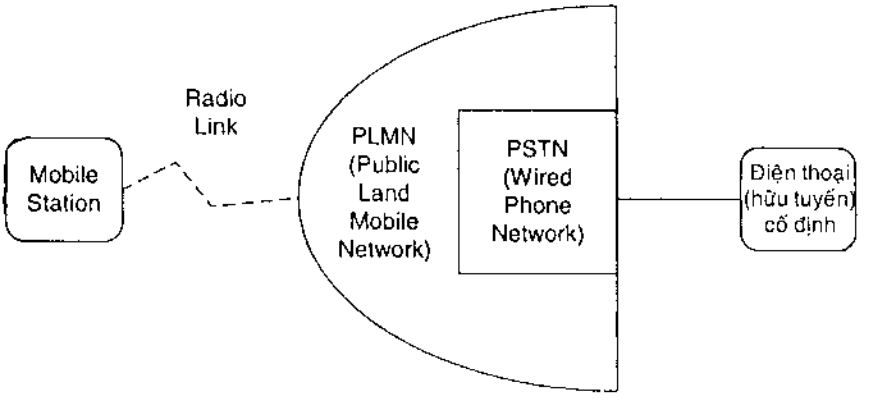
Các triển khai mạng WiMAX đầu tiên được hoạch định đi theo chủ yếu tôpô PMP. Tôpô Mesh chưa phải là một phần của profile chứng nhận WiMAX (tháng chín 2006). Đã có báo cáo rằng một số nhà sản xuất đang lập kế hoạch đưa những tính năng Mesh vào sản phẩm của họ thậm chí trước khi Mesh có trong một profile chứng nhận.

Chương 4

Tận dụng tần số và các Profile hệ thống

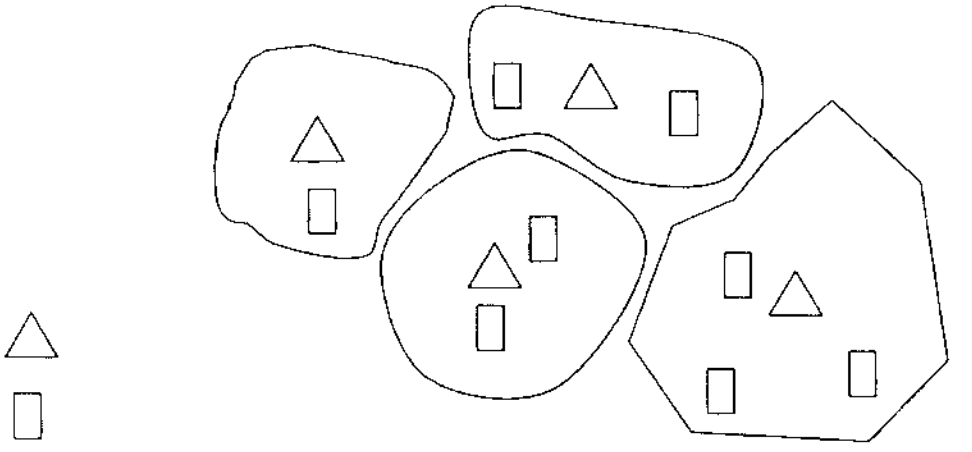
4.1 Khái niệm về Cellular

Mục đích toàn cầu của một mạng không dây khá đơn giản: kết nối những người dùng không dây với một mạng cốt lõi và sau đó với mạng cố định. Hình 4.1 minh họa nguyên lý của một mạng Public Land Mobile Network (PLMN), như được định nghĩa cho các mạng GSM thế hệ thứ hai.



Hình 4.1: Minh họa một mạng Public Land Mobile Network (PLMN) cung cấp một dịch vụ di động

Các hệ thống điện thoại không dây đầu tiên có từ những năm 1930. Những hệ thống này khá cơ bản và có dung lượng rất nhỏ. Sự gia tăng thật sự các mạng không dây đã đi cùng với khái niệm cellular được phát minh trong Bell Labs trong những năm 1970. Khái niệm đơn giản nhưng cũng cực kỳ mạnh mẽ này như sau: mỗi base station bao phủ một cell; chọn cell đủ nhỏ để tái sử dụng các tần số (xem hình 4.2). Bằng cách sử dụng khái niệm này, về lý thuyết có thể bao phủ một khu vực địa lý lớn tùy thuộc mức cần thiết!



Hình 4.2: Khái niệm cellular đơn giản và rất mạnh mẽ

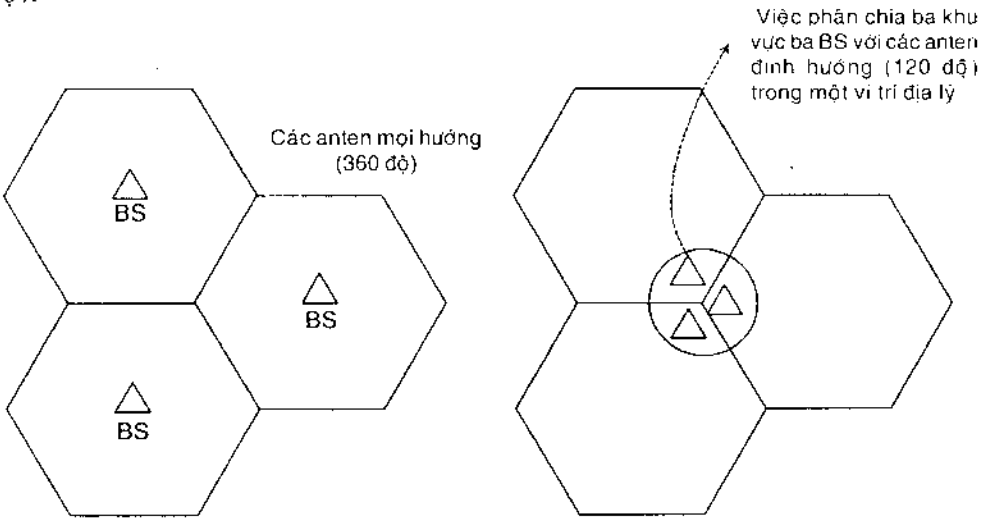
Khái niệm cellular đã được ứng dụng cho nhiều hệ thống di động (hầu như analogue) được định nghĩa trong những năm 1980: AMPS (Mỹ), R2000 hoặc Radiocom 2000 (Pháp), TACS (vương quốc Anh), NMT (các nước Scandinavi)... Những hệ thống này không tương thích, một hệ thống di động Châu Âu duy nhất đã được phát minh, GSM được sử dụng gần đây khắp thế giới.

WiMAX áp dụng cùng một nguyên lý: một BS bao phủ các SS của cell của nó. Trong phần này, một số thành phần về lý thuyết khái niệm cellular cần để định chiều WiMAX được cung cấp. Trước tiên việc phân khu vực được nhắc nhở đến.

4.1.1 Phân khu vực

Một vị trí base station tượng trưng cho một chi phí lớn (dưới dạng sự đầu tư, CAPEX và sự hoạt động, OPEX) cho một nhà vận hành mạng. Thay vì có một vị trí mỗi cell, đây là trường hợp cho một BS mọi hướng, việc phân chia ba khu vực cho phép ba BS được kết nhóm trong một vị trí, do đó bao phủ ba cell (xem hình 4.3). Sau đó những cell này được gọi là các sector (khu vực). Tuy nhiên, vì những lý do thực tiễn, sự phân chia ba khu vực (trisectorisation) rất thường được

sử dụng. Rõ ràng sự phân chia ba khu vực cần các anten định hướng. Sự phân chia ba khu vực cần các anten 120 độ (để ba BS bao phủ 360 độ).



Hình 4.3: Các anten mọi hướng và sự phân chia ba khu vực

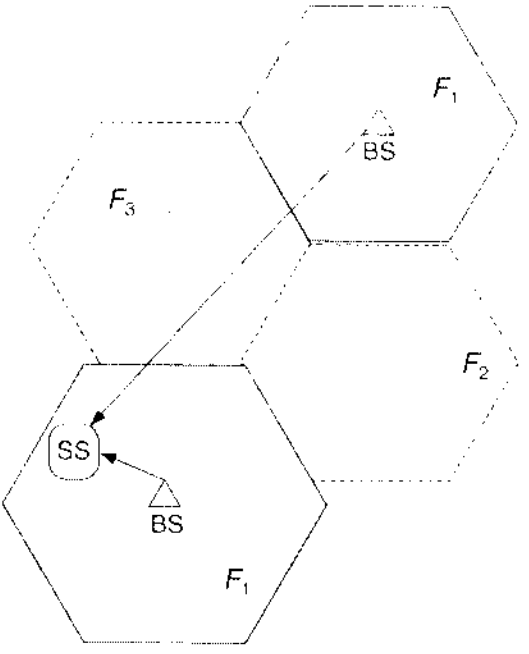
Vì những lý do kinh tế, việc phân khu vực hầu như luôn được ưu tiên hơn các anten mọi hướng cho các mạng di động trong những trường hợp đặc biệt hiếm, ví dụ đối với các cell rất lớn trong các khu vực địa lý dân cư rất thấp, WiMAX không phải là một ngoại lệ vì việc phân khu vực cũng được đề nghị.

4.1.2 Các xem xét kích cỡ Cluster

Các mạng di động dựa vào một nguyên tắc đơn giản. Tuy nhiên, việc triển khai thực tiễn cần một planification phức tạp để có hiệu suất cao, nghĩa là dung lượng lớn và chất lượng cao. Planification này được thực hiện với những công cụ phần mềm rất tinh vi và cũng "kiến thức thực hành" của các kỹ thuật vô tuyến.

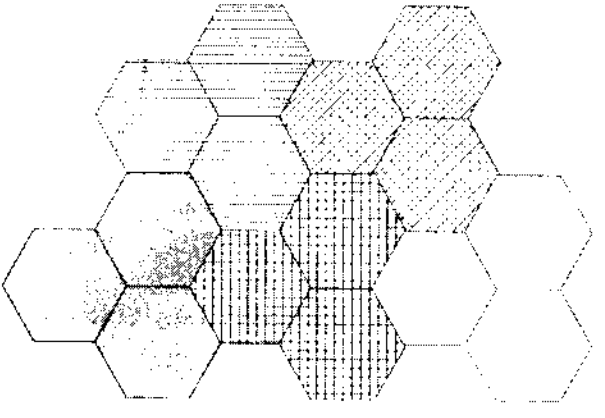
Việc tái sử dụng tần số nhường chỗ cho một sự nhiễu mà nên được giữ tương đối thấp. Như được minh họa trong hình 4.4, trong downlink (ví dụ) và ngoài tín hiệu hữu dụng của nó (nghĩa là tín hiệu BS tương ứng của nó), một SS nhận các tín hiệu nhiễu từ những BS khác sử dụng cùng một tần số. Các phép tính và ước tính tỉ số tín hiệu với tiếng ồn (SNR) được sử dụng cho planification. SNR còn được gọi là to-Carrier-Interference-and-Noise Ratio (CINR). Từ SNR được sử dụng nhiều hơn cho những vấn đề xem xét bộ thu và planification, trong khi CINR được sử dụng nhiều hơn cho những hoạt động thực tiễn. Trong sách này, SNR và CINR tượng trưng cho cùng một tham số vật

lý. Một cellular planification thích hợp nhiều đến mức SNR vẫn ở trên một giá trị mục tiêu cố định (phụ thuộc vào dịch vụ trong số những thứ khác) trong khi tăng tối đa dung lượng.



Hình 4.4: Minh họa một tín hiệu hữu dụng và tín hiệu nhiễu như được sử dụng cho các phép tính SNR

Một tham số của cellular planification là kích cỡ cluster. Một cluster được định nghĩa là số cell tối thiểu sử dụng một lần và chỉ một lần các tần số của một nhà vận hành (xem hình 4.5). Có thể kiểm chứng rằng việc có một cluster nhỏ sẽ tăng dung lượng mỗi cell trong khi các cluster lớn giảm sự nhiễu toàn diện và sau đó tượng trưng cho chất lượng cao. Vì lựa chọn kích cỡ cluster phải được thực hiện một cách rất cẩn thận. Trong trường hợp của các mạng GSM, giá trị của kích cỡ cluster ban đầu đã là 12 hoặc 9. Với thời gian và do những kỹ thuật vô tuyến khác nhau (chẳng hạn như nhảy tần số trong số những thứ khác), kích cỡ cluster của GSM có thể nhỏ hơn (xuống đến 3).



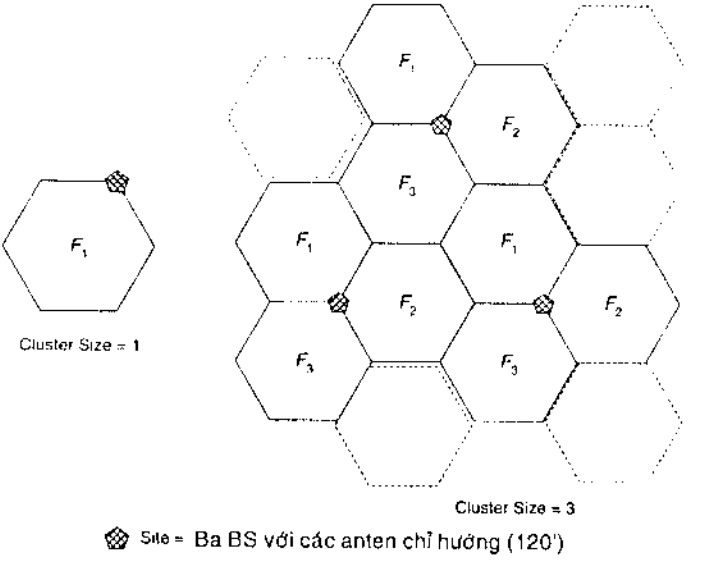
Hình 4.5: Ví dụ về một mạng hình sáu cạnh đều (về mặt lý thuyết). Kích cỡ cluster = 3. Trong mỗi cluster tất cả tần số nhà vận hành được sử dụng một lần và chỉ một lần.

Lưới hình sáu cạnh đều (như trong hình 4.5) là một mô hình được sử dụng cho những ước tính đầu tiên. Đối với mô hình này, một mối quan hệ có thể được xác lập giữa giá trị SNR tối thiểu của mạng và kích cỡ cluster.

SNR tối thiểu = 0.17 x $(3n)^{(\alpha/2)}$

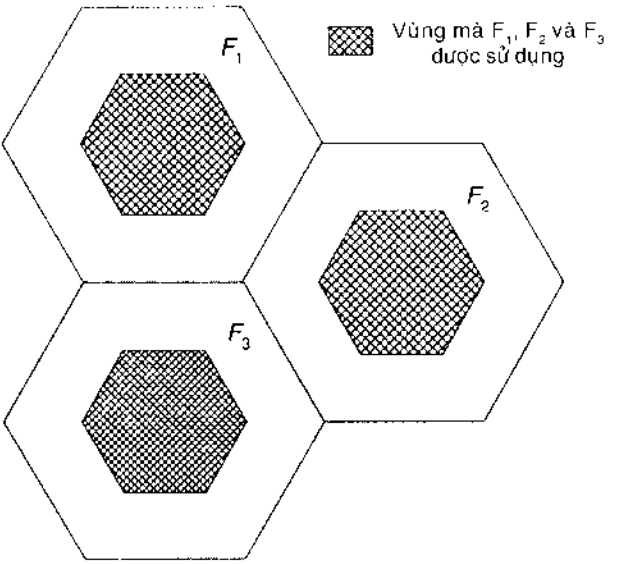
trong đó n là kích cỡ cluster và là một giá trị tùy thuộc vào kênh vô tuyến (có bậc 4). Đây chỉ là một công thức xấp xỉ được sử dụng cho một kênh không hiện thực (quá đơn giản) và các hình dạng cell được sử dụng chỉ cho ước tính đầu tiên là n. Sự triển khai thực tiễn sử dụng phương tiện tinh vi hơn nhưng vẫn SNR tối thiểu (được sử dụng cho planification hoặc định chiều cell) tăng theo n.

Còn về việc tái sử dụng tần số WiMAX thì sao? WiMAX là một hệ thống OFDM (trong khi GSM là một hệ thống Single Carrier, SC) nơi các kích cỡ cluster nhỏ hơn có thể được xem xét. Các giá trị kích cỡ cluster 1 hoặc 3 được trích dẫn đều đặn. Mặt khác, dường như khả năng cao là việc phân khu vực sẽ được áp dụng. Điều này đưa ra hai phương pháp tái sử dụng của hình 4.6. Kết quả, một nhà vận hành có 10.5 MHz băng thông sẽ có 3.5 MHz băng thông mỗi cell (tương ứng 10.5 MHz) nếu một cluster 3 (tương ứng 1) được xem xét. Tuy nhiên, không chắc chắn một cluster là 1 sẽ dẫn đến dung lượng tổng thể cao hơn. Với một cluster là 1, các tần số được tái sử dụng rất gần và sau đó SNR sẽ thấp hơn (một cách tổng thể), nghĩa là ít b/s Hz hơn nếu sự liên kết được áp dụng (như trong WiMAX, xem chương 11). Việc lựa chọn kích cỡ cluster chắc chắn không phải là một câu hỏi dễ dàng.



Hình 4.6: Các sơ đồ tái sử dụng tần số trong WiMAX.

Những kỹ thuật tái sử dụng tần số di động khác cũng có thể được sử dụng. Phần tham khảo đề cập việc tái sử dụng tần số phân số. Với một cấu hình kênh con thích hợp, những người dùng vận hành trên các kênh con vốn chỉ chiếm một phần nhỏ của toàn bộ băng thông kênh. Mẫu tái sử dụng kênh con có thể được cấu hình để những người dùng gần base station vận hành với tất cả kênh con (hoặc tần số) có sẵn, trong khi đối với những người dùng biên, mỗi cell (hoặc khu vực) vận hành trên một phần nhỏ của tất cả kênh con có sẵn. Với cấu hình này, việc tái sử dụng tần số tải toàn phần được duy trì cho những người dùng trung tâm để tăng tối đa hiệu suất phổ và việc tái sử dụng tần số phân số được thực thi cho những người dùng biên để bảo đảm chất lượng và thông lượng nối kết người dùng biên. Việc hoạch định tái sử dụng kênh con có thể được tối ưu hóa động qua các khu vực (sector) hoặc cell dựa vào tải trọng mạng và những điều kiện nhiễu trên cơ sở từng khung (frame). Hình 4.7 minh họa một ví dụ về các tần số vận hành cho mỗi khu vực địa lý trạng thái một sơ đồ tái sử dụng tần số phân số. Trong lớp OFDMA PHYsical (Mobile WiMAX), việc tái sử dụng kênh con linh hoạt được làm dễ dàng bằng việc phân đoạn kênh con và các vùng hoán vị. Một đoạn là một sự phân chia nhỏ của các kênh con OFDMA có sẵn (một đoạn có thể bao hàm tất cả kênh con).

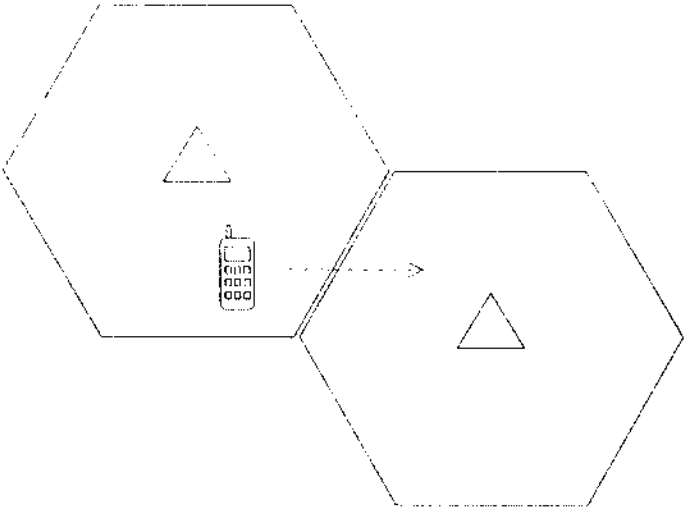


Hình 4.7: Ví dụ về các tần số vận hành cho mỗi khu vực địa lý trong một sơ đồ tái sử dụng tần số phân số. Những người dùng gần base station vận hành với tất cả kênh con có sẵn.

Những công cụ để sử dụng tài nguyên vô tuyến hiệu quả và những vấn đề xem xét kỹ thuật vô tuyến khác cho WiMAX được mô tả trong chương 12.

4.1.3 Handover

Hoạt động handover (đôi khi được gọi là "handoff") là việc một người dùng di động đi từ cell này đến một cell khác mà không làm gián đoạn phiên làm việc đang diễn ra (cho dù là một cuộc gọi điện thoại, phiên dữ liệu hoặc thứ khác). Handover là một tính năng bắt buộc của một mạng di động (xem hình 4.8). Có nhiều loại để thực thi nó. Từng hệ thống không dây đã biết có một số điểm khác biệt. WiMAX handover được mô tả trong chương 14.



Hình 4.8: Minh họa handover trong một mạng di động

4.2 Các tần số có bản quyền và không có bản quyền

Các mạng 3G có những dải tần số cố định có bản quyền. Những dải tần số này là 1885-2025 GHz và 2110-2200 GHz. Các WLAN WiFi (11b) cũng có một dải tần số cố định: 2410-2480 GHz. Dải tần số sau này trong ISM (công nghiệp, khoa học và y tế), một dải tần số miễn phí cũng được sử dụng bởi các hệ thống ngoại trừ WiFi.

Đối với WiMAX, chuẩn IEEE 802.16 xem xét rằng hệ thống hoạt động trên những tần số nhỏ hơn 11 GHz (cho các lớp PHYsical được xem xét cho WiMAX). Những thông số vận hành chính xác được biểu thị trong các profile hệ thống WiMAX Forum (các mục 4.3 và 4.4 bên dưới).

Cả hai loại dải tần số là một phần của WiMAX:

- các dải tần số có bản quyền;
- các dải tần số miễn bản quyền.

Người ta thường đề cập rằng các tần số không có bản quyền của WiMAX sẽ được sử dụng cho những vùng phủ sóng giới hạn, các khuôn viên (doanh nghiệp hoặc học đường), các sáng kiến cụ thể... Nói cách khác, lợi nhuận của nhà vận hành chỉ có được từ những tần số có bản quyền nơi dịch vụ có thể được bảo đảm dễ dàng hơn.

Trong một số quốc gia và khu vực, các bản quyền được quy cho được gọi là các bản quyền bất khả chi, nghĩa là không có công nghệ riêng biệt hoặc những yêu cầu khác bắt buộc. Chỉ các hình dạng bộ lọc tần số và công suất truyền tối đa được biểu thị. Ví dụ, trong các dải tần số này, một nhà vận hành có thể có 3G hoặc UMTS. Tuy nhiên, không phải tất cả tần số được quy cho thì bất khả chi. Trong một số quốc gia, một dải tần số có bản quyền WiMAX chỉ có thể được sử dụng để vận hành WiMAX. Cũng có thêm những ràng buộc. Ví dụ, WiMAX không thể được sử dụng cho các hoạt động di động ở một số quốc gia.

Chuẩn xác định rằng tần số trung tâm RF (Radio Frequency) là trung tâm của dải tần số, trong đó BS hoặc SS có thể truyền. Các tần số trung tâm uplink và downlink phải là bội số 250kHz. Độ chính xác bắt buộc là 10^{-5} (phụ thuộc vào lớp PHYsical và việc nó là BS hay SS).

4.2.1 Các kênh tần số và mặt nạ phổ

Mặt nạ phổ (spectral mask) của tín hiệu gây nhiễu của WiMAX hoạt động trên các dải tần số có bản quyền phụ thuộc các yêu cầu quy định cục bộ (các yêu cầu ETSI ở Châu Âu). Khi thay đổi từ một tần số (profile chớp tín hiệu) này sang một tần số khác, các giới hạn phải được duy trì để ngăn làm bão hòa bộ khuếch đại và để ngăn vi phạm các mặt nạ phát xạ.

Về các dải tần số miễn bản quyền (8.5), tần số trung tâm kênh được tính như sau:

Tần số trung tâm kênh (MHz) = 5000 + 5n_{ch}

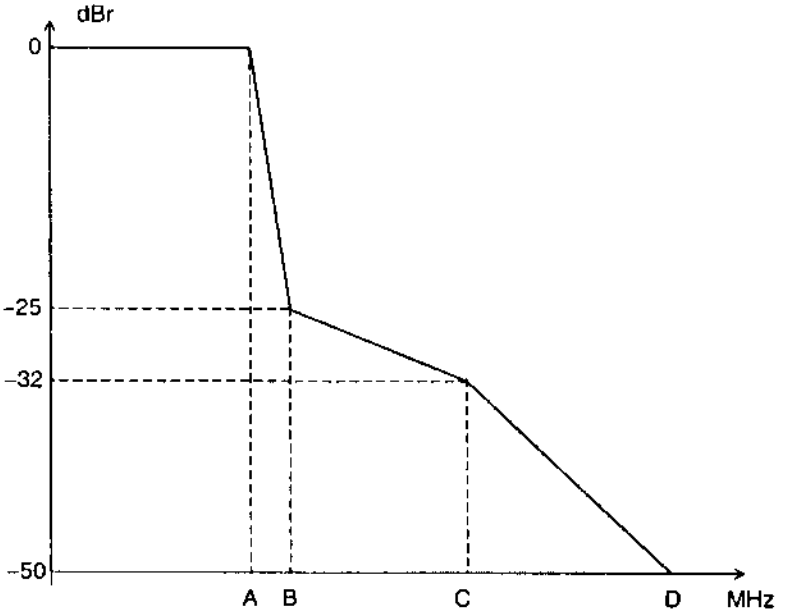
Trong đó n_{ch} = 0,1,...,199 là số kênh. Định nghĩa này cung cấp một hệ thống đánh số cho tất cả kênh với khoảng cách 5 MHz, từ 5 GHz đến 6GHz. Chuẩn biểu thị rằng điều này mang lại sự linh hoạt để định nghĩa các tập hợp phân kênh cho các lãnh thổ quy định hiện tại và tương lai.

Sự phân kênh đã được thấy tương thích với WiFi WLAN 802.11, một loại cho những mục đích giảm nhẹ nhiễu, trong dải tần số Unlicensed National Information Infrastructure (U-NII) 5 GHz (định nghĩa Mỹ) (xem bảng 4.1).

Bảng 4.1: Các kênh dải tần số miễn bản quyền. Các quy định có thể áp dụng hiện tại không cho phép vận hành chuẩn này trong dải tần số B của CEPT.

		Số kênh	
Lãnh thổ quy định	**Dải tần số (GHz)**	**Các kênh 20 MHz**	**Các kênh 10 MHz**
Mỹ	U-NII giữa 5.25-5.35	56, 60, 64	55, 57, 59, 61, 63, 65, 67
	U-NII ở trên 5.725-5.825	149, 153,157, 161, 165	148, 160, 152, 154, 156, 158, 160, 162, 164, 166
Châu Âu	Dải tần số B của CEPT 5.47-5.725	100, 104, 108, 1, 116, 120, 124, 128, 132, 136	99, 101, 103, 105, 107, 109, 111, 113, 115, 117, 119, 121, 123, 125, 127, 129, 131, 133, 135, 137
	Dải tần số C của CEPT 5.725-5.825	148, 152, 156, 160, 164, 168	147, 149, 151, 153, 155, 157, 159, 161, 163, 165, 167, 169

Trong các dải tần số miễn bản quyền, mật độ phổ truyền của tín hiệu truyền phải nằm trong mặt nạ phổ của hình 4.9. Các số đo phải được thực hiện bằng cách sử dụng băng thông phân dải 100 kHz. Mức 0 dBr là công suất tối đa được cho phép bởi cơ quan quy định liên quan.



Hình 4.9: Mặt nạ phổ truyền (xem thêm bảng 4.2).

Bảng 4.2: Các tham số mặt nạ phổ truyền

A, B, C và D tính bằng MHz

Phân kênh (MHz)	A	B	C	D
20	9.5	10.9	19.5	29.5
10	4.75	5.45	9.75	14.75

4.3 Các tần số WiMAX, các quy định và tính có sẵn

Trong phần này, một số tần số mong đợi được sử dụng cho WiMAX được trình bày. Các dải tần số sẽ được sử dụng trong những quốc gia này hoặc một quốc gia khác trong thời điểm đó (tháng mười 2006) là:

- Các dải tần số có bản quyền: 2.3 GHz, 2.5 GHz (hãy nhớ rằng dải tần số 2.4 GHz là một dải tần số miễn phí được sử dụng, trong số những dải tần số khác bởi WiFi), 3.3 GHz và 3.5 GHz, cái sau là dải tần số WiMAX được thông báo rộng rãi nhất (về khía cạnh vật lý). Phần này đề cập rằng các hệ thống di động thế hệ thứ ba (3G) vận hành trong dải tần số 2.5 GHz là một dải tần số mở rộng cho những hệ thống này đã được báo cao.
- Các dải tần số miễn bản quyền: 5 GHz. Profile cố định tần số không có bản quyền WiMAX 2004 đã sử dụng dải tần số U-NII phía trên, nghĩa là dải tần số 5.8 GHz (xem bảng 4.1). Trong tương lai, các dải tần số khác nhau giữa 5 GHz và 6 GHz có thể được sử dụng cho WiMAX không bản quyền phụ thuộc vào quốc gia liên quan.

Bảng 4.3 trình bày các tần số WiMAX mong đợi hiện tại khắp thế giới. Những tần số khác được tìm kiếm. Những tần số này không nên cao hơn 5.8 GHz đã được chọn bởi vì đối với các tần số tương đối cao (3.5 GHz không phải là một giá trị nhỏ cho lắm), hoạt động NLOS trở nên khó, đây là một vấn đề rõ ràng cho tính di động. Regulatory Working Group (RWG) được giới thiệu trong chương 2 đang cố định nghĩa cả hai tần số mới (các báo cáo nói về 450 MHz và 700 MHz) và cũng các nghĩa cho một roaming chung dễ dàng với các tần số khác nhau ở những quốc gia khác nhau. Những yêu cầu quy định chủ yếu cho phép Time Division Duplexing (TDD) và Frequency Division Duplexing (FDD). Kích cỡ phổ tần số được quy cho là một chức năng của quốc gia. Một số thành phần về tình huống WiMAX ở một số quốc gia được trình bày bên dưới.

Bảng 4.3: Các tần số WiMAX mong đợi (dựa vào các tài liệu RWG)

Khu vực hoặc quốc gia	Các dải tần số WiMAX được báo cáo
Mỹ	2.3, 2.5 và 5.8 GHz
Trung Mỹ và Nam Mỹ	2.5, 3.5 và 5.8 GHz
Châu Âu	3.5 và 5.8 GHz; có thể: 2.5 GHz
Đông Nam Á	2.3, 2.5, 3.3, 3.5 và 5.8 GHz
Trung Đông và Nam Phi	3.5 và 5.8 GHz

4.3.1 Pháp

Ở Pháp, giống như ở nơi khác, nhà chức trách muốn có sự truy cập băng tần rộng (tối thiểu cố định) trong tỉ lệ phần trăm cao nhất của lãnh thổ. WiMAX đã được xem như là một phương tiện để cung cấp truy cập dải tần rộng này. Altitude Operator (được sở hữu bởi Iliad) có bản quyền WiMAX trong dải tần số 3.5 GHz. Altitude đã có được nó trong năm 2003 khi cơ quan có thẩm quyền, Autorité de Régulation des Télécommunication (ART) đã chấp nhận Altitude lấy một bản quyền WLL được sở hữu (và không được sử dụng) bởi một nhà vận hành khác. Kể từ sau đó, ART đã thay đổi tên của nó thành ARCEP (Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes, http://www.arcep.fr).

Trong tháng tám 2005, ARCEP đã bắt đầu tiến trình quy cho hai bản quyền WiMAX khác (mỗi bản quyền 2X15 MHz):

- BLR 1: 3465-3480 và 3565-3580 MHz;
- BLR 2: 3432.5-3447.5 và 3532.5-3547.5 MHz.

Tiến trình này đã kết thúc trong tháng bảy 2006 bởi việc cấp phát hai bản quyền này cho hai nhà vận hành trong mỗi trong 22 khu vực đô thị của Pháp. Tuy nhiên, Altitude là nhà vận hành duy nhất của Pháp có một bản quyền WiMAX quốc gia. Việc lựa chọn được tiến hành được dựa vào ba tiêu chuẩn đều quan trọng như nhau:

- đóng gói cho sự phát triển sự truy cập băng tần rộng trong lãnh thổ;
- khả năng cải thiện một sự trùng hợp tốc độ dữ liệu cao;
- những trợ cấp được trả bởi nhà vận hành

Những nhà vận hành nên có một số tối thiểu (trong tổng cộng) 3500 site WiMAX tháng sáu 2008. Họ sẽ trả 125 triệu euro trong năm 2006.

4.3.2 Hàn Quốc

Ở Hàn Quốc, các tần số được quy cho WiBro là trong dải tần số 2.3-2.4 GHz. Trong 2002, các dải tần số 100 MHz đã được quyết định

cho WiBro ở Hàn Quốc và các bản quyền WiBro được quy cho trong tháng giêng 2005. Ba nhà vận hành là Korea Telecom (KT), SK Telecom (SKT) và Hanaro Telecom. Các mạng tiên phong đã được thiết lập (tháng tư 2006). Các đề nghị thương mại công khai phủ sóng tương đối rộng bắt đầu trước cuối năm 2006.

4.3.3 Mỹ

Ở Mỹ, một số lớn các bản quyền dải tần số 2.5 GHz (BRS hoặc Broadband Radio Service và EBS, hoặc Education Broadband Service) và các bản quyền dải tần số 2.3 GHz (WCS hoặc Wireless Communications Service) được sở hữu bởi nhiều nhà vận hành. Sprint và Nextel có các lực lượng gia nhập, cung cấp cho họ số mất độ dân số lớn nhất được phục vụ bởi bản quyền của họ. Ở Mỹ, cho đến bây giờ dải tần số 2.5 GHz thường được quy cho MMDS. Tuy nhiên, các bản quyền EBS đã được cung cấp cho các thực thể giáo dục để chúng có thể được sử dụng cho những mục đích giáo dục và ủy ban truyền thông liên bang (FCC) đã cho phép những người có bản quyền EBS cho những thực thể thương mại thuê phổ trong những điều kiện nhất định.

4.3.4 Vương quốc Anh

Hiện tại, hai nhà vận hành có các bản quyền BWA ở vương quốc Anh: PCCW (UK Broadband) và Pipex. Các bản quyền của họ nằm trong các dải tần số 3.4 GHz (PCCW) và 3.5 GHz (Pipex). Một số các nhà vận hành nhỏ hơn sử dụng hoặc dự định sử dụng dải tần số WiMAX miễn bản quyền cho những hoạt động giới hạn.

4.3.5 Trung Quốc

Trung Quốc là một quốc gia có các kích thước lớn và là một mạng viễn thông vẫn đang phát triển. Đối với thời điểm đó (tháng mười 2006), bản quyền cho dịch vụ thương mại của WiMAX đã không được cấp phát. Tuy nhiên, việc sử dụng thử nghiệm WiMAX đang xảy ra trong nhiều khu vực và được báo cáo đều đặn. Báo cáo rằng những nhà cung cấp thiết bị viễn thông hàng đầu của Trung Quốc, Huawei và ZTE, tích cực tham gia hoạt động trong lĩnh vực WiMAX (các thành viên của WiMAX Forum, đóng gói vào những cuộc thử nghiệm, chuẩn bị các sản phẩm WiMAX).

4.3.6 Brazil

Brazil là một quốc gia khác có những mong đợi cao về WiMAX. Cuộc bán đấu giá phổ BWA 3.5 GHz và 10 GHz đã được khởi động trong tháng bảy 2006. Đã có những báo cáo về những mong đợi đối với việc sử dụng dải tần số 2.5 GHz cho WiMAX.

4.4 Các Profile hệ thống WiMAX

Một profile chứng nhận hệ thống WiMAX là một tập hợp tính năng của chuẩn 802.16 được chọn bởi WiMAX Forum vốn được bắt buộc cho những profile riêng biệt này. Đối với từng profile chứng nhận sự tung ra các profile hệ thống xác lập những tính năng cần được sử dụng trong những trường hợp thực thi điển hình. Các profile chứng nhận hệ thống được định nghĩa bởi TWG trong WiMAX Forum. Chuẩn 802.16 xác định một profile (chứng nhận) hệ thống bao gồm năm thành phần: profile MAC, profile PHY, profile RF, lựa chọn song công (TDD hoặc FDD) và lớp công suất. Các dải tần số và băng thông kênh được chọn để chúng bao phủ càng nhiều càng tốt các cấp phát phổ toàn cầu được mong đợi cho WiMAX.

Sau đó, nhiều thiết bị có thể được chứng nhận bởi WiMAX Forum theo profile chứng nhận hệ thống riêng biệt. Hai loại profile hệ thống được định nghĩa: cố định và di động. Những profile này được giới thiệu trong các mục sau đây.

4.4.1 Các Profile hệ thống WiMAX cố định

Bảng 4.4 trình bày các profile WiMAX cố định. Những profile hệ thống này dựa vào lớp PHYsical OFDM IEEE 802.16-2004 (thực tế, lớp PHY này đã không thay đổi nhiều cho lắm với 802.16e). Tất cả profile sử dụng chế độ PMP. Đây đã là tập hợp lựa chọn đầu tiên được quyết định trong tháng sáu 2004 (cùng thời gian với việc phê chuẩn IEEE 802.16-2004). Mỗi profile chứng nhận có một định danh (identifier) để sử dụng trong các tài liệu chẳng hạn như các thông báo theo quy ước PICS. Những profile hệ thống hơn nữa sẽ được định nghĩa phản ánh sự phát triển quy định (các cơ hội dải tần số) và sự phát triển thị trường. Trong số những thứ khác, các profile chứng nhận cố định mới được chấp thuận trước cuối năm 2006. Người ta hoạch định rằng các profile hệ thống WiMAX với một băng thông kênh 5 MHz và các sơ đồ dải tần số 2.5 GHz sẽ được bổ sung. Các profile chứng nhận cố định dựa vào 802.16e cũng được hoạch định.

Bảng 4.4: Các profile chứng nhận WiMAX cố định đều sử dụng các chế độ OFDM PHY và PMP

Dải tần số (GHz)	Chế độ song công	Băng thông kênh (MHz)	Tên profile
3.5	TDD	7	3.5T1
3.5	TDD	3.5	3.5T2
3.5	FDD	3.5	3.5F1
3.5	FDD	7	3.5F2
3.5	TDD	10	5.8T

4.4.2 Các Profile hệ thống WiMAX di động

Cùng với việc đưa ra điểm sửa đổi 802.16e, các profile hệ thống WiMAX di động đã được định nghĩa. Những profile chứng nhận này, được gọi là các profile hệ thống Release-1 Mobile WiMAX và được trình bày trong bảng 4.5 đã được chấp thuận trong tháng giêng 2006. Chúng dựa vào lớp PHYsical OFDMA (IEEE 802.16e) và tất cả bao gồm chỉ tôpô PMP. Những profile này được định nghĩa bởi Mobile Task Group (MTG), một nhóm con của TWG trong WiMAX Forum. Chứng nhận Release 1 có lẽ sẽ được tách biệt trong các Certification Waves khác nhau, bắt đầu với Wave 1 có chỉ một phần với tất cả tính năng Release 1.

Bảng 4.5: Các profile chứng nhận Release 1 Mobile WiMAX đều sử dụng các chế độ OFDMA PHY và PMP

Dải tần số (GHz)	Chế độ song công (duplexing)	Băng thông kênh và kích cỡ FFT (số sóng mang thứ cấp OFDMA)
2.3–2.4	TDD	5 MHz, 512; 8.75 MHz, 1024; 10 MHz, 1024
2.305–2.320	TDD	3.5 MHz, 512; 5 MHz, 512; 10 MHz, 1024
2.496–2.690	TDD	5 MHz, 512; 10 MHz, 1024
3.3–3.4	TDD	5 MHz, 512; 7 MHz, 1024; 10 MHz, 1024
3.4–3.8	TDD	5 MHz, 512; 7 MHz, 1024; 10 MHz, 1024

Trong lớp PHYsical OFDMA như đã sửa đổi trong 802.16e, số sóng mang thứ cấp OFDMA (tương đương kích cỡ FFT, xem chương kế tiếp) có khả năng mở rộng cấp độ. OFDMA của WiMAX được gọi là OFDMA có thể mở rộng cấp độ. Chế độ TDD là chế độ duy nhất đã được chọn cho tập hợp đầu tiên này, một trong những lý do là nó hiệu quả cho việc sử dụng tài nguyên hơn. Các profile FDD có thể được định nghĩa trong tương lai. Chiều dài frame bằng 5 ms. Những khía cạnh kỹ thuật khác của các profile được chọn sẽ được giới thiệu trong các chương tiếp theo.

Phần 2

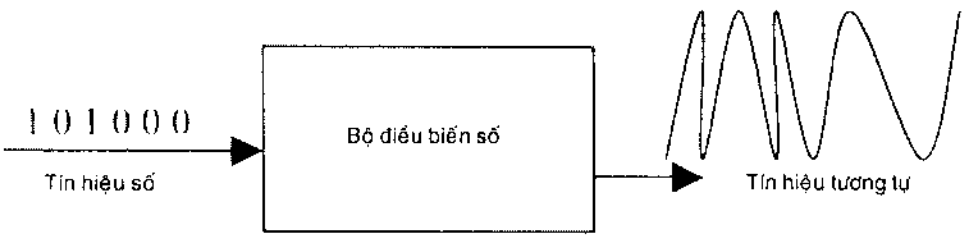
Lớp vật lý WiMAX

Chương 5

Sự điều biến số, OFDM và OFDMA

5.1 Sự điều biến số

Đối với tất cả hệ thống truyền thông gần đây, WiMAX/802.16 sử dụng sự điều biến số (digital modulation). Nguyên lý được nhiều người biết đến bây giờ của một sự điều biến số là điều biến một tín hiệu tương tự (analogue) với một dãy số để vận chuyển dãy số này qua một phương tiện nào đó: sợi, liên kết vô tuyến... (xem hình 5.1). Điều này có những lợi ích lớn đối với sự điều biến tương tự đặc trưng: sức chống tiếng ồn tốt hơn, sử dụng các thuật toán truyền thông số và mã hóa hiệu suất cao.



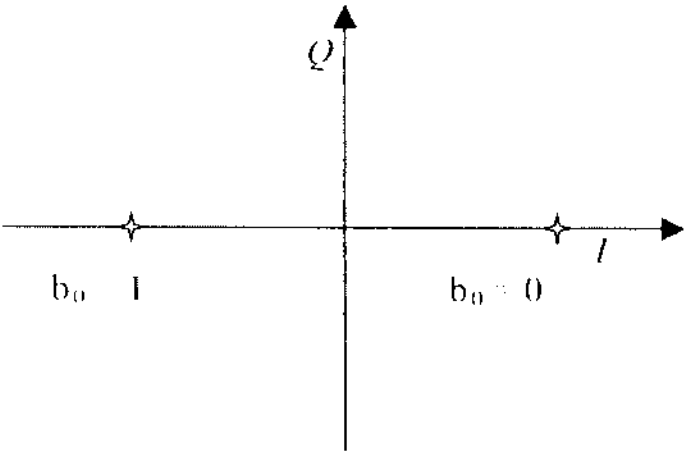
Hình 5.1: Nguyên lý điều biến số

Nhiều điều biến số có thể được sử dụng trong hệ thống viễn thông. Các biến thể đạt được bằng cách điều chỉnh các đặc tuyến vật lý của một sóng mang hình sin, tần số, pha hoặc biên độ hoặc kết hợp một số đặc tuyến này. Bốn điều biến được hỗ trợ bởi chuẩn IEEE 802.16:

BPSK, QPSK, 16-QAM và 64-QAM. Trong phần này, các điều biến được sử dụng trong các lớp vật lý (PHYsical) OFDM và OFDMA được giới thiệu với phần giải thích ngắn về từng điều biến này.

5.1.1 Binary Phase Shift Keying (BPSK)

BPSK là một sự điều biến số nhị phân; nghĩa là một ký hiệu điều biến là một bit. Điều này tạo ra khả năng chống lại tiếng ồn và nhiễu cao và sự điều biến rất mạnh. Sự điều biến pha số là trường hợp cho sự điều biến BPSK, sử dụng sự biến đổi pha để mã hóa các bit: mỗi ký hiệu điều biến tương đương một pha. Các pha của tín hiệu điều biến BPSK là π hoặc π theo giá trị của bit dữ liệu. Một hình minh họa thường được sử dụng cho sự điều biến số là chòm sao. Hình 5.2 minh họa chòm sao BPSK, những giá trị mà pha tín hiệu có thể đòi hỏi là 0 hoặc π.



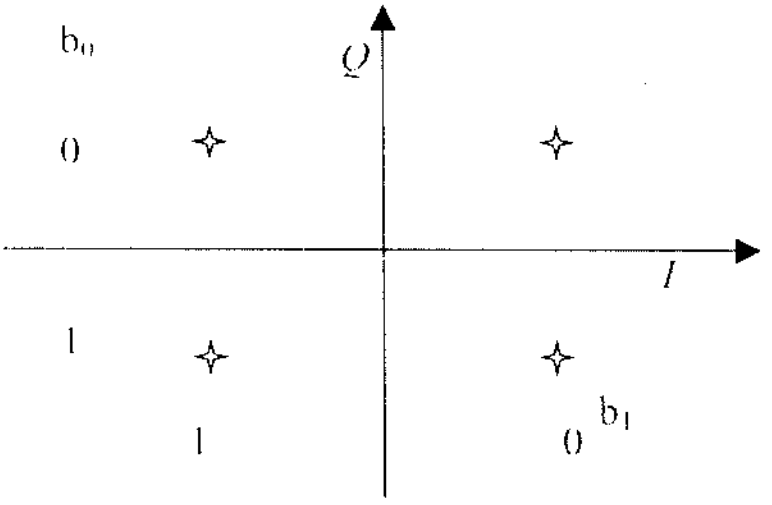
Hình 5.2: Chòm sao BPSK

5.1.2 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

Khi cần đến sự điều biến hiệu suất phổ cao hơn, nghĩa là càng nhiều b/s/Hz thì các ký hiệu điều biến có thể được sử dụng càng lớn. Ví dụ, QPSK xem xét các ký hiệu điều biến hai bit.

Bảng 5.1 trình bày các giá trị pha như là một hàm của ký hiệu điều biến. Nhiều biến thể của QPSK có thể được sử dụng nhưng QPSK luôn có một chòm sao bốn điểm (xem hình 5.3). Quyết định tại bộ nhận, ví dụ giữa ký hiệu "00" và ký hiệu "01" không dễ bằng sự quyết định giữa "0" và "1". Do đó sự điều biến QPSK có khả năng chống tiếng ồn thấp hơn BPSK vì nó có khả năng chống lại nhiễu nhỏ hơn. Một nguyên lý truyền thông số được nhiều người biết đến phải được

ghi nhớ: "Sự điều biến ký hiệu lớn hơn có hiệu suất phổ nhiều hơn nhưng cũng kém mạnh mẽ hơn".



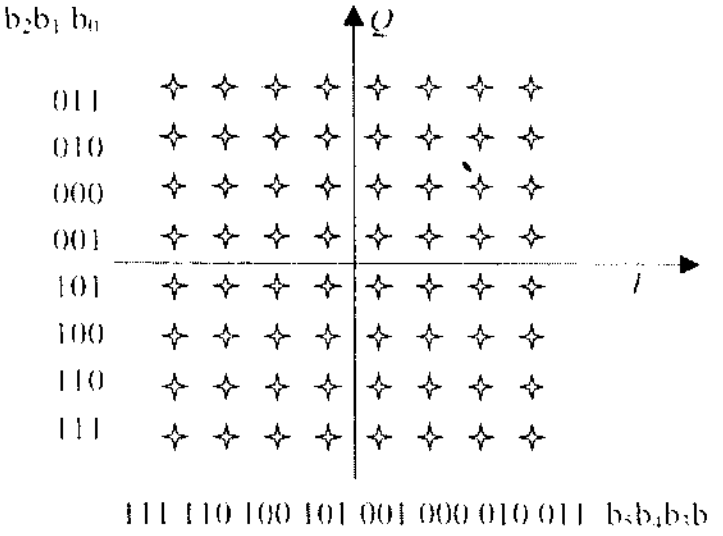
Hình 5.3: Ví dụ về một chòm sao QPSK

Bảng 5.1: Các giá trị pha có thể có cho sự điều biến QPSK

Các bit chẵn	Các bit lẻ	Ký hiệu điều biến	φ_k
0	0	00	π/4
1	0	01	3π/4
1	1	11	5π/4
0	1	10	7π/4

5.1.3 Quadrature Amplitude Modulation (QAM): 16-QAM và 64-QAM

QAM thay đổi các biên độ của hai sóng mang hình sin phụ thuộc vào dãy số phải được truyền; hai sóng mang lệch pha +π/2, sự điều biến biên độ này được gọi là quadrature (vị trí góc vuông). Nên đề cập rằng theo lý thuyết truyền thông số, QAM-4 và QPSK là cùng một sự điều biến (xem xét các ký hiệu dữ liệu phức tạp). Cả hai điều biến 16-QAM (4 bit/ký hiệu điều biến) và 64-QAM (6 bit/ký hiệu điều biến) được đưa vào chuẩn IEEE 802.16. 64-QAM là sự điều biến hiệu quả nhất của 802.16 (xem hình 5.4). Thực tế, 6 bit được truyền với mỗi ký hiệu điều biến.



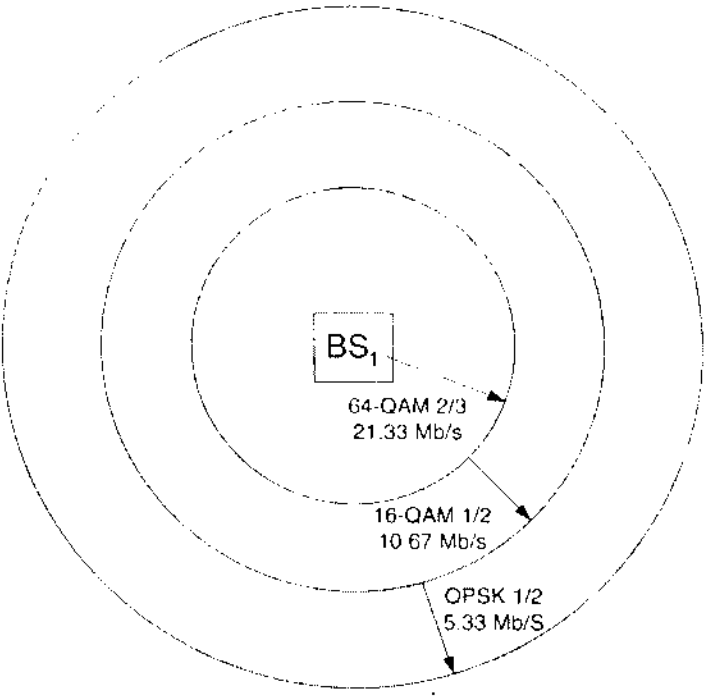
Hình 5.4: Một chòm sao 64-QAM

Sự điều biến 64-QAM thì tùy chọn trong một số trường:

- các dải tần số miễn bản quyền, khi lớp PHYsical OFDM được sử dụng
- đối với OFDMA, các profile Mobile WiMAX biểu thị 64-QAM là bắt buộc trong downlink.

5.1.4 Sự thích ứng liên kết

Có nhiều điều biến mang lại một lợi ích lớn: sự điều biến liên kết (link adaptation) (tiến trình này cũng được sử dụng hầu như trong tất cả hệ thống truyền thông gần đây khác chẳng hạn như GSM/EDGE, UMTS, WiFi...). Nguyên lý khá đơn giản: khi liên kết vô tuyến (radio link) tốt, sử dụng một sự điều biến cấp cao; khi liên kết vô tuyến kém, sử dụng một sự điều biến cấp thấp nhưng cũng mạnh. Hình 5.5 trình bày nguyên lý này, minh họa kênh vô tuyến tốt hơn khi một SS ở gần BS. Một chiều khác được thêm vào hình này khi tốc độ mã hóa cũng được thay đổi (xem bên dưới).



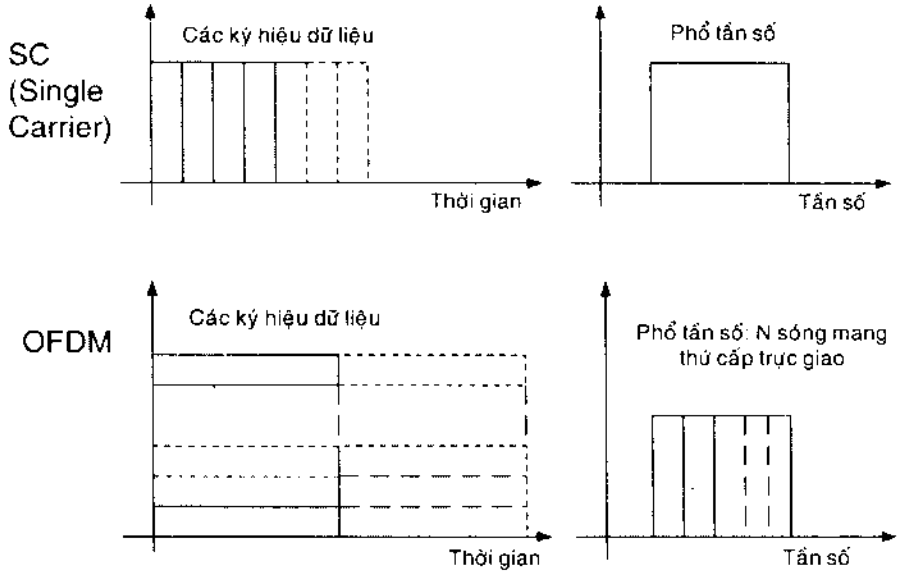
Hình 5.5: Minh họa sự thích ứng liên kết. Một kênh vô tuyến tốt tương ứng với một Modulation and Coding Scheme (MCS) hiệu suất cao.

5.2 Kỹ thuật truyền OFDM

Trong năm 1996, Bell Labs đã đề xuất bằng sáng chế Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). Sau đó, trong năm 1985, Cimini đã đề nghị sử dụng nó trong sự truyền thông di động. Trong năm 1997, ETSI đã đưa OFDM vào hệ thống DVB-T. Trong năm 1999, biến thể WiFi WLAN IEEE 802.11g đã xem xét OFDM cho lớp PHYsical của nó. Mục đích của chương này là không trình bày một tham khảo đầy đủ cho lý thuyết OFDM và những bằng chứng toán học đi kèm. Thay vào đó, mục đích là giới thiệu các kết quả cơ bản cần thiết để hiểu tối thiểu WiMAX.

OFDM là một kỹ thuật truyền rất mạnh. Nó dựa vào nguyên lý truyền đồng thời nhiều tần số trực giao dải tần hẹp, thường được gọi là các sóng mang thứ cấp OFDM hoặc chỉ các sóng mang thứ cấp. Số sóng mang thứ cấp thường được ghi chú là N. Những tần số này vuông góc với nhau mà (về mặt lý thuyết) loại bỏ sự nhiễu giữa các kênh. Mỗi kênh tần số được điều biến với sự điều biến số có thể khác nhau (thường giống nhau trong các phiên bản đơn giản đầu tiên). Băng thông tần số kết hợp với từng kênh này sau đó nhỏ hơn nhiều so với

nếu toàn bộ băng thông đã được chiếm bởi sự điều biến đơn. Đây được gọi là Single Carrier (SC) (xem hình 5.6). Thời gian ký hiệu dữ liệu là lâu hơn N lần với OFDM cung cấp sự trở kháng đa đường dẫn tốt hơn nhiều.



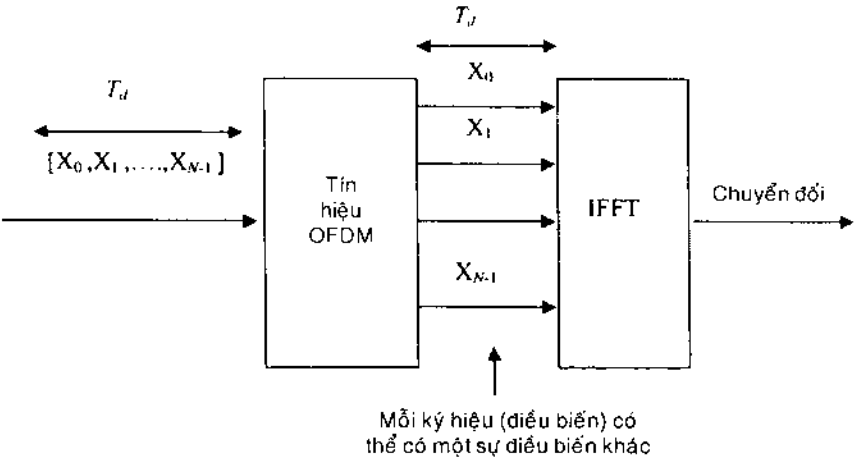
Hình 5.6: Thể hiện thời gian và tần số của SC và OFDM. Trong OFDM, N ký hiệu dữ liệu được truyền đồng thời trên N sóng mang thứ cấp trực giao.

Có một băng thông tần số nhỏ hơn cho mỗi kênh tương đương các khoảng thời gian lớn hơn và sau đó sự trở kháng tốt hơn đối với sự lan truyền đa đường dẫn (đối với SC). Sự trở kháng tốt hơn cho đa đường dẫn và việc các sóng mang trực giao mang lại một hiệu suất phổ cao. OFDM thường được trình bày là kỹ thuật truyền thực thi tốt nhất được sử dụng cho các hệ thống không dây.

5.2.1 Nguyên lý cơ bản: Sử dụng toán tử IFFT

FFT là toán tử Fast Fourier Transform. Đây là phép tính ma trận cho phép tính phép biến đổi Fourier riêng biệt (trong khi tôn trọng các điều kiện nhất định). FFT làm việc cho bất kỳ số điểm. Phép toán đơn giản khi được áp dụng cho một số N vốn là lũy thừa 2 (ví dụ N = 256). IFFT là toán tử Inverse Fast Fourier Transform và nhận ra phép toán nghịch đảo. Lý thuyết OFDM cho thấy IFFT có độ lớn N được áp dụng trên N ký hiệu nhận ra một tín hiệu OFDM, trong đó mỗi ký hiệu được truyền trên một trong N tần số trực giao. Các ký hiệu là những ký hiệu dữ liệu có kiểu BPSK, QPSK, QAM-16 và QAM-64 được giới thiệu trong mục trước. Hình 5.7 minh họa nguyên

lý được đơn giản hóa của việc tạo tín hiệu OFDM. Thực tế, việc tạo tín hiệu này bao gồm nhiều chi tiết hơn không được trình bày ở đây vì mục đích đơn giản hóa.



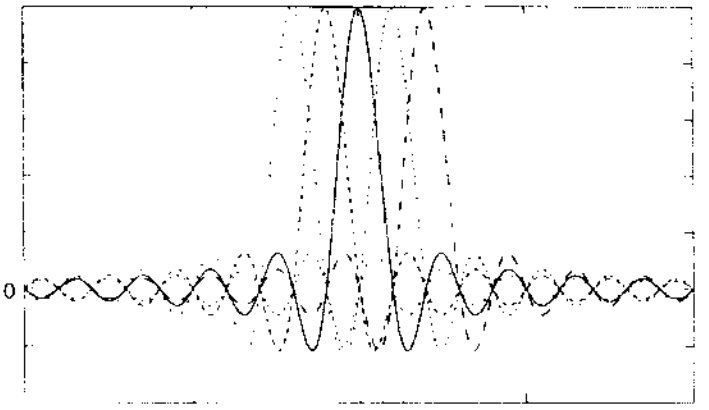
Hình 5.7: Tạo một tín hiệu OFDM (được đơn giản hóa)

Nếu khoảng thời gian của một ký hiệu dữ liệu điều biến truyền là T_d thì $T_d = 1/\Delta f$, trong đó Δf là băng thông tần số của các tần số trực giao. Vì các ký hiệu điều biến được truyền đồng thời.

T_d = khoảng thời gian của một ký hiệu OFDM

= khoảng thời gian của một ký hiệu dữ liệu điều biến được truyền

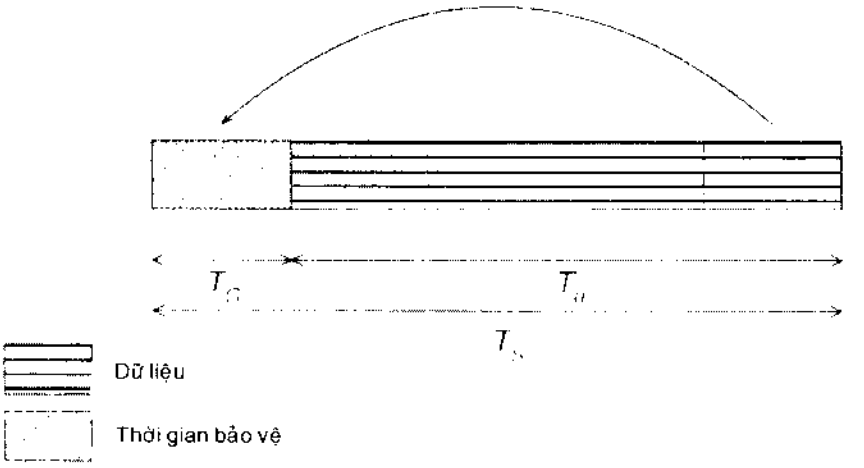
Khoảng thời gian này, Δf, khoảng cách tần số giữa hai sóng mang thứ cấp OFDM gần kề tối đa có thể được thấy trong hình 5.8. Hình này cho thấy các sóng mang thứ cấp OFDM lân cận có những giá trị bằng không với một mức tối đa sóng mang thứ cấp OFDM nào đó như thế nào, đây là lý do tại sao chúng được xem là trực giao. Thực tế, khoảng thời gian của ký hiệu OFDM thực hơi lớn hơn do việc bổ sung Cyclic Prefix (CP).



Hình 5.8: Trình bày tần số sóng mang thứ cấp OFDM

5.2.2 Các xem xét OFDM miền thời gian (Time Domain)

Sau khi áp dụng IFFT, lý thuyết OFDM đòi hỏi một Cyclic Prefix (CP) phải được thêm ở đầu ký hiệu OFDM (xem hình 5.9). Không cần đi vào các chi tiết toán học của OFDM, có thể nói CP cho phép bộ thu hấp thụ hiệu quả hơn nhiều sự phân bố thời gian trễ do sự đa đường dẫn (multipath) và duy trì tính trực giao tần số. CP vốn chiếm một khoảng thời gian được gọi là Guard Time (GT), thường được biểu thị là T G, là một sự dư thừa thời gian vốn phải được xem xét trong các phép tính tốc độ dữ liệu. Tỉ số T G/T d rất thường được biểu thị là G trong các tài liệu WiMAX/802.16. Việc lựa chọn G được thực hiện theo những xem xét sau đây: nếu hiệu ứng đa đường quan trọng (một kênh vô tuyến kém), cần đến một giá trị cao là G vốn tăng sự dư thừa và sau đó giảm tốc độ dữ liệu hữu dụng; nếu hiệu ứng đa đường dẫn nhẹ hơn (một kênh vô tuyến tốt), một giá trị tương đối nhỏ hơn là G có thể được sử dụng. Đối với các lớp PHY OFDM và OFDMA, 802.16 định nghĩa các giá trị sau đây cho G: 1/4, 1/8, 1/16 và 1/32. Đối với các profile WiMAX di động (OFDMA) hiện được định nghĩa, chỉ giá trị 1/8 là bắt buộc. Chuẩn xác định rằng đối với các lớp PHY OFDM và OFDMA, một SS tìm kiếm lúc khởi tạo, để tìm tất cả giá trị có thể có của CP cho đến khi nó tìm thấy CP được sử dụng bởi BS. Sau đó, SS sử dụng cùng một CP trên uplink. Một khi khoảng thời gian CP riêng biệt đã được chọn bởi BS để hoạt động trên downlink, nó không thể được thay đổi. Việc thay đổi CP sẽ buộc tất cả SS tái đồng bộ với BS.

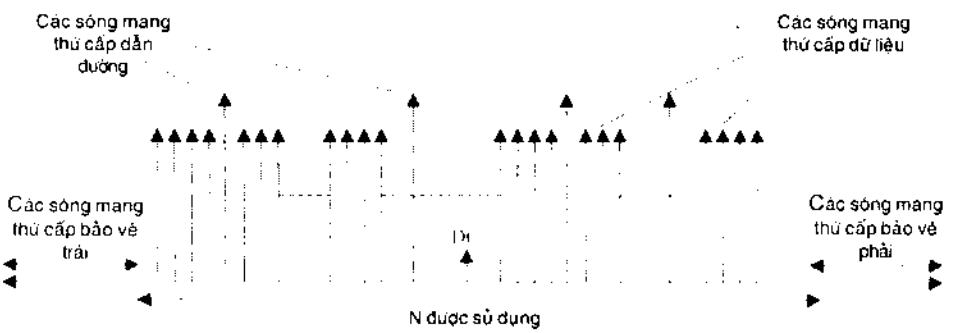


Hình 5.9: Chèn Cyclic Prefix trong một ký hiệu OFDM

5.2.3 Các xem xét OFDM miền tần số (Frequency Domain)

Tất cả sóng mang thứ cấp của một ký hiệu OFDM không tải dữ liệu hữu dụng. Có bốn loại sóng mang thứ cấp (xem hình 5.10):

- Các sóng mang thứ cấp dữ liệu: truyền dữ liệu hữu dụng.
- Các sóng mang thứ cấp dẫn đường: chủ yếu để ước tính và đồng bộ hóa kênh. Đối với OFDM PHY, có tám sóng mang thứ cấp dẫn đường.
- Các sóng mang thứ cấp rỗng (null): không truyền. Đây là các dãy bảo vệ tần số.
- Một sóng mang thứ cấp rỗng khác là sóng mang thứ cấp DC (Direct Current). Trong các lớp PHY OFDM và OFDMA, sóng mang thứ cấp DC là sóng mang thứ cấp có tần số bằng tần số trung tâm RF của trạm phát. Nó tương ứng với zero tần số (Direct Current) nếu tín hiệu FFT không được điều biến. Để đơn giản hóa các hoạt động chuyển đổi số sang tương tự (Digital-Analogue) và tương tự sang số (Analogue-Digital), sóng mang thứ cấp DC thì rỗng.



Hình 5.10: Các loại sóng mang thứ cấp WiMAX OFDM

Ngoài ra, các sóng mang thứ cấp được sử dụng để giảm PAPR (xem bên dưới), nếu hiện diện, không được sử dụng để truyền dữ liệu.

5.2.4 Các tham số ký hiệu OFDM và một số phép tính đơn giản

Các thông số ký hiệu WiMAX OFDM chính như sau:

- Tổng số sóng mang thứ cấp hoặc tương đương độ lớn IFFT. Đối với OFDM PHY, N_{FFT} = 256, số sóng mang thứ cấp bảo vệ tần số thấp hơn là 28 và số sóng mang thứ cấp bảo vệ tần số cao hơn là 27. Cũng xem xét sóng mang thứ cấp DC, còn lại N được sử dụng, số sóng mang thứ cấp được sử dụng, ngoại trừ các sóng mang thứ cấp rỗng. Do đó, $N_{\text{được sử dụng}}$ = 200 cho OFDM PHY, trong đó 192 được sử dụng để truyền dữ liệu hữu dụng sau khi giảm các sóng mang thứ cấp dẫn hướng.
- BW, băng thông kênh danh định
- n, hệ số lấy mẫu.

Tần số lấy mẫu được biểu thị là f_S liên quan đến băng thông kênh được chiếm bằng công thức (được đơn giản hóa) sau đây:

$$f_S = n\,\mathrm{BW}.$$

Đây là một công thức được đơn giản hóa, bởi vì theo chuẩn, f_S được rút giảm thành một bội số 8kHz. Theo chuẩn 802.16, giá trị số n phụ thuộc vào các băng thông kênh. Những giá trị có thể có là 8/7, 86/75, 144/125, 316/275 và 57/50 cho OFDM PHY và 8/7 và 28/25 cho OFDMA PHY.

5.2.4.1 Khoảng thời gian của một ký hiệu OFDM

Dựa vào các tham số được định nghĩa ở trên, khoảng thời gian của một ký hiệu OFDM có thể được tính:

Khoảng thời gian ký hiệu OFDM = **thời gian ký hiệu hữu dụng + thời gian bảo vệ (thời gian CP)**

= **1/(một khoảng cách phần tử sóng mang) + G x ký hiệu hữu dụng**

$= (1/\Delta f)\ (1+G)$

$= [1/(fs/N_{FFT})]\ (1+G)$

$= [1/(n\ BW/N_{FFT})]\ (1+G).$

Khoảng thời gian ký hiệu OFDM là một tham số cơ bản cho các phép tính tốc độ dữ liệu (xem bên dưới).

5.2.4.2 Các giá trị tốc độ dữ liệu

Trong OFDM PHY, một ký OFDM tượng trưng cho 192 sóng mang thứ cấp, mỗi sóng mang thứ cấp truyền một ký hiệu dữ liệu điều biến (xem ở trên). Sau đó, một sóng mang thứ cấp có thể tính số dữ liệu được truyền trong khoảng thời gian của một ký hiệu OFDM (mà giá trị đã biết). Bằng cách biết tốc độ mã hóa, số bit không mã hóa có thể được tính. Bảng 5.2 trình bày các tốc độ dữ liệu cho các Modulation and Coding Scheme (MCS) và các giá trị G khác nhau. Băng thông được chiếm được xem xét là 7 MHz và hệ số lấy mẫu là 8/7 (giá trị tương ứng với 7 MHz theo chuẩn).

Tốc độ dữ liệu = số bit không mã hóa mỗi ký hiệu OFDM/ khoảng thời gian ký hiệu OFDM

= 192 x 4 x (3/4)/{[256/(7 MHz x 8/2)] (1 + 1/16)}

= 16.94 Mb/s.

Bảng 5.2: Các tốc độ dữ liệu OFDM PHY tính bằng Mb/s.

Tỉ số G	BPSK 1/2	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16-QAM 1/2	16-QAM 3/4	64-QAM 2/3	64-QAM 3/4
1/32	2.92	5.82	8.73	11.64	17.45	23.27	26.18
1/16	2.82	5.65	8.47	11.29	16.94	22.59	25.41
1/8	2.67	5.33	8.00	10.67	16.00	21.33	24.00
1/4	2.40	4.80	7.20	9.60	14.40	19.20	21.60

Nên chú ý ở đây rằng các giá trị tốc độ dữ liệu này không xem xét một số hao phí chẳng hạn như các preambles (có bậc là một hoặc hai ký hiệu OFDM mỗi frame) và thông báo truyền tín hiệu hiện diện trong mỗi frame (xem chương 9 và những chương khác trong sách này). Do đó, những tốc độ dữ liệu này được gọi là các tốc độ dữ liệu thô là những giá trị lạc quan.

5.2.5 Physical Slot (PS)

Physical Slot (PS) là một đơn vị thời gian cơ bản trong chuẩn 802.16. PS tương ứng với bốn ký hiệu (điều biến) được sử dụng trên kênh truyền. Đối với các lớp PHY OFDM và OFDMA, một PS (khoảng thời gian) được định nghĩa là

$$PS = 4/f_s.$$

Do đó, khoảng thời gian PS liên quan đến tốc độ ký hiệu hệ thống.

Đơn vị thời gian này được định nghĩa trong chuẩn cho phép sử dụng các số nguyên trong khi tham chiếu một lượng thời gian, ví dụ

định nghĩa về các khoảng hở chuyển tiếp (RTG và TTG) giữa các khung (frame) uplink và downlink trong chế độ TDD.

5.2.6 Peak-to-Average Power Ratio (PAPR)

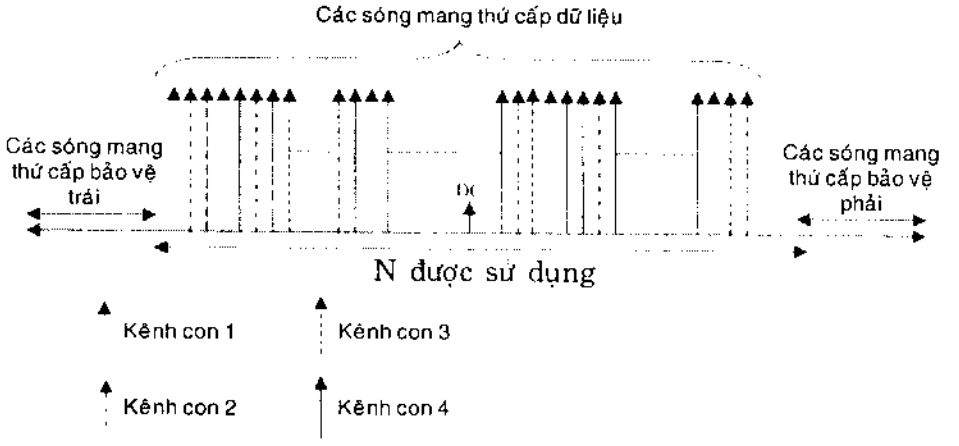
Một khuyết điểm của kỹ thuật truyền OFDM là nó có thể có Peak-to-Average Power Ratio (PAPR) cao, tương ứng với sự truyền sóng mang đơn. PAPR là giá trị đỉnh của các sóng mang thứ cấp truyền cho giá trị truyền trung bình. PAPR cao tượng trưng cho ràng buộc cứng cho một số thiết bị (chẳng hạn như các bộ khuếch đại). Một số giải pháp được đề xuất để giảm OFDM PAPR thường đưa vào việc sử dụng một số sóng mang thứ cấp cho mục đích đó. Sau đó, những sóng mang thứ cấp này không còn được sử dụng nữa để truyền dữ liệu. 802.16 MAC cung cấp phương tiện để giảm các trình tự giảm PAPR. Các trình tự giảm PAPR được đề xuất trong phần tham khảo.

5.3 OFDMA và biến thể của nó SOFDMA

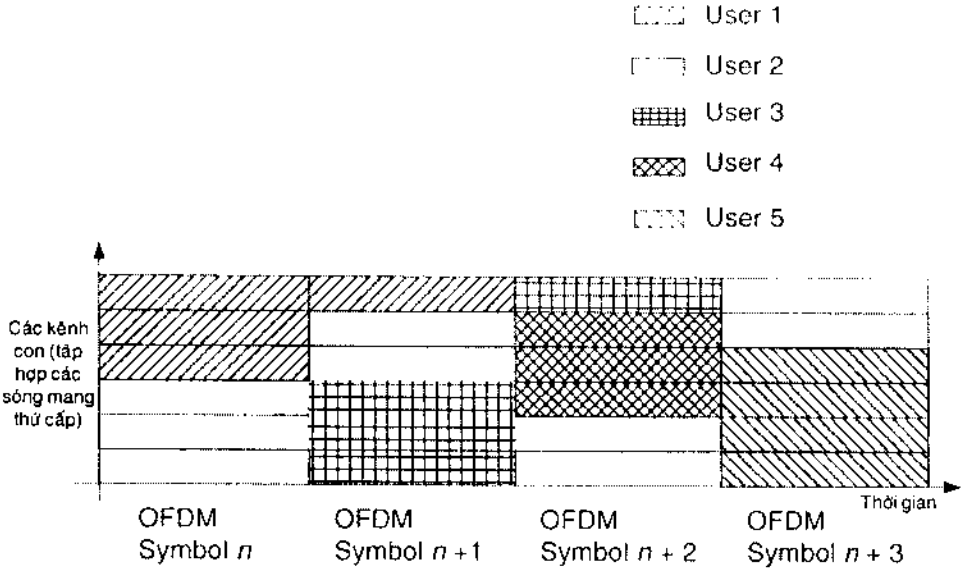
5.3.1 Sử dụng nguyên lý OFDM cho sự đa truy cập (Multiple Access)

Ban đầu chế độ truyền OFDM đã được thiết kế cho sự truyền tín hiệu đơn. Do đó, để có nhiều cuộc truyền người dùng, một sơ đồ đa truy cập chẳng hạn như TDMA hoặc FDMA phải được kết hợp với OFDM. Thực tế, một tín hiệu OFDM có thể được truyền từ nhiều tín hiệu người dùng, cung cấp sự đa truy cập OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access).

Trong OFDMA, các sóng mang thứ cấp OFDMA được chia thành các tập hợp con của các sóng mang thứ cấp, mỗi tập hợp con tượng trưng cho một kênh con (xem hình 5.11). Trong downlink, một kênh con (subchannel) có thể được ấn định cho các bộ nhận hoặc các nhóm bộ nhận khác nhau; trong uplink, một bộ phát có thể được gán một hoặc nhiều kênh con. Các sóng mang thứ cấp hình thành một kênh con có thể gần kề hay không. Chuẩn xác định rằng ký hiệu OFDM được chia thành các kênh con logic để hỗ trợ khả năng mở rộng cấp độ, sự đa truy cập và những tính năng truy cập mảng anten cao cấp. Sự đa truy cập có một chiều mới với OFDMA. Một người dùng downlink hoặc một người dùng uplink sẽ có một thời gian và một sự cấp phát kênh con cho từng cuộc truyền thông của nó (xem hình 5.12). Các phân phối kênh con và các lần đánh số lại logic khác nhau được định nghĩa trong chuẩn 802.16, như bạn sẽ thấy trong phần còn lại của chương này. Đầu tiên, khái niệm SOFDMA được giới thiệu.



Hình 5.11: Minh họa nguyên lý OFDMA.



Hình 5.12: Minh họa sự đa truy cập OFDMA

5.3.2 Scalable OFDMA (SOFDMA)

Sự đa truy cập OFDMA không phải là tính xác định duy nhất của OFDMA PHY. Một điểm khác biệt quan trọng khác là kỹ thuật truyền OFDMA của nó có khả năng mở rộng cấp độ (scalable). Mặc dù từ này không xuất hiện trong chuẩn, nhưng OFDMA PHY được cho là có Scalable OFDMA (SOFDMA). Tính mở rộng cấp độ là sự thay đổi kích cỡ FFT và sau đó số sóng mang thứ cấp. Các kích cỡ FFT được hỗ trợ là 2048, 1024, 512 và 128. Kích cỡ FFT 256 (của lớp OFDM)

không được đưa vào trong lớp OFDMA. Chỉ 1024 và 512 thì bắt buộc cho các profile WiMAX di động.

Sự thay đổi số sóng mang thứ cấp, đối với khoảng cách sóng mang thứ cấp cố định, cung cấp một băng thông tần số được chiếm thích ứng và tương đương, một tốc độ dữ liệu thích ứng, như được minh họa trong ví dụ sau đây. Xem ví dụ được minh họa trong bảng 5.3. Trong ví dụ này, hệ số lấy mẫu bằng 28/25 được chọn theo băng thông kênh. SOFDMA cung cấp một sự linh hoạt cấp phát tài nguyên bổ sung vốn có thể được sử dụng trong framework của chính sách quản lý tài nguyên vô tuyến xem xét yêu cầu phổ động trong số những thứ khác.

Bảng 5.3: Ví dụ về các số liệu SOFDMA

Các tham số	Các giá trị số	
	10.95 kHz	
Khoảng thời gian ký hiệu hữu dụng ($T_d=1/\Delta f$)	91.4 μs	
Thời gian bảo vệ ($T_G = T_d/8$)	11.4 μs	
Khoảng thời gian ký hiệu OFDMA ($T_S = T_d + T_G$)	102.9 μ	
Số ký hiệu OFDMA trong frame 5 ms	48	
Kích cỡ FFT N_{fft} hoặc số sóng mang thứ cấp	512	1024
Băng thông được chiếm bởi kênh	5MHz	10MHz

5.3.3 OFDMA trong lớp OFDM PHYsical: Phân kênh con

Thực tế, OFDM PHY bao gồm sự truy cập OFDMA nào đó. Sự phân kênh con đã được đưa vào 802.16-2004 cho uplink và cũng cho downlink trong điểm sửa đổi 802.16e. Nguyên lý như sau. 192 sóng mang thứ cấp OFDM dữ liệu hữu dụng của OFDM PHY được phân phối trong 16 kênh con, mỗi kênh con gồm 12 sóng mang thứ cấp. Mỗi kênh con gồm bốn nhóm ba kênh con gần kề mỗi nhóm (xem bên dưới).

Sự truyền được phân kênh con là sự truyền trên chỉ phần không gian sóng mang thứ cấp OFDM. Sự truyền được phân kênh con có thể xảy ra kênh 1, 2, 4, 8 hoặc 16 kênh con. Một sự đánh chỉ số năm bit được trình bày trong bảng 5.4 biểu thị số kênh con và các chỉ số (index) sóng mang thứ cấp được sử dụng cho mỗi chỉ số kênh con cho uplink. Như được trình bày trong bảng này, một hoặc nhiều sóng mang thứ cấp dẫn hướng (có tổng cộng tám sóng mang thứ cấp dẫn hướng) được cấp phát chỉ nếu hai hoặc nhiều kênh con được cấp phát. Những sóng mang thứ cấp ngoại trừ những sóng mang thứ cấp được sử dụng cho sự truyền được phân kênh con không hoạt động (đối với

bộ phát). Chỉ số kênh con năm bit được sử dụng trong UL-MAP thông báo cấp phát uplink (xem chương 9 để biết UL-MAP).

Bảng 5.4: Số kênh con và chỉ số sóng mang thứ cấp được sử dụng cho mỗi chỉ số kênh con (năm bit)

Chỉ số kênh con			Chỉ số tần số điều khiển	Chỉ số kênh con tiếp tục	Các chỉ số tần số sóng mang thứ cấp
	0b0010	0b00010	−38	0b00001 0b00011	100 −98, −37 −35; 1 3, 64 66
				0b00100	−97: −95, −34, −32, 4; 6, 67 69
			0b00110	13	−94 −92, −31 −29,7 9, 70 72
			0b01000	0b00111	−91 −89, −28 −26, 10, 12, 73 75
	0b01000	0b01010	−88	0b01001	−87 −85, −50 −48 14 16,51 53
				0b1011	−84, −82, −47 −45, 17 19, 54 56
		0b01100		0b01101	−81 −79, −44 −42, 20, 22, 57 59
		0b01110	63	0b01111	−78 −76, −41 −39, 23 25, 60 62
0b10000 (không có sự phân kênh con)					−75 −73, −12 −10, 26 28,89 91
		0b10010	−13	0b10011	−72 −70, −9 −7, 29 31 92 94
		0b10100		0b10101	−69 −67, −6 −4, 32 34, 95 97
		0b10110	38	0b10111	−66 −64, −3 −1, 35 37, 98 100
		0b11000		0b11001	−62 −60 −25 −23, 39 41, 76 78
		0b11010	−63	0b11011	−59 −57, −22 −20, 42 44, 79, 81
	0b11100			0b11101	−56 −54, −19 −17, 45 47, 82 84
		0b11110	88	0b11111	−53 −51, −16, −14, 48, 50, 85 87

Sự truyền được phân kênh con trong uplink là một tùy chọn cho SS. Nó chỉ có thể được sử dụng nếu BS báo hiệu khả năng nó giải mã các nội dung truyền như vậy. BS không được gán cho hai hoặc nhiều SS bất kỳ sự cấp phát được phân kênh con trùng lặp cùng một lúc.

Chuẩn xác định rằng khi sử dụng sự phân kênh con, SS duy trì cùng một mật độ công suất truyền trừ phi đạt được mức công suất tối đa. Kết quả, khi số kênh con hoạt động được cấp phát cho một người dùng uplink được giảm đi, công suất truyền được giảm tương ứng mà không có thêm các thông báo kiểm soát công suất. Khi số kênh con được tăng, tổng số công suất truyền cũng được tăng tương ứng. Mức

công suất truyền không được vượt quá các mức tối đa được biểu thị bởi các xem xét tính toàn vẹn tín hiệu và các yêu cầu quy định. Sau đó, sự phân kênh con có thể tượng trưng cho sự giảm công suất truyền và sự tăng dung lượng.

Điểm sửa đổi 802.16e đã định nghĩa một vùng phân kênh con downlink tùy chọn trong khung con (subframe) OFDM PHY. Các kênh con uplink được tái sử dụng một phần.

5.4 Các chuyển vị sóng mang thứ cấp trong WiMAX OFDMA PHY

Phân phối các sóng mang thứ cấp trên các kênh con là vấn đề rất mở với nhiều tham số để xem xét: tính di động, sự hỗ trợ AAS, các tiêu chuẩn tối ưu hóa khác nhau... Chuẩn 802.16 và điểm sửa đổi 802.16e của nó cung cấp đầy đủ chi tiết cho nhiều chuyển vị sóng mang thứ cấp được định nghĩa. Phần này mô tả ngắn gọn các chuyển vị sóng mang thứ cấp được định nghĩa trong Mobile WiMAX OFDMA PHY và nêu chi tiết một trong những chuyển vị này.

5.4.1 Các chế độ chuyển vị chính trong OFDMA

Lấy N_{FFT} trừ cho các sóng mang thứ cấp bảo vệ và sóng mang thứ cấp DC sẽ cho ra tập hợp sóng mang thứ cấp "được sử dụng" N được sử dụng. Đối với cả uplink lẫn downlink, những sóng mang thứ cấp này được cấp phát dưới dạng các sóng mang thứ cấp điều khiển và các sóng mang thứ cấp dữ liệu theo một chế độ này hoặc chế độ khác trong số các chế độ chuyển vị OFDMA được định nghĩa.

Hai họ chế độ phân phối có thể được phân biệt:

- Các chuyển vị phân tập (hoặc phân phối). Các sóng mang thứ cấp được phân bố một cách giả ngẫu nhiên. Họ này bao gồm: FUSC (Full Usage of the SubChannels) và PUSC (Partial Usage of the SubChannels), OPUSC (Optional PUSC), OFUSC (Optional FUSC) và TUSC (Tile Usage of SubChannels). Những ưu điểm chính của các chuyển vị phân bố là sự phân tập tần số và sự tính trung bình nhiễu giữa các cell. Các chuyển vị phân tập giảm thiểu xác suất sử dụng cùng một sóng mang thứ cấp trong các sector hoặc cell gần kề. Nói cách khác, việc ước tính kênh không dễ dàng như các sóng mang thứ cấp được phân bố trên băng thông có sẵn.
- Các chuyển vị gần kề. Những chuyển vị này xem xét một nhóm sóng mang thứ cấp gần kề. Họ này bao gồm chế độ AMC (Adaptive Modulation and Coding). Loại chuyển vị này để cửa mở cho việc chọn phần các điều kiện tốt nhất của băng thông. Việc ước tính kênh dễ dàng hơn khi các sóng mang thứ cấp gần kề.

Các chế độ chuyển vị bắt buộc của các profile WiMAX di động hiện được định nghĩa là:

- đối với downlink: PUSC, FUSC và AMC.
- đối với uplink: PUSC và AMC.

5.4.2 Một số định nghĩa OFDMA PHY

5.4.2.1 Các kênh con và sóng mang thứ cấp điều khiển

Một kênh con (subchannel) là đơn vị truyền tối thiểu trong một ký hiệu OFDMA. Từng chế độ chuyển vị của OFDMA có định nghĩa của nó cho một kênh con. Cũng có một sự khác biệt giữa việc cấp phát dữ liệu và các sóng mang thứ cấp điều khiển trong các kênh con giữa các chế độ chuyển vị khác nhau:

- Đối với FUSC (downlink) và PUSC downlink, các sóng mang thứ cấp điều khiển được cấp phát trước tiên. Những gì còn lại là các sóng mang thứ cấp dữ liệu được phân chia thành các kênh con được sử dụng riêng biệt cho dữ liệu.
- Đối với PUSC uplink, tập hợp sóng mang thứ cấp được sử dụng được phân chia trước tiên thành các kênh con và sau đó các sóng mang thứ cấp điều khiển được cấp phát từ bên trong mỗi kênh con.

Do đó, trong chế độ FUSC, có một tập hợp sóng mang thứ cấp điều khiển chung, trong khi trong chế độ PUSC uplink, mỗi kênh con chứa tập hợp sóng mang thứ cấp điều khiển riêng của nó. Đối với chế độ PUSC downlink, có một tập hợp sóng mang thứ cấp điều khiển chung cho mọi nhóm lớn kể cả một tập hợp kênh con (xem bên dưới).

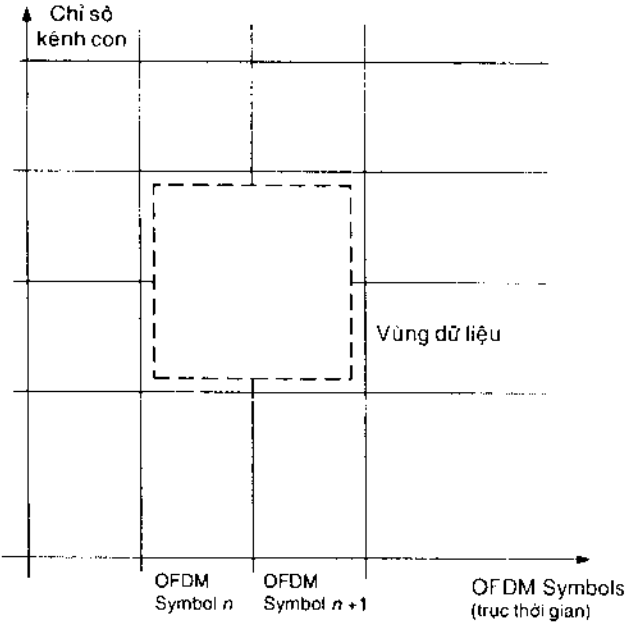
5.4.2.2 Slot và Burst (vùng dữ liệu)

Một slot trong OFDMA PHY có cả thời gian và chiều kênh con. Slot là đơn vị cấp phát dữ liệu tối thiểu có thể có trong chuẩn 802.16. Định nghĩa của một slot OFDMA phụ thuộc vào cấu trúc ký hiệu OFDMA vốn khác nhau cho uplink và downlink, đối với FUSE và PUSC, và đối với các chuyển vị sóng mang thứ cấp phân bố và chuyển vị sóng mang thứ cấp gần kề. Xem bảng 5.5 để biết các khả năng khác nhau.

Bảng 5.5: Định nghĩa slot

Chế độ chuyển vị và cách giao tiếp	Định nghĩa slot
Downlink FUSC; downlink OFUSC	1 kênh con x 1 ký hiệu OFDMA
Downlink PUSC	1 kênh con x 2 ký hiệu OFDMA
Uplink PUSC, thêm uplink PUSC, downlink TUSCI và TUSCI	1 kênh con 3 x ký hiệu OFDMA
AMC (uplink và downlink)	1 kênh con x (1, 2 hoặc 3) ký hiệu OFDMA

Trong OFDMA, vùng dữ liệu (hoặc burst) là sự cấp phát một nhóm slot hai chiều, nghĩa là một nhóm kênh con gần kề, trong một nhóm ký hiệu OFDMA gần kề (xem hình 5.13 và phần cuối PUSC bên dưới để tham khảo một ví dụ).



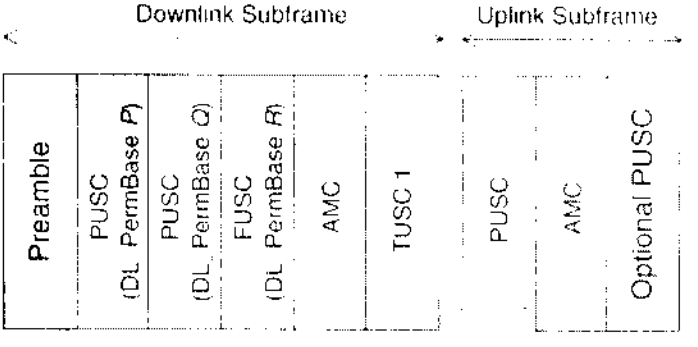
Hình 5.13: Ví dụ về vùng dữ liệu vốn định nghĩa sự cấp phát chớp tín hiệu (burst) OFDMA

5.4.2.3 Đoạn

Đoạn (segment) là một phần chia nhỏ của một tập hợp kênh con có sẵn được sử dụng để triển khai một instance của MAC.

5.4.2.4 Vùng chuyển vị

Vùng chuyển vị (permutation zone) là một số ký hiệu OFDMA gần kề, trong khung downlink hoặc khung uplink, sử dụng cùng một chế độ chuyển vị. Một khung downlink hoặc một khung uplink có thể chứa nhiều vùng chuyển vị (xem hình 5.14), mang lại tính dễ uốn nắn tuyệt vời cho những nhà thiết kế.

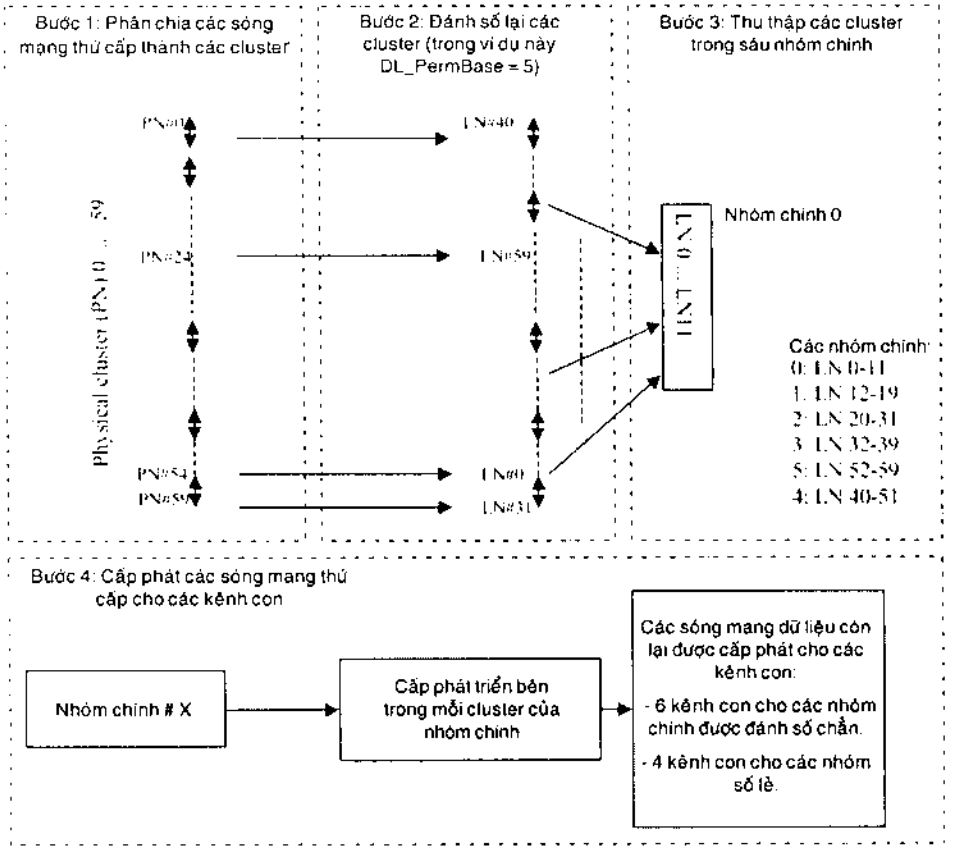


Hình 5.14: Ví dụ về các vùng chuyển vị khác nhau trong các khung uplink và downlink

5.4.3 Chế độ chuyển vị PUSC

Nguyên lý chung của PUST (Partial Usage of SubChannel) như sau. Ký hiệu (symbol) trước tiên được chia thành các tập hợp con được gọi là các cluster (downlink) hoặc các tile (uplink). Các sóng mang điều khiển và sóng mang dữ liệu được cấp phát trong mỗi tập hợp con. Điều này cho phép một phần sự phân tập tần số. Một số thông báo MAC chính và một số trường khung con PHY được truyền trong chế độ PUSC: FCH, DL-MAP và UL-MAP (xem chương 9 để biết những thông báo này). Việc cấp phát kênh con downlink PUSC bây giờ sẽ được trình bày chi tiết và sẽ được minh họa bằng một ví dụ.

Nguyên lý chung của việc cấp phát cluster và sóng mang thứ cấp downlink PUSC được minh họa trong hình 5.15. Ví dụ, xem xét một OFDMA Symbol 1024-FPT, số sóng mang thứ cấp bảo vệ + sóng mang DC là (trong trường hợp của 1024 FFT) 92 + 91 + 1 = 184. Do đó, số sóng mang điều khiển và sóng mang dữ liệu cần phân phối là 1024 - 184 = 840. Các tham số của ví dụ số này được trình bày trong bảng 5.6.



Hình 5.15: Minh họa Cluster và sóng mang thứ cấp Downlink PUSC

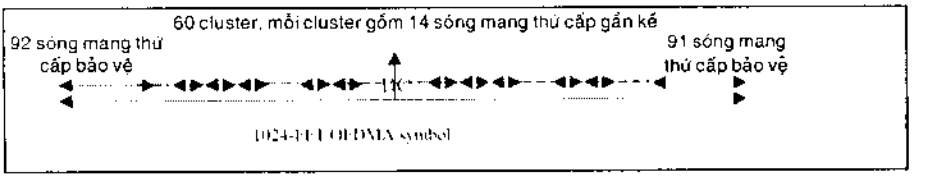
Bảng 5.6: Các tham số của ví dụ downlink PUSC

Tham số	Kích cỡ FFT	BW	G	N	Sóng mang thứ cấp điều khiển + sóng mang thứ cấp dữ liệu	N_{FFT}	f_S	Δf
Giá trị	1024	10MHz	1/8	28/25	840	1024	11.2MHz	10.9375 kHz

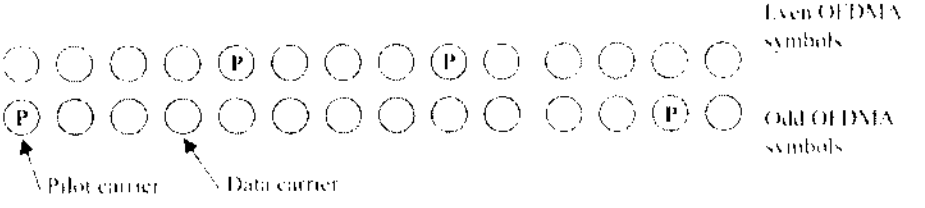
5.4.3.1 Các bước cấp phát

Bước 1. Phân chia các sóng mang thứ cấp thành các Cluster

Sau khi loại bỏ các sóng mang thứ cấp bảo vệ và DC, 840 sóng mang thứ cấp (điều khiển và dữ liệu) được phân chia thành 60 cluster của 14 sóng mang thứ cấp gần kề mỗi cluster (14 x 60 = 840) (xem hình 5.16). Ở đây đề cập đến một cluster PUSC không có gì để thấy với cluster cell (xem chương 4). Số Physical Cluster giữa 0 và 59. Các sóng mang thứ cấp điều khiển được đặt bên trong mỗi cluster phụ thuộc vào tính chẵn lẻ của các ký hiệu OFDMA, như được minh họa trong hình 5.17.



Hình 5.16: Cấp phát cluster



Hình 5.17: Cấu trúc cluster

Bước 2. Đánh số lại các Cluster

Các cluster được đánh số lại với các Logical Number (LN). Cluster LN cũng nằm giữa 0 và 59. Để đánh số lại các cluster, tham số DL_PermBase được sử dụng.

DL_PermBase là một số nguyên bắt đầu từ 0 đến 31, được biểu thị bởi DL_MAP cho các vùng PUSC (xem chương 9).

Các cluster được đánh số lại cho các cluster LN bằng cách sử dụng công thức sau đây (được biểu thị là công thức (0) trong dòng sau đây):

Trong trường hợp của vùng downlink đầu tiên (chứa FCH và DL-MAP), hoặc sử dụng tất cả chỉ báo SC = 0 trong STC_DL_Zone_IE (xem chương 9 để biết chi tiết về STC_DL_Zone_IE):

Cluster Logical Number = Renumbering sequence (Cluster Physical Number) (0)
else: *Cluster Logical Number*
*= Renumbering sequence(((Cluster Physical Number)+13*DL_PermBase) mod Nclusters))*

trong đó Renumbering sequence (j) là mục thứ j của vector sau đây:

[6, 48, 37, 21, 31, 40, 42, 56, 32, 47, 30, 33, 54, 18, 10, 15, 50, 51, 58, 46, 23, 45, 16, 57, 39, 35, 7, 55, 25, 59, 53, 11, 22, 38, 28, 19, 17, 3, 27, 12, 29, 26, 5, 41, 49, 44, 9, 8, 1, 13, 36, 14, 43, 2, 20, 24, 52, 4, 34, 0]

Nên nhớ rằng đối với 1024-FFT, Nclusters = 60, do đó ở trên vector có 60 phần tử.

Bước 3. Thu thập các Cluster trong sáu nhóm chính

Sau đó các cluster được đánh số lại được thu thập trong sáu nhóm chính, sử dụng LN, như được trình bày trong bảng 5.7.

Bảng 5.7: Các nhóm chính của các cluster downlink (1024-FFT OFDMA)

Nhóm	Chỉ số cluster
0	LN 0–11
1	LN 12–19
2	LN 20–31
3	LN 32–39
4	LN 40–51
5	LN 52–59

Bước 4. Cấp phát các sóng mang thứ cấp cho các kênh con

Trong downlink PUSC, số kênh con mỗi ký hiệu OFDMA là 30, được đánh số từ 0 đến 29. Một kênh con gồm 24 sóng mang thứ cấp dữ liệu tượng trưng cho các sóng mang thứ cấp dữ liệu của hai cluster. Có thể xác minh 30 x 24 = 720 sóng mang thứ cấp dữ liệu (720 sóng mang thứ cấp dữ liệu + 30 x 4 sóng mang thứ cấp điều khiển = 840 sóng mang thứ cấp). Đối với downlink PUSC, mỗi nhóm chính được sử dụng riêng biệt để có một số kênh con, nghĩa là một kênh con không có các sóng mang thứ cấp trong nhiều nhóm chính. Ngoài ra, tất cả sóng mang thứ cấp của một kênh con thuộc về cùng một ký hiệu OFDMA.

Các cấp phát sóng mang thứ cấp điều khiển và dữ liệu cho các kênh con được thực hiện như sau. Các sóng mang thứ cấp điều khiển được cấp phát trước tiên trong mỗi cluster, được đặt như được minh họa trong hình 5.17. Trong downlink puse, có một tập hợp sóng mang thứ cấp điều khiển chung trong mỗi nhóm chính. Các sóng mang thứ cấp dữ liệu còn lại được đánh số lại trước tiên từ 0 đến 143 hoặc 95 phụ thuộc vào tính chẵn lẻ của nhóm chính. Sau đó các sóng mang thứ cấp được cấp phát trong mỗi kênh con bằng cách sử dụng công thức sau đây:

$$subcarrier(k,s) = N_{subchannels} * n_k + \{p_s[\, n_k \bmod N_{subchannels}] + DL\_PermBase\} \bmod N_{subchannels} \quad (5.1)$$

Trong đó N $N_{subchannels}$ là số kênh con trong nhóm chính được phân chia, bằng 4 hoặc 6, phụ thuộc vào tính chẵn lẻ của nhóm chính; subcarrier(k,s) là chỉ số sóng mang thứ cấp của sóng mang thứ cấp k, thay đổi giữa 0 và 23 trong kênh con s, có giá trị bắt đầu giữa 0 và 143 hoặc 95 phụ thuộc vào tính chẵn lẻ của nhóm chính; s là chỉ số kênh con thay đổi giữa 0 và 29, và do đó:

$$n_k = (k + 13s) \bmod N_{subcarriers}, \quad (5.2)$$

trong đó $N_{subcarriers}$ là số sóng mang thứ cấp dữ liệu được cấp phát cho một kênh con trong mỗi ký hiệu OFDMA (= 24 trong trường hợp này); Ps[j] là chuỗi có được bằng cách xoay dãy chuyển vị cơ sở một cách tuần hoàn sang bên trái s lần vốn được cho trong dòng sau đây: trong trường hợp của một nhóm chính được đánh số lẻ, sự chuyển vị cơ bản là PermutationBase6 (3,2,0,4,5,1), trong khi đối với một nhóm chính được đánh số chẵn nó là PermutationBase4 (3,0,2,1).

Đối với các nhóm chính được đánh số chẵn, 12 cluster chứa các sóng mang thứ cấp dữ liệu của 6 kênh con:

- 6 x 24 = 144 sóng mang thứ cấp dữ liệu;
- 144 + 6 x 4 = 168 sóng mang thứ (dữ liệu và điều khiển).

Đối với các nhóm chính được đánh số lẻ, 8 cluster chứa các sóng mang thứ cấp dữ liệu của 4 kênh con:

- 4 x 24 = 96 sóng mang thứ cấp dữ liệu;
- 96 + 4 x 4 = 112 sóng mang thứ cấp (dữ liệu và điều khiển)

Sự tương ứng giữa các kênh con và các nhóm chính được trình bày trong bảng 5.8 (đối với 1024-FFT OFDMA). Một ví dụ số về sự cấp phát downlink PUSC được đề xuất bên dưới.

Bảng 5.8: Sự tương ứng giữa các kênh con và nhóm chính

Nhóm chính (nhóm kênh con)	Dãy kênh con
0	0-5
1	6-9
2	10-15
3	16-19
4	20-25
5	26-29

5.4.3.2 Ví dụ số

Dựa vào việc hiểu chuẩn IEEE 802.16, một ví dụ số được đề xuất. Bắt đầu với bước 4, các bước trước có các giá trị cố định. Mục đích là tìm 24 sóng mang thứ cấp (dữ liệu) vật lý của kênh con 16 của downlink PUSC. Giả định rằng DL_PermBase = 5 (được biểu thị trong DL-MAP MAC Management Message) và ký hiệu OFDMA được xem xét được đánh số lẻ.

Kênh con 16 nằm trong nhóm chính 3, như được trình bày trong bảng 5.8. Do đó, trình tự chuyển vị cơ bản = (3,0,2,1), $N_{subcarriers}$ = 24 (đây là trường hợp cho tất cả kênh con) và $N_{subchannels}$ = 4 (nhóm chính được đánh số lẻ). Trong nhóm chính 3, sự tương ứng giữa Logical Number (LN) và Physical Number (PN) gốc có được bằng cách áp dụng phương trình của bước 2, sử dụng LN và vị trí của nó trong trình tự tái đánh số. Do đó, sự tương ứng được trình bày trong bảng 5.9.

Bảng 5.9: Đánh số cluster gốc (nhóm chính 3)

LN cluster	Chỉ số sóng subcarrier	Công thức cluster PN (0)	Chỉ số sóng mang thứ cấp vật lý cluster
32	0–13	3	42–55
33	14–27	6	84–97
34	28–41	53	742–755
35	42–55	20	280–293
36	56–69	45	630–643
37	70–83	57	798–811
38	84–97	28	392–405
39	98–111	19	266–279

Bảng 5.10 minh họa chỉ số n_k và chỉ số sóng mang thứ cấp vật lý tương ứng với mỗi sóng mang thứ cấp k trong kênh con s (= 16). Đối với mỗi sóng mang thứ cấp, cluster LN của nhóm chính sóng mang

thứ cấp con này được sử dụng để tìm chỉ số sóng mang thứ cấp vật lý (bảng 5.9 cũng được sử dụng). Đối với tập hợp sóng mang thứ cấp điều khiển cho nhóm chính 3, sử dụng các giá trị bảng 5.9 và nguyên lý của hình 5.16 cho những chỉ số vật lý của mỗi cluster các sóng mang thứ cấp điều khiển. Chỉ số này được đề xuất trong bảng 5.11.

Bảng 5.10: Cấp phát sóng mang thứ cấp

Chỉ số sóng mang thứ cấp logic (k) trong kênh con được xem xét (s = 16)	n_k (công thức 5.2))	Chỉ số sóng mang thứ cấp logic trong nhóm chính (công thức 5.1) và cluster LN tương ứng (sử dụng bảng 5.9)		Chỉ số sóng mang thứ cấp vật lý (sử dụng bảng 5.9 và hình 5.17)
		Sóng mang thứ cấp	Cluster LN	
0	16	67	37	806
1	17	69	37	807
2	18	76	38	396
3	19	78	38	398
4	20	83	38	403
5	21	85	39	267
6	22	92	39	274
7	23	94	39	276
8	0	3	32	45
9	1	5	32	47
10	2	12	32	55
11	3	14	33	86
12	4	19	33	91
13	5	21	33	93
14	6	28	34	746
15	7	30	34	749
16	8	35	34	753
17	9	37	35	281
18	10	44	35	288
19	11	46	35	290
20	12	51	36	633
21	13	53	36	635
22	14	60	36	643
23	15	62	37	800

Bảng 5.11: Chỉ số vật lý sóng mang thứ cấp điều khiển

Cluster PN	Chỉ số vật lý sóng mang thứ cấp điều khiển
3	42 và 54
6	84 và 96
53	742 và 754
20	280 và 292
45	630 và 642

57	798 và 810
28	392 và 404
19	266 và 278

5.4.3.3 Một tốc độ dữ liệu tức thời kênh con

Tốc độ dữ liệu tương ứng với một slot (bằng một kênh con trên hai slot) bây giờ sẽ được tính. Một khoảng thời gian ký hiệu OFDMA là 102.9 μs (xem các tham số ví dụ số trong bảng 5.6 trong các phép tính mục 5.4.3 và 5.2.4). Một slot chứa 48 sóng mang thứ cấp và 48 ký hiệu điều biến. Tốc độ dữ liệu tức thì của một kênh con sau đó có thể được tính. Các giá trị tìm được (không lặp lại) được trình bày trong bảng 5.12.

Bảng 5.12: Tốc độ dữ liệu tức thời của một kênh con (đơn vị: kb/s)

	BPSK 1/2	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16-QAM 1/2	16-QAM 3/4	64-QAM 2/3	64-QAM 3/4
Tốc độ dữ liệu tức thời	116.6	233.3	349.8	466.5	699.75	932.9	1049

5.4.3.4. Sử dụng các kênh con để cấp phát băng thông

Theo định nghĩa, một slot nằm trong downlink PUSC gồm 48 sóng mang thứ cấp:

1 subchannel × 2 OFDMA symbols = 24 subcarriers/OFDMA symbol × 2 OFDMA symbols

= ***48 sóng mang thứ cấp (hoặc 48 ký hiệu điều biến)***

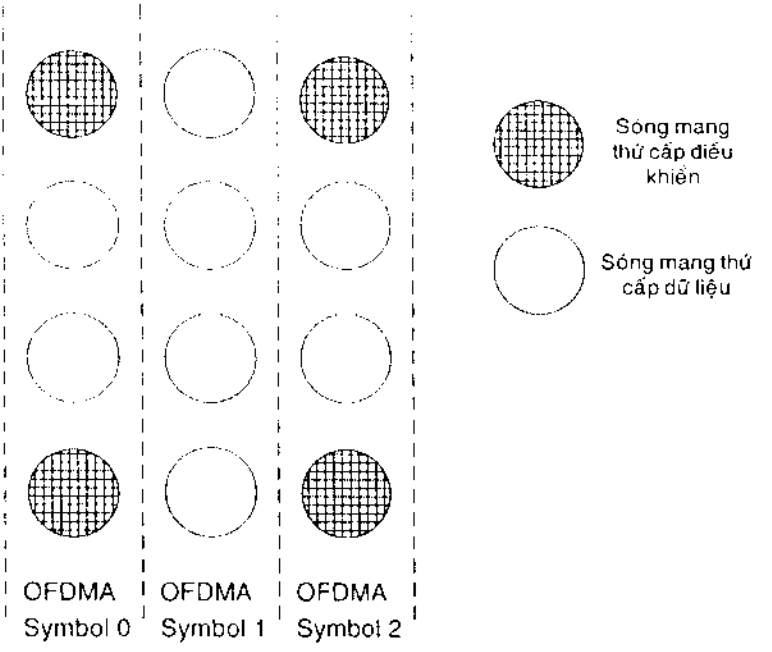
Thông tin vùng dữ liệu được biểu thị trong một DL-MAP MAC Management Message cho một người dùng downlink (OFDMA) là:

- Offsett (khoảng dịch chuyển) ký hiệu OFDMA. Offset của ký hiệu OFDMA trong đó chớp tín hiệu (burst) bắt đầu, được đo trong các ký hiệu OFDMA từ đầu khung downlink mà DL-MAP được truyền trong đó.
- Offset kênh con. Kênh con OFDMA chỉ số thấp nhất được sử dụng để tải chớp tín hiệu, bắt đầu từ kênh con 0.
- Số ký hiệu OFDMA. Số ký hiệu OFDMA vốn được sử dụng (đầy đủ hoặc một phần) để tải chớp tín hiệu downlink PHY. Giá trị của trường là một bội số của chiều dài slot trong các ký hiệu.
- Số kênh con. Số kênh con với các chỉ số tiếp theo được sử dụng để tải chớp tín hiệu.

Tham số DL_PermBase được biểu thị trong IE (Information Element) chuyển đổi vùng trong một DL-MAP biểu thị một vùng chuyển vị đã cho.

5.4.3.5 Uplink PUSC

Đối với uplink PUSC, các kênh con được dựa vào các Tiles (xem hình 5.18). Một slot uplink PUSC gồm một kênh con trên ba ký hiệu OFDMA.



Hình 5.18: Tile uplink PUSC gồm 12 sóng mang thứ cấp.

5.4.4 Chế độ chuyển vị FUSC

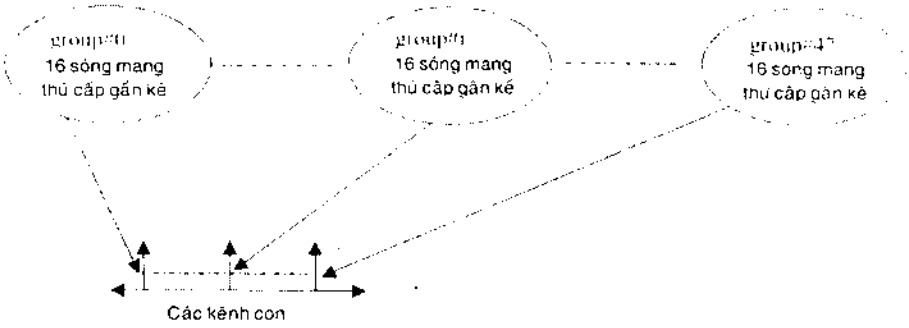
Nguyên lý chung của FUSC (Full Usage of SubChannels) gần giống PUCS. Sự khác biệt là không có việc phân chia cluster (hoặc tile) của các sóng mang thứ cấp trước khi cấp phát kênh con. Mỗi sóng mang thứ cấp kênh con có thể ở bất cứ nơi nào trong băng thông.

Trong FUSC, số sóng mang điều khiển và dữ liệu cần được phân bố khác với PUSC. Số sóng mang thứ cấp bảo vệ + sóng mang DC (trong trường hợp của 1024 FFT) là 87 + 86 + 1 = 174. Do đó, số sóng mang điều khiển và sóng mang dữ liệu cần được phân bố là 1024 - 175 = 850.

Có hai tập hợp sóng mang điều khiển không đổi và hai tập hợp sóng mang điều khiển khả biến (phụ thuộc vào tính chẵn lẻ ký hiệu OFDMA). Mỗi đoạn sử dụng cả hai tập hợp tập hợp sóng mang điều khiển khả biến/không đổi.

Đối với chế độ FUSC, một ký hiệu 1024-FFT OFDMA được xem xét. Ký hiệu này được chia thành 16 kênh con mỗi kênh con gồm 48

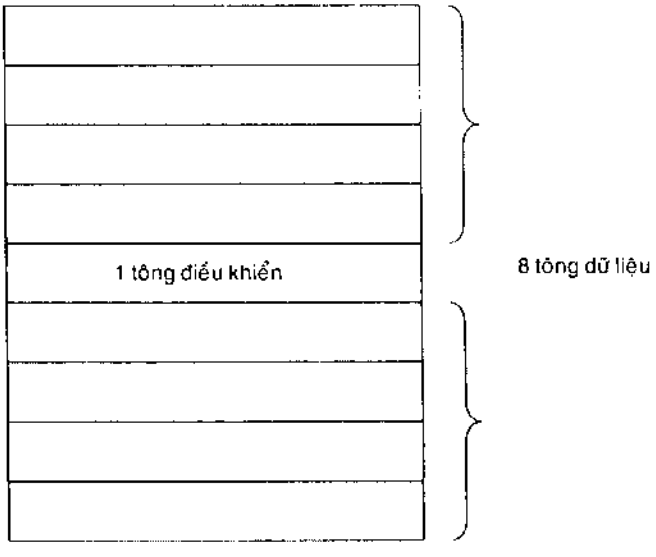
sóng mang thứ cấp, do đó sử dụng tất cả 16 x 48 = 768 sóng mang thứ cấp dữ liệu. Các sóng mang thứ cấp dữ liệu được phân chia đầu tiên thành các nhóm sóng mang thứ cấp gần kề. Sau đó mỗi kênh con được xây dựng bằng cách sử dụng một sóng mang thứ cấp của mỗi nhóm, như được minh họa trong hình 5.19.



Hình 5.19: Minh họa một kênh con FUSC

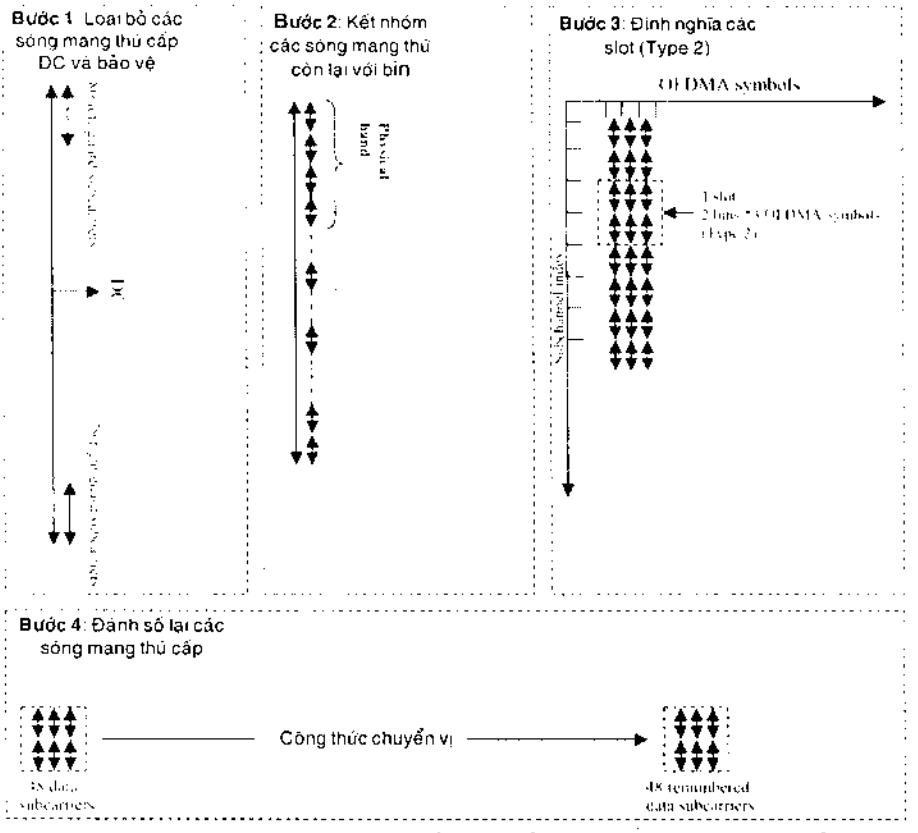
5.4.5 Chế độ chuyển vị AMC

Trong chế độ AMC (Adaptive Modulation and Coding), một kênh con gồm các sóng mang thứ cấp gần kề. Đơn vị cấp phát cơ bản cho các AMC downlink và uplink là bin vốn là một tập hợp gồm chín sóng mang thứ cấp gần kề bên trong một ký hiệu OFDMA, như được minh họa trong hình 5.20. Trái với các kỹ thuật cấp phát kênh con phân bố (chẳng hạn như PUSC), các sóng mang thứ cấp điều khiển và dữ liệu AMC được gán các vị trí cố định. Điều này cho phép dễ dàng hỗ trợ AAS (Adaptive Antennas System).



Hình 5.20: Cấu trúc bin

Một slot AMC gồm sáu bin hoặc tương đương 48 sóng mang thứ cấp dữ liệu và 6 sóng mang thứ cấp điều khiển. Một nhóm bốn hàng bin liên tục trong một ký hiệu OFDMA được gọi là một dải vật lý. Đối với 1024-FFT, số dải vật lý sau đó là 24 (24 x 4 x 9 = 864 sóng mang thứ cấp dữ liệu và điều khiển cần được phân bố). Một nhóm dải AMC vật lý là một dải logic. Số dải logic tối đa được xác định trong IE cấu hình Format và có thể có tối đa 24. Ví dụ, nếu các dải vật lý có sẵn được phân bố trên ba dải logic, đối với 1024-FFT, một dải logic gồm tám dải vật lý. Nguyên lý chung của sự cấp phát sóng mang thứ cấp AMC được minh họa trong hình 5.21.



Hình 5.21: Minh họa nguyên lý chung của sự cấp phát sóng mang thứ cấp AMC (số sóng mang thứ cấp bảo vệ dành cho 1024-FFT)

Có bốn loại slot AMC (48 sóng mang thứ cấp) vốn là tổ hợp gồm sáu bin gần kề:

- Loại 1 (loại mặc định). Một slot gồm sáu bin liên tục trong một ký hiệu OFDMA.
- Loại 2. Một slot gồm 2 bin x 3 ký hiệu OFDMA. Loại này là loại bắt buộc duy nhất theo các profile Mobile WiMAX hiện được định nghĩa.
- Loại 3. Một slot gồm 3 bin x 2 ký hiệu OFDMA

- Loại 4. Một slot gồm 1 bin x 6 ký hiệu OFDMA
- Loại (type) được gọi là N x M, trong đó N là số bin và M là số ký hiệu.

5.4.5.1 AMC (hoặc Regular AMC) và Band AMC

Sự cấp phát AMC có thể được thực hiện bằng hai cơ chế:

- Regular AMC (hoặc đơn giản là AMC) được cấp phát bởi một tham chiếu chỉ số kênh con sử dụng DL-MAP và UL-MAP.
- Band AMC là một phần của map HARQ được đính kèm với map (bản đồ) trong vùng downlink hoặc uplink. Đối với AMC, sáu bin gần kề của một slot Band AMC phải nằm trong cùng một dải logic.

5.4.6 Chế độ chuyển vị TUSC

Điểm sửa đổi IEEE 802.16 đã định nghĩa hai chế độ chuyển vị tùy chọn cho downlink: TUSC1 (Tile Usage of SubChannels) và TUSC2. TUSC1 và TUSC2 dành riêng cho vùng AAS trong một khung FDMA. Nguyên lý chung gần giống với uplink PUSC. TUSC1 và TUSC2 không bắt buộc trong các profile WiMAX di động hiện được định nghĩa.

Chương 6

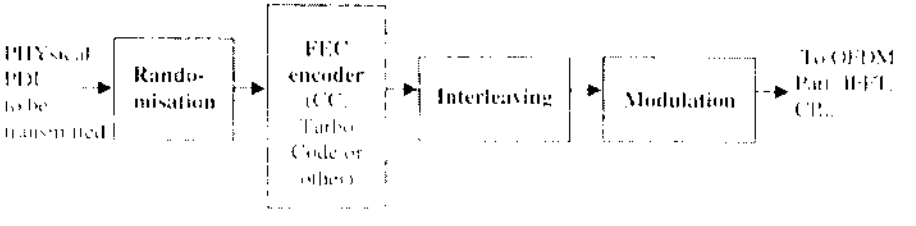
Lớp vật lý (Physical) của WiMAX

6.1 Các chuỗi truyền vật lý 802.16

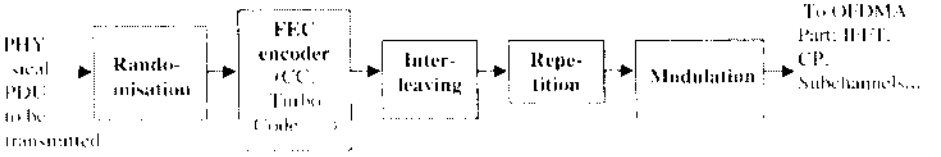
Các khía cạnh điều biến và truyền OFDM được mô tả trong chương trước là những khối tạo chính của lớp PHYsical WiMAX. Trong chương này, một số phần tử của các chuỗi truyền của WiMAX được mô tả cho cả hai PHY OFDM và OFDMA.

6.1.1 Các chuỗi toàn cục

Các chuỗi truyền PHY của OFDM và OFDMA được minh họa trong hình 6.1 và 6.2. Các khối thì giống nhau với sự khác biệt nhỏ là OFDMA PHY có một khối (block) lặp lại. Sự điều biến là một trong bốn sự điều biến số được mô tả trong chương trước: BPSK, QPSK, 16-QAM hoặc 64-QAM. Sau đó các ký hiệu được điều biến được truyền trên các sóng mang thứ cấp trực giao OFDM. Trong phần dưới đây, các khối tạo mã hóa kênh WiMAX được mô tả.



Hình 6.1: Chuỗi truyền OFDM PHY



Hình 6.2: Chuỗi truyền OFDMA PHY

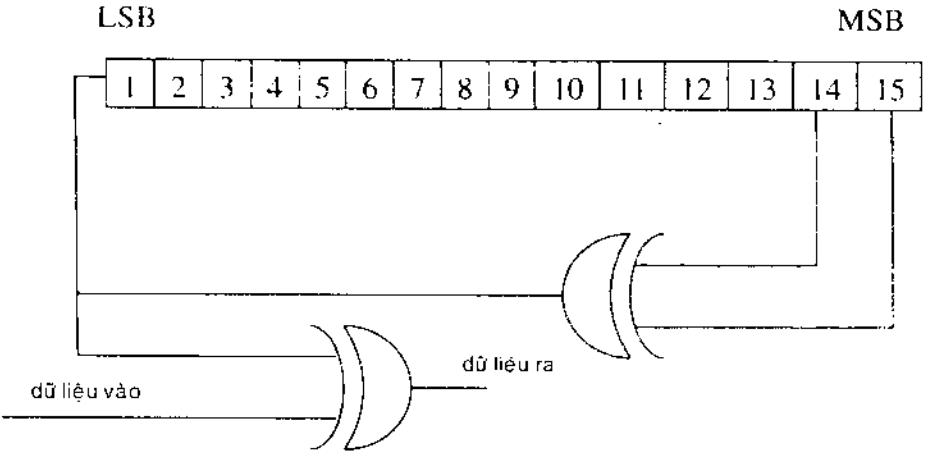
Các khối tạo của sự mã hóa kênh được mô tả trong mục 6.2. FEC là Turbo Code. Lý thuyết Turbo Code và những thành phần cơ bản về công dụng của nó trong WiMAX có thể được tìm thấy trong mục 6.3. Transmission Convergence Sublayer (TCS), được áp dụng trong OFDM PHY được mô tả trong mục 6.4. Sau cùng, các burst profile của PHY OFDM và OFDMA, một khối tạo quan trọng của lớp MAC IEEE 802.16 được mô tả trong mục 6.5.

6.2 Mã hóa kênh

Liên kết vô tuyến (radio link) là một liên kết thay đổi nhanh, thường bị nhiễu lớn. Mã hóa kênh (channel coding), vốn có các tác vụ chính là ngăn và sửa các lỗi truyền của các hệ thống không dây, phải có một hiệu suất rất tốt để duy trì các tốc độ dữ liệu cao. Chuỗi mã hóa kênh 802.16 gồm ba bước: randomiser (bộ ngẫu nhiên hóa), Forward Error Correction (FEC) và interleaving (xen kẽ). Chúng được áp dụng theo thứ tự này lúc truyền. Các hoạt động tương ứng tại bộ nhận được áp dụng theo thứ tự đảo ngược. Việc phát hiện lỗi được nhận ra bằng HCS và CRC (xem chương 8).

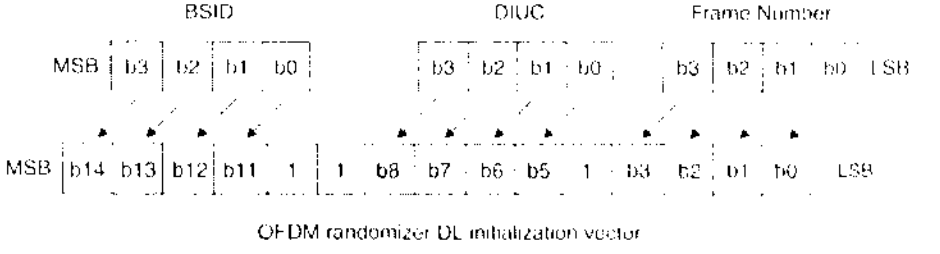
6.2.1 Ngẫu nhiên hóa

Ngẫu nhiên hóa (randomisation) giới thiệu sự bảo vệ thông qua tính không chắc chắn về lý thuyết thông tin, tránh các chuỗi dài các số không liên tục. Nó cũng hữu dụng đối với việc tránh các chuỗi dữ liệu không tập trung. Việc ngẫu nhiên hóa dữ liệu được thực hiện trên mỗi chớp dữ liệu downlink và uplink. Nếu lượng dữ liệu để truyền không vừa chính xác với lượng dữ liệu được cấp phát, padding 0xFF (chỉ "các số một") được thêm vào cuối khối truyền. Bộ tạo Pseudo-Random Binary Sequence (PRBS) được sử dụng để ngẫu nhiên hóa được minh họa trong hình 6.3. Mỗi byte dữ liệu cần truyền đi vào bộ ngẫu nhiên hóa theo trình tự với Most Significant Byte (MSB) đầu tiên. Các preamble (phần mở đầu) không được ngẫu nhiên hóa. Trình tự ngẫu nhiên hóa được áp dụng chỉ vào các bit thông tin.



Hình 6.3: Bộ tạo PRBS được sử dụng để ngẫu nhiên hóa dữ liệu trong PHY OFDM và OFDMA.

Shift-register (bộ ghi dịch chuyển) của bộ ngẫu nhiên hóa được khởi tạo cho mỗi lần cấp phát chớp tín hiệu mới. Đối với OFDM PHY, trên downlink, bộ ngẫu nhiên hóa (randomiser) được khởi tạo lại tại đầu mỗi frame (khung) với dãy: 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0. Randomiser không được lặp lại ở đầu chớp tín hiệu 1. Ở đầu các chớp tín hiệu tiếp theo (bắt đầu từ chớp tín hiệu 2), radomiser được khởi tạo với vector được minh họa trong hình 6.4. PRBS này tạo một dãy Pseudo-Noise (PN) có chiều dài 2 lũy thừa 15 - 1. Số frame được sử dụng để khởi tạo tham chiếu đến frame mà chớp tín hiệu downlink được truyền trong đó. BSID là định danh BS và DIUC là bộ chỉ báo burst profile (xem chương 9). Đối với những trường hợp khác (uplink, OFDMA), các chi tiết có thể được tìm thấy trong chuẩn. Các bit được cấp phát từ randomiser sau đó được áp dụng vào bộ mã hóa FEC.



Hình 6.4: Vector khởi tạo downlink bộ ngẫu nhiên hóa OFDM cho chớp tín hiệu 2,...,N.

6.2.2 Các mã Forward Error Correction (FEC)

Đối với OFDM PHY, các kiểu mã hóa FEC là:

- Concatenated Reed-Solomon Convolutional Code (RS-CC). Mã này bắt buộc trên cả uplink lẫn downlink. Nó gồm việc ghép mã ngoài Reed-Solomon và mã trong chập tương thích tốc độ (xem bên dưới).
- Convolutional Turbo Codes (CTC) (tùy chọn).
- Block Turbo Coding (BTC) (tùy chọn). Đối với Turbo Coding, xem mục 6.3 bên dưới.

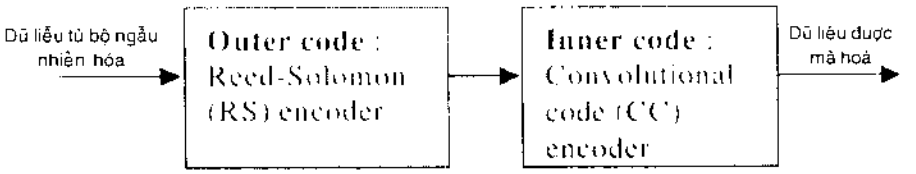
Burst profile mạnh nhất hoặc tương đương chế độ mã hóa mạnh nhất phải được sử dụng khi yêu cầu truy cập mạng và trong chớp tín hiệu FCH (xem chương 9 để biết thêm chi tiết về chớp tín hiệu FCH). Đối với OFDMA PHY, các kiểu mã hóa FEC là:

- (Tail-biting) Convolutional Code (CC). Mã này bắt buộc theo chuẩn 802.16. Theo các profile WiMAX, chỉ Zero-Tailing Convolutional Code (ZT CC) thì bắt buộc.
- Convolutional Turbo Codes (CTC). Mã này tùy chọn theo các chuẩn 802.16. Tuy nhiên, theo các profile WiMAX di động, CTC thì bắt buộc.
- Block Turbo Coding (BTC) (tùy chọn).
- Các mã Low Density Parity Check (LDPC) (tùy chọn).

Kiểu mã hóa RS-CC bây giờ sẽ được mô tả. Kiểu mã hóa WiMAX Turbo, BTC và CTC sẽ được mô tả trong mục tiếp theo.

6.2.2.1 RS-CC (Reed-Solomon Convolution Code)

Đối với OFDM PHY, kiểu mã hóa RS-CC được thực thi bằng cách trước tiên chuyển dữ liệu theo định dạng khối (block) qua bộ mã hóa (encoder) và sau đó chuyển nó qua một bộ mã hóa chập (xem hình 6.5).



Hình 6.5: Minh họa bộ mã hóa RS-CC của OFDM PHY

Các mã Reed-Solomon được sử dụng trong nhiều hệ thống truyền thông và những ứng dụng khác. Việc sửa lỗi RS hoạt động bằng cách thêm một số bit dư thừa vào dãy dữ liệu số. Điều này được thực hiện bằng cách lấy mẫu quá mức một đa thức được tạo từ dữ liệu chưa mã

hóa. Đa thức được lượng giá tại một số điểm vào sau đó những giá trị này được gởi (hoặc được ghi). Bằng cách lấy mẫu đa thức nhiều hơn mức cần thiết, bộ nhận có thể phục hồi đa thức gốc dưới sự hiện diện của một số lỗi tương đối thấp.

Mã Reed-Solomon được xác định là RS(N.K) với các ký hiệu T-bit. Các điểm dữ liệu được gởi dưới dạng các khối được mã hóa. Tổng số ký hiệu T-bit trong một khối được mã hóa là N = 2T-1. Do đó, mã Reed-Solomon hoạt động trên các ký hiệu 8 bit có $N = 2^8 - 1 = 255$ ký hiệu trên mỗi khối được mã hóa. Số K, K < N của ký hiệu dữ liệu không mã hóa trong khối là một tham số thiết kế. Vì vậy, số ký hiệu tính chẵn lẻ được thêm là N - K ký hiệu (mỗi ký hiệu T-bits). Bộ giải mã (decoder) RS có thể hiệu chỉnh lên đến (N - K)/2 ký hiệu vốn chứa một lỗi trong khối được mã hóa.

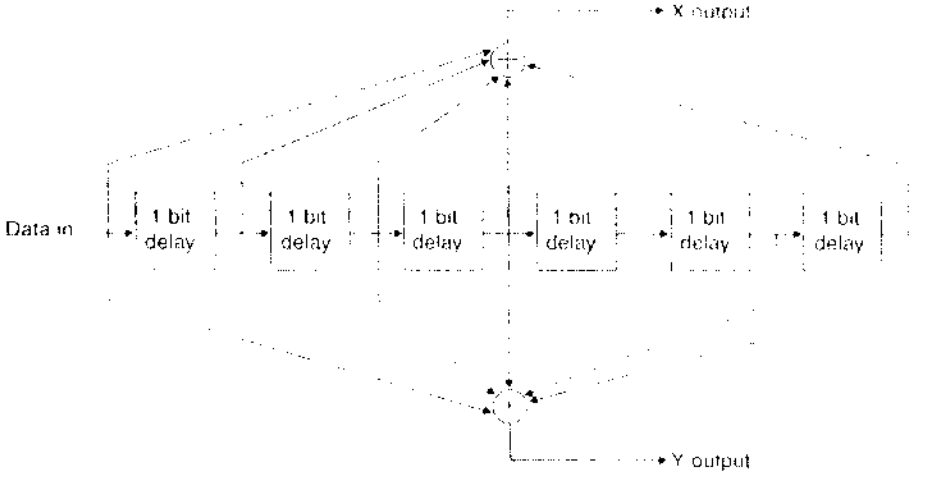
Bộ mã hóa RS của OFDM PHY được biểu thị là một (N, K) =(255, 239) mã có khả năng hiệu chỉnh lên đến tám lỗi ký hiệu mỗi khối. Kiểu mã hóa Reed-Solomon này sử dụng $GF(2^8)$, trong đó GF là toán tử Galois Field. Bộ mã hóa và bộ giải mã Reed-Solomon đòi hỏi số học trường Galois. Các đa thức sau đây được sử dụng cho mã hệ thống OFDM RS, một mã RS làm cho dữ liệu không thay đổi trước khi thêm các bit chẵn lẻ:

Đa thức bộ tạo mã: [illegible]

Đa thức bộ tạo trường: [illegible]

Tốc độ mã hóa của bộ mã hóa RS OFDM PHY sau đó là 239/255 (rất gần một). Chuẩn biểu thị rằng mã này có thể được rút ngắn và được đánh xuyên để bật các kích cỡ khối khả biến và những tính năng hiệu chỉnh lỗi khả biến.

Mã chập có một tốc độ mã hóa gốc là 1/2 như được minh họa trong hình 6.6. Bộ mã hóa chập (convolutional encoder) là một bộ mã hóa chập kết thúc zero. Một byte đuôi 0 x 00 được thêm vào cuối mỗi chớp tín hiệu, cần để giải mã phép tính chuẩn số học. Các mẫu đánh xuyên được định nghĩa trong chuẩn có thể được sử dụng để nhận ra các tốc độ mã sau đây: 2/3, 3/4 và 5/6.



Hình 6.6: Bộ mã hóa chập có tốc độ 1/2.

Đối với OFDMA, bộ mã hóa chập cũng là bộ mã hóa được minh họa trong hình 6.6. Thủ tục HARQ (được mô tả trong chương 8), trong biến thể IR (Incremental Redundancy) của nó sử dụng bốn khối FEC khác nhau cho mỗi khối FEC không mã hóa. Điều này được nhận biết bằng cách sử dụng các mẫu đánh xuyên khác nhau. Mỗi khối FEC được nhận dạng bởi một SPID (SubPacket IDentifier).

Bộ mã hóa mã chập zero-biting của OFDMA (được gọi đơn giản là CC) làm việc như sau: các bộ nhớ bộ mã hóa chập được khởi tạo bởi (sáu) bit dữ liệu cuối cùng của khối FEC được mã hóa (các bit dữ liệu khối được đánh số b^n - 5,...,b^n). Bộ mã hóa chập OFDMA PHY này có thể sử dụng kỹ thuật Zero-Tailing Convolutional Coding (ZT CC). Trong trường hợp này, một byte đuôi 0 x 00 ở cuối được thêm vào mỗi chớp tín hiệu. Byte đuôi này được thêm sau khi ngẫu nhiên hóa.

6.2.3 Interleaving

Interleaving (xen kẽ) được sử dụng để bảo vệ sự truyền khỏi các dãy dài lỗi liên tục vốn rất khó sửa chữa. Các dãy lỗi dài này có thể ảnh hưởng đến nhiều bit trong một hàng và do đó có thể làm tổn thất nhiều tín hiệu chớp được truyền. Bằng cách đưa vào một sự đa dạng nào đó, interleaving có thể làm dễ dàng việc sửa chữa lỗi. Các bit lỗi được mã hóa được xen kẽ bởi một inter-leaver (bộ xen kẽ) khối với một kích cỡ khối tương ứng với số bit mã hóa mỗi kênh con được cấp phát trên mỗi ký hiệu OFDM. Interleaver gồm hai bước:

- Phân phối các bit được mã hóa trên các sóng mang thứ cấp. Một sự chuyển vị đầu tiên bảo đảm các bit mã hóa gần kề được ánh xạ sang các sóng mang thứ cấp không gần kề.

- Sự chuyển vị thứ hai bảo đảm các bit mã hóa gần kề được ánh xạ xen kẽ sang các bit hầu như quan trọng của chòm sao, do đó tránh các chiều dài bit có độ tin cậy thấp.

6.2.4 Repetition

Repetition (sự lặp lại) đã được thêm bởi điểm sửa đổi 16e cho OFDMA PHY. Chuẩn xác định rằng nó có thể được sử dụng để tăng thêm giới hạn tín hiệu trên các cơ cấu điều biến và cơ cấu FEC.

Trong trường hợp của mã hóa lặp lại, R = 2, 4 hoặc 6, số slot được cấp phát (Ns) sẽ là một bội số nguyên của hệ số lặp lại R cho uplink. Đối với downlink, số slot được cấp phát (Ns) sẽ nằm trong dãy R x K, R x K + (R - 1), trong đó K là số slot bắt buộc trước khi áp dụng sơ đồ lặp lại. Ví dụ, khi khối slot bắt buộc trước khi lặp lại là 10 (= K) và việc lặp lại R = 6 được áp dụng cho việc truyền chớp tín hiệu, sau đó số slot được cấp phát (Ns) cho chớp dữ liệu có thể là từ 60 slot đến 65 slot.

Dữ liệu nhị phân nằm vừa trong vùng mã hóa lặp lại được giảm bởi hệ số R so với vùng không lặp lại của các slot có cùng kích cỡ và loại mã FEC. Sau FEC và bit-interleaving, dữ liệu được phân đoạn thành các slot và mỗi nhóm bit được ấn định để nằm vừa trong một slot được lặp lại R lần để hình thành R slot gần kề theo sau thứ tự slot chuẩn vốn được sử dụng để ánh xạ dữ liệu.

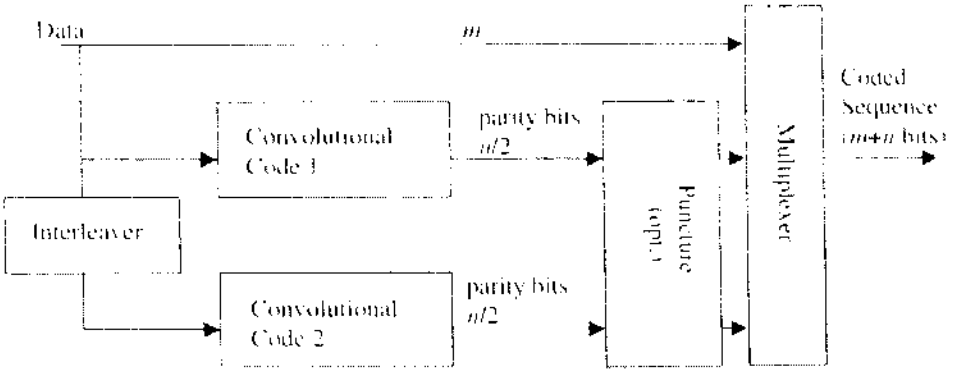
Sơ đồ lặp lại này áp dụng chỉ vào sự điều biến QPSK, được áp dụng trong tất cả sơ đồ mã hóa ngoại trừ HARQ với CTC.

6.3 Turbo Coding

Các mã turbo là một trong vài mã FEC gần đạt đến giới hạn Shannon, giới hạn lý thuyết của tốc độ truyền thông tin tối đa trên một kênh ồn. Các mã turbo đã được đề xuất bởi Berrou và Glavieux (từ ENST Bretagne, Pháp) trong năm 1993. Tính năng chính của các mã turbo làm cho chúng khác với các mã FEC truyền thống là sử dụng hai mã sửa lỗi và một interleaver. Sau đó, việc giải mã được thực hiện một cách lặp lại tận dụng hai nguồn thông tin.

Sự truyền dữ liệu được mã hóa như sau (xem hình 6.7). Ba khối bit được gởi. Khối thứ nhất là khối dữ liệu được mã hóa m-bit. Khối thứ hai là n/2 bit chẵn lẻ được thêm theo trình tự cho dữ liệu tải trọng, được tính toán bằng cách sử dụng một mã chập. Khối con thứ ba là n/2 bit chẵn lẻ khác được thêm theo trình tự chuyển vị đã biết của dữ liệu tải trọng cũng được tính toán bằng cách sử dụng mã chập. Do đó, hai khối bit chẵn lẻ dư thừa khác nhau được thêm vào tải trọng được

gởi. Khối hoàn chỉnh có m + n bit dữ liệu với tốc độ mã là m/(m + n), như được minh họa trong hình.



Hình 6.7: Tạo trình tự được mã hóa turbo

Tiến trình giải mã dữ liệu là tiến bộ lớn của các mã turbo. Khả năng này được sử dụng để tận dụng các điểm khác biệt giữa hai bộ giải mã (decoder). Những người phát minh ra mã turbo thích so sánh với việc giải các trò chơi ô chữ qua các phương pháp nằm ngang và thẳng đứng.

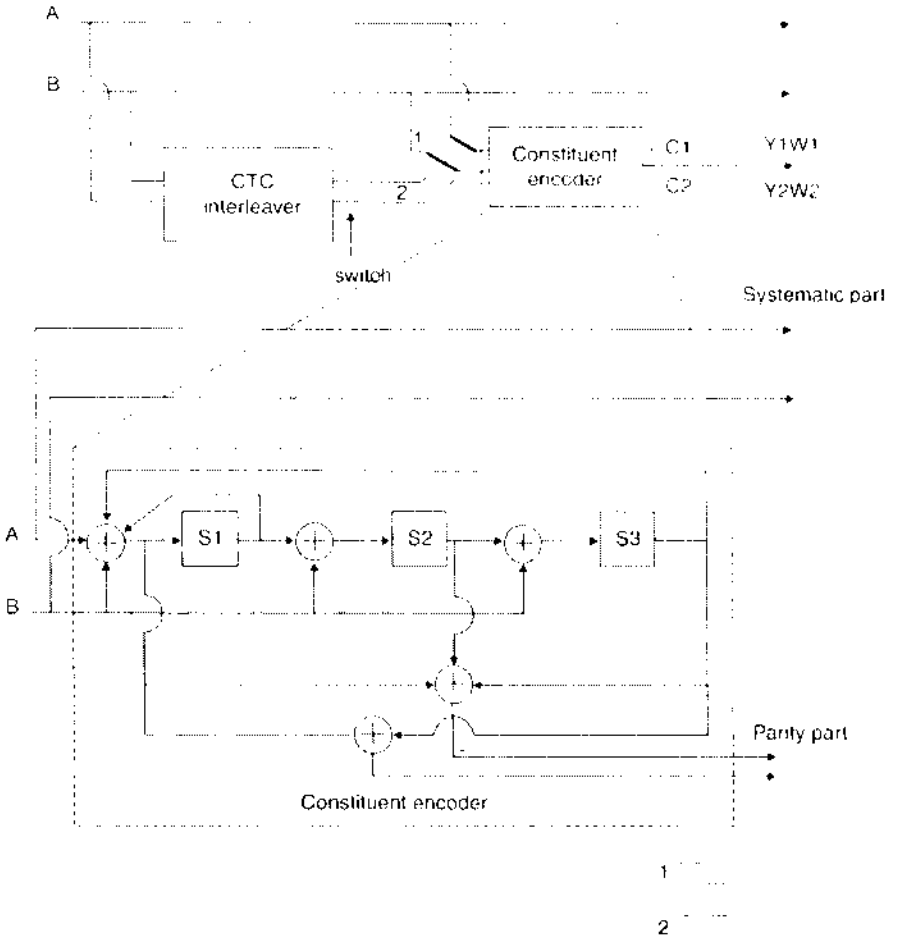
Mỗi trong hai bộ giải mã chập tạo một giả thuyết với những khả năng dẫn suất: đối với dãy m-bit được gọi là một xác suất posteriori (APP). Lý thuyết và các bit chẵn lẻ (được tính toán lại) trình tự được nhận được so sánh và, nếu chúng khác nhau, bộ giải mã trao đổi các khả năng được dẫn suất mà nó có cho mỗi bit trong giải thuyết. Một tiến trình lặp lại được chạy cho đến khi hai bộ giải mã chập đưa ra cùng một giả thuyết cho dãy m-bit. Số bit thường là 10.

6.3.1 Convolutional Turbo Codes (CTC)

Có các lớp mã turbo khác nhau. Convolutional Turbo Codes (CTC) được định nghĩa là FEC tùy chọn cho PHY OFDM và OFDMA. Đối với OFDMA PHY, CTC có thể được sử dụng để hỗ trợ Hybrid ARQ tùy chọn (HARQ, xem chương 8). Theo các profile WiMAX di động, CTC bắt buộc cho OFDMA PHY. Một tổng quan ngắn gọn về CTC được định nghĩa cho OFDMA PHY được trình bày ở đây.

Bộ mã hóa CTC, kể cả bộ mã hóa thành phần của nó được minh họa trong hình 6.8. Nó sử dụng một Circular Recursive Systematic Convolutional Code nhị phân kép. Các bit dữ liệu cần được mã hóa được luân phiên cung cấp cho A và B, bắt đầu với MSB của byte đầu tiên được cung cấp cho A. Bộ mã hóa được cung cấp cho các khối k bit hoặc N cặp (k = 2N/bits). Đối với tất cả kích cỡ frame, k là một bội số

của 8 và N là một bội số của 4. Do đó, M được giới hạn chỉ trong $8 \leq N/4 \leq 1024$.

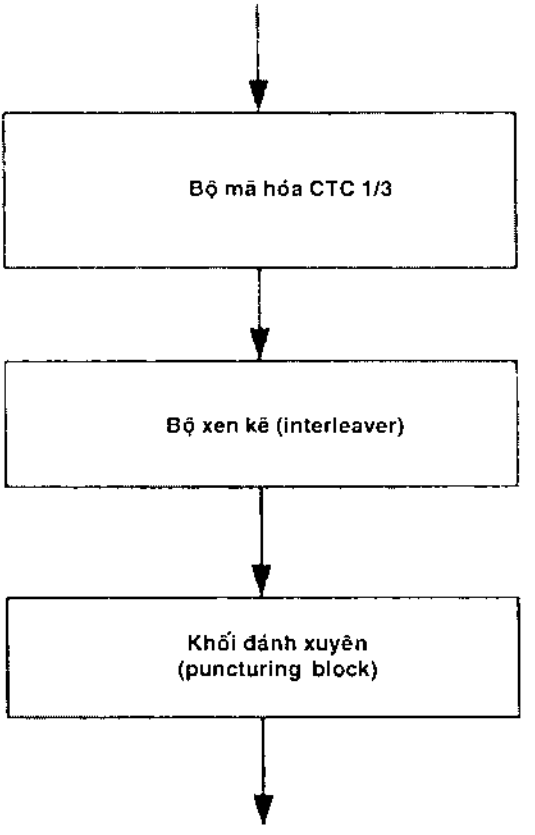


Hình 6.8: Bộ mã hóa OFDMA PHY Convolutional Turbo Code (CTC).

Kích cỡ khối mã hóa phụ thuộc vào số kênh con được cấp phát và sự điều biến được xác định để truyền. Việc ghép một số kênh con phải được thực hiện để tạo các khối mã hóa lớn hơn với giới hạn không chuyển các khối lớn nhất bên dưới cùng một tốc độ mã hóa. Quy tắc ghép không nên được sử dụng khi sử dụng HARQ. Một bảng cung cấp số kênh con được ghép dưới dạng một hàm của số kênh con được cho trong chuẩn.

Hình 6.9 minh họa một sơ đồ khối của việc tạo gói con TCT. Từ mã được mã hóa CTC với tốc độ mã hóa 1/3 đi qua khối interleaving (xen kẽ) và việc đâm xuyên được thực thi. Các cấu trúc FEC được đề xuất trong chuẩn đâm xuyên từ mã mẹ để tạo một gói con (subpacket) có các tốc độ mã hóa khác nhau: 1/2, 2/3, 3/4 và 5/6. Gói con cũng có thể

được sử dụng làm việc tạo gói HARQ (với các SPID khác nhau). Chiều dài của gói con được chọn theo tốc độ mã hóa cần thiết phản ánh điều kiện kênh, đây là sự thích ứng liên kết).



Hình 6.9: Sơ đồ khối của việc tạo gói con.

6.3.2 Block Turbo Codes (BTC)

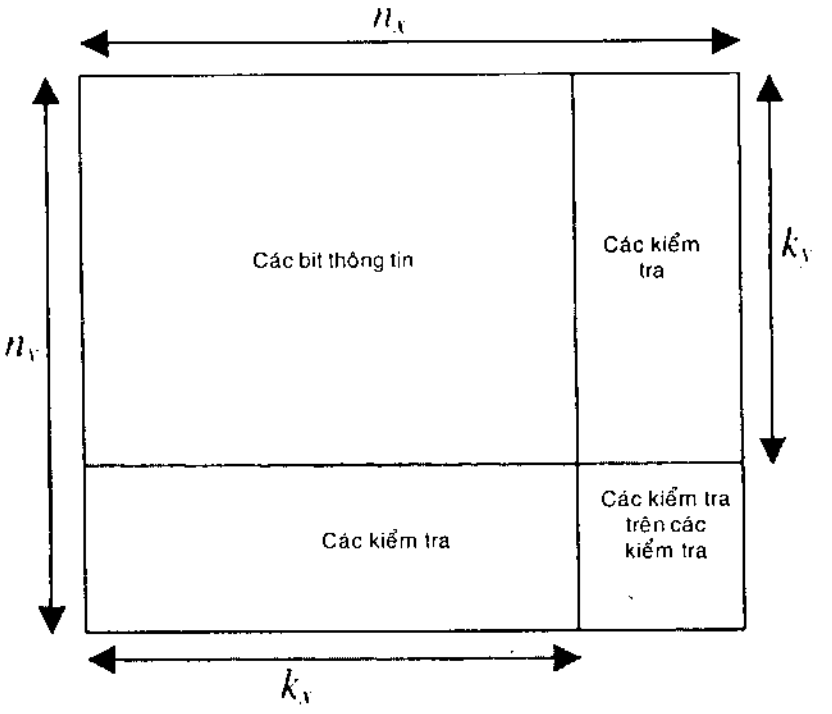
Block Turbo Codes (BTC) được định nghĩa là một FEC tùy chọn cho PHY OFDM và OFDMA. BTC cũng tùy chọn trong các profile WiMAX.

Đối với PHY OFDM và OFDMA, BTC dựa vào tích của hai mã thành phần đơn giản vốn là các mã Hamming mở rộng nhị phân hoặc các mã kiểm tra tính chẵn lẻ. Các mã không giống nhau cho hai PHY. Các mã thành phần BTC của OFDM được trình bày trong bảng 6.1. Các mã thành phần được sử dụng trong một dạng ma trận hai chiều được minh họa trong hình 6.10. Các bit thông tin k_x trong các hàng được mã hóa thành n_x bit bằng cách sử dụng mã khối thành phần (n_x, k_x) được xác định trong các chuẩn cho mã tổng hợp tương ứng. Sau khi mã hóa các hàng, các cột được mã hóa bằng cách sử dụng một mã khối (n_y, k_y), nơi các bit kiểm tra của mã đầu tiên cũng được mã hóa. Toàn bộ kích cỡ khối của một mã tích như vậy là $n = n_x n_y$, tổng số bit

thông tin $k = k_x k_y$ và tốc độ mã là $R = R_x R_y$, trong đó $R_i = k_i/n_i$, i = x, y. Thứ tự bit dữ liệu cho ma trận BTC tổng hợp được định nghĩa sao cho bit đầu tiên trong hàng đầu tiên là LSB (Least Significant Byte) và bit dữ liệu cuối cùng trong hàng dữ liệu cuối cùng là MSB.

Bảng 6.1: Các mã thành phần BTC của OFDM PHY.

Mã thành phần (n,k)	Loại mã
(64,57)	Mã Hamming mở rộng
(32,26)	Mã Hamming mở rộng
(16,11)	Mã Hamming mở rộng
(64,63)	Mã kiểm tra tính chẵn lẻ
(32,31)	Mã kiểm tra tính chẵn lẻ
(16,15)	Mã kiểm tra tính chẵn lẻ
(8,7)	Mã kiểm tra tính chẵn lẻ

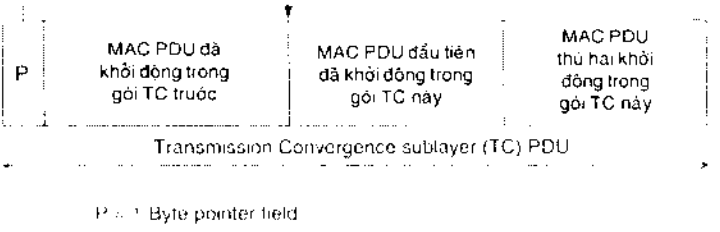


Hình 6.10: BTC và cấu trúc BTC được rút ngắn.

Để tương hợp một kích cỡ gói bắt buộc, các BTC có thể được rút ngắn bằng cách loại bỏ các ký hiệu ra khỏi mảng BTC. Trong trường hợp hai chiều, các hàng, cột hoặc các phần có thể được loại bỏ cho đến khi đạt được kích cỡ thích hợp.

6.4 Transmission Convergence Sublayer (TCS)

Transmission Convergence Sublayer (TCS) được định nghĩa trong lớp PHY OFDM và lớp PHY Non-WiMAX SC. TCS được đặt giữa các lớp MAC và PHY. Nếu TCS được bật, TCS chuyển đổi các PDU MAC có kích cỡ khả biến thành các khối FEC có chiều dài thích hợp được gọi là TC PDU. Một hình minh họa về TC PDU được trình bày trong hình 6.11. Một byte pointer được thêm vào đầu mỗi TC PDU, như được minh họa trong hình. Pointer này biểu thị header của MAC PDU đầu tiên.



Hình 6.11: Dạng của PDU lớp con Transmission Convergence downlink.

TCS là một cơ chế tùy chọn cho OFDM PHY. Nó có thể được bật trên cơ sở tiền chớp tín hiệu (preburst) cho cả uplink và downlink qua các định nghĩa burst profile trong các thông báo bộ mô tả kênh uplink và downlink (UCD và DCD). Tham số TCS ENABLE được mã hóa dưới dạng một tuple TLV trong các kiểu mã hóa burst profile DCD và UCD (xem các chương 8 và 9 để biết chi tiết về TLV và UCD/DCD). Lúc khởi tạo SS, khả năng TCS được thương lượng giữa BS và SS qua các thông báo SBC-REQ/SBC-RSP MAC dưới dạng một tham số riêng biệt OSDM PHY. TCS không được đưa vào lớp PHY OFDMA.

6.5 Burst Profile

Burst profile là một công cụ cơ bản trong lớp MAC chuẩn 802.16. Sự cấp phát burst profile thay đổi động và có thể rất nhanh nói về việc truyền vật lý. Ở đây các tham số của các burst profile của WiMAX được tóm tắt. Các burst profile được sử dụng cho thủ tục thích ứng liên kết. Việc sử dụng các burst profile và thủ tục thích ứng liên kết sẽ được trình bày thêm chi tiết trong các chương 9 và 10.

6.5.1 Các tham số Burst Profile Downlink

Các tham số burst profile của sự truyền downlink cho các lớp PHYsical OFDM và OFDMA được đề xuất trong bảng 6.2. Tham số FEC thực tế là Modulation and Coding Scheme (MCS). Đối với OFDM

PHY, có 20 tổ hợp điều biến MCS (BPSK, OPSK, 16-QAM hoặc 64-QAM), kiểu mã hóa (CC, RS-CC, CTC hoặc BTC) và tốc độ mã hóa (1/2, 2/3, 3/4 và 5/6). MCS sử dụng hiệu quả tần số nhất (và sau đó kém mạnh nhất) là 64-QAM (BTC) 5/6. Đối với OFDMA PHY, có 34 tổ hợp điều biến MCS (BPSK, QPSK, 16-QAM hoặc 65-QAM), kiểu mã hóa (CC, ZT CC, CTC, BTC, CC với interleaver tùy chọn) và tốc độ mã hóa (1/2, 2/3, 3/4 và 5/6). Downlink Interval Usage Code (DIUC) là bộ mô tả sử dụng chớp tín hiệu (xem chương 9) vốn bao gồm burst profile.

Bảng 6.2: Các tham số burst profile downlink cho các lớp PHYsical OFDM và OFDMA

Tham số burst profile	Mô tả
Tần số (tính bằng kHz)	Tần số downlink
Loại mã FEC	Modulation and Coding Scheme (MCS); có 20 MCS trong OFDM PHY và 34 MCS trong OFDMA PHY (như được cập nhật trong 802.16e)
Ngưỡng thoát bắt buộc DIUC	CINR tại hoặc dưới nơi burst profile này có thể không còn được sử dụng nữa và nơi đòi hỏi sự thay đổi burst profile mạnh hơn (nhưng cũng sử dụng tần số ít hiệu quả hơn) được biểu diễn bằng các đơn vị 0.25 dB. Xem chương 9 để biết chi tiết về DIUC.
Ngưỡng vào tối thiểu DIUC	CINR tối thiểu được bắt buộc để bắt đầu sử dụng burst profile này khi thay đổi từ một burst profile mạnh hơn, được biểu diễn bằng các đơn vị 0.25 dB.
TCS_enable (chỉ OFDM PHY)	Mở hoặc tắt TCS

6.5.2 Các tham số Burst Profile Uplink

Các tham số burst profile của sự truyền uplink cho OFDM PHY và OFDMA PHY được đề xuất trong các bảng 6.2 và 6.4.

Bảng 6.3: Các tham số burst-profile uplink cho lớp PHYsical OFDMA

Tham số burst profile	Mô tả
Loại FEC và loại điều biến	Có 20 MCS trong OFDM PHY
Tăng công suất tranh chấp hội tụ	Tăng công suất tính bằng dB của các sóng mang tranh chấp hội tụ (xem chương 10)
TCS_enable	Mở hoặc tắt TCS

Bảng 6.4: Các tham số burst profile uplink cho lớp PHYsical OFDMA

Tham số burst profile	Mô tả
Loại FEC và loại điều biến	Có 52 MCS trong OFDMA PHY
Tỉ số dữ liệu xác định phạm vi	Hệ số giảm tính bằng các đơn vị 1 dB giữa công suất được sử dụng cho chớp tín hiệu này và công suất được sử dụng để xác định phạm vi CDMA (xem chương 11), được mã hóa dưới dạng một số nguyên có dấu

6.5.3 Thích ứng liên kết MCS

Sự lựa chọn giữa các burst profile khác nhau hoặc tương đương giữa các MCS khác nhau là một công cụ mạnh mẽ. Cụ thể, chọn MCS thích hợp nhất cho trạng thái của kênh vô tuyến, tại mỗi khoảng thời gian dẫn đến một tốc độ dữ liệu trung bình tối ưu (cao nhất). Đây là cái được gọi là thủ thích ứng liên kết. Các chương tiếp theo mô tả những thủ tục MAC được sử dụng để thực thi sự thích ứng liên kết. Bản thân thuật toán thích ứng liên kết không được biểu thị trong chuẩn 802.16. Nó để lại cho nhà cung cấp hoặc nhà vận hành.

Các độ lớn của các ngưỡng SNR có thể được lấy từ bảng 6.5 được đề xuất trong chuẩn cho một số điều kiện test. Các ngưỡng SNR này dành cho một BER, Bit-Error Rate được đo sau FEC, vốn nhỏ hơn 10^{-6}.

Bảng 6.5: Các giả định ngưỡng SNR được nhận

Điều biến	Tốc độ mã hóa	Ngưỡng SNR của bộ nhận (dB)
BPSK	1/2	6.4
QPSK	1/2	9.4
QPSK	3/4	11.2
QAM-16	1/2	16.4
QAM-16	3/4	18.2
QAM-64	1/2	22.7
QAM-64	3/4	24.4

Bảng 6.4: Các tham số burst profile uplink cho lớp PHYsical OFDMA

Tham số burst profile	Mô tả
Loại FEC và loại điều biến	Có 52 MCS trong OFDMA PHY
Tỉ số dữ liệu xác định phạm vi	Hệ số giảm tính bằng các đơn vị 1 dB giữa công suất được sử dụng cho chớp tín hiệu này và công suất được sử dụng để xác định phạm vi CDMA (xem chương 11), được mã hóa dưới dạng một số nguyên có dấu

6.5.3 Thích ứng liên kết MCS

Sự lựa chọn giữa các burst profile khác nhau hoặc tương đương giữa các MCS khác nhau là một công cụ mạnh mẽ. Cụ thể, chọn MCS thích hợp nhất cho trạng thái của kênh vô tuyến, tại mỗi khoảng thời gian dẫn đến một tốc độ dữ liệu trung bình tối ưu (cao nhất). Đây là cái được gọi là thủ thích ứng liên kết. Các chương tiếp theo mô tả những thủ tục MAC được sử dụng để thực thi sự thích ứng liên kết. Bản thân thuật toán thích ứng liên kết không được biểu thị trong chuẩn 802.16. Nó để lại cho nhà cung cấp hoặc nhà vận hành.

Các độ lớn của các ngưỡng SNR có thể được lấy từ bảng 6.5 được đề xuất trong chuẩn cho một số điều kiện test. Các ngưỡng SNR này dành cho một BER, Bit-Error Rate được đo sau FEC, vốn nhỏ hơn 10^{-6}.

Bảng 6.5: Các giả định ngưỡng SNR được nhận

Điều biến	Tốc độ mã hóa	Ngưỡng SNR của bộ nhận (dB)
BPSK	1/2	6.4
QPSK	1/2	9.4
QPSK	3/4	11.2
QAM-16	1/2	16.4
QAM-16	3/4	18.2
QAM-64	1/2	22.7
QAM-64	3/4	24.4

Phần 3

Đa truy cập WiMAX (lớp MAC) và sự quản lý QoS

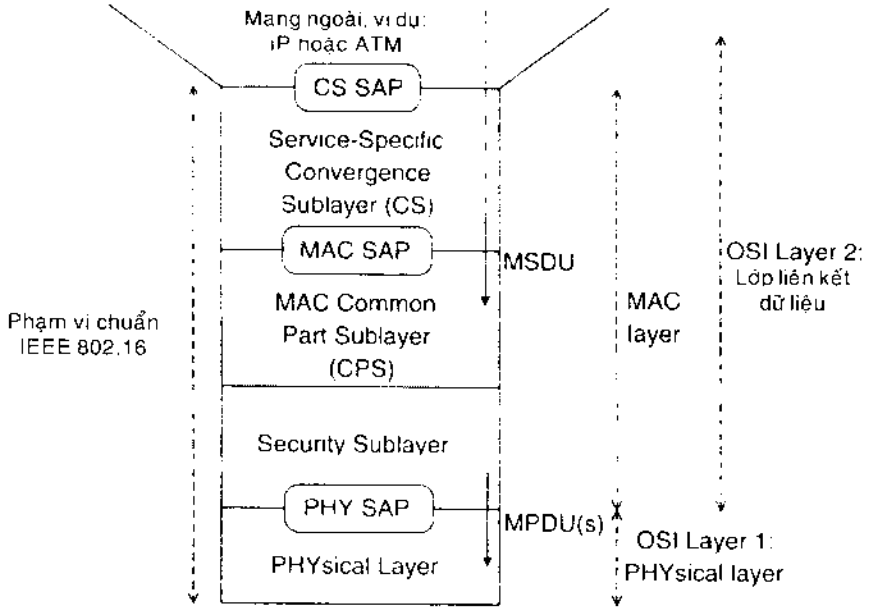
Chương 7

Convergence Sublayer (CS)

7.1 CS trong cấu trúc giao thức 802.16

Convergence Sublayer (CS) dành riêng cho dịch vụ thường được gọi đơn giản là CS, là lớp con (sublayer) trên cùng của lớp MAC trong WiMAX/802.16 (hình 7.1). CS chấp nhận các PDU lớp cao hơn từ các lớp cao hơn và chuyển chúng đến MAC CPS nơi các thủ tục MAC kiểu đặc trưng được áp dụng (xem chương 8). Phân loại và ánh xạ các MSDU thành các CID (Connection IDentifier) thích hợp do CS thực hiện là các chức năng cơ bản của các cơ cấu QoS của WiMAX/802.16. Trong số những chức năng khác của CS là Payload Header Suppression (PHS), tiến trình khử các phần lặp lại của các header tải trọng tại bộ gởi và phục hồi các header tại bộ nhận. Việc phân loại và ánh xạ được thực hiện bởi một module quản lý QoS cho phép tận dụng tối đa những tính năng lớp PHYsical khác nhau được trình bày trong hai chương trước của sách này.

Trong phiên bản hiện tại của chuẩn 802.16-2004, có hai thông số CS . Thông số CS đầu tiên là ATM CS. Asynchronous Transfer Mode (ATM) CS là một giao diện logic kết hợp các dịch vụ ATM khác nhau với MAC CPS SAP. ATM CS chấp nhận các cell ATM từ lớp ATM, thực hiện việc phân loại và PHS nếu được dự phòng. Sau đó, ATM CS gởi các CS PDU đến MAC SAP thích hợp.



Hình 7.1: Các lớp giao thức của chuẩn BWA 802.16.

Thông số CS kia là packet CS. Packet CS được sử dụng để vận chuyển tất cả giao thức dựa vào gói (packet) chẳng hạn như Internet Protocol (IP), IPv4, IPv6. Point-to-Point Protocol (PPP) và chuẩn IEEE 802.3 (Ethernet). Classification và PHS cũng được định nghĩa cho packet CS.

Chuẩn cho biết rằng các CS khác có thể được xác định trong tương lai. Bây giờ sự thực thi ATM CS không được hoạch định mặc dù nó được nêu chi tiết trong chuẩn. Trong phần còn lại của chương này, chỉ packet CS được xem xét.

7.2 Các nối kết và dòng dịch vụ

CS cung cấp bất kỳ sự vận chuyển hoặc ánh xạ dữ liệu mạng ngoài được nhận qua CS Service Access Point (SAP) vào các MAC SDU được nhận bởi MAC Common Part Sublayer (CPS) qua MAC SAP (xem hình 7.1). Điều này bao gồm phân loại các Service Data Unit (SDU) mạng ngoài và kết hợp chúng với MAC Service Flow Identifier (SFID) và Connection Identifier (CID) thích hợp. Sau đó, sự phân loại và ánh xạ dựa vào hai khái niệm cơ bản lớp MAC 802.16:

- **Connection (nối kết).** Là một nối kết cấp MAC giữa một BS và một SS (hoặc MS) hoặc đảo ngược. Nó là sự ánh xạ một chiều giữa các peer MAC BS và SS cho mục đích vận chuyển lưu lượng của một dòng dịch vụ (service flow). Một nối kết chỉ dành cho một loại dịch vụ (ví dụ tiếng nói và email không thể nằm trên cùng một nối

kết MAC). Một nối kết được nhận dạng bởi một CID (Connection IDentifier), thông tin được mã hóa trên 16 bit.

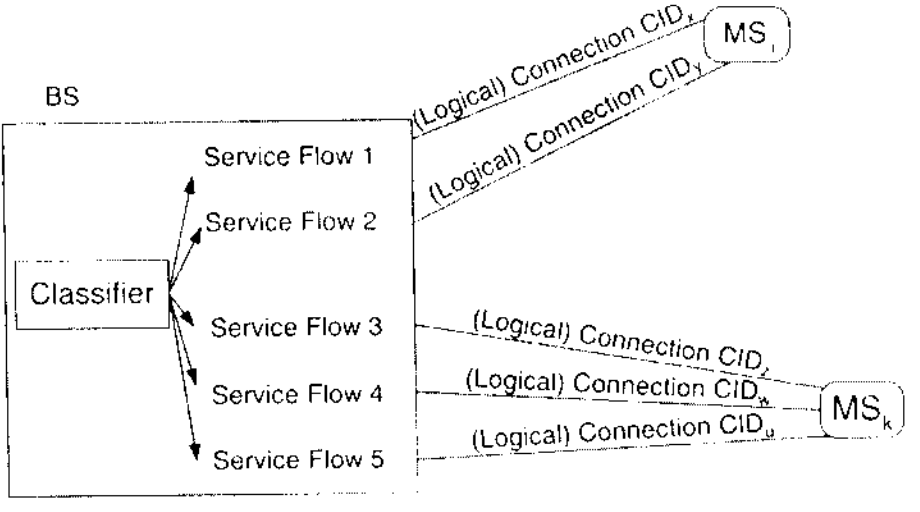
- **Service flow (dòng dịch vụ).** Service Flow (SF) là một dịch vụ vận chuyển MAC cung cấp sự vận chuyển các gói theo một chiều trên uplink hoặc trên downlink. Một service flow được nhận dạng bởi một SFID (Service Flow IDentifier) 32 bit. Service flow định nghĩa các tham số QoS cho các gói (PDU) vốn được trao đổi trên nối kết.

Hình 7.2 minh họa mối quan hệ giữa SFID và CID. Mối quan hệ giữa cả hai như sau: chỉ các service flow được thừa nhận và được kích hoạt (xem các định nghĩa bên dưới) được ánh xạ sang một CID, nghĩa là một CID 16 bit. Nói cách khác:

Hình 7.2: Sự tương ứng giữa CID và SFID

- Một SFID tương hợp với zero (các service flow được dự trữ) hoặc với một CID (service flow được thừa nhận hoặc được kích hoạt).
- Một CID ánh xạ sang một service flow identifier (SFID) vốn định nghĩa các tham số QoS của service flow được kết hợp với nối kết đó.

Các định nghĩa của connection và service flow trong chuẩn 802.16 cho phép các lớp QoS khác nhau được tìm thấy dễ dàng trong một phần tử nào đó (SS hoặc BS) với các cấp kích hoạt khác nhau (xem hình 7.3).



Hình 7.3: Minh họa các service flow và connection

7.2.1 Connection Identifier (CID)

Connection IDentifier (CID) nhận dạng một nối kết mà mọi MAC SDU của một dịch vụ truyền thông nào đó được ánh xạ vào. CID là một giá trị 16 bit, nhận dạng nối kết một chiều giữa các peer tương đương trong các lớp MAC của một BS và một SS.

Mọi lưu lượng 802.16 được tải trên một nối kết. Sau đó, CID có thể được xem là một định danh nối kết (connection indentifier) thậm chí cho lưu lượng không nối kết một cách danh định như IP, vì nó được sử dụng làm một pointer dẫn sang các đích và thông tin ngữ cảnh. Việc sử dụng CD 16 bit cho phép tổng cộng nối kết 64K trong mỗi kênh downlink và uplink. Có một số CID được định nghĩa trong chuẩn (xem bảng 7.1). Một số CID có một ý nghĩa riêng biệt. Một số thủ tục được giới thiệu trong bảng này, chẳng hạn như xác định phạm vi (ranging), quản lý cơ bản, chính và phụ. AAS và những điều khác sẽ được giới thiệu trong các chương khác sau đó trong sách này.

Bảng 7.1: Các dãy CID như được định nghĩa trong phần tham khảo. Các giá trị giữa 0000 (16 bit bằng zero) và FFFF (16 bit bằng một). Dường như khả năng BS quyết định cho một số m CID cho từng nối kết quản lý cơ bản và chính vốn có thể được yêu cầu, nghĩa là tổng nối kết 2m. Giá trị CID của các nối kết quản lý cơ bản, chính và phụ cho mỗi CS được gán trong một thông báo xác định phạm vi (xem chương 11).

CID	Giá trị	Mô tả
Initial ranging	0 x 0000	Được sử dụng bởi SS và BS trong tiến trình xác định phạm vi ban đầu.
Basic CID	0 x 0001 - m	Mỗi SS có một CID cơ bản và có một thời gian trễ ngắn. Cùng một giá trị CID được gán cho các nối kết downlink và uplink.
Primary management	m + 1 - 2m	Nối kết quản lý chính được sử dụng để trao đổi các thông báo quản lý MAC dài hơn, có khả năng chịu đựng thời gian trễ nhiều hơn.
Các CID vận chuyển và CID quản lý phụ	2m + 1 - 0 x FE9F	Được sử dụng để truyền dữ liệu và cho nối kết quản lý phụ.
Các CID multicast	0 x FE9F - 0 x FEFE	Đối với dịch vụ multicast downlink, cùng một giá trị được gán vào tất cả SS trên

		cùng một kênh vốn tham gia nối kết này.
AAS initial ranging CID	0 x FEFE	Một BS hỗ trợ AAS (advanced Antenna System) sử dụng CID này khi cấp phát một khoảng thời gian xác định phạm vi AAS (sử dụng AAS_Ranging_Allocation_IE).
Multicast polling CID	0 x FFOO - 0 x FFF9	Một SS có thể được đưa vào một hoặc nhiều nhóm kiểm tra vòng multicast cho các mục đích nhận được băng thông bằng việc kiểm tra vòng (polling). Những nối kết này không có service flow kết hợp
Multicast CID chế độ normal	0 x FFFA	Được sử dụng trong DL-MAP để biểu thị các chớp tín hiệu truyền phát thông tin đại chúng downlink đến SS chế độ normal.
CID multicast chế độ sleep	0 x FFFB	Được sử dụng trong DL-MAP để biểu thị các chớp tín hiệu truyền phát thông tin đại chúng downlink đến SS chế độ sleep. Cũng có thể được sử dụng trong các thông báo MOB_TRF-INO.
CID multicast chế độ idle	0 x FFFC	Được sử dụng trong DL-MAP để biểu thị các chớp tín hiệu truyền phát thông tin đại chúng downlink đến SS chế độ idle. Cũng có thể được sử dụng trong các thông báo MOB_PAG-ADV.
Broadcast CID có thể phân đoạn	0 x FFFD	Được sử dụng bởi BSS để truyền phát thông tin đại chúng quản lý có sự phân đoạn. Subheader (tiêu đề con) đoạn nên sử dụng một FSN dài II-bit trên nối kết này.

Padding CID	0 x FFFE	Được sử dụng để truyền thông tin padding bởi SS và BS
Broadcast CID	0 x FFFF	Được sử dụng cho thông tin truyền phát đại chúng mà được gởi trên một downlink đến tất ca SS.

Có security associations (SA) giữa nội dung khóa và các CID như được mô tả trong chương 15.

7.2.2 Các Service Flow

Service Flow (SF) là một dịch vụ vận chuyển MAC, cung cấp sự vận chuyển các gói theo một chiều trên uplink hoặc downlink. Nó được nhận dạng bởi một SFID (Service Flow IDentifier) 32 bit.

Một service flow được mô tả bởi một tập hợp tham số QoS. Các tham số QoS bao gồm những chi tiết về cách SS có thể yêu cầu các sự cấp phát băng thông uplink và hành vi mong đợi của bộ lập thời biểu (scheduler) uplink BS. Các tham số QoS chính của chuẩn 802.16-2004 được cho trong mục 7.4 bên dưới. Các thuộc tính service flow bây giờ được trình bày.

7.2.2.1 Các thuộc tính Service Flow

Một số service flow được mô tả một phần qua những thuộc tính sau đây:

- Service Flow ID. Một SFID được gán vào mỗi service flow hiện có. SFID được sử dụng làm định danh (identifier) cho service flow trong mạng.
- CID. Việc ánh xạ một CID sang một SFID chỉ hiện hữu khi nối kết có một service flow được thừa nhận hoặc được kích hoạt (xem bên dưới).
- ProvisionedQoSParamSet. Thuộc tính này định nghĩa một tham số QoS dự trữ qua những phương tiện mà chuẩn giả định là nằm bên ngoài phạm vi của nó. Chuẩn nêu rõ rằng đây có thể là một phần của hệ thống quản lý mạng. Ví dụ, tên lớp đồng hồ (hoặc QoS) là một thuộc tính của ProvisionedQoSParamSet. Có năm lớp QoS, lớp thứ năm đã được thêm bởi điểm sửa đổi 802.16e.
- AdmittedQoSParamSet. Thuộc tính này định nghĩa một tập hợp tham số QoS mà BS, và có lẽ SS là những tài nguyên dành riêng. Nguồn tài nguyên chính cần được dành riêng là băng thông, nhưng điều này cũng bao gồm bất kỳ tài nguyên dựa vào bộ nhớ hoặc thời gian khác được yêu cầu để kích hoạt dòng sau đó.

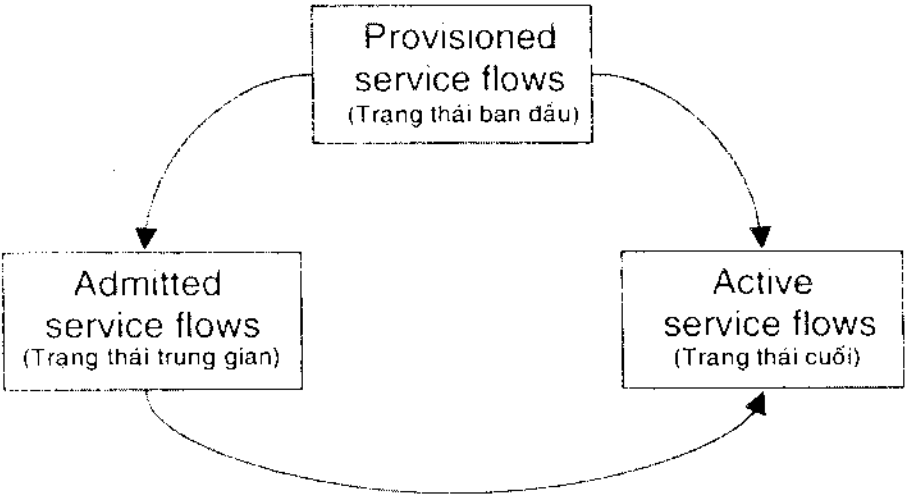
- ActiveQoSParamSet. Thuộc tính này định nghĩa một tập hợp tham số QoS xác định dịch vụ thật sự được cung cấp cho service flow. Chỉ một service flow active (được kích hoạt) có thể chuyển tiếp các gói. Trạng thái kích hoạt của service flow được quyết định bởi ActiveQoSParamSet. Nếu ActiveQoSParamSet rỗng thì service flow không được kích hoạt.
- Authorisation module. Đây là một chức năng logic trong BS vốn chấp nhận hoặc từ chối mọi thay đổi đối với các tham số QoS và các classifier (bộ phân loại) được kết hợp với một service flow. Do đó, nó định nghĩa một "đường bao" vốn giới hạn những giá trị có thể có của AdmittedQosParamSet và ActiveQoSParamSet (xem mục 11.5.4 để biết thêm chi tiết về authorisation module).

7.2.2.2 Các loại Service Flow

Chuẩn đã định nghĩa ba loại service flow:

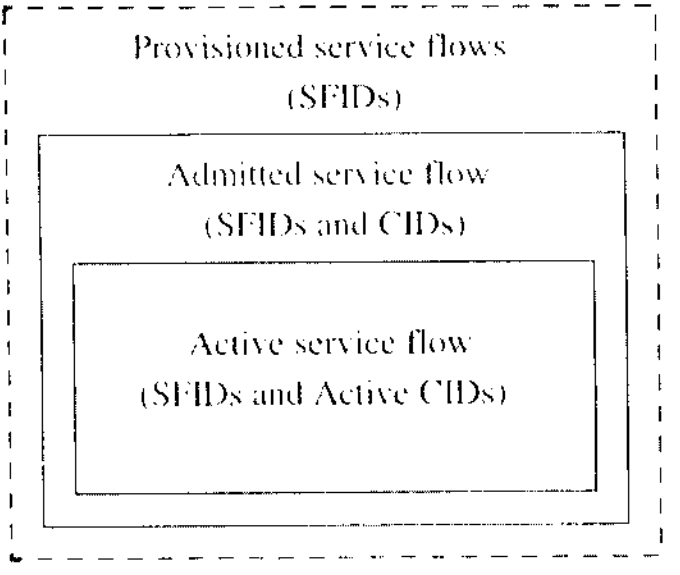
- Provisioned service flows. Loại service flow này được biết thông qua việc dự trữ, ví dụ hệ thống quản lý mạng. AdmittedQoSParamSet và ActiveQoSParamSet của nó đều rỗng!
- Admitted service flow. Chuẩn hỗ trợ một mô hình kích hoạt hai giai đoạn thường được sử dụng trong các ứng dụng điện thoại. Trong mô hình kích hoạt hai giai đoạn, các tài nguyên cho một cuộc gọi thường được "chấp nhận" (admitted) và sau đó, một khi sự thương lượng từ đầu này đến đầu kia được hoàn tất, các tài nguyên được "kích hoạt".
- Active service flow. Loại service flow này có các tài nguyên được cam kết bởi BS cho ActiveQoSParamSet của nó. ActiveQoSParamSet của nó không rỗng.

Mỗi lớp service flow được kết hợp với QoSParametersSets tương ứng. Ba loại service flow này có thể được thấy là bổ sung. Hình 7.4 minh họa những chuyển tiếp giữa ba service flow khác nhau. Một BS có thể chọn trực tiếp một service flow dự phòng, hoặc có thể chọn đi đến các service flow được kích hoạt bằng cách chuyển các service flow được thừa nhận. Cấu trúc mô hình của ba loại service flow này được minh họa trong hình 7.5 được lấy từ chuẩn.



Hình 7.4: Sự chuyển tiếp giữa các service flow.

Hình 7.5: Cấu trúc mô hình của các loại service flow.

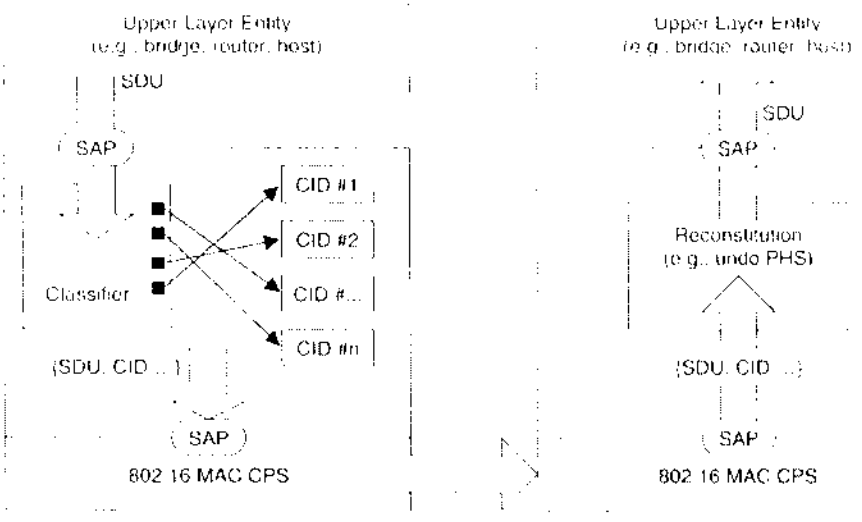


7.3 Phân loại và ánh xạ

Như được định nghĩa trong chuẩn, sự phân loại (classification) là tiến trình mà qua đó một MAC SDU được ánh xạ sang một nối kết cụ thể để truyền giữa các peer MAC. Tiến trình ánh xạ kết hợp một MAC SDU với một nối kết tạo nên sự kết hợp với các đặc điểm service flow của nối kết đó. Tiến trình này cho phép BWA 802.16 gởi các MAC SDU có các ràng buộc QoS thích hợp.

Có các cơ cấu phân loại và ánh xạ trong uplink và downlink. Trong trường hợp của một sự truyền downlink, classifier sẽ hiện diện trong BS và trong trường hợp của một sự truyền uplink, nó hiện diện trong SS.

Classifier là một tập hợp tiêu chuẩn tương hợp được áp dụng cho mỗi gói đi vào mạng WiMAX/802.16. Tập hợp tiêu chuẩn tương hợp gồm một số tiêu chuẩn tương hợp gói dành riêng cho giao thức (ví dụ một địa chỉ IP đích), một quyền ưu tiên classifier và một tham chiếu dẫn sang CID. Nếu một gói tương hợp với tiêu chuẩn tương hợp gói đã xác định thì nó được gởi đến SAP để phân phối trên nối kết được định nghĩa bởi CID. Các đặc điểm service flow của nối kết cung cấp QoS cho gói đó. Cơ cấu phân loại được minh họa trong hình 7.6.



Hình 7.6: Phân loại và ánh xạ CID. Nguyên lý như nhau cho cả hai chiều: BS đến SS và SS đến BS.

MAC của 802.16-2004 định hướng nối kết mà tại đó các nối kết thì ảo. Đối với các mục đích ánh xạ các dịch vụ khác nhau đồng thời và kết hợp các cấp QoS khác nhau, mọi sự truyền dữ liệu nằm trong ngữ cảnh của một nối kết. Các service flow có thể được dự trữ khi một SS được cài đặt trong hệ thống. Ngay sau khi đăng ký SS, các nối kết được kết hợp với những service này (nên nhớ rằng có một nối kết trên mỗi service flow) để cung cấp một tham chiếu cho tiến trình yêu cầu băng thông. Ngoài ra, các nối kết mới có thể được thiết lập khi một dịch vụ SS cần thay đổi. Một nối kết định nghĩa sự ánh xạ giữa các tiến trình hội tụ peer vốn tận dụng MAC và service flow. Service flow định nghĩa các tham số QoS cho các PDU được trao đổi trên nối kết.

Tóm lại, MAC CS phân loại mỗi ứng dụng. Một lớp QoS được gán. Sự phân loại này là một tiến trình quan trọng bởi vì mỗi BS có thể phục vụ một số người dùng tương đối lớn truyền các ứng dụng khác nhau. Sự phân loại này cho phép một sự thích ứng liên kết tốt bởi vì nó sẽ cấp phát những tài nguyên cần thiết cho mỗi ứng dụng. Kết quả, sự phân biệt QoS, ví dụ giữa một sự truyền email và một sự truyền tiếng nói rất dễ thực thi.

Hệ thống quản lý Dynamic Service Addition (DSA) MAC cho phép tạo một service flow mới. Các thông báo quản lý MAC được giới thiệu trong chương 8. Việc sử dụng thông báo DSA để tạo một service flow mới được nêu chi tiết trong chương 11. Các thuộc tính của QoS được trình bày bây giờ.

7.4 CS và QoS

Trong quá trình tạo một service flow, thông số CS mà nối kết được thiết lập sẽ sử dụng được định nghĩa. Các lựa chọn thông số CS có thể có là No CS, Packet IPv4, Packet IPv6, Packet 802.3/Ethernet, Packet 802.1Q VLAN, Packet IPv4 trên 802.3/Ethernet, Packet IPv6 trên 802.3/Ethernet, Packet IPv4 trên 802.1Q VLAN, Packet IPv6 trên 8021Q VLAN và ATM.

Tính năng đầu tiên của quản lý QoS là định nghĩa thứ tự truyền và lập thời biểu trên giao diện không khí. Vì lý do này, các gói đi qua giao diện MAC được kết hợp với một service flow được nhận dạng bởi CID.

Các tham số QlS được kết hợp với việc lập thời biểu uplink/downlink cho một service flow. Danh sách toàn diện các tham số QoS của một service flow có thể được tìm thấy trong phần tham khảo, phần 11.13. Các tham số QoS chính được mô tả sau đây:

- Loại dịch vụ lập thời biểu còn được gọi là lớp QoS. Giá trị của tham số này xác định dịch vụ lập thời biểu (scheduling service) vốn được bật cho service flow được kết hợp. Bốn loại dịch vụ lập thời biểu được định nghĩa trong chuẩn 802.16 là (xem phần 11.4 để biết các loại dịch vụ lập thời biểu) BE (mặc định), nrPS, rtPS và UGS. Một loại dịch vụ lập thời biểu thứ năm đã được thêm với 16e: ertPS.
- Ưu tiên lưu lượng. Giá trị của tham số này xác định quyền ưu tiên được gán vào một service flow. Với hai service flow giống hệt tất cả tham số QoS bên cạnh quyền ưu tiên, service flow có quyền ưu tiên cao hơn sẽ được cho thời gian trễ thấp hơn và ưu tiên đệm (buffering) cao hơn.

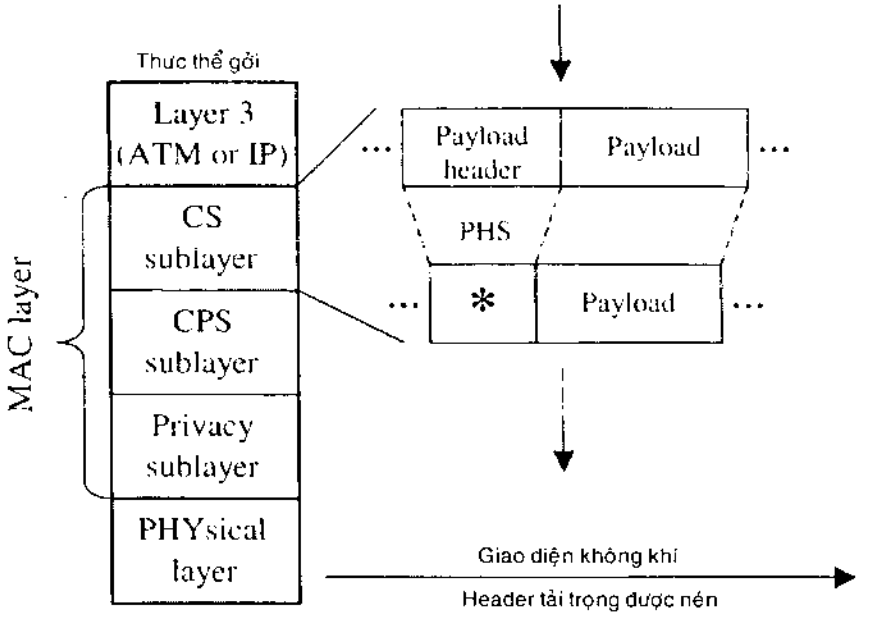
Tốc độ lưu thông duy trì tối đa. Tham số này định nghĩa tốc độ thông tin đỉnh của dịch vụ. Tốc độ được biểu diễn bằng các bit mỗi giây.

- Chớp tín hiệu lưu lượng tối đa. Tham số này định nghĩa kích cỡ chớp tín hiệu tối đa vốn được đáp ứng cho dịch vụ.
- Tốc độ lưu lượng dành riêng tối thiểu. Tham số này xác định tốc độ tối thiểu được dành riêng cho service flow. Tốc độ được biểu diễn bằng các bit mỗi giây và xác định lượng dữ liệu tối thiểu cần được vận chuyển thay mặt cho service khi được tính trung bình theo thời gian.
- Các tham số QoS dành riêng cho nhà cung cấp. Điều này cho phép các nhà cung cấp mã hóa các tham số QoS dành riêng cho nhà cung cấp. Vendor ID phải được nhúng bên trong các tham số QoS dành riêng cho nhà cung cấp.
- Sự rung chịu đựng được. Tham số này định nghĩa sự biến đổi do trễ (sự rung) tối đa cho nối kết.
- Độ trễ tối đa. Giá trị của tham số này xác định độ trễ tối đa giữa việc nhận một gói bởi BS hoặc SS trên giao diện mạng của nó và việc chuyển tiếp gói đến giao diện RF.
- Bộ chỉ báo SDU có chiều dài cố định với bộ chỉ báo SDU có chiều dài khả biến. Giá trị của tham số này xác định việc các SDU trên service flow có một chiều dài cố định hoặc chiều dài khả biến hay không. Tham số này được sử dụng chỉ nếu việc đóng gói nằm trên service flow.
- Kích cỡ SDU. Giá trị của tham số này xác định chiều dài của SDU cho một service flow SDU có một chiều dài cố định.
- Chính sách yêu cầu/truyền. Giá trị của tham số này cung cấp khả năng xác định các thuộc tính nhất định cho service flow được kết hợp. Những thuộc tính này bao gồm những tùy chọn cho sự hình thành PDU và đối với các service flow uplink, những giới hạn về các loại tùy chọn yêu cầu băng thông nào được sử dụng.

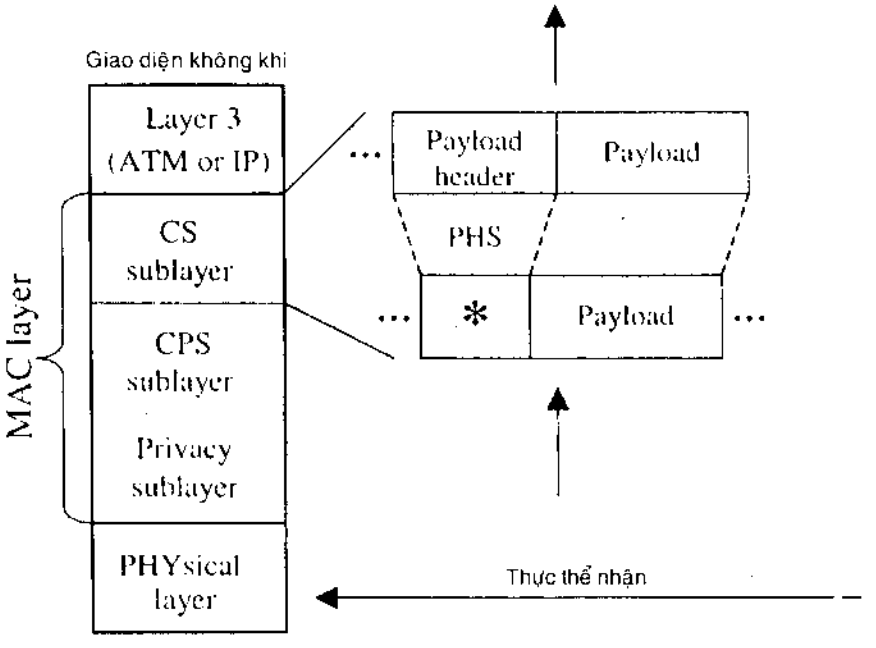
7.5 Payload Header Suppression (PHS)

Các gói được gởi đến lớp hai mô hình OSI có thể có các header rất lớn, đôi khi dài đến 120 byte. Đây là trường hợp cho một số gói RTP/UDP/IPv6 (RTP, Real-Time Protocol, UDP, User Datagram Protocol). Đây là thông tin thường rất lặp lại (dư thừa) và do đó không nên được truyền trên một tài nguyên hiếm hoi, chẳng hạn như kênh vô tuyến cho thông tin hữu dụng. Tiến trình này được gọi là nén và giải nén header trong các hệ thống di động 3G. Trong chuẩn 802.16, tiến trình PHS khử các phần lặp lại (dư thừa) của header tải trọng trong MAC SDU của lớp cao hơn. Thực thể nhận phục hồi các phần được khử. Việc thực thi tính năng PHS thì tùy chọn.

Hình 7.7 minh họa cơ cấu PHS tại thực thể gởi. Việc nén các phần của header dẫn đến một header được nén. Bộ nhận phải phục hồi header trước khi sử dụng đúng gói nhận được (hình 7.8).



Hình 7.7: Nén header tại thực thể nhận. Việc nén các phần của header dẫn đến một header được nén. Điều này cho phép tiết kiệm một tài nguyên vô tuyến quý giá mà có lẽ đã được sử dụng cho thông tin dư thừa.



Hình 7.8: Cơ cấu khử header tại thực thể nhận. Bộ nhận phải phục hồi header trước khi sử dụng đúng gói nhận được.

Để biểu thị xem PHS có hiện diện hay không, trường hỗ trợ PHS được sử dụng. Tham số này biểu thị mức độ hỗ trợ PHS. Trường hỗ trợ PHS là một trường trong một số thông báo quản lý MAC, Registration Request và Registration Response, được trình bày sau đó trong mục 11.6.1. Bảng 7.2 minh họa các giá trị có thể có của trường hỗ trợ PHS. Giá trị mặc định là 0 (không có PHS).

Bảng 7.2:Các giá trị có thể có của trường hỗ trợ PHS

Giá trị	Mô tả
0	Không có sự hỗ trợ PHS
1	ATM PHS
2	Packet PHS
3	ATM và Packet PHS

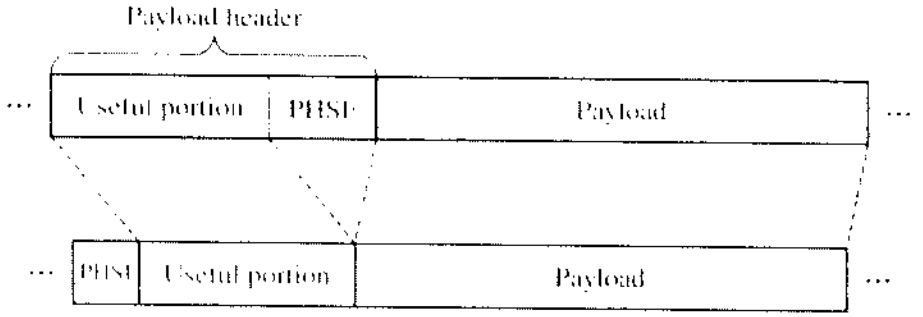
Trong trường hợp của ATM CS và ngoài thông báo đăng ký, có một khả năng khác để biểu thị PHS. Trong thông báo quản lý DSA MAC, một trường (field) có thể báo hiệu ngầm định việc sử dụng PHS.

7.5.1 Các quy tắc PHS

Việc ứng dụng và báo hiệu các quy tắc PHS khác nhau cho hai thông số CS được định nghĩa: ATM CS và packet CS.

Chuẩn ATM định nghĩa hai chế độ: chế độ chuyển mạch VP (Virtual Path) và chế độ chuyển mạch VC (Virtual Channel). Cùng một hoạt động PHS được áp dụng cho hai chế độ; sự khác biệt duy nhất giữa chúng là kích cỡ header tải trọng sau khi khử. Khi PHS được tắt, không có phần nào của bất kỳ header cell ATM kể cả trường Header Error Check (HEC) được khử.

Trong chế độ Packet CS, nếu PHS được bật tại nối kết MAC, mỗi MAC SDU bắt đầu với một Payload Header Suppression Index (PHSI), một trường 8 bit vốn tham chiếu Payload Header Suppression Field (PHSF) để khử. Một khi một PHSF đã được gán vào một PHSI, nó không thể được thay đổi. Để thay đổi giá trị của PHSF trên service flow, một quy tắc PHS mới phải được định nghĩa. Hình 7.9 minh họa hoạt động của PHS trong một Packet CS.



Hình 7.9: Minh họa hoạt động PHS. Trong chế độ Packet CS và đối với mỗi MAC SDU, PHSI (Payload Header Suppression Index) tham chiếu PHSF (Payload Header Suppression Field) được khử

Thực thể dịch vụ lớp cao hơn có trách nhiệm tạo một quy tắc PHS vốn nhận dạng duy nhất header được khử trong service flow. Thực thể dịch vụ lớp cao hơn cũng có trách nhiệm bảo đảm rằng các chuỗi byte vốn được khử không đổi từ gói này đến gói khác trong thời gian của service flow được kích hoạt.

Như đã đề cập, thực thể gởi sử dụng classifier để ánh xạ các gói vào một service flow. Classifier ánh xạ duy nhất các gói sang quy tắc PHS được kết hợp với service flow này. Thực thể nhận sử dụng CID và PHSI để phục hồi PHSF.

PHS có một tùy chọn Payload Header Suppression Valid (PHSV) để kiểm tra header tải trọng trước khi khử nó. Nó cũng có một tùy chọn Payload Header Suppression (PHSM) để cho phép lựa chọn các byte vốn không thể được khử.

Quy tắc PHS cung cấp PHSF, PHSI, PHSM, PHSS (Pay load Header Suppression Size) và PHSV.

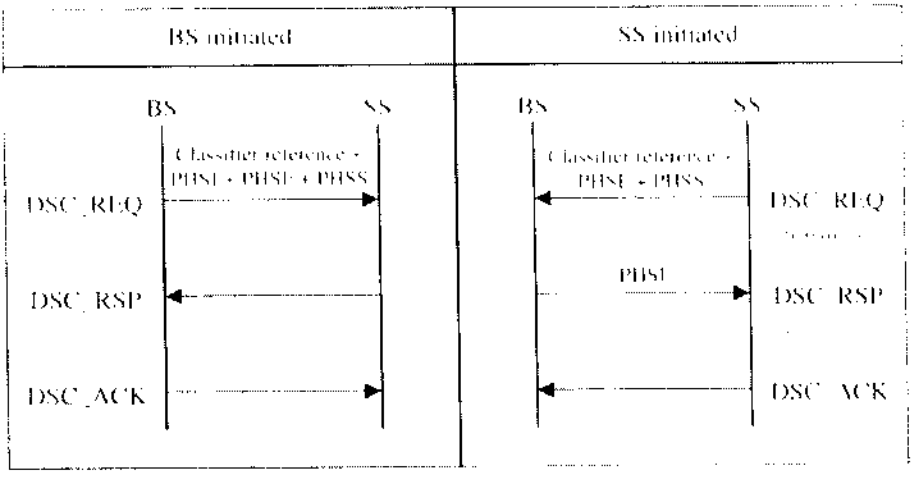
7.5.2 Truyền tín hiệu các quy tắc PHS

Các quy tắc PHS được tạo với các thông báo quản lý DSA hoặc Dynamic Service Change (DSC) MAC. BS định nghĩa PHSI khi quy tắc PHS được tạo. Các quy tắc PHS bị xóa bằng các thông báo quản lý DSC hoặc Dynamic Service Deletion (DSD) MAC. Khi một classifier bị xóa, bất kỳ quy tắc PHS đi kèm cũng bị xóa.

Hình 7.10 minh họa việc sử dụng một thông báo DSC để truyền tín hiệu việc tạo một quy tắc PHS và việc quy tắc này có được khởi tạo bởi BS hoặc SS hay không. Trong hình này, việc sử dụng các thông báo DSC MAC sau đây được giới thiệu:

- **DSC-REQ**. Một DSC-REQ được gởi bởi một SS hoặc BS để thay đổi động các tham số của một service flow hiện có. Nó có thể được sử dụng để tạo các quy tắc PHS.

- **DSC-RSP.** Một DSC-RSP được tạo để phản hồi lại một DSC-REQ được nhận.
- **DSC-ACK.** Một DSC-ACK được tạo để phản hồi lại một DSC-RSP được nhận.



Hình 7.10: Thông báo quản lý DSC MAC được sử dụng để truyền tín hiệu một quy tắc PHS.

Các tham số thông báo DSC chính là SFID (chỉ cho DSC-RSP và DSC-ACK), CID, tên lớp dịch vụ, thông số CS... (xem chương 11 để biết chi tiết về việc quản lý Service động).

7.5.3 Nén Header trong WiMAX

PHS là một cơ cấu khử header. Cũng có các thuật toán khử header vốn nén các header gói bằng những phương tiện ngoại trừ khử header lặp lại. Điểm sửa đổi 802.16e đề cập rằng Convergence Sublayer (CS hỗ trợ các SDU bằng hai dạng nhằm làm dễ dàng việc nén mạnh mẽ IP và các header lớp cao hơn. Các dạnh này (tương ứng với các thuật toán nén heade) là:

- ROHC (RObust Header Compression), IETF RFC 3095. ROHC cũng được sử dụng trong các hệ thống di động UMTS 3G để nén header.
- ECRTP (Enhanced Compressed Real-Time Protocol) hoặc Enhanced Compressed, RFC-3545. ECRTP là một sự phát triển của CRTP, Compressed RTP, RFC 2508 được định nghĩa cho các header gói IP/UDP/RTP đường truyền cố định có tốc độ dữ liệu thấp.

Hai dạng CS PDU này được định nghĩa trong 802.16e được gọi là dạng CS PDU nén header IP.

Các classifier Compressed-IP-Header hoạt động trên các trường ngữ cảnh của các gói nén ROHC và ECRTP. 802.16e cung cấp các kiểu mã hóa service flow nên được đưa vào các gói CS cho ROHC và ECRTP. 802.16e biểu thị chức năng nén không được hoạt động trên các header frame IEEE 802.3/Ethernet để header frame Ethernet vẫn nguyên vẹn.

Chương 8

Các chức năng MAC và Frame MAC

8.1 Giới thiệu

Chương này mô tả một số chức năng MAC 802.16 quan trọng và những tham số MAC khác. Những chức năng và tham số này sẽ được sử dụng trong ba chương tiếp theo, mà sau đó lớp MAC của WiMAX sẽ được mô tả đầy đủ. Đôi khi những chức năng này có thể phức tạp. Đây là do đã nhìn thấy trước hai mục đích chính. Có một hiệu suất sử dụng băng thông cao và cung cấp tính dễ uốn nắn đầy đủ cho việc quản lý QoS.

Đầu tiên các địa chỉ MAC và dạng frame MAC được mô tả. Sau đó, một số thủ tục MAC chẳng hạn như phân đoạn (fragmentation), đóng gói (packing) và ghép (concatenation), ARQ và HARQ được xem lại. Các nối kết quản lý cơ bản (basic), chính (primary) và phụ (secondary) được giới thiệu. Kiểu mã hóa TLV thường được sử dụng trong 802.16 cũng được giới thiệu.

8.2 Các địa chỉ MAC và Frame MAC

8.2.1 Các địa chỉ MAC và những địa chỉ khác

Mỗi SS có một địa chỉ MAC chung 48 bit như được định nghĩa trong chuẩn. Loại địa chỉ này thường được gọi là địa chỉ MAC IEEE 802. Nó định nghĩa duy nhất SS cho tất cả các nhà cung cấp và các loại thiết bị có thể có. Nó được sử dụng trong tiến trình xác định phạm vi ban

đầu (initial) để thiết lập các nối kết thích hợp cho một SS. Nó cũng được sử dụng làm một phần của tiến trình xác thực mà qua đó BS và SS kiểm chứng định danh của cái kia (xem chương 11 để biết về initial ranging và chương 15 để biết về sự an ninh). Đây cũng là trường hợp trong chế độ Mesh nơi mỗi nút có một địa chỉ MAC IEEE 802 duy nhất.

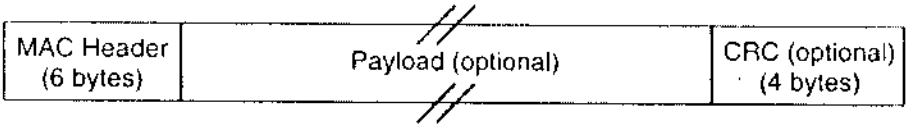
Một BS 802.16 có một Base Station ID (BSID) 48 bit. Điều này khác với địa chỉ MAC của BS. Nó có một bộ chỉ báo toán tử 24 bit. Sau đó, BSID có thể được sử dụng để nhận dạng toán tử. Ví dụ, nó được sử dụng cho thông báo quản lý Downlink Channel Descriptor (DCD).

Trong chế độ Mesh, một địa chỉ khác ngoài địa chỉ MAC ra được sử dụng. Khi được quyền sử dụng, một nút SS ứng cử nhận một Node IDentifier (Node ID) 16 bit sau khi yêu cầu đến một SS được nhận dạng dưới dạng Mesh BS. Node ID là cơ sở nhận dạng nút trong chế độ Mesh.

8.2.2 Các Frame MAC

Một MAC PDU được gọi là frame MAC. Nó có dạng chung được minh họa trong hình 8.1. Mỗi frame MAC bắt đầu với một header MAC có chiều dài cố định. Header này có thể được theo sau bởi tải trọng (payload) của MAC PDU (MPDU). Một MPDU có thể chứa một CRC (Cyclic Redundancy Check). Nếu hiện diện, payload (tải trọng) MPDU chứa một hoặc nhiều điều sau đây:

- zero hoặc nhiều subheader được đưa vào payload.
- zero hoặc nhiều MAC SDU
- đoạn (hoặc các đoạn) của một MAC SDU



Hình 8.1: Dạng chung của một frame MAC hoặc MAC PDU.

Thông tin payload có chiều dài khác nhau. Do đó, một chiều dài frame MAC là một số byte khả biến. Dạng này cho phép MAC truyền các loại lưu lượng lớp cao hơn khác nhau mà không cần biết các dạng hoặc mẫu bit của những thông báo đó.

8.2.3 Dạng Header MAC

Hai dạng header MAC được định nghĩa trong chuẩn:

- The Generic MAC Header (GMH). Đây là header của các frame MAC chứa các thông báo quản lý MAC của dữ liệu CS. Dữ liệu CS

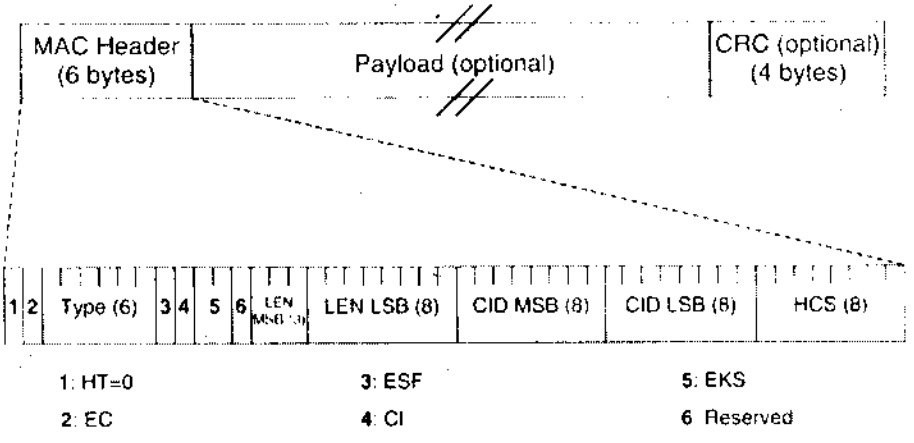
có thể là dữ liệu người dùng hoặc dữ liệu quản lý lớp cao hơn khác. Frame header MAC generic là frame duy nhất được sử dụng downlink.

- Header MAC không có payload nơi hai loại được định nghĩa: Type I và Type II. Đối với các frame MAC có loại dạng header này, header MAC không được theo sau bởi bất kỳ payload MPDU và CRC. Tên frame này đã được giới thiệu bởi điểm sửa đổi 16e. Trước đó, trong 802.16-2004, header yêu cầu băng thông đã được định nghĩa để yêu cầu thêm các băng thông (xem chương 10). Với 16e, header yêu cầu băng thông trở thành một trường hợp riêng biệt của các dạng header MAC không có payload.

Trong uplink, trường Header Type (HT) một bit ở đầu header MAC (xem bên dưới), phân biệt giữa header MAC generic và header MAC không có các dạng payload: zero cho GMH và một cho một header không có payload.

8.2.3.1 Dạng của Header Generic MAC

Dạng header frame Generic MAC được minh họa trong hình 8.2 và các trường của header này trong bảng 8.1. Trong bảng này, trường LEN (giá trị length) vốn là chiều dài tính bằng byte của frame MAC (MAC PDU), dài 11 bit. Điều này cho một chiều dài tối đa 2048 byte cho frame MAC. Việc sử dụng các tham số mã hóa (trường EKS) sẽ được mô tả trong chương 15. Đối với cả hai lớp PHY OFDM và OFDMA, các thông báo quản lý phải có một CRC vốn là một trường 4 byte được tính như được định nghĩa trong IEEE Std 802.3 và được thêm vào payload của MAC PDU. CRC phải được tính sau khi mã hóa, nghĩa là CRC bảo vệ GMH và payload được mã hóa.



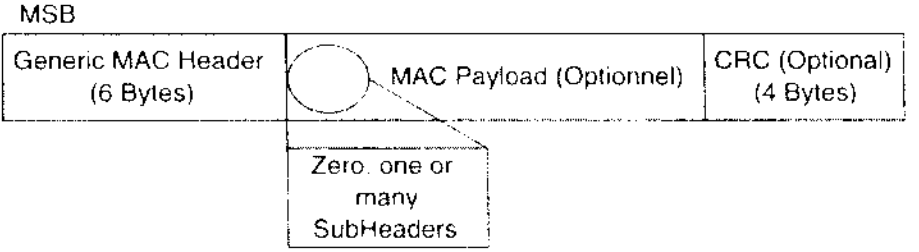
Hình 8.2: Dạng header của frame Generic MAC. Số trong các dấu ngoặc đơn là số bit trong trường đã xác định.

Bảng 8.1: Một số trường của header generic frame MAC.

Tên	Chiều dài (bit)	Mô tả
HT	1	Loại Header. Zero cho header MAC generic
EC	1	Điều khiển mã hóa (Encryption Control): 0 = payload không được mã hóa; 1 = payload được mã hóa. Đối với một header MAC không có payload, bit này biểu thị nó là Type I hoặc II.
Type	6	Trường này biểu thị các subheader và các loại payload đặc biệt hiện diện trong payload thông báo (xem bên dưới).
ESF	1	Extended Subheader Field. Nếu ESF = 1, subheader mở rộng hiện diện và theo sau header MAC generic ngay tức thì (có thể áp dụng trong cả downlink và uplink).
CI	1	CRC Indicator: 1 = CRC được đưa vào (xem dạng frame MAC); 0 = CRC không được đưa vào.
EKS	1	Encryption Key Sequence. Chỉ số của Traffic Encryption Key (TEK) và vector khởi tạo được sử dụng để mã hóa payload. Rõ ràng, trường này chỉ có ý nghĩa nếu trường EC được xác lập sang một.
LEN	11	Length. Chiều dài tính bằng byte của MAC PDU kể cả header MAC và CRC nếu hiện diện.
CID	16	Connection IDentifier (xem chương 7).
HCS	8	Header Check Sequence. Một trường 8 bit được sử dụng để phát hiện các lỗi trong header.

8.2.3.2 Các Subheader Header MAC Generic (trường Type)

Payload (tải trọng) frame MAC generic có thể bắt đầu bằng một hoặc nhiều subheader (xem hình 8.3). Trường type trong header MAC generic là một giá trị 6 bit, nơi mỗi bit có một ý nghĩa riêng biệt như được trình bày trong bảng 8.2.



Hình 8.3: Frame MAC Generic có thể có một hoặc nhiều subheader

Bảng 8.2: Mã hóa các bit của trường type trong header MAC generic.

Bit type	Giá trị
5 (MSB)	Mesh subheader: 1 = hiện diện, 0 = thiếu vắng
4	Tải trọng phản hồi ARQ: 1 = hiện diện, 0 = thiếu vắng
3	Extended Type. Biểu thị việc các subheader đóng gói (packing) hoặc phân đoạn (fragmentation) hiện diện có được mở rộng hay không: 1 = được mở rộng (extended), biểu thị các nối kết nơi ARQ được bật; 0 = không được mở rộng.
2	Fragmentation subheader: 1 = hiện diện, 0 = thiếu vắng
1	Packing subheader: 1 = hiện diện, 0 = thiếu vắng
0 (LSB)	Downlink: subheader cấp phát FAST-FEEDBACK; uplink: subheader quản lý cấp phát; 1 = hiện diện, 0 = thiếu vắng

Fragmentation và packing là hai chức năng MAC được mô tả trong mục 8.3. ARQ (Automatic Repeat reQuest) là một thủ tục thiết lập quan hệ của lớp liên kết dữ liệu mà bộ nhận đề nghị bộ phát gởi lại một khối dữ liệu khi các lỗi được phát hiện (ARQ được nêu chi tiết thêm trong mục này 8.7). Nếu bit payload phản hồi ARQ trong trường type header MAC được xác lập sang 1, payload phản hồi ARQ được vận chuyển. Bit loại mở rộng (bit 3) của trường header MAC generic biểu thị việc các subheader packing hoặc fragmentation hiện diện có sử dụng các nối kết được bật ARQ hay không. Bit này được xác lập sang 1 nếu packing hoặc fragmentation được áp dụng trên các nối kết mà ARQ được bật.

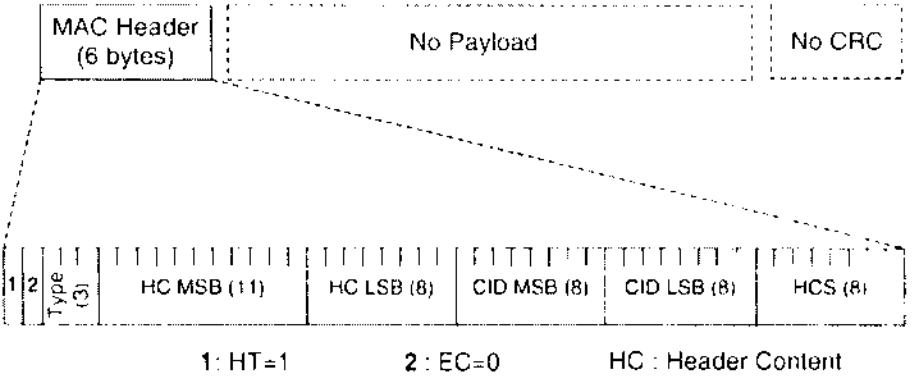
8.2.3.3 Dạng Header không có Payload

Header không có payload (Type I và II), chỉ được sử dụng trong uplink có cùng một kích cỡ như header frame MAC generic, nhưng các trường khác nhau. Dạng header MAC không có payload Type I được minh họa trong hình 8.4 và trong bảng 8.3. Trong header MAC không có payload, trường nội dung header (19 bit có thể có những công dụng khác nhau. Các kiểu mã hóa trường Type cho header truyền tín hiệu MAC Type I được trình bày trong bảng 8.4 (từ điểm sửa đổi 802.16e). Trong bảng này Bandwidth Request (BR) gồm các frame yêu cầu băng thông chuyên dụng. Trường BR xác định số byte được yêu cầu; CID biểu thị kết nối mà băng thông uplink được yêu cầu. Các loại BR aggregate (tập hợp) và incremental (gia tăng) sẽ được trình bày trong chương 10. Header báo cáo SN được gởi bởi SS trong framework của thủ tục ARQ.

Bảng 8.4: Dạng header không có payload Type I được sử dụng.

Trường type (3 bit)	Loại header MAC (với HT/EC=Ob1O)
000	BR incremental]
001	BR aggregate
010	Báo cáo kênh PHY
011	BR với báo cáo công suất UL Tx
100	Yêu cầu băng thông và báo cáo CINR
101	BR với sự điều khiển sleep UL
110	Báo cáo SN
111	Yêu cầu cấp phát CQICH

Trong dạng header MAC không có payload Type II, header được thay đổi đối với Type I. Nó được sử dụng trong một số phản hồi dành riêng cho OFDMA (MIMO...)



Hình 8.4: Dạng header không có payload Type 1.

Bảng 8.3: Một số trường của header MAC không có payload Type 1.

Tên	Chiều dài (bit)	Mô tả
HTT	1	Loại Header. Một cho heder không có payload
EC	1	Đối với một header MAC không có payload, bit này biểu thị nó là Type I hoặc II
Type	3	Biểu thị loại header không có payload (xem bên dưới)
Header content	19	Nội dung header, hàm của giá trị trường Type
CID	16	ConnectionIDentifier
HCS	8	Header Check Sequence (giống như đối với header MAC generic)

8.2.3.4 Các Frame Generic: Các Frame vận chuyển hoặc quản lý?

Payload có thể chứa một thông báo quản lý hoặc dữ liệu vận chuyển. Các nối kết riêng biệt được định nghĩa là các nối kết quản lý (xem bảng 7.1). Những nối kết này tải chỉ các thông báo quản lý. Tất cả các nối kết khác tải dữ liệu người dùng hoặc dữ liệu quản lý MAC phụ (lớp trên).

8.2.4 Các Subheader MAC và các Payload đặc biệt

Việc sử dụng các bit Type còn lại của frame MAC generic (xem bảng 8.2) được mô tả bây giờ: subheader Grant Management, FAST_FEEDBACK_Allocation và subheader Mesh. Việc sử dụng các subheader tương ứng được nêu chi tiết.

Các yêu cầu băng thông không được gởi duy nhất với một header không có payload Tyoe I trong các frame header yêu cầu băng thông. Subheader Grant Management vốn có thể hiện diện chỉ trong uplink được sử dụng bởi SS để chuyển các yêu cầu quản lý băng thông đến BS trong một frame header MAC generic. Đây là cái được gọi là "yêu cầu piggybacking" vì yêu cầu dữ liệu xảy ra trên một frame nơi dữ liệu cũng được truyền. Các tiến trình yêu cầu băng thông được mô tả trong chương 10, nơi trình bày các chi tiết về việc sử dụng subheader Grant Management (cụ thể trong mục 10.2.2).

Các slot phản hồi nhanh là các slot được cấp phát riêng lẻ cho SS để truyền thông tin về PHY vốn yêu cầu một sự phản hồi nhanh từ SS. Sự cấp phát này được thực hiện bằng một cách unicast thông qua subheader MAC FAST_FEEDBACK và được truyền tín hiệu bởi bit

trường Type Generic Header 0. Sự cấp phát FAST_FEEDBACK luôn là subheader cuối cùng trên mỗi PDU. Subheader cấp phát FAST-FEEDBACK có thể chỉ được sử dụng trong việc truyền downlink và với thông số OFDMA PHY (thường với MIMO).

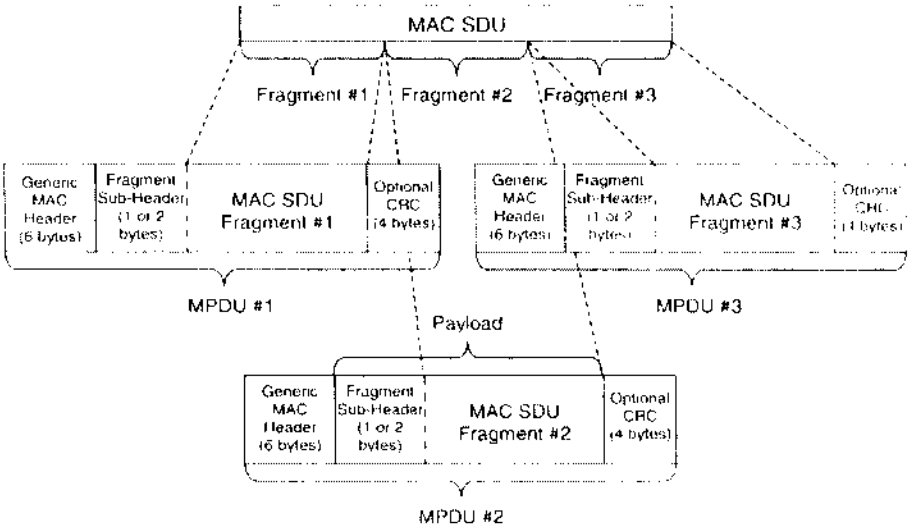
Khi được ủy quyền cho một mạng Mesh, một nút SS ứng cử nhận một Node IDentifier (Node ID) 16 bit sau khi yêu cầu đến Mesh BS (xem mục 3.6 để biết chi tiết về Mesh BS). Node ID là cơ sở để nhận dạng các nút trong hoạt động chế độ Mesh bình thường. Subheader Mesh chứa một thông tin đơn, Node ID. Nếu subheader Mesh được biểu thị, nó đứng trước tất cả subheader khác.

8.3 Fragmentation, Packing và Concatenation

Như trong hầu hết tất cả hệ thống không dây gần đây khác, thật thú vị khi có thể phân đoạn một MAC SDU trong nhiều MAC PDU hoặc ngược lại đóng gói nhiều MSDU trong nhiều PDU. Ưu điểm của sự phân đoạn (fragmentation) là giảm rủi ro làm mất toàn bộ một MSDU đến rủi ro làm mất một phần của nó, một đoạn (fragment). Sự bất tiện là có nhiều thông tin header hơn. Điều này thú vị khi kênh vô tuyến tương đối kém hoặc đóng gói quá lâu. Trái lại (packing) cho phép cần đến ít header hơn với rủi ro làm mất tất cả gói được đóng gói. Điều này thú vị khi kênh vô tuyến tương đối tốt. Concatenation (ghép) là việc truyền nhiều PDU trong một cơ hội truyền duy nhất. Fragmentation, packing và concatenation được đưa vào chuẩn 802.16.

8.3.1 Fragmentation

Fragmentation (phân đoạn) là tiến trình mà qua đó một MAC SDU được phân chia thành hai hoặc nhiều MAC PDU. Khi kênh vô tuyến tương đối kém, tiến trình này cho phép sử dụng hiệu quả băng thông có sẵn trong khi xem xét các yêu cầu QoS của một service flow nối kết. Việc hiện diện của sự phân đoạn được biểu thị bởi bit 2 của trường Type (xem mục 8.2) của một frame MAC generic. Sự phân đoạn thường quan tâm đến các gói tương đối dài (chẳng hạn như các gói IP). Sự phân đoạn của một gói được minh họa trong hình 8.5.



Hình 8.5: Minh họa sự phân đoạn một MAC SDU cho ba MAC PDU (hoặc các frame MAC).

Ba MPDU có được trong ví dụ được minh họa mỗi MPDU chứa một subheader Fragment. Do đó bit 2 của trường Type trong header MAC generic sẽ được xác lập sang 1 (xem mục 8.2.3) Subheader Fragment sẽ chứa thông tin chẳng hạn như đoạn là đoạn thứ nhất, giữa hoặc cuối...

Khả năng phân đoạn và tái tập hợp là bắt buộc.

8.3.2 Packing

Khi chức năng đóng gói (packing) được bật cho một nối kết, lớp MAC có thể đóng gói nhiều MAC SDU thành một MAC PDU đơn. Khi kênh vô tuyến tương đối tốt, điều này cho phép sử dụng tốt hơn các nguồn tài nguyên có sẵn. Phía truyền có đầy đủ quyết định xem có nên đóng gói một nhóm MAC SDU trong một MAC PDU hay không. Sự hiện diện của packing được biểu thị bởi bit 1 của trường Type của frame MAC genenic (xem mục 8.2.3).

Packing đặc biệt hiệu quả cho các gói tương đối ngắn. Một gói được đóng gói được minh họa trong hình 8.6. Payload của frame sẽ chứa nhiều subheader đóng gói và mỗi subheader sẽ được theo sau bởi MAC SDU của nó. Tổng các header được đóng gói sẽ nhỏ hơn tổng các header của các SDU bình thường. Đây là lý do tại sao packing tiết kiệm các tài nguyên băng thông. Mặt khác, nếu PDU được đóng gói bị mất, tất cả SDU thành phần bị mất (trong khi chỉ một SDU có lẽ sẽ bị mất nếu packing đã không được thực thi).

Header MAC Generic (6 byte)	Sub-Header Packing (2 hoặc 3 byte)	MAC SDU	Sub-Header Packing (2 hoặc 3 byte)	MAC SDU	CRC tùy chọn (4 byte)

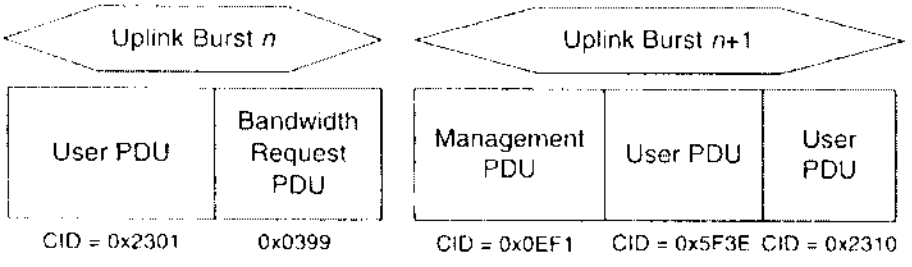
Hình 8.6: Minh họa sự đóng gói các MAC SDU trong một MAC PDU

Nếu cơ cấu ARQ được bật, các subheader phân đoạn và đóng gói được mở rộng. Ví dụ, các subheader của một gói được đóng gói gồm 3 byte thay vì 2.

Khả năng unpacking (mở gói) là bắt buộc.

8.3.3 Concatenation

Concatenation (ghép) là thủ tục ghép nhiều MAC PDU thành một nội dung truyền đơn (xem hình 8.7). Ghép có thể thực hiện trong cả uplink lẫn downlink. Vì mỗi MAC PDU được nhận dạng bởi một CID duy nhất, thực thể MAC nhận có thể trình bày MAC SDU cho đúng instance của MAC SAP. Sau đó có thể gởi các MPDU của các CID khác nhau trên cùng một chớp tín hiệu vật lý. Sau đó, các thông báo quản lý MAC, các MAC PDU yêu cầu dữ liệu người dùng và băng thông có thể được ghép thành nội dung truyền. Rõ ràng, trong uplink tất cả MPDU được truyền bởi cùng một SS.



Hình 8.7: Minh họa sự ghép cho một cuộc truyền chớp tín hiệu uplink.

8.4 Các nối kết quản lý Basic, Primary và Secondary

Như được đề cập, các nối kết được nhận dạng bởi một CID 16 bit. Lúc khởi tạo SS, xảy ra tại đường vào mạng SS, hai cặp nối kết quản lý (các nối kết uplink và downlink) được thiết lập giữa SS và BS, và một cặp nối kết quản lý thứ ba có thể được thiết lập tùy ý. Ba cặp nối kết này phản ánh việc có ba cấp QoS khác nhau để quản lý lưu lượng giữa một SS và BS.

- Nối kết basic (cơ bản) được sử dụng bởi BS MAC và SS MAC để trao đổi các thông báo quản lý MAC ngắn, có thời gian khẩn cấp. Nối kết này có một Basic CID (xem bảng 7.1).

Bảng 8.5: Danh sách tất cả thông báo quản lý MAC 802.16-2004. Xem phụ lục A để tham khảo các mô tả ngắn gọn về mỗi thông báo.

Loại	Tên thông báo	Mô tả	Nối kết
0	UCD	Uplink Channel Descriptor	Broadcast
1	DCD	Downlink Channel Descripton	Broadcast
2	DL-MAP	Downlink Access Definition	Broadcast
3	UL-MAP	Uplink Access Definition	Broadcast
4	RNG-REQ	Ranging Request	Initial ranging hoặc basic
5	RNG-RSP	Ranging Response	Initial ranging hoặc basic
6	REG-REQ	Registration Request	Primary management
7	REG-RSP	Registration Response	Primary management
8	Dành riêng		
9	PKM-REQ	Privacy Key Management Request	Primary management
10	PKM-RSP	Privacy Key Management Response	Primary management
11	DSA-REQ	Dynamic Service Addition Request	Primary management
12	DSA-RSP	Dynamic Service Addition Response	Primary management
13	DSA-ACK	Dynamic Service Addition Acknowledge	Primary management
14	DSC-REQ	Dynamic Service Change Request	Primary management
15	DSC-RSP	Dynamic Service Change Response	Primary management
16	DSC-ACK	Dynamic Service Addition Acknowledge	Primary management
17	DSD-REQ	Dynamic Service Deletion Request	Primary management
18	DSD-RSP	Dynamic Service Deletion Response	Primary management
19	Dành riêng		
20	Dành riêng		
21	MCA-REQ	Multicast Assignment Request	Primary management
22	MCA-RSP	Multicast Assignment Response	Primary management
23	DBPC-REQ	Downlink Burst Profile Change Request	Basic

24	DBPC-RSP	Downlink Burst Profile Change Response	Basic
25	RES-CMD	Reset Command	Busic
26	SBC-REQ	SS Basic Cupability Request	Basic
27	SBC-RSP	SS Basic Capability Response	Basic
28	CLK-CMP	SS network Clock Comparison	Broadcast
29	DREG-CMD	De/Re-register Command	Basic
30	DSX-RVD	DSx Received Message	Primary management
31	TFTP-CPLT	Configuration File TFTP Complete Messate	Primary management
32	TFTP-RSP	Configuration File TFTP Complete Response	Primary management
33	ARQ-Feedback	Standalone ARQ Feedback	Basic
34	ARQ-Discard	ARQ Discard message	Basic
35	ARQ-Reset	ARQ Reset message	Basic
36	REP-REQ	Channel measurement Report Request	Basic
37	REP-RSP	Channel measurement Report Response	Basic
38	FPC	Fast Power Control	Broadcast
39	MSH-NCFG	Mesh Network Configuration	Broadcast
40	MSH-NENT	Mesh Network Entry	Basic
41	MSH-DSCH	Mesh Distributed Schedule	Broadcast
42	MSH-CSCH	Mesh Centralised Schedule	Broadcast
43	MSH-CSCF	Mesh Centralised Schedule Configuration	roadcast
44	AAS-FBCK-REQ	AAS Feedback Request	Basic
45	AAS-FBCK-RSP	AAS Feedback Response	Basic
46	AAS-Beam_Select	AAS Beam Select message	Basic
47	AAS-BEAM_REQ	AAS Beam Request message	Basic
48	AAS-BEAM_RSP	AAS Beam Response message	Basic
49	DREG-REQ	SS De-registration Request message	Basic

50–255 Dành riêng

- Nối kết quản lý chính (primary management) được sử dụng bởi BS MAC và SS MAC để trao đổi các thông báo quản lý MAC dài hơn, có khả năng chịu đựng sự trễ nhiều hơn. Nối kết này có một Primary Management CID (xem bảng 7.1). Bảng 8.5 và 8.6 liệt kê tất cả thông báo quản lý MAC 802.16-2004 và 802.16e. Xem phụ lục A để tham khảo các mô tả ngắn gọn về mỗi thông báo. Bảng 8.5 và 8.6 xác định các thông báo quản lý MAC nào được chuyển trên mỗi trong hai nối kết này.

Bảng 8.5: Các thông báo quản lý MAC được thêm bởi điểm sửa đổi 802.16e.

Loại	Tên thông báo	Mô tả	Nối kết
50	MOB_SLP-REQ	SLeep REQuest	Basic
51	MOB_SLP-RSP	SLeep ReSPonse	Basic
52	MOB_TRF-IND	TRaffic INDiication	Broadcast
53	MOB_NBR-ADV	Neighbour ADVertisement	Broadcast và primary management
54	MOB_SCN-REQ	SCanning interval allocation REQuest	Basic
55	MOB_SCN-RSP	SCanning interval allocation ReSPonse	Basic
56	MOB_BSHO-REQBS	HO REQuest	Basic
57	MOB_MSHO-REQ	MS HO REQuest	Basic
58	MOB_BSHO-RSP	BS HO Response	Basic
59	MOB_HO-IND	HO INDication	Basic
60	MOB_SCN-REP	Scanning result REPort	Primary management
61	MOB_PAG-ADV	BS broadcast PAGing	Broadcast
62	MBS_MAP	MBSMA	MA
63	PMC_REQ	Power control Mode Change REQuest	Basic
64	PMC_RSP Response	Power control Mode Change	Basic
65	PRC-LT-CTRL	Set-up/tear-down of Long-Term MIMO precoding	Basic
66	MOB_ASC-REP	Association result REPort	Primary management
67-255	Dành riêng		

- Nối kết quản lý phụ (secondary management) được sử dụng bởi BS và SS để chuyển các thông báo có khả năng chịu đựng sự trễ, dựa vào các chuẩn. Những chuẩn này là Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP), Trivial File Transfer Protocol (TFTP), Simple Network Management Protocol (SNMP)... Các thông báo secondary management được tải trong các gói dữ liệu IP, như được đề cập sau đó trong chương 11 (do đó các thông báo secondary management không phải là các thông báo quản lý MAC). Việc sử dụng nối kết secondary management được yêu cầu chỉ cho các SS được quản lý.

Một SS hỗ trợ một Basic CID, một Primary Management CID và zero hoặc nhiều Transport CID. Một SS được quản lý cũng hỗ trợ một Secondary Management CID. Giá trị tối thiểu của số CID uplink được hỗ trợ là ba đối với các SS được quản lý và hai đối với các SS không được quản lý.

Các CID cho những nối kết này được gán trong tiến trình initial ranging (xác định phạm vi ban đầu), nơi ba giá trị CID được gán. Cùng một giá trị CID được gán vào cả hai thành viên (uplink và downlink) của mỗi cặp nối kết. Tiến trình initial ranging được mô tả trong chương 11.

8.5 Các thông báo quản lý dữ liệu người dùng và MAC

Một nối kết vận chuyển (transport connection) là một nối kết được sử dụng để vận chuyển dữ liệu người dùng. Các thông báo quản lý MAC không được tải trên các nối kết vận chuyển. Một nối kết vận chuyển được nhận dạng bởi một định danh nối kết vận chuyển, một định danh (identifier) duy nhất được lấy từ không gian địa chỉ CID vốn nhận dạng duy nhất nối kết vận chuyển.

Một tập hợp thông báo quản lý MAC được định nghĩa. Những thông báo này được tải trong payload của một MAC PDU bắt đầu với một header MAC generic. Tất cả thông báo quản lý MAC bắt đầu với một trường Type thông báo quản lý và có thể chứa thêm các trường. Trường này dài 1 byte. Dạng của thông báo quản lý MAC được cho trong hình 8.8.

Loại thông báo quản lý (1 Byte)	Payload thông báo quản lý

Hình 8.8: Dạng chung của một thông báo quản lý MAC (payload của một MAC PDU)

Các thông báo quản lý MAC trên các nối kết basic, broadcast và initial ranging có thể không được phân đoạn cũng không được đóng gói. Các thông báo quản lý MAC trên nối kết primary management và nối kết secondary management có thể được đóng gói và/hoặc được

phân đoạn. Đối với SCa, các lớp PHY OFDM và OFDMA, các thông báo quản lý được tải trên các nối kết initial ranging, broadcast, basic và primary management phải có một trường CRC.

Danh sách các thông báo quản lý MAC 802.16-2004 và kiểu mã hóa của trường Type thông báo quản lý của chúng được trình bày trong bảng 8.5. Điểm sửa đổi 802.16e đã bổ sung một số thông báo mới được trình bày trong bảng 8.6. Các thông báo mới liên quan đến phần mobility bắt đầu với MOB. Trong phụ lục A, các tập hợp thông báo quản lý MAC khác nhau và phần mô tả về những thông báo này được trình bày. Nhiều thông báo này sẽ được sử dụng trong các chương tiếp theo.

Các thông báo quản lý MAC rất thường có kiểu mã hóa TLV. Kiểu mã hóa TLV được giới thiệu trong mục tiếp theo.

8.6 Kiểu mã hóa TLV trong chuẩn 802.16

Một kiểu mã hóa TLV gồm ba trường (một tuple): Type, Length và Value. TLV là một phương pháp định dạng vốn thêm một thẻ (tag) vào mỗi tham số được truyền chứa loại tham số và chiều dài của tham số được mã hóa (giá trị). Type chứa ngầm định các quy tắc mã hóa. Kiểu mã hóa TLV được sử dụng cho các tham số trong các thông báo quản lý MAC. Nó cũng được sử dụng để cấu hình định nghĩa của các tham số như các bản cập nhật phần mềm, phiên bản phần cứng, Vendor ID, DHCP...

Chiều dài của trường Type là 1 byte. Các chiều dài của các trường còn lại được giải thích trong phần dưới đây.

Nếu chiều dài của trường Value nhỏ hơn hoặc bằng 127 byte thì chiều dài của trường Length là 1 byte, nơi bit có nghĩa nhất được xác lập sang 0. 7 bit khác của trường Length được sử dụng để biểu thị chiều dài của trường Value tính bằng các byte.

Nếu chiều dài của trường value hơn 127 byte thì chiều dài của trường Length hơn mức cần thiết 1 byte để xác định chiều dài của trường Value tính bằng các byte. Bit có nghĩa nhất được xác lập sang 1. 7 bit khác của byte đầu tiên của trường Length được sử dụng để biểu thị thêm số byte của trường Length (nghĩa là loại trừ byte đầu tiên này). Các byte còn lại (nghĩa là ngoại trừ byte đầu tiên) của trường Length được sử dụng để biểu thị chiều dài của trường Value.

Các tập hợp TLV rời nhau được tạo tương ứng với mỗi nhóm chức năng. Mỗi tập hợp TLV vốn được định nghĩa một cách tường minh là các thành viên của một cấu trúc TLV phức tạp hình thành thêm một tập hợp. Các giá trị Type duy nhất được gán vào các kiểu mã hóa TLV thành viên của mỗi tập hợp. Tính duy nhất của các giá trị TLV

Type sau đó được bảo đảm bằng cách nhận dạng các thực thể IEEE 802.16 (các thông báo quản lý MAC và/hoặc file cấu hình) vốn chia sẻ các tham chiếu dẫn sang những kiểu mã hóa TLV riêng biệt.

8.6.1 Mã hóa TLV

Bảng 8.7 mô tả ngắn gọn các tập hợp mã hóa TLV trong chuẩn 802.16. Đối với mỗi tập hợp mã hóa, phần của chuẩn được trình bày ở nơi có thể tìm thấy các chi tiết của kiểu mã hóa này. Đối với một số tập hợp TLV, chuẩn định nghĩa các tham số mã hóa TLV cho mỗi thông số PHY.

Bảng 8.7: Mô tả ngắn gọn về các tập hợp mã hóa TLV trong chuẩn 802.16. Một số giá trị Type chung cho các tập hợp khác nhau nhưng không thể có sự nhầm lẫn.

Tập hợp các kiểu mã hóa	Type	Mô tả
Các kiểu mã hóa chung	143-149	Định nghĩa các tham số chẳng hạn như công suất truyền (transmit power) hiện hành, bộ mô tả service flow downlink/uplink, thông tin HMAC (xem chương 15)... Một số tham số này được sử dụng bởi các tập hợp mã hóa TLV khác. Xem mục 11.1 của chuẩn.
Các kiểu mã hóa file cấu hình	1-7	Chỉ cho cấu hình (phần 9 của chuẩn). Định nghĩa các tham số như các bản cập nhật phần mềm, phiên bản phần cứng, Vendor ID... Xem mục 11.2 của chuẩn.
Các kiểu mã hóa thông báo quản lý UCD	1-5	Định nghĩa các tham số uplink chẳng hạn như uplink burst profile vốn có thể được sử dụng (xem chương 9). Mục 11.3 của chuẩn.
Các kiểu mã hóa thông báo quản lý UCD	1-17	Định nghĩa các tham số downlink chẳng hạn như downlink burst profile vốn có thể được sử dụng (xem chương 9). Mục 11.4 của chuẩn.
Các kiểu mã hóa thông báo quản lý RNG-REQ	1-4	Định nghĩa các tham số Ranging Request chẳng hạn như downlink burst profile được yêu cầu. Mục 11.5 của chuẩn.
Các kiểu mã hóa thông báo quản lý RNG-RSP	1-13	Định nghĩa các tham số ranging response. Ví dụ: Basic CID và Primary management CID là các thông báo được mã hóa TLV RNG-REQ. Mục 11.6 của chuẩn.

Các kiểu mã hóa thông báo quản lý REG-REQ/RSP	1-17	Định nghĩa các tham số Registration Request chẳng hạn như các khả năng CS, các tham số ARQ... (xem chương 11). Mục 11.7 của chuẩn.
Các kiểu mã hóa thông báo quản lý SBC-REQ/RSP	1-4	Định nghĩa các tham số SS Basic Capability Request chẳng hạn như các tham số vật lý được hỗ trợ và việc hỗ trợ cấp phát băng thông (xem chương II). Mục 11.8 của chuẩn.
Các kiểu mã hóa thông báo quản lý PKM-REQ/RSP	6-27 ngoại trừ 14, 25 và 26	Định nghĩa các tham số liên quan đến an ninh như SAID (Security As sociation IDentifier), chứng nhận (certificate) SS... (xem chương IS) mục 11.9 của chuẩn.
Các kiểu mã hóa thông báo quản lý MCA-REQ	1-6	Định nghĩa các tham số Multicast Assignment Request như Multicast CID, loại cấp phát định kỳ (periode allocation type)... Mục 11.10 của chuẩn.
Các kiểu mã hóa thông báo quản lý REP-REQ	1	Định nghĩa các tham số liên quan đến yêu cầu báo cáo đo kênh. Mục 11.11 của chuẩn.
Các kiểu mã hóa thông báo quản lý REP-RSP	1 và 2	Định nghĩa các tham số liên quan đến báo cáo đo kênh vốn là phản hồi đối với yêu cầu báo cáo đo kênh. Mục 11.12 của chuẩn.
Các kiểu mã hóa quản lý service flow	1-28 ngoại trừ 4 và 27, 99-107 và 143	Định nghĩa các tham số kết hợp với việc lập thời biểu uplink/downlink cho một service flow như SFID, CID... Mục 11.13 của chuẩn.

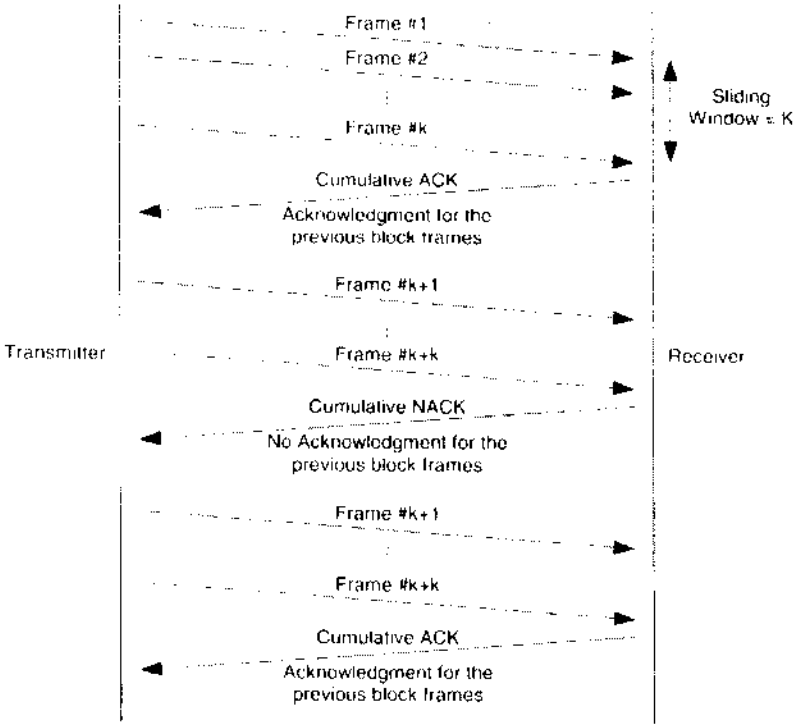
Trong bảng này, có thể thấy những giá trị Type của các tập hợp mã hóa TLV chung thì duy nhất (khi so sánh với các tập hợp khác). Đây là tập hợp duy nhất bảo đảm tính độc nhất cho một tổng thể.

Phụ lục B của sách này trình bày một ví dụ chi tiết về việc sử dụng kiểu mã hóa TLV trong 802.16.

8.7 Automatic Repeat Request (ARQ)

ARQ (Automatic Repeat reQuest) là một cơ cấu điều khiển của lớp liên kết dữ liệu nơi bộ nhận yêu cầu bộ phát gởi lại một khối dữ liệu khi các lỗi được phát triển. Cơ cấu ARQ dựa vào các thông báo báo

nhận (ACK) hoặc không báo nhận (NACK) được truyền bởi bộ nhận đến bộ phát để biểu thị một sự nhận (ACK) tốt hoặc kém (NACK) của các frame trước. Một cửa sổ trượt có thể được đưa ra để tăng tốc độ truyền. Hình 8.9 minh họa cơ cấu ARQ tích lũy.



Hình 8.9: Minh họa tiến trình ARQ tích lũy

Khối ARQ là một đơn vị dữ liệu riêng biệt được tải trên một nối kết được bật ARQ. Một khối ARQ được gán một số trình tự (SN) hoặc một Block Sequence Number (BSN) và được quản lý dưới dạng một thực thể riêng biệt bởi các bộ máy trạng thái (state machine) ARQ. Kích cỡ khối là một tham số được thương lượng trong sự thiết lập nối kết.

Một hệ thống hỗ trợ ARQ sau đó phải có thể nhận và xử lý các thông báo phản hồi ARQ. Thông tin phản hồi ARQ có thể được gởi dưới dạng một thông báo quản lý MAC độc lập (xem Type 33 trong bảng 8.5) trên nối kết quản lý basic thích hợp hoặc được piggyback (lắp ngược) trên một nối kết hiện có. Sự hồi tiếp ARQ được lắp ngược được gởi như sau: subheader payload hồi tiếp ARQ được giới thiệu trong mục 8.2.3 (xem bit Type 4 trong header frame MAC generic), có thể được sử dụng để gởi các biến thể ARQ ACK: cumulative (tích lũy), selective (chọn lọc), chọn lọc với tích lũy, tích lũy với khối. Khi được gởi trên một nối kết quản lý basic thích hợp, sự hồi tiếp ARQ không thể được phân đoạn.

ARQ là một cơ cấu MAC tùy chọn để thực thi trong chuẩn 802.16. Khi được thực thi, ARQ có thể được bật trên cơ sở mỗi nối kết. ARQ mỗi nối kết được xác định và được thương lượng trong quá trình tạo nối kết. Một nối kết không thể có hỗn hợp lưu lượng ARQ và lưu lượng không phải ARQ.

8.7.1 Dạng phản hồi ARQ

Thông báo Standalone ARQ Feedback có thể được sử dụng (ngoài việc lắp ngược ARQ) để truyền tín hiệu ARQ ACK khác nhau: cumulative, selective và selective with cumulative (chọn lọc với tích lũy). Bảng 8.8 trình bày ARQ Feedback Information Element (IE) được sử dụng bởi bộ nhận của một khối ARQ để gởi tín hiệu các thông báo nhận dương hoặc âm. Map ACK là một trường nơi mỗi bit biểu thị trạng thái (được nhận chính xác hay không) của khối ARQ được tham chiếu.

Bảng 8.8: Các nội dung ARQ Feedback Information Element (IE) (danh sách không toàn diện).

Trường	Kích cỡ	Ghi chú
CID	16 bit	ID của nối kết được tham chiếu
Last	1 bit	0 = nhiều IE phản hồi ARQ hơn trong danh sách; 1 = IE phản hồi ARQ sau cùng trong danh sách
ACK Type	2 bit	0x0 = Mục ACK lựa chọn, 0x1 = mục ACK tích lũy, 0x2 = mục ACK tích lũy với lựa chọn, 0x3 = ACK tích lũy với một thực thể ACK trình tự khối
BSN (Block Sequence Number)	11 bit	Định nghĩa của trường này là một hàm của ACK Type. Đối với ACK tích lũy, giá trị BSN biểu thị rằng khối và tất cả khối tương ứng của chúng có các giá trị kém hơn trong cửa sổ truyền đã được nhận thành công
Number of ACK maps	2 bit	Nếu ACK Type = 01, trường được dành riêng và được xác lập sang 00. Nếu không trường này biểu thị số map ACK: 0x0 = 1, 0x1 = 2, 0x2 = 3 và 0x3 = 4
(Đối với các loại ACK lựa chọn) một hoặc nhiều ACK Maps lựa chọn	16 bit mỗi map ACK	Mỗi bit được xác lập sang một biểu thị rằng khối ARQ tương ứng đã được nhận mà không có lỗi nào. Bit tương ứng với giá trị BSN trong

IE là bit có nghĩa nhất của mục map đầu tiên

Nếu ACK Type=0x1 (ARQ tích lũy), giá trị BSN biểu thị rằng khối tương ứng của nó và tất cả khối có các giá trị kém hơn trong cửa sổ truyền đã được nhận thành công. Hình 8.9 tượng trưng cho cơ cấu ACK ARQ tích lũy.

8.7.1.1 ACK lựa chọn và ACK tích lũy với lựa chọn

Mỗi bit được xác lập sang một trong ACK MAP lựa chọn biểu thị khối ARQ tương ứng đã được nhận thành công. Bit tương ứng với giá trị BSN trong ARQ Feedback Information IE là bit có ý nghĩa nhất của mục map đầu tiên. Các bit cho các số khối tiếp theo được gán từ trái sang phải (MSB - LSB) trong mục map.

ACK tích lũy với lựa chọn kết hợp các cơ cấu tích lũy (cumulative) và lựa chọn (selective): sự báo nhận (ACKnowledgement) được thực hiện cho một số khối ARQ.

8.7.1.2 ARQ và Packing hoặc Fragmentation

Cơ cấu ARQ có thể được áp dụng vào các MAC SDU được phân đoạn hoặc MAC PDU được đóng gói. Trong trường hợp, bit Extended Type trong header MAC generic phải được xác lập sang 1 (xem mục 8.2).

8.7.2 Cơ cấu Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ)

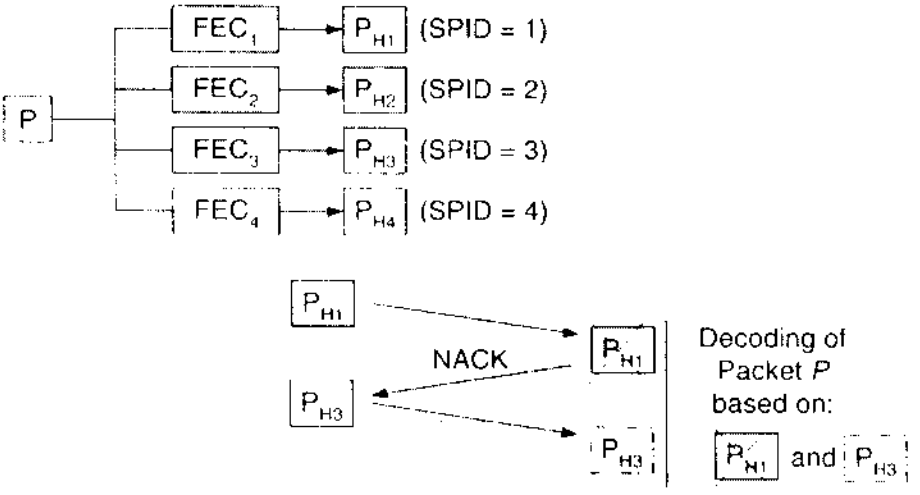
Cơ cấu Hybrid ARQ (HARQ) sử dụng một mã kiểm soát lỗi ngoài phương pháp truyền lại để bảo đảm việc truyền các gói dữ liệu (tương ứng với ARQ) một cách đáng tin cậy hơn. Sự khác biệt chính giữa một phương pháp ARQ và một phương pháp HARQ là trong HARQ, các lần truyền lại tiếp theo được kết hợp với các lần truyền lại được nhận có lỗi trước đó để nâng cao độ tin cậy được xác định và được thương lượng trong thủ tục khởi tạo. Một burst (chớp tín hiệu) không thể có hỗn hợp lưu lượng HARQ và lưu lượng không phải HARQ. Phương pháp HARQ là một phần tùy chọn của MAC chuẩn 802.16. HARQ có thể chỉ được hỗ trợ bởi giao diện PHYsical OFDMA.

Đối với HARQ downlink, cần đến một sự trao đổi ACK/NACK nhanh. Uplink slots ACK (ULACK) trong frame OFDMA cho phép sự phản hồi nhanh này (xem frame OFDMA trong chương 9).

Hai loại HARQ chính được hỗ trợ:

- Incremental Redundancy (IR) cho CTC và CC. Lớp PHY mã hóa gói HARQ tạo một số phiên bản của các gói con được mã hóa (xem hình 8.10). Mỗi gói con (subpacket) được nhận dạng duy nhất bởi một SubPacket IDentifier (SPID). Bốn gói con có thể được tạo

cho một gói cần được mã hóa. Đối với mỗi lần truyền lại, khối được mã hóa (SPID) khác với khối được mã hóa được truyền trước đó.



Hình 8.10: Incremental Redundancy (IR) HARQ

- Chase Combining (CC) cho tất cả phương pháp mã hóa. Việc truyền lại giống hệt như khối được truyền ban đầu. Lớp PHY mã hóa gói HARQ tạo chỉ một phiên bản của gói được mã hóa (không đòi hỏi SPID).

Một SS có thể hỗ trợ IR và một SS có thể hỗ trợ CC hoặc IR.

8.8. Lập thời biểu và sự thích ứng liên kết

Việc lập thời biểu (scheduling) sẽ được mô tả trong chương 11. Vào giai đoạn này, một số nguyên tắc lập thời biểu sẽ được giới thiệu và sẽ được sử dụng trước chương 11. Các dịch vụ lập thời biểu là những cơ cấu xử lý dữ liệu cho phép phân bố công bằng các tài nguyên giữa những người dùng WiMAX/802.16 khác nhau. Mỗi nối kết được kết hợp với một dịch vụ dữ liệu và mỗi dịch vụ dữ liệu được kết hợp với một tập hợp tham số QoS vốn định lượng những khía cạnh về hành vi của chúng, được gọi là một lớp QoS.

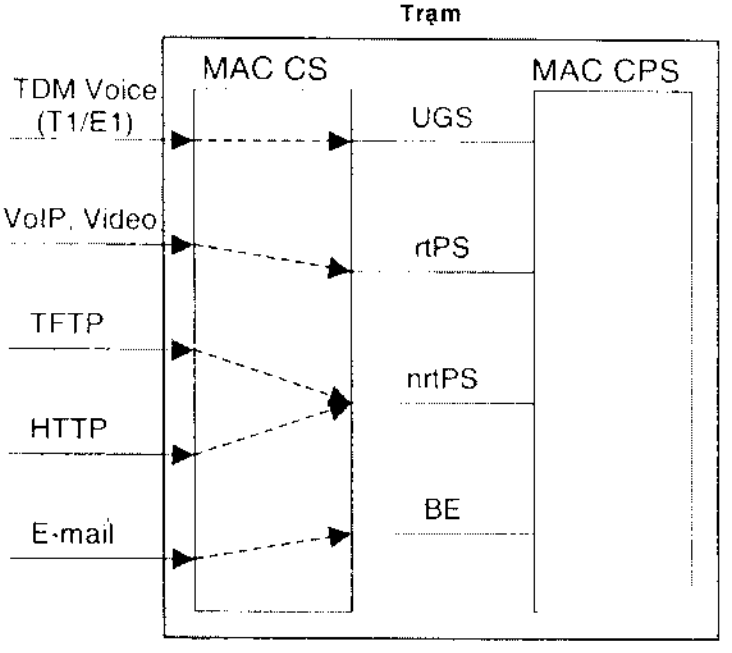
Bốn lớp QoS đã được định nghĩa trong chuẩn 802.16-2004 (và sau đó trong WiMAX)là:

- Unsolicited Grant Service (UGS)
- real-time Polling Service (rtPS)
- non-real-time Polling Service (nrtPS)
- Best Effort (BE)

Một lớp thứ năm đã được bổ sung với 802.16e: lớp extended real-time Polling Service (ertPS).

Mục đích lập thời biểu là cho phép mọi người dùng nếu có thể có QoS thích hợp được yêu cầu cho ứng dụng của mình. Ví dụ, một người dùng gởi một email không đòi hỏi luồng dữ liệu thời gian thực, không giống như người dùng khác có một ứng dụng Voice over IP (VoIP).

Cơ cấu chính để cung cấp QoS là kết hợp các gói đi qua giao diện MAC vào một service flow như được nhận dạng bởi CID. Như đã đề cập trong chương trước, lớp MAC CS phân loại các ứng dụng người dùng khác nhau trong năm loại dịch vụ này. Một khi hoạt động đó được tiến hành, vai trò của lớp MAC CPS là cung cấp việc thiết lập và duy trì nối kết giữa hai phía. Hình 8.11 minh họa các cơ cấu lập thời biểu trong một trạm (BS hoặc SS).



Hình 8.11: Các cơ cấu lập thời biểu trong một trạm (BS hoặc SS).

Trong chế độ PMP, BS điều khiển việc lập thời biểu uplink và downlink. Việc lập thời biểu yêu cầu/cấp phát uplink (xem chương 9) được tiến hành bởi BS với mục đích cung cấp cho mỗi SS thứ cấp một băng thông cho các cuộc truyền uplink hoặc các cơ hội để yêu cầu băng thông.

Sự thích ứng liên kết (link adaptation) cung cấp một hiệu suất khá tốt cho những ứng dụng khác nhau và một sự tối ưu hóa tốt việc sử dụng các tài nguyên vô tuyến, nhận ra QoS được yêu cầu để truyền

các luồng dữ liệu. Sự thích ứng liên kết là một sự chỉnh sửa thích ứng của burst profile, chủ yếu là sự điều biến và các loại mã hóa kênh vốn xảy ra trong liên kết vật lý để làm cho lưu lượng thích ứng với một điều kiện kênh vô tuyến mới. Nếu CINR giảm, sự thay đổi được thực hiện đối với một sự điều biến và sự mã hóa mạnh mẽ để nâng cấp hiệu suất (thông lượng dữ liệu); nếu không, một profile kém mạnh mẽ hơn được chọn. Để biết thêm chi tiết về sự thích ứng liên kết và những chuyển tiếp burst profile, xem chương 11.

Chương 9

Mô tả sự đa truy cập và Burst Profile

9.1 Giới thiệu

Mục đích của chương này là mô tả sự đa truy cập (multiple access) của WiMAX/802.16. Chúng ta có thể thấy rằng các cơ cấu đa truy cập và chia sẻ tài nguyên vô tuyến thì khá phức tạp. Có thể nói chúng phức tạp hơn những dịch vụ wireless đã biết khác chẳng hạn như dịch vụ GSM, WiFi/IEEE 802.11 hoặc thậm chí UMTS. Tuy nhiên, nói chung sự đa truy cập WiMAX là một F/TDMA (Frequency và Time Division Multiple Access) cực kỳ linh hoạt.

Khái niệm về service flow trên một nối kết là trung tâm cho hoạt động của giao thức MAC. Các service flow trong chuẩn 802.16 cung cấp một cơ cấu để quản lý QoS trong uplink và downlink. Các service flow không thể thiếu được cho tiến trình cấp phát băng thông. Trong tiến trình này, một SS yêu cầu một băng thông uplink trên cơ sở mỗi nối kết (nhận dạng service flow một cách ngầm định). Băng thông được cấp phát bởi BS cho một SS nhằm phản hồi lại các yêu cầu mỗi nối kết từ SS. WiMAX đã được gọi là một hệ thống Demand Assigned Multiple Access (DAMA).

Đầu tiên, các khả năng song công (duplexing) được mô tả trong mục 9.2. Các frame vật lý được mô tả trong mục 9.3. Các cuộc truyền WiMAX xảy ra trên các chớp tín hiệu (burst) hoàn toàn động. Khái

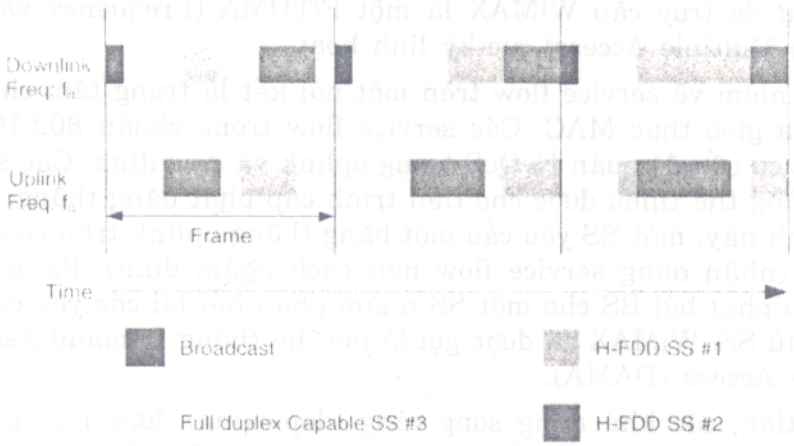
niệm về sự đa truy cập liên quan chặt chẽ đến burst profile. Các nội dung frame được biểu thị trong các thông báo DL-MAP và UL-MAP được mô tả trong mục 9.4. Khái niệm về một burst (chớp tín hiệu) trong chuẩn 802.16 và cách các burst profile được thông báo trong BS được nêu chi tiết trong mục 9.5. Trường hợp cụ thể của chế độ Mesh được giải quyết trong mục 9.6.

9.2 Song công: Cả FDD và TDD đều có thể thực hiện được

Chuẩn WiMAX/802.16 bao gồm hai kỹ thuật song công (duplexing) chính: Time Division Duplexing (TDD) và Frequency Division Duplexing (FDD). Việc lựa chọn một kỹ thuật song công này hoặc kỹ thuật song công khác có thể ảnh hưởng đến những tham số PHY nhất định cũng như tác động đến những tính năng vốn có thể được hỗ trợ. Tiếp theo, từng kỹ thuật song công này sẽ được thảo luận.

9.2.1 Chế độ FDD

Trong một hệ thống FDD, các kênh uplink và downlink được định vị trên các tần số riêng biệt. Một khung thời gian cố định được sử dụng cho các cuộc truyền uplink và downlink. Điều này làm dễ dàng sử dụng các loại điều biến khác nhau. Nó cũng cho phép sử dụng đồng thời các SS toàn song công (full-duplex) vốn có thể truyền và nhận đồng thời và tùy chọn các SS bán song công (H-FDD cho Half-duplex Frequency Division Duplex), vốn không thể. Một SS toàn song công có khả năng lắng nghe liên tục kênh downlink, trong khi một SS bán song công (half-duplex) có thể lắng nghe chỉ kênh downlink khi nó không truyền trên kênh uplink. Hình 9.1 minh họa các trường hợp khác nhau của chế độ hoạt động FDD.

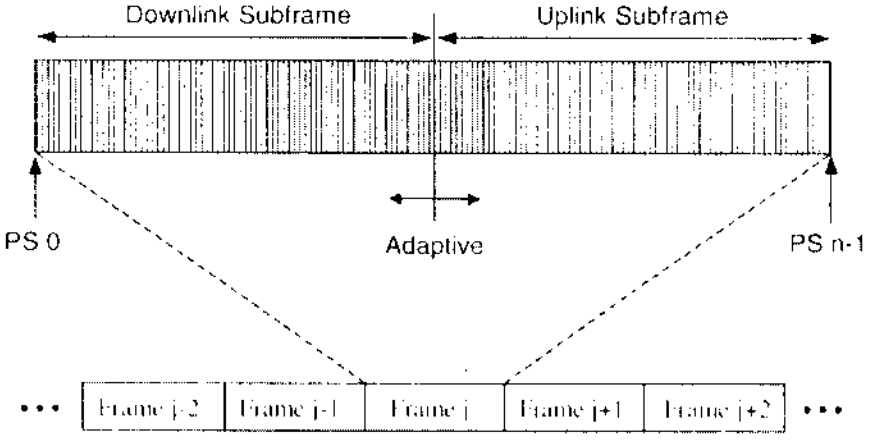


Hình 9.1: Minh họa các hoạt động chế độ FDD khác nhau: broadcast, full duplex và half duplex. Các SS bán song công dưới dạng SS 1 và 2 trong hình này có thể lắng nghe kênh hoặc gởi thông tin (một cách độc quyền).

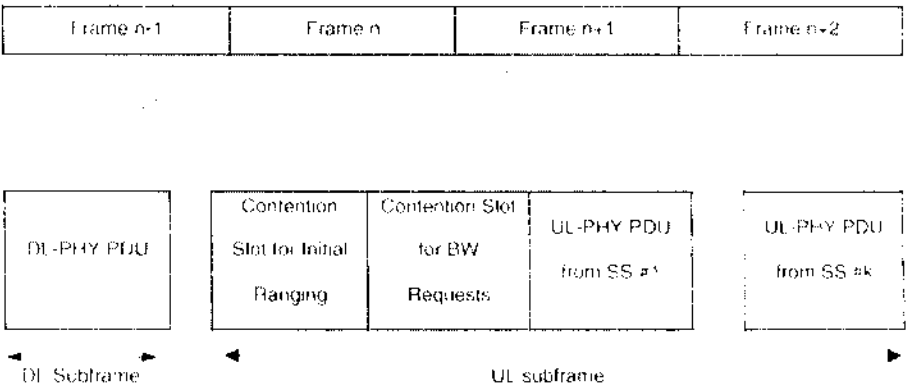
Khi các SS bán song công được sử dụng, bộ điều khiển băng thông không cấp phát băng thông uplink cho một SS bán song công cùng thời điểm với cái sau được mong đợi nhận dữ liệu trên kênh downlink, bao gồm cho phép trễ dịch chuyển truyền uplink/downlink.

9.2.2 Chế độ TDD

Trong trường hợp của TDD, các cuộc truyền uplink và downlink chia sẻ cùng một tần số nhưng chúng xảy ra vào các thời điểm khác nhau. Một frame TDD (xem hình 9.2 và 9.3) có khoảng thời gian cố định và chứa một frame con downlink và một frame con uplink. Frame được phân chia thành một số Physical Slot (PS) số nguyên vốn giúp phân chia băng thông một cách dễ dàng. Đối với các lớp PHYsical OFDM và OFDMA, một PS được định nghĩa là khoảng thời gian của bốn ký hiệu điều biến. Frame không nhất thiết được phân chia thành hai phần bằng nhau. Việc tạo frame TDD mang tính thích ứng trong đó băng thông được cấp phát cho downlink so với uplink có thể thay đổi. Sự tách giữa uplink và downlink là một tham số hệ thống và chuẩn 802.16 cho biết rằng nó được điều khiển tại các lớp cao hơn trong hệ thống.



Hình 9.2: Frame TDD: các cuộc truyền uplink và downlink chia sẻ cùng một tần số nhưng có các thời gian truyền khác nhau.



Hình 9.3: Dạng chung của một frame TDD (OFDM PHY). Trong chế độ FDD, frame con downlink và các frame con uplink được truyền trên hai tần số riêng biệt dưới dạng frame uplink và frame downlink. Các nội dung như nhau cho FDD và TDD.

Tôpô mesh (mạng lưới) hỗ trợ chỉ song công TDD.

So sánh hai chế độ, một khung thời gian cố định được sử dụng cho các cuộc truyền uplink và downlink trong FDD trong khi sự phân phối TDD thì có tính thích ứng. Do đó, song công TDD thích hợp hơn khi các tốc độ dữ liệu không đối xứng (giữa uplink và downlink), ví dụ cho một cuộc truyền Internet.

Sau khi giải quyết câu hỏi về song công (duplexing), nhiều người dùng phải chia sẻ tài nguyên băng thông trong mỗi loại truyền.

9.3 Truyền các Frame con Downlink và Uplink

Các cuộc truyền downlink và uplink cùng tồn tại theo một trong hai chế độ song công: TDD hoặc FDD. Chúng được gởi qua các frame con downlink và uplink. Bây giờ nhiều thông tin cụ thể hơn được trình bày về mỗi trong hai frame con này cho OFDM PHY. Cấu trúc của các frame con downlink và uplink giống nhau cho TDD và FDD.

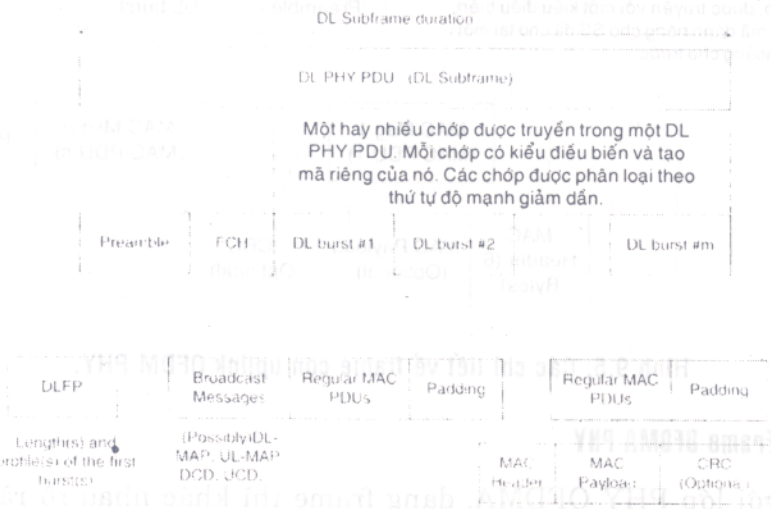
9.3.1 Frame con Downlink OFDM PHY

Một frame con downlink OFDM PHY gồm chỉ một downlink PHY PDU, PDU này có thể được chia sẻ bởi nhiều SS. Một downlink PHY PDU bắt đầu với một preamble dài vốn cho phép đồng bộ hóa PHY để lắng nghe các SS. Một SS lắng nghe đồng bộ hóa với downlink sử dụng preamble (xem mục 9.3.5 và chương 11). Theo sau preamble là một chớp tín hiệu Frame Control Header (FCH). FCH chứa Downlink Frame Prefix (DLFP) vốn xác định burst profile và chiều dài của tối thiểu một chớp tín hiệu downlink theo sau ngay FCH. Một số burst profile và chiều dài downlink lên đến bốn sau FCH, có thể được xác định trong DLFP. Một trường HCS chiếm byte cuối cùng của DLFP.

Đối với OFDM PHY, chuẩn xác định rằng DLFP là một ký hiệu OFDM có sự điều biến và phương pháp mã hóa mạnh nhất. Sự điều biến và phương pháp mã hóa có thể được xem là BPSK với tốc độ mã hóa là 1/2. Trong DLFP, những điều sau đây được xác định:

- Vị trí và profile của chớp tín hiệu downlink đầu tiên (ngay sau FCH)
- Vị trí và profile của số chớp tín hiệu tiếp theo tối đa. Vị trí và profile của các chớp tín hiệu khác được xác định trong thông báo quản lý MAC DL-MAP (xem mục 9.4). Profile được xác định bởi một Rate_ID 4 bit (đối với các chớp tín hiệu được biểu thị bởi DLFP) hoặc bởi DIUC (trong các DL-MAP).

Mỗi chớp tín hiệu downlink có thể được gởi đến một (unicast) hoặc nhiều SS (multicast hoặc broadcast). Một thông báo DL-MAP (bộ chỉ báo việc sử dụng frame downlink, xem bên dưới), nếu được truyền trong frame hiện hành (một trường hợp nơi không cần đến DL-MAP. DLFP xác định tất cả burst profile của frame con downlink), phải là MAC PDU đầu tiên trong chớp tín hiệu theo sau FCH. Một thông báo UL-MAP (bộ chỉ báo việc sử dụng frame uplink, xem bên dưới) theo ngay sau thông báo DL-MAP (nếu có một) hoặc FCH. Nếu các thông báo UCD VÀ DCD được truyền trong frame, chúng theo ngay sau các thông báo DL-MAP và UL-MAP. Theo sau FCH là một hoặc nhiều chớp tín hiệu downlink. Cùng một hoặc nhiều burst profile có thể được sử dụng nhiều lần (đây là một bản cập nhật 16e của 802.16-2004 vốn đã yêu cầu mỗi chớp tín hiệu được truyền với một burst profile khác). Những chớp tín hiệu downlink này được truyền theo thứ tự tính mạnh mẽ giảm dần của các burst profile của chúng. Dạng chung của một frame con downlink được minh họa trong hình 9.4. Các bộ chỉ báo burst profile là DIUC và UIUC, được mô tả theo trình tự.

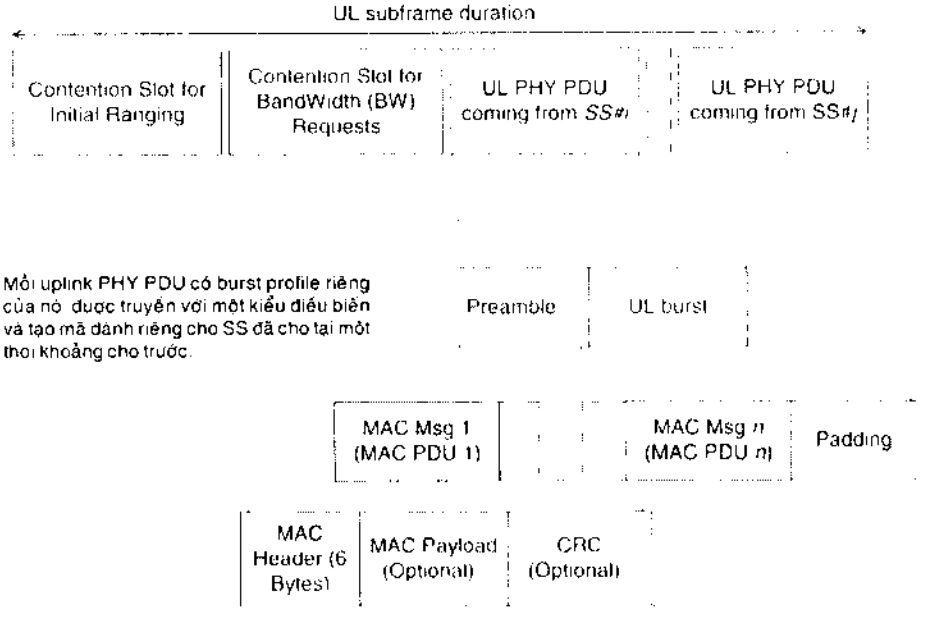


Hình 9.4: Các chi tiết về frame con downlink OFDM PHY. Mỗi chớp tín hiệu downlink có thể được gởi đến một SS (unicast) hoặc nhiều SS (multicast hoặc broadcast).

9.3.2 Frame con Uplink OFDM PHY

Hình 9.5 tượng trưng cho cấu trúc của một frame con uplink. Một frame con uplink OFDM PHY gồm ba phần chung theo thứ tự sau đây:

- Các slot tranh chấp cho phép initial ranging (xác định phạm vi ban đầu). Thông qua Initial Ranging IE, BS xác định một khoảng thời gian trong đó các trạm (station) mới có thể gia nhập mạng (xem chương 11 để biết về thủ tục initial ranging). Các gói được truyền trong khoảng thời gian này sử dụng thông báo quản lý RNG-REQ (Ranging Request) MAC và được truyền bằng cách sử dụng một thủ tục tranh chấp vì những xung đột có thể xảy ra với các SS đến khác (xem chương 10 để biết các thủ tục tranh chấp).
- Các slot tranh chấp cho phép các yêu cầu băng thông. Thông qua Request IE, BS xác định một khoảng thời gian uplink trong đó các yêu cầu có thể thực hiện cho một băng thông để truyền dữ liệu uplink (xem chương 10 để biết chi tiết về yêu cầu băng thông).
- Một hoặc nhiều PHY PDU uplink, mỗi cái được truyền trên một chớp tín hiệu. Từng PDU này là một frame con uplink được truyền từ một SS khác. Một PDU có thể truyền trong một thông báo SS MAC.

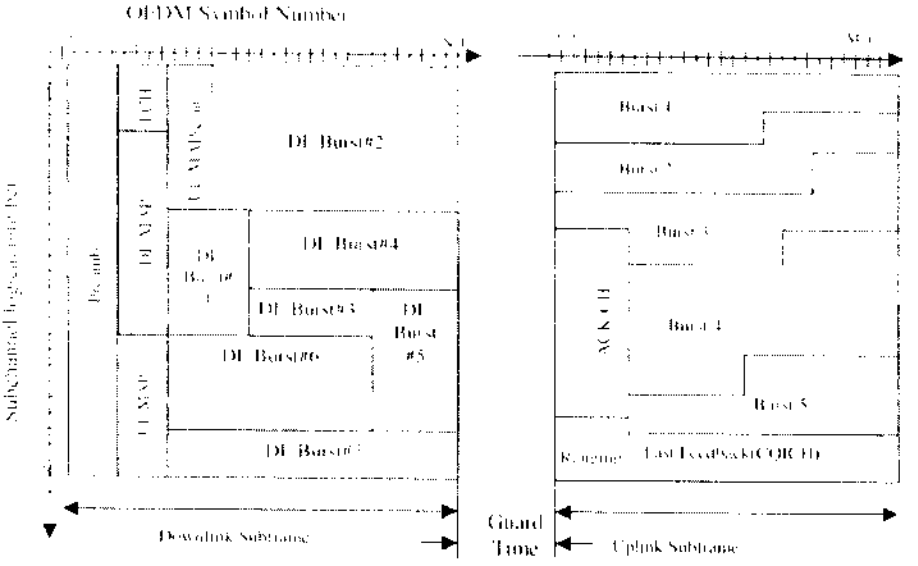


Hình 9.5: Các chi tiết về frame con uplink OFDM PHY.

9.3.3 Frame OFDMA PHY

Đối với lớp PHY OFDMA, dạng frame thì khác nhau rõ ràng, xem xét sự ánh xạ dữ liệu được thực hiện trên hai chiều: thời gian và các sóng mang thứ cấp. Hình 9.6 minh họa một ví dụ về frame OFDMA

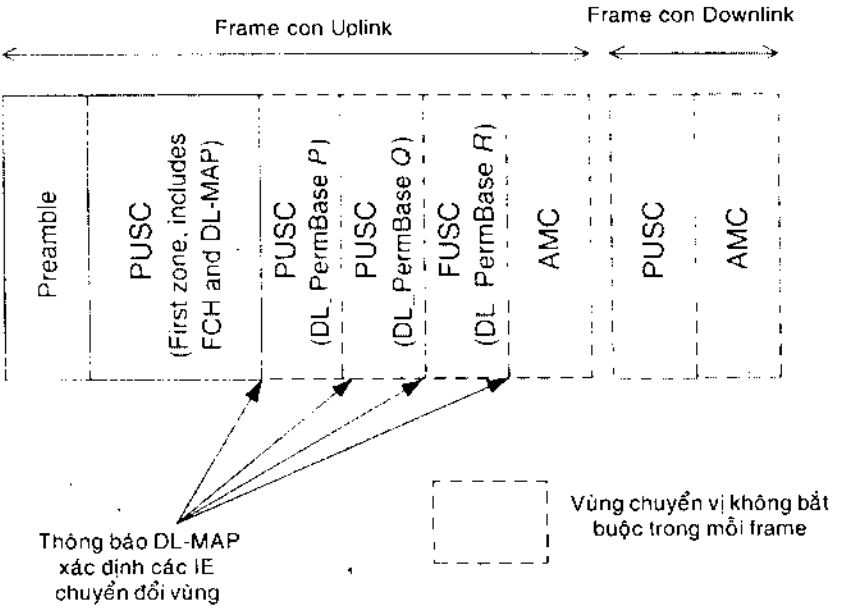
trong chế độ TDD. Hình này bao gồm các phần tử frame OFDMA không bắt buộc.



Hình 9.6: Ví dụ về một frame OFDMA trong chế độ TDD.

Sự chuyển tiếp giữa những điều biến và mã hóa xảy ra trên các biên slot trong miền thời gian (ngoại trừ trong vùng AAS) và trên các kênh con bên trong một ký hiệu OFDMA trong miền tần số. FCH được truyền bằng cách sử dụng tốc độ OPSK 1/2 với bốn lần lặp lại sử dụng phương pháp mã hóa bắt buộc. Sau đó, thông tin FCH được gởi trên bốn kênh con gần kề với các số kênh con logic liên tục trong một vùng PUSC. FCH chứa DLFP vốn xác định chiều dài của thông báo DL-MAP đứng ngay sau DLFP và mã lặp lại được sử dụng cho thông báo DL-MAP.

Frame OFDMA có thể bao gồm nhiều vùng (chẳng hạn như PUSC, FUSC, PUSC với tất cả kênh con, FUSC, AMC, TUSC1 và TUSC2 tùy chọn). Chuyển tiếp giữa các vùng được biểu thị trong DL-MAP bởi STC_DL_Zone hoặc AAS DL_IE. Cả hai DIUC này là các phần gán riêng biệt DIUC (=15) mở rộng. Các phần cấp phát DL-MAP và UL-MAP không thể trải rộng qua nhiều vùng. Hình 9.7 minh họa một frame OFDMA có nhiều vùng. Trong vùng PUSC đầu tiên của downlink (vùng đầu tiên), trình tự đánh số lại mặc định được sử dụng để đánh số logic cluster.



Hình 9.7: Minh họa frame OFDMA với nhiều vùng.

Cấu trúc frame được sử dụng cho uplink bao gồm:

- Sự cấp phát để xác định phạm vi (ranging). Kênh con xác định phạm vi uplink được cấp phát cho SS để xác định phạm vi (initial/periodic/ handover ranging) và các yêu cầu băng thông.
- Slot phản hồi nhanh bao gồm bốn bit dữ liệu payload có kiểu mã hóa có thể chứa các số đo CINR, các thông báo vận hành handover, các yêu cầu băng thông rtPS mở rộng... BS có thể cấp phát một CQICH (Channel Quality Information CHannel) (còn được gọi là một kênh phản hồi nhanh) sử dụng một CQICH_IE (CQICH_allocation_IE hoặc CQICH_Control_IE) cho các báo cáo CINR định kỳ. Sự phản hồi thông tin trạng thái kênh upkink này được sử dụng cho một số hoạt động handover (chuyển giao) và MIMO. CQICH cũng hiện hữu cho downlink.
- Các phần cấp phát dữ liệu truyền tín hiệu tùy chọn khác là các kênh con liên quan đến handover, các kênh con liên quan đến MIIO, kênh con HARQ UL, kênh con HARQ ACK. Power_control_IE, AAS_UL_IE...
- Cấp phát để truyền dữ liệu.

9.3.4 Khoảng thời gian Frame

Các giá trị có thể có của khoảng thời gian phụ thuộc vào lớp PHYsical. Các giá trị khoảng thời gian frame cho lớp PHY OFDM (WiMAX) được trình bày trong bảng 9.1 với các mã khoảng thời gian frame tương ứng. Đối với lớp PHY OFDMA, một giá trị được thêm

vào danh sách này: 2 ms. Đối với các profile hệ thống mobile WiMAX (OFDMA) chỉ một khoảng thời gian 5 ms thì bắt buộc.

Bảng 9.1: Các giá trị có thể có của khoảng thời gian frame cho giao diện PHY OFDM (WiMAX)

Mã khoảng thời gian frame	Khoảng thời gian frame (ms)
0	2.5
1	4
2	5
3	8
4	10
5	12.5
6	20
7-255	dành riêng

Khoảng thời gian frame được quyết định bởi BS. Giá trị này được truyền trong thông báo DCD trên mã khoảng thời gian frame (trên 8 bit), như được thấy trong mục 9.5.2 và phụ lục B. Đối với hai hệ thống song công, quy tắc như sau:

- Trong một hệ thống FDD, các kênh uplink và downlink được định vị trên các tần số riêng biệt. Một khung thời gian cố định được sử dụng cho các cuộc truyền uplink và downlink.
- Trong trường hợp của TDD, các cuộc truyền uplink và downlink xảy ra tại các khoảng thời gian khác nhau (bổ sung) trong khi chia sẻ cùng một tần số. Một frame TDD chứa một frame con downlink và một frame con uplink. Dạng chung của một frame OFDM PHY TDD được minh họa trong hình 9.3. Đối với OFDMA PHY, dạng rõ ràng khác nhau, xem xét hai chiều: thời gian và các sóng mang thứ cấp (xem hình 9.6).

9.3.5 Các preamble

Một preamble 802.16 là một dãy ký hiệu (symbol) được định nghĩa theo chuẩn được biết bởi bộ nhận. Preamble này được sử dụng bởi lớp PHYsical để đồng bộ hóa và cân bằng. Preamble phải được xem xét để tính toán chính xác tốc độ dữ liệu hữu dụng.

Đối với PHY OFDM, tất cả preamble được tạo cấu trúc dưới dạng một (preamble ngắn) hoặc hai (preamble dài) ký hiệu OFDM. Các ký hiệu OFDM được định nghĩa bởi những giá trị của các sóng mang thứ cấp biên soạn. Cyclic Prefix (CP) của các ký hiệu OFDM đó có cùng một chiều dài với CP của các ký hiệu OFDM dữ liệu.

Preamble dài được sử dụng trong các trường hợp sau đây:

- preamble đầu tiên trong downlink PHY PDU;
- preamble xác định phạm vi ban đầu (initial ranging);
- preamble AAS.

Preamble ngắn được sử dụng trong những trường hợp sau đây:

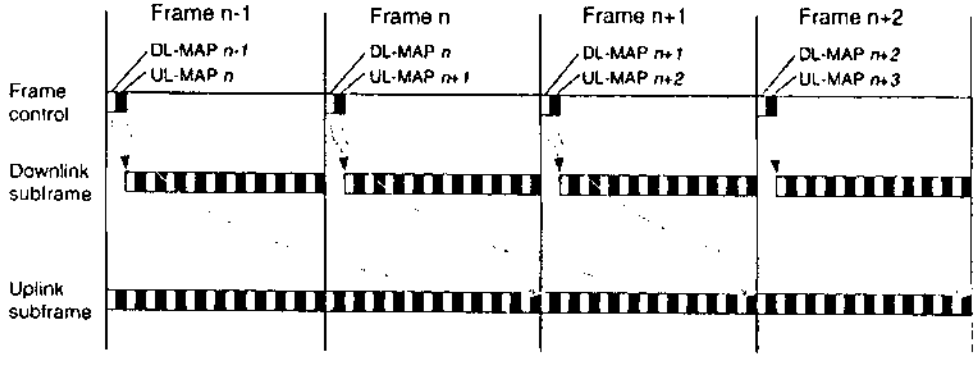
- preamble đầu tiên trong uplink PHY PDU, khi sự phân kênh con không được áp dụng.
- trong các chớp tín hiệu downlink vốn rơi bên trong vùng được mã hóa bằng STC, preamble được truyền từ cả hai anten truyền cùng một lúc.
- một preamble chớp tín hiệu trên các chớp tín hiệu downlink khi được xác định trong DL-MAP_IE.

Trong trường hợp sự cấp phát uplink chứa các midamble, các midamble gồm một ký hiệu OFDM và giống hệt với preamble được sử dụng với sự cấp phát.

Đối với lớp OHY OFDMA, preamble là một số sóng mang thứ cấp.

9.4 Các Map của sự đa truy cập: DL-MAP và UL-MAP

Các thông báo quản lý DL-MAP và UL-MAP MAC được truyền phát đại chúng (broadcast) lần lượt định nghĩa sự truy cập đến thông tin downlink và uplink. DL-MAP là một thông báo quản lý MAC xác định các thời gian bắt đầu chớp tín hiệu trên downlink. Tương đương, UL-MAP là một tập hợp thông tin xác định toàn bộ sự truy cập (uplink) cho tất cả SS trong một khoảng thời gian lập thời biểu. Sau đó, DL-MAP và UL-MAP là những thư mục được truyền phát đại chúng bởi BS của các frame downlink và uplink. Hình 9.8 minh họa một ví dụ về việc sử dụng DL-MAP và UL-MAP trong chế độ FDD.



Hình 9.8: DL-MAP và UL-MAP xác định việc sử dụng các frame con downlink và uplink (chế độ FDD).

Đối với các lớp PHY OFDM và OFDMA (cả WiMAX), sự cấp phát truy cập của DL-MAP và UL-MAP tính bằng các đơn vị của các ký hiệu và các kênh con (đối với OFDMA). Thông tin thời gian trong DL-MAP và UL-MAP thì tương ứng. Các khoảng thời gian sau đây được sử dụng làm tham chiếu cho thông tin thời gian cho mỗi trong hai thời gian này:

- DL-MAP DL-MAP: bắt đầu ký hiệu đầu tiên (kể cả preamble nếu hiện diện) của frame mà thông báo đã được truyền trong đó;
- UL-MAP: bắt đầu ký hiệu đầu tiên (kể cả preamble nếu hiện diện) của frame mà thông báo đã được truyền trong đó cộng với giá trị của Allocation Start Time (có giá trị được cho trong thông báo UL-MAP, xem bên dưới).

Thông tin trong DL-MAP nói về frame hiện hành (frame mà thông báo DL-MAP được gởi trong đó). Thông tin được tải trong UL-MAP quan tâm đến một khoảng thời gian bắt đầu tại Allocation Start Time được đo từ đầu frame hiện hành và kết thúc sau phần cấp phát đã xác định sau cùng. Do đó, có hai khả năng về frame nào liên quan đến UL-MAP (được phân biệt bởi trường Allocation Start Time trong UL-MAP):

- UL-MAP n phục vụ frame n + 1 (như trong hình 9.8), được nhận dạng là sự liên quan thời gian tối đa của DL-MAP và UL-MAP trong phần tham khảo.
- UL-MAP n phục vụ frame n, được nhận dạng bởi sự liên quan thời gian tối thiểu của DL-MAP và UL-MAP trong phần tham khảo.

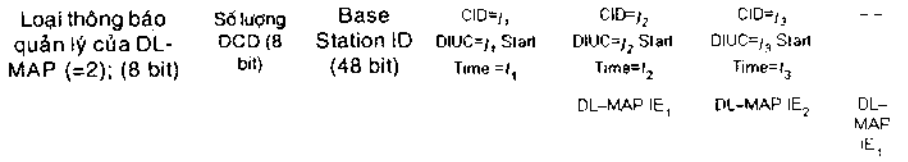
Hai khoảng thời gian này có thể được sử dụng cho các loại hoạt động TDD và FDD.

9.4.1 Thông báo DL-MAP

DL-MAP là một thông báo quản lý MAC định nghĩa thời gian bắt đầu và các profile chớp tín hiệu trên downlink. Mỗi thời gian bắt đầu chớp tín hiệu được biểu thị bởi một DL-MAP_IE (DL-MAP Information Elements). Dạng DL-AMP_IE phụ thuộc vào lớp PHY. Các BS tạo các thông báo OFDM PHY DL-MAP có dạng được minh họa trong hình 9.9, kể cả tất cả tham số sau đây:

- Loại thông báo quản lý MAC (=2 cho DL-MAP)
- Dễ dàng hóa PHY. Trường đồng bộ hóa PHY phụ thuộc vào thông số PHY được sử dụng. Trường này rỗng (dài zero byte) đối với lớp PHY OFDM.
- Số lượng DCD. Giá trị của Configuration Change Count (trường CCC) của DCD, vốn mô tả các downlink burst profile được quan tâm bởi map này.

- Base Station ID. Base Station ID là một trường dài 48 bit nhận dạng BS. Base Station ID có thể lập trình: 24 bit có ý nghĩa nhất được gởi dưới dạng operator ID. Đây là một móc nối quản lý mạng được kết hợp với Downlink Channel ID của thông báo DCD để xử lý các tình huống edge-of-sector và edge-of-cell. Rõ ràng, đây không phải là địa chỉ MAC của BS.



Hình 9.9: Thông báo quản lý DL-MAP MAC cho OFDM PHY. Mỗi DL-MAP IE biểu thị thời gian bắt đầu của một chớp tín hiệu downlink và burst profile (các chi tiết kênh kể cả các thuộc tính vật lý) của chớp tín hiệu này.

Phần còn lại của một DL-MAP là kiểu mã hóa của các DL-MAP IE vốn phụ thuộc vào thông số POHY. DL-MAP IE của lớp PHY OFDM có dạng được minh họa trong hình 9.10 và bao gồm tất cả tham số sau đây:

- **Connection IDentifier (CID).** Điều này nhận ra việc gán ID vào một địa chỉ broadcast, multicast hoặc unicast. Nếu CID broadcast hoặc multicast được sử dụng khi có thể ghép các unicast MAC PDU (có các CID khác nhau) thành một chớp tín hiệu downlink đơn. Trong một chớp tín hiệu downlink broadcast hoặc multicast, BS có trách nhiệm bảo đảm rằng bất kỳ MAC PDU được gởi đến một H-FDD SS không phủ chồng bất kỳ sự cấp phát uplink cho SS đó. Một H-FDD SS mà một DL-MAP DL-MAP_IE và UL-MAP-IE phủ chồng thời gian sử dụng sự cấp phát uplink và loại bỏ lưu lượng downlink trong khoảng thời gian phủ chồng.
- **DIUC.** DIUC 4 bit xác định loại chớp tín hiệu được kết hợp với khoảng thời gian chớp tín hiệu. Phần mô tả burst profile là một phần của thông báo DCD cho mỗi DIUC được sử dụng trong DL-MAP ngoại trừ các DOUC được kết hợp với Gap, End of Map và Extended (xem DIUC trong mục 9.5 bên dưới).
- **Preamble present.** Nếu được xác lập, chớp tín hiệu được xác định sẽ bắt đầu với preamble ngắn (xem ở trên để biết về các preamble). Trong downlink, một preamble ngắn có thể được chèn tùy chọn ở đầu chớp tín hiệu downlink ngoài preamble dài vốn hiện hữu theo mặc định ở đầu frame.
- **Start Time.** Điều này biểu thị thời gian bắt đầu, tính bằng các đơn vị của khoảng thời gian ký hiệu OFDM, tương ứng với phần đầu của ký hiệu đầu tiên của PHY PDU (kể cả preamble) nơi thông báo DL-MAP được truyền. Khoảng thời gian được xác định bởi giá trị Start

Time là khoảng thời gian truyền của ký hiệu đầu tiên của chớp tín hiệu kể cả preamble (nếu hiện diện). Phần cuối của chớp tín hiệu được cấp phát cuối cùng để biểu thị bởi việc cấp phát một chớp tín hiệu End of Map (DIUC = 14) với khoảng thời gian zero (xem phần DIUC trong mục 9.5.5).

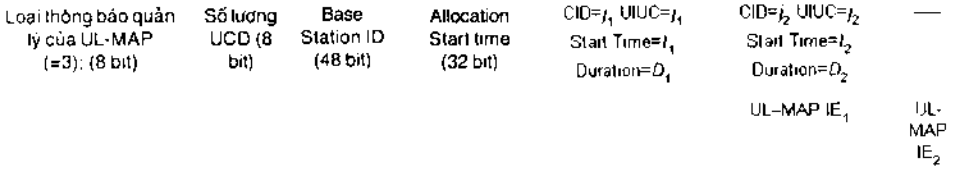
CID	16 bit
DIUC	4 bit
Preamble present	1 bit (0=không hiện diện, 1=hiện diện)
Start Time	11 bit

Hình 9.10: Các trường DL-MAP IE cho lớp PHY OFDM (WiMAX).

Nếu chiều dài của thông báo DL-MAP là một số byte không nguyên, trường LEN trong header MAC được làm tròn lên thành số byte nguyên kế tiếp. Thông báo được đệm để khớp với chiều dài này, nhưng SS không quan tâm đến các bit pad (đệm).

9.4.2 Thông báo UL-MAP

Thông báo UL-MAP cấp phát sự truy cập đến kênh uplink. Dạng chung của thông báo UL-MAP gần như giống hệt DL-MAP và được minh họa trong hình 9.11. Chỉ có một trường mới: Allocation Start Time, vốn là thời gian bắt đầu của sự cấp phát uplink. Đơn vị của Allocation Start Time là PS bắt đầu từ đầu frame downlink trong đó thông báo UL-MAP được đặt. Đối với OFDM PHY, giá trị tối thiểu được xác định cho tham số này được định nghĩa là điểm trong frame 1 ms sau ký hiệu cuối cùng của UL-MAP. Trường Start Time tính bằng các đơn vị của khoảng thời gian ký hiệu OFDM (đối với các DL-MAP_IE.



Hình 9.11: Dạng chung của thông báo quản lý UL-MAP MAC. Vì mục đích đơn giản, không phải tất cả trường đều được trình bày trong hình này. Mỗi UL-MAP IE biểu thị thời gian bắt đầu của một chớp tín hiệu uplink và burst profile (các chi tiết kênh kể cả các thuộc tính vật lý) của chớp tín hiệu này.

UL_MAP IE có một số phần tử mới đối với DL-MAP

- Duration biểu thị khoảng thời gian tín bằng các đơn vị của các ký hiệu OFDM của sự cấp phát. Khoảng thời gian tính cả preamble, các midamble, và postamble chứa trong phần cấp phát.
- Subchannel Index tương ứng với các chỉ số dịch chuyển tần số của các sóng mang thứ cấp của kênh con được cấp phát (xem chương 5 để biết về việc phân kênh con OFDM).
- Midamble Repetition Interval xác định việc có một midamle hay không và, nếu có, khoảng thời gian lặp lại midamble trong các ký hiệu OFDM (8, 16 hoặc 32 ký hiệu dữ liệu). Khi phần cuối cùng của ký hiệu sau midamble sau cùng dài hơn nửa khoảng thời gian lặp lại midamble, một postamble phải được thêm vào cuối phần cấp phát.

Khi được lập địa chỉ cụ thể để cấp phát băng thông cho một SS, CID là Basic CID của SS. Một ví dụ chi tiết về một thông báo UL-MAP có các giá trị số được trình bày trong chương 10. Các slot tranh chấp ở đầu một frame con uplink được đưa vào ví dụ này.

Trong một frame, sự chuyển đổi từ lưu lượng không phải AAS đến lưu lượng được bật AAS được đánh dấu bằng cách sử dụng UIUC=15 với AAS_IE để biểu thị rằng việc cấp phát tiếp theo cho đến cuối frame dành cho lưu lượng AAS. Các trạm không hỗ trợ chức năng AAS bỏ qua phần của frame được đánh dấu cho lưu lượng AAS.

9.4.3 Các thông báo OFDMA PHY UL-MAP và DL-MAP

Các DL-MAP IE và UL-MAP IE phụ thuộc vào thông số PHY. OFDMA DL-MAP IE định nghĩa một mẫu cấp phát hai chiều thay vì một mẫu cho OFDM DL-MAP IE. Các tham số OFDMA DL-MAP IE được trình bày trong bảng 9.2.

Bảng 9.2: Các tham số chính OFDMA DL-MAP IE

DIUC	Được sử dụng cho chớp tín hiệu
Khoảng dịch chuyển ký hiệu OFDMA	Khoảng dịch chuyển (offset) của ký hiệu OFDMA trong đó chớp tín hiệu bắt đầu được đo trong ký hiệu OFDMA từ đầu frame downlink mà DL-MAP được truyền trong đó
Khoảng dịch chuyển kênh con (subchannel offset)	Chỉ số thấp nhất của kênh con OFDMA được sử dụng để tải chớp tín hiệu, bắt đầu từ kênh con 0
Gia tăng (boosting)	Biểu thị việc các sóng mang thứ cấp cho sự cấp phát này có được gia tăng công suất hay không

Số bộ ba ký hiệu OFDMA	Số ký hiệu OFDMA vốn được sử dụng (đầy đủ hoặc một phần) để tải chớp tín hiệu PHY downlink. Giá trị của trường được cho trong các bội số là ba ký hiệu
Số kênh con	Số kênh con với các chỉ số tiếp theo được sử dụng để tải chớp tín hiệu
Sự biểu thị mã hóa lặp lại	Biểu thị mã lặp lại được sử dụng bên trong chớp tín hiệu được cấp phát

OFDMA-UL-MAP IE có hầu như các tham số giống như DL-MAP IE.

Một tham số thích hợp cho OFDMA UL-MAP IE là tham số Ranging Method vốn biểu thị một trong hai chớp tín hiệu xác định phạm vi (ranging burst):

- Initial Ranging/Handover Ranging.
- BW Request/Periodic Ranging.

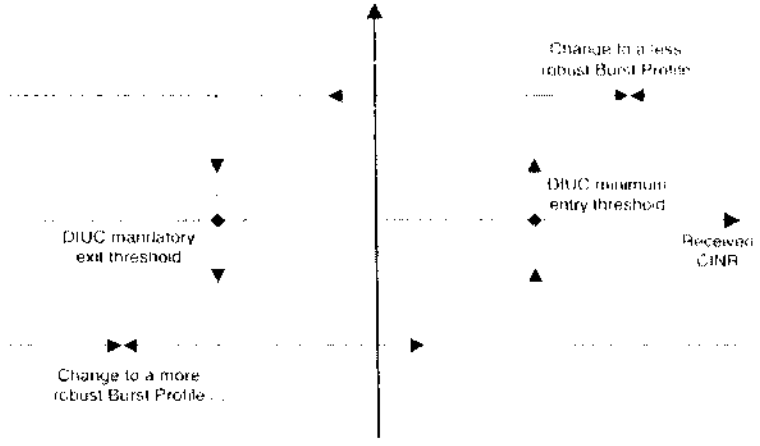
9.5 Sử dụng Burst Profile: Thông báo DCD và bộ chỉ báo DIUC

Trong mục này, cơ cấu để truyền burst profile và các tham số chính bắt buộc cho hoạt động này được mô tả. Một burst (chớp tín hiệu) là một phần gần kề của luồng dữ liệu sử dụng các tham số PHY tương tự. Những tham số này là loại điều biến, loại Forward Error Correction (FEC), chiều dài preamble... (xem bên dưới), và được gọi là burst profile. Loại đa công (multiplexing) được gọi là TDM (Time Division Multiplexing) trong 802.16. Mỗi burst profile được biểu thị bởi Downlink Interval Usage Code (DIUC) hoặc Uplink Interval Usage Code (UIUC) của nó lần lượt cho downlink và uplink.

9.5.1 Các ngưỡng lựa chọn Burst Profile

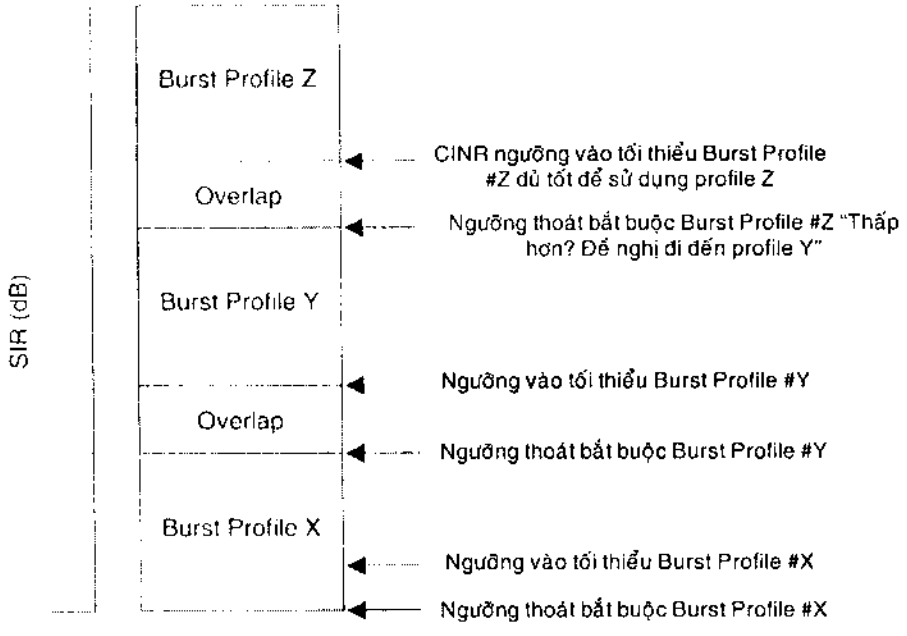
Các thuộc tính burst profile đã được mô tả trong chương 6. Tham số chính là Modulation and Coding Scheme (MCS) được sử dụng trong chớp tín hiệu. Ngoài ra, và như đã thấy trong chương 6 và phụ lục B, hai giá trị số ngưỡng CINR được cung cấp với mỗi mô tả burst profile: ngưỡng thoát bắt buộc DIUC và ngưỡng vào bắt buộc DIUC. Hai ngưỡng này được sử dụng để chọn một trong các burst profile được định nghĩa (trong thông báo), dựa vào CINR được nhận. Thủ tục được minh họa trong hình 9.12 và được nêu rõ bên dưới:

- Nếu ngưỡng thoát bắt buộc CINR $\leq$ DIUC - DIUC không thể còn được sử dụng nữa - bắt buộc chuyển sang một DIUC mạnh hơn.
- Nếu ngưỡng vào tối thiểu CINR $\geq$ DIUC - DIUC này có thể được sử dụng - chuyển sang một DIUC ít mạnh hơn.



Hình 9.12: Sử dụng các ngưỡng cho một burst profile đã ấn định

Các giá trị ngưỡng có thể có cho các burst profile lân cận được minh họa trong hình 9.13. Burst profile downlink được quyết định bởi BS theo chất lượng của tín hiệu vốn được nhận bởi mỗi SS. Trong khi hoạt động trên một burst profile đã ấn định, SS giám sát CINR được nhận của nó và so sánh giá trị trung bình với phạm vi hoạt động được phép. Bao quanh vùng này là hai mức ngưỡng của burst profile được sử dụng. Hai mức ngưỡng này được định nghĩa cùng với burst profile trong thông báo DCD.

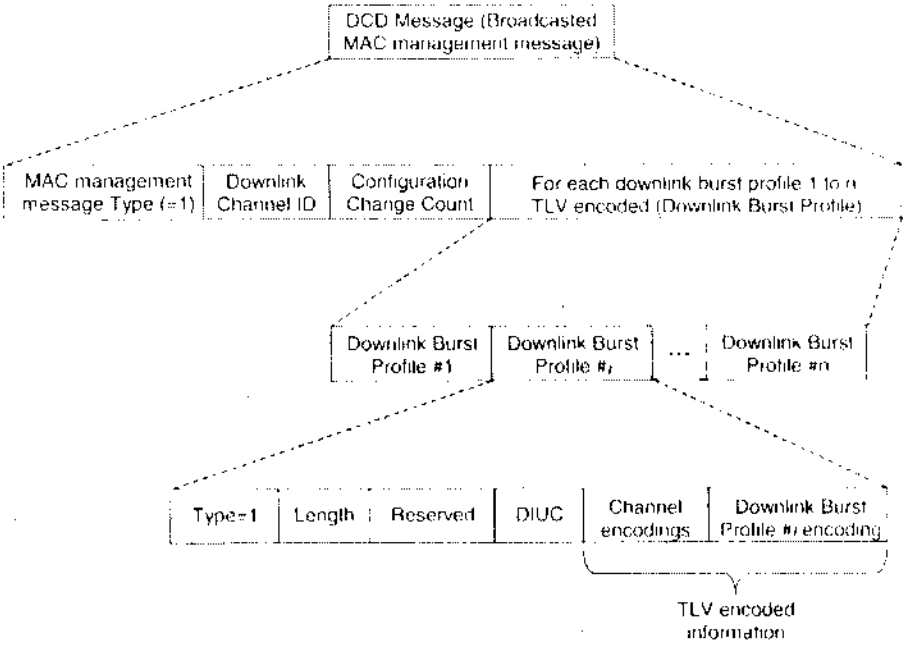


Hình 9.13: Minh họa các giá trị ngưỡng burst profile cho ba profile lân cận. Burst profile X mạnh nhất.

Nếu CINR được nhận nằm bên ngoài vùng hoạt động cho phép (từ trên cùng hoặc từ dưới cùng), SS phải yêu cầu một sự chuyển sang một burst profile mới, theo nguyên tắc được cho ở trên trong phần con này và sử dụng một trong hai phương pháp được đề xuất (được mô tả trong chương 11). Điều này phụ thuộc vào việc SS này đã được cho một sự cấp phát dữ liệu uplink hay không.

9.5.2 Thông báo DCD (Downlink Channel Decriptor)

Thông báo DCD (Downlink Channel Descriptor) là một thông báo quản lý MAC được truyền đại chúng được phát bởi BS tại một khoảng thời gian định kỳ để cung cấp các burst profile (các tập hợp tham số vật lý) vốn có thể được sử dụng bởi một kênh vật lý downlink trong một chớp tín hiệu, ngoài những tham số downlink hữu dụng khác. Dạng chung của các thông báo DCD được minh họa trong hình 9.1. Nội dung của các trường thông báo DCD bây giờ được trình bày.



Hình 9.14: Dạng chung của thông báo DCD (Downlink Channel Descriptor)

Downlink Channel ID (ChID, đừng nhầm lẫn với CID) là định danh của kênh downlink mà thông báo này tham chiếu đến. Định danh này được chọn tùy ý bởi BS và chỉ duy nhất trong miền MAC. Định danh này được sử dụng làm một định danh cục bộ cho các giao tác chẳng hạn như ranging (xác định phạm vi).

Configuration Change Count (CCC) là một trường 8 bit được gia tăng lên 1 (modulo 256) bởi BS bất cứ khi nào bất kỳ giá trị của thông báo DCD thay đổi. Nếu giá trị của số đếm (count) này trong DCD tiếp theo vẫn không đổi, SS có thể quyết định, sau khi đọc trường CCC rằng các trường còn lại đã không thay đổi. Sau đó, SS có thể bỏ qua phần còn lại của thông báo DCD.

Các trường Downlink_Burst_Profile mô tả từng burst profile được sử dụng trong downlink cho đến thông báo DCD kế tiếp. Các nội dung trường Downlink Burst Profile được định nghĩa riêng biệt cho mỗi thông số PHY (Single Carrier, OFDM, OFDMA...). Bảng 9.3 định nghĩa dạng của kiểu mã hóa Downlink_Burst_Profile vốn được sử dụng trong thông báo DCD của giao diện OFDM (WiMAX). Đây là định dạng được minh họa trong hình 9.14. Downlink_Burst_Profile bao gồm một kiểu mã hóa TLV (xem mục 8.6) định nghĩa và kết hợp với một giá trị Downlink Interval Usage Code (DIUC) cụ thể, các đặc điểm PHY (burst Profile) được sử dụng với DIUC đó. Trong mỗi downlink burst profile là một danh sách các thuộc tính PHY (các kiểu mã hóa burst profile) cho burst profile đó được mã hóa dưới dạng các giá trị TLV.

Bảng 9.3: Dạng downlink burst profile cho profile OFDM (WiMAX)

Trường	Kích cỡ
Type = 1	8 bit
Length	8 bit
Dành riêng	4 bit
DIUC	4 bit
Thông tin được mã hóa bằng TLV	Khả biến

Thông tin được mã hóa của TLV của một burst profile gồm hai trường (xem hình 9.14):

- Các kiểu mã hóa kênh. Các tham số chính là BS EIRP (Effective Isotropic Radiated Power), TTG (Tx/Rx Transition Gap) và RTG (Receive/transmit Transition Gap), BS ID, khoảng thời gian frame... Xem ví dụ trong mục 9.5.4.
- Kiểu mã hóa downlink burst profile số i. Điều này biểu thị loại điều biến và kiểu mã hóa kênh và các ngưỡng tín hiệu được nhận được yêu cầu để sử dụng profile này vốn sẽ được biểu thị bởi DIUC #i. Như đã được đề cập, bốn kiểu điều biến có thể được sử dụng (BPSK, OPSK, 16-QAM và 64-QAM) với bốn kiểu mã hóa có thể có (RS, CC, BTC và CTC). Bảng 9.4 trình bày các giá trị có thể có của một burst profile như được định nghĩa bởi 802.16 cho giao diện PHYsical OFDM.

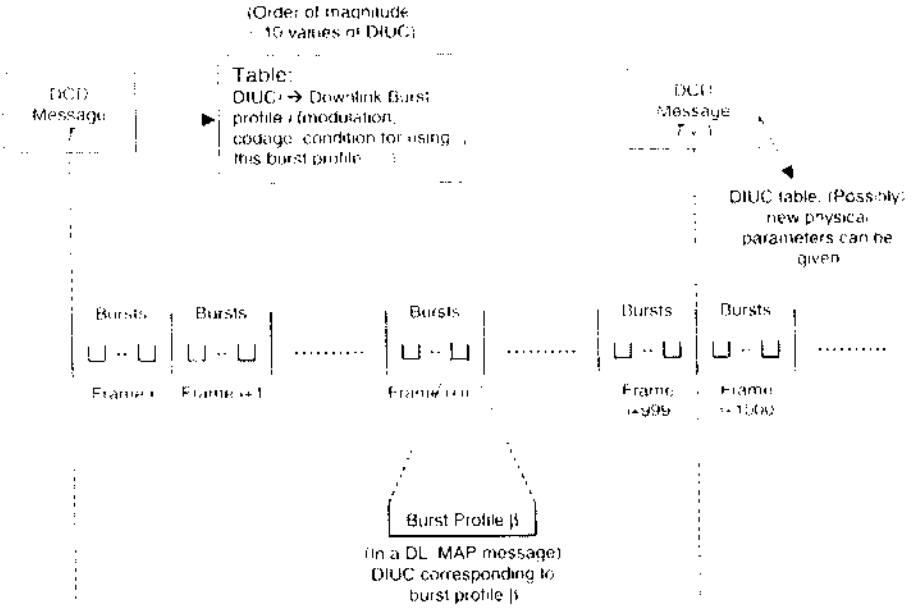
Bảng 9.4: Một số tham số của burst profile OFDM PHY: FEC và các giá trị điều biến có thể có, các giá trị ngưỡng CINR bắt buộc tương ứng (xem chương 6 để biết về các tham số burst profile).

Tên		Giá trị
Loại mã FEC	0 = BPSK (CC) 1/2	11 = 64-QAM (BTC) 213 2/3
	1 = QPSK (RS + CC/CC) 1/2	12 = 64-QAM (BTC) 5/6
	2 = QPSK (RS + CC/CC) 3/4	13 = QPSK (CTC) 1/2
	3 = 16-QAM (RS + CC/CC) 1/2	14 = QPSK (CTC) 2/3
	4 = 16-QAM (RS + CC/CC) 3/4	15 = QPSK (CTC) 3/4
	5 = 64-QAM (RS + CC/CC) 2/3	16 = 16-QAM (CTC) 1/2
	6 = 64-QAM (RS + CC/CC) 3/4	17 = 16-QAM (CTC) 3/4
	7 = QPSK (BTC) 1/2	18 = 64-QAM (CTC) 2/3
	8 = QPSK (BTC) 3/4 hoặc 2/3	19 = 64-QAM (CTC) 3/4
	9 = 16-QAM (BTC) 3/5	20-255 = Dành riêng
Ngưỡng thoát bắt buộc DIUC	CINR tại hoặc dưới nơi DIUC này không còn được sử dụng nữa và nơi đòi hỏi một sự thay đổi đối với một DIUC mạnh hơn. Được biểu thị bằng các đơn vị 0.25 dB. Xem mục 9.5.1.	
Ngưỡng vào tối thiểu DIUC	CINR tối thiểu được yêu cầu để bắt đầu sử dụng DIUC này khi việc thay đổi từ một DIUC mạnh hơn được yêu cầu. Được biểu thị bằng các đơn vị 0.25 dB. Xem mục 9.5.1.	

9.5.3 Truyền thông báo DCD

Đối với tất cả lớp PHYsical 802.16, giá trị tối đa giữa thời gian giữa các lần truyền hai thông báo DCD liên tiếp (hoặc hai thông báo UCD liên tiếp) là 10. Đối với OFDM và OFDMA PHY, khoảng thời gian frame là giữa 2 ms và 20 ms (mặc dù tất cả các giá trị có thể có không nhất thiết bắt buộc cho các profile WiMAX).

Vậy thì có thể kết luận rằng một frame bao hàm không phải DCD được truyền thường xuyên hơn một thông báo DCD. Như đã đề cập, mỗi frame có thể chứa nhiều chớp tín hiệu, mỗi chớp tín hiệu có một DIUC duy nhất. Do đó, mỗi thông báo DCD sẽ quan tâm đến một số lớn frame và thậm chí một số lớn hơn các chớp tín hiệu (xem hình 9.15).



Hình 9.15: Minh họa khoảng thời gian truyền thông báo DCD và việc sử dụng DIUC. Giá trị 1000 frame giữa hai thông báo DCD chính là độ lớn.

9.5.4 Một ví dụ về thông báo DCD

Bây giờ một ví dụ về thông báo quản lý DCD MAC sẽ được trình bày. Trong thông báo này, hai burst profile được định nghĩa và được kết hợp với DIUC 0101 (cơ số thấp lục phân: 5) và DIUC 1010 (cơ số thập lục phân: A).

Các phần chung của thông báo này được trình bày trong bảng 9.5. Các chi tiết đầy đủ của thông báo này, kể cả các chiều dài trường được trình bày trong phụ lục B. Đối với thông báo này, các thông số giao diện OFDM PHY được xem xét. 802.16e đã thêm các thông số mới vào thông báo DCD (chủ yếu cho tiến trình handover); chúng không được xem xét trong ví dụ này.

9.5.5 Các giá trị DIUC

DIUC (Downlink Interval Usage Code) là bộ chỉ báo của một burst profile, đó là các đặc điểm PHY (sự điều biến, kiểu mã hóa, điều kiện sử dụng burst profile...) của một chớp tín hiệu downlink. DIUC là một trường 4 bit. Giá trị của DIUC phụ thuộc vào lớp PHY. Bảng 9.6 minh họa các giá trị được định nghĩa cho lớp OFDM (WiMAX) PHY. Chỉ 11 giá trị được sử dụng để chọn burst profile. Sự tương ứng giữa 20 khả năng điều biến và phương pháp mã hóa được trình bày trong bảng 9.5

và giá trị DIUC (một số tối đa là 11 bộ chỉ báo giá trị burst profile) là lựa chọn của BS.

Bảng 9.5: Ví dụ về một thông báo DCD chứa hai mô tả burst profile (các chỉnh sửa OFDM PHY 802.16e không được đưa vào). Các chi tiết đầy đủ được nêu trong phụ lục B

Các nội dung trường	Mô tả
Loại thông báo quản lý MAC (= 1)	Nhận dạng thông báo quản lý MAC = DCD
Downlink Channel ID Configuration Change Count Type = 1	Xác định burst profile Start of downlink 0101 thay đổi DCD (dạng lớp OFDM PHY)
Length Reserved DIUC = 0101	Giá trị DIUC xác định các kiểu mã hóa kênh Start of downlink burst profile 0101 burst profile này (dạng lớp OFDM PHY)
TLV của downlink burst profile 0101 xác định chiều dài của đối tượng này	
TLV của công suất truyền BS	
TLV của TTG (transmit burst/receive burst transition gap)	
TLV của Base Station ID	
TLV của Frame Duration	
Các TLV khác của các kiểu mã hóa kênh downlink burst profile 0101	
TLV của tần số downlink	Các kiểu mã hóa burst profile burst project 0101 start of downlink (dạng lớp OFDM PHY)
TLV của phương pháp mã hóa và điều biến (được gọi là mã FEC)	
TLV của các ngưỡng chọn DIUC	
TLV khác của các kiểu mã hóa burst profile downlink burst profile 0101	
Type = 1	Burst profile start of downlink 1010 (dạng lớp OFDM PHY)
Các trường tương tự như đối với downlink burst profile 0101 (với những giá trị khác nhau)	

Bảng 9.6: Các giá trị có thể có của DIUC (được mã hóa trên 4 bit) cho lớp OFDM PHYsical. Chỉ 11 giá trị được sử dụng để chọn burst profile

DIUC	Công dụng
0	Vùng STC
1-11	Các burst profile
12	Danh riêng
13	Gap
14	End of Map
15	Extended DIUC

Mỗi khoảng thời gian, hoặc cụ thể hơn, chớp tín hiệu (downlink hoặc uplink) sẽ có burst profile và thời gian bắt đầu của nó được mô tả bởi một DL-MAP IE (Downlink MAP Message Information Element) hoặc một UL-MAP IE. DL-MAP và UL-MAP là các thông báo quản lý MAC mô tả việc sử dụng khung thời gian bởi các SS khác nhau (xem ở trên). Burst profile được tham chiếu bởi giá trị DIUC. Chỉ các chớp tín hiệu có profile được biết rõ ràng, đây là trường hợp cho một số chớp tín hiệu điều khiển (ví dụ chớp tín hiệu FCH, xem ở trên), không có một giá trị DIUC burst profile.

Các giá tri DIUC có thể chương, ngoại trừ các burst profile được trình bày trong bảng 9.6 như sau:

- STC (Space-Time Coding) là một kỹ thuật truyền được sử dụng để giảm các hiệu ứng đa đường dẫn (multipath). Sự điều biến được sử dụng là QPSK.
- Gap là khoảng thời gian giữa chớp tín hiệu downlink và chớp tín hiệu uplink tiếp theo hoặc giữa chớp tín hiệu uplink và chớp tín hiệu downlink kế tiếp. Gap này cho phép thời gian cho BS hoặc SS để chuyển từ các cuộc truyền sang chế độ receive (nhận) và đảo ngược.
- Một End of Map IE kết thúc tất cả sự cấp phát trong một danh sách IE. Sự kết thúc chớp tín hiệu được cấp phát cuối cùng được biểu thị bằng cách cấp phát một chớp tín hiệu End of Map.
- Extended DIUC. Một giá trị DIUC 15 xác định rằng IE tải thông tin đặc biệt. Một trường Extended DIUC, trên 4 bit, sau đó hiện diện, trình bày ý nghĩa DIUC mở rộng (xem bảng 9.7 cho lớp OFDM PHYsical).

Bảng 9.7: Các giá trị Extended DIUC có thể có cho lớp OFDM PHYsical

Giá trị Extended DIUC	Công dụng
0 x 00	Được cấp phát bởi BS để yêu cầu một báo cáo đo kênh. Channel Measurement IE được theo sau bởi End of Map IE

0 x 01	Biểu thị rằng các chớp tín hiệu tiếp theo sử dụng một preamble vốn bị trễ thời gian một cách tuần hoàn bởi M mẫu (Physical Modifier IE)
0 x 02	Chuyển từ lưu lượng không phải AAS sang lưu lượng được bật AAS. AASm Adaptive Antenna System (xem chương 12)
0 x 03	Xác định một chớp tín hiệu của một tập hợp chớp tín hiệu downlink song song để truyền (dạng IE truyền đồng thời)
0 x 04	Xác định rằng các cấp phát tiếp theo cho đến cuối frame được mã hóa bằng STC
0 x 05	Xác định rằng các cấp phát tiếp theo sử dụng sự phân kênh con downlink (cho một BS được bậc chức năng phân kênh con downlink)
0 x 06 - 0 x 0F	Những giá trị DIUC mở rộng này được gọi là Dummy IE. Để lại cho các đặc tả sau này

Một SS sẽ bỏ qua một IE có một giá trị DIUC mở rộng mà trạm không biết (ví dụ một SS không hỗ trợ STC). Trong trường hợp của một giá trị DIUC mở rộng đã biết có một trường chiều dài (length) dài hơn mong đợi, SS xử lý thông tin lên đến chiều dài đã biết và bỏ qua phần còn lại của IE.

Bảng 9.8 trình bày các giá trị được định nghĩa cho lớp OFDMA (WiMAX) PHY. Một khuyết điểm của một cuộc truyền OFDM là nó có thể có một PAPR (Peak to Average Power Ratio) cao. PAPR là giá trị đỉnh của các sóng mang thứ cấp được truyền tương ứng với tín hiệu truyền trung bình. Một PAPR cao tượng trưng cho một ràng buộc khó trong một số thiết bị (chẳng hạn như các bộ khuyếch đại). DIUC = 13 có thể được sử dụng để cấp phát các kênh con cho các phương pháp giảm PAPR. Các sóng mang thứ cấp trong các kênh con này có thể được sử dụng bởi tất cả SS để giảm PAPR của các cuộc truyền của chúng. SS sẽ bỏ qua tín hiệu được nhận (các sóng mang thứ cấp) trong vùng giảm GAP/PAPR.

Bảng 9.8: Các giá trị có thể có của DIUC cho lớp OFDMA PHYsical

DIUC	Công dụng
0-12	Các burst profile
13	Gap/PAPR

14	Extended-2 DIUC
15	Extended DIUC

9.5.6 Thông báo UCD (Uplink Channel Descriptor) và bộ chỉ báo UIUC

Thông báo UCD (Uplink Channel Descriptor) là một thông báo quản lý MAC được truyền đại chúng do BS truyền tại một khoảng thời gian định kỳ để cung cấp phần mô tả burst profile (các tập hợp tham số vật lý) vốn có thể được sử dụng bởi một kênh vật lý uplink ngoài các tham số uplink hữu dụng khác. Nó hoạt động rất giống như DCD do đó sẽ không được mô tả chi tiết.

Một thông báo UCD phải được phát BS tại một khoảng thời gian định kỳ để xác định các đặc điểm của một kênh vật lý uplink. Giá trị cho phép tối đa cho khoảng thời gian này là 10 s (đối với DCD). Thông báo UCD của OFDM PHY bao gồm những tham số sau đây:

- Configuration Change Count. Tham số này giống như đối với DCD.
- Ranging Backoff Start và Ranging BackoffEnd (8 bit mỗi tham số). Đây là các kích cỡ cửa sổ backoff ban đầu và sau cùng (hoặc tối đa) cho sự tranh chấp xác định phạm vi ban đầu (xem chương 11), được biểu diễn dưới dạng lũy thừa 2. Các giá trị của các số mũ này nằm trong dãy 0-15.
- Request BackoffStart và Resquest BackoffEnd (8 bit mỗi tham số). Đây là các kích cỡ cửa sổ backoff ban đầu và cuối cùng (hoặc tối đa) cho các yêu cầu BW (băng thông) tranh chấp (xem chương 10), được biểu diễn dưới dạng một lũy thừa 2. Các giá trị của những số mũ này nằm trong dãy 0-15.
- Đối với mỗi burst profile uplink được định nghĩa trong thông báo UCD, Uplink_Burst_Profile vốn là một kiểu mã hóa TLV phức hợp vốn định nghĩa và kết hợp với một UIUC cụ thể, các đặc điểm PHY vốn phải được sử dụng với UIUC. Các giá trị được mã hóa bằng TLV của một burst profile tương tự một cách tổng thể với các giá trị của các burst profile downlink trong thông báo DCD, Các tham số sau đây là các tham số burst profile riêng biệt cho UCD.
- Timeout dựa vào sự tranh chấp. Đây là số UL-MAP được nhận trước khi một sự dành riêng dựa vào sự tranh chấp được thử lại cho cùng một nối kết.
- Kích cỡ cơ hội yêu cầu băng thông. Đây là kích cỡ (tính bằng các đơn vị của PS) của payload PHY mà một SS có thể sử dụng để định dạng và phát một thông báo yêu cầu băng thông trong một cơ hội yêu cầu tranh chấp. Giá trị bao gồm tất cả hao phí PHY cũng như cho phép dữ liệu MAC mà thông báo có thể chứa.
- Kích cỡ cơ hội yêu cầu xác định phạm vi (ranging request). Đây là kích cỡ (tính bằng các đơn vị của PS) của chớp tín hiệu PHY mà một SS có thể sử dụng để phát một thông báo Ranging Request trong

một cơ hội yêu cầu xác định phạm vi tranh chấp (xem chương 11). Giá trị bao gồm tất cả hao phí PHY và (ngoài nội dung kích cỡ cơ hội yêu cầu băng thông) sự trễ do lan truyền khứ hồi SS/BS tối đa.

- Subchannelisation REQ Region-Full Parameters. Đây là số kênh con được sử dụng bởi mỗi cơ hội phát khi REQ Region-Full được cấp phát trong một vùng phân kênh con. Các giá trị có thể có nằm giữa 1 và 16 kênh con (xem mục 10.4).
- Các mã tranh chấp hội tụ phân kênh con. Đây là số mã tranh chấp (CSE) vốn có thể được sử dụng để yêu cầu một sự cấp phát được phân kênh con. Giá trị mặc định là 0 (không có sự tranh chấp hội tụ được phân kênh con). Các giá trị cho phép là giữa 0 và 8. Sự tranh chấp hội tụ được mô tả trong mục 10.4.

Đối với DIUC và DCD, UIUC (Uplink Interval Usage Code) được định nghĩa là một bộ chỉ báo của một trong các burst profile uplink được mô tả trong UCD. UIUC là một trường 4 bit tương ứng với 16 giá trị có thể có. Giá trị của UIUC phụ thuộc vào lớp PHY. Bảng 9.9 trình bày các giá trị UIUC - UIUC được định nghĩa cho lớp OFDM (WiMAX) PHY. Chỉ tám giá trị được sử dụng cho việc chọn burst profile. UL-MAP IE để cấp phát băng thông nhằm phản hồi lại một tín hiệu vào mạng được phân kênh con (xem chương 10), trong phần được phân kênh con của UL-MAP được nhận dạng bởi UIUC = 13. Một SS phản hồi lại một sự cấp phát băng thông sử dụng IE vào mạng được phân kênh con bắt đầu chớp tín hiệu của nó với một preamble ngắn và sử dụng chỉ burst profile bắt buộc mạnh nhất trong chớp tín hiệu đó.

Hình 9.9: Các giá trị có thể có của UIUC (được mã hóa trên 4 bit) cho OFDM PHY

UIUC	Công dụng
0	Dành riêng
1	Initial ranging
2	REQ (Request) region full
3	REQ (Request Region focused
4	Focused contention IE
5-12	Burst profiles
13	Subchannelisation network entry
14	End of Map
15	Extended UIUC

Có 20 phương pháp điều biến và mã hóa cho các burst profile uplink. Mạnh nhất là BPSOK với một tốc độ mã hóa kênh là 1/2 và kém mạnh hơn là 64-QAM với một tốc độ mã hóa 5/6 (cả hai lớp OFDM và OFDMA). Sự tương ứng giữa 20 phương pháp điều biến và

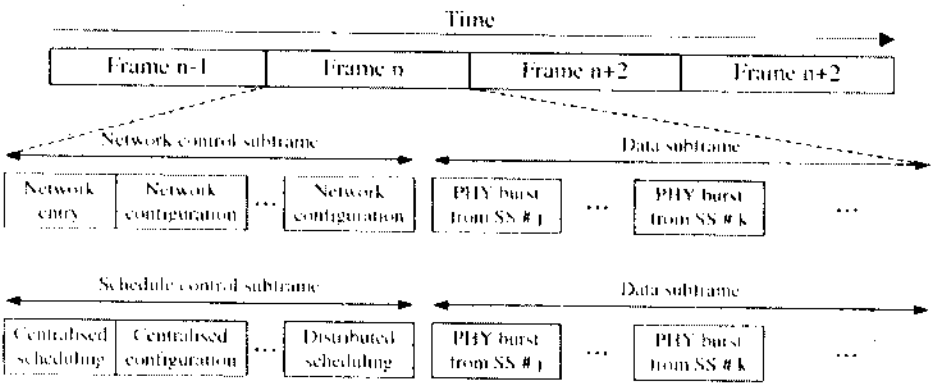
mã hóa có sẵn cho các burst profile uplink và giá trị UIUC là việc lựa chọn BS. Chỉ tám giá trị UIUC có thể được sử dụng làm chỉ báo của các burst profile uplink (tương đương chỉ tám burst profile uplink có thể được định nghĩa trong một UCD).

Nhiều giá trị UIUC được trình bày trong bảng 9.9 sẽ được sử dụng trong các chương tiếp theo. tiến trình initial ranging được mô tả trong chương 11. Các thủ tục yêu cầu băng thông uplink (quan tâm đến các giá trị UIUC 2 đến 4) được mô tả trong chương 10. Giá trị 13 của UIUC tương ứng với IE vào mạng được phân kênh con, được sử dụng trong thủ tục vào mạng phân kênh con. Extended DIUC cung cấp thêm các chức năng. Ví dụ, khi cần thay đổi công suất cho SS, UIUC = 15 được sử dụng với một UIUC mở rộng được xác lập sang 0 x 00 và với một giá trị điều khiển công suất 8 bit. Giá trị điều khiển công suất này là một số nguyên có dấu 8 bit biểu thị việc thay đổi mức công sức (tính bằng các đơn vị 0.25 dB) mà SS phải áp dụng để hiệu chỉnh công suất truyền hiện hành của nó.

Đối với OFDMA PHY, vùng phát âm thanh là một vùng gồm một hoặc nhiều khoảng ký hiệu OFDMA trong frame uplink vốn được sử dụng bởi SS để phát các tín hiệu âm thanh nhằm cho phép BS quyết định nhanh sự thay đổi kênh BS và SS. BS có thể ra lệnh một SS phát một tín hiệu âm thanh tại một hoặc nhiều ký hiệu OFDMA trong vùng âm thanh bằng cách phát thông báo UL-MAP UL_Sounding_Command_IE() để cung cấp các hướng dẫn phát âm thanh chi tiết cho SS. Để mở chức năng phát âm thanh uplink trong UL-MAP, một BS phát UIUC = 13 với PAPR_Reduction_Safety_and_ Sounding_Zone_Allocation_IE() để biểu thị sự cấp phát một vùng phát âm thanh uplink trong frame.

9.6 Frame Mesh

Tôpô PMP hỗ trợ các chế độ song công TDD và FDD trong khi tôpô Mesh hỗ trợ chỉ chế độ song công TDD. Trong trường hợp của mạng Mesh, trên phía đối diện của chế độ PMP cơ bản, có thể không có các frame con downlink và uplink riêng biệt vì tất cả trạm của cùng một hệ thống phân cấp. Một cấu trúc frame Mesh (tùy chọn) được định nghĩa trong chuẩn 802.16 để làm dễ dàng các mạng Mesh. Hình 9.16 minh họa cấu trúc chung của frame Mesh (TDD) này. Nội dung của frame Mesh này được mô tả bây giờ.



Hình 9.16: Cấu trúc chung của frame Mesh. Theo chuẩn, các mạng Mesh có thể chỉ sử dụng chế độ TDD.

Một frame Mesh gồm một frame con điều khiển và một frame con dữ liệu. Frame này sử dụng thông tin chứa trong thông báo quản lý MAC MSH-NCFG (Mesh Network Configuration) và Network Descriptor IE.

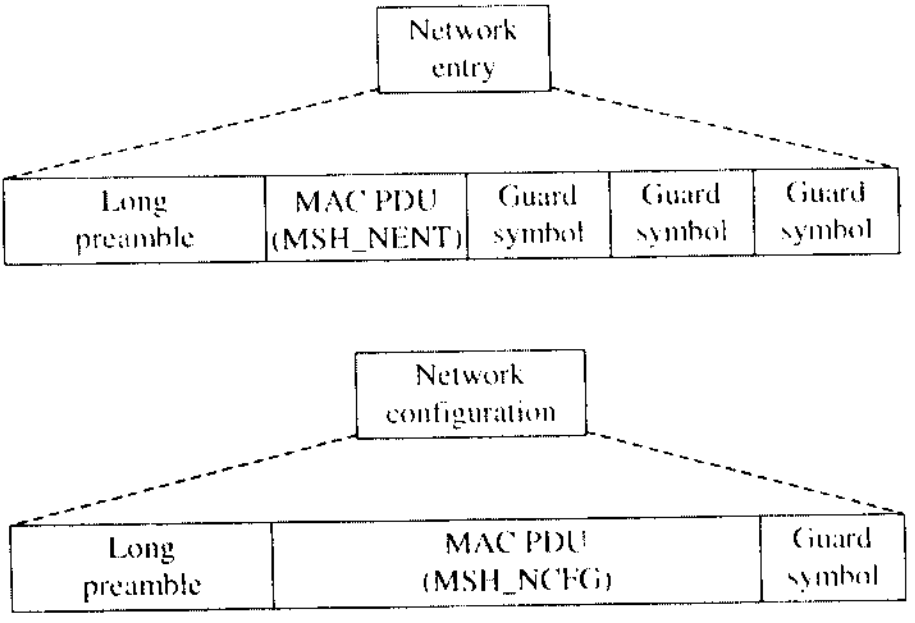
Frame con điều khiển phục vụ hai chức năng cơ bản. Chức năng đầu tiên được định nghĩa là điều khiển mạng và nhận biết việc tạo và duy trì sự cố kết giữa các hệ thống khác nhau. Nó được mô tả trong mục 9.6.1 bên dưới. Chức năng còn lại được mô tả là điều khiển thời biểu và nhận biết việc lập thời biểu phối hợp các cuộc truyền dữ liệu giữa các hệ thống. Nó được mô tả trong mục 9.6.2. Các frame có một frame con điều khiển mạng xảy ra theo định kỳ, như được biểu thị trong Network Descriptor, được đưa vào trong frame con này và được nêu chi tiết bên dưới. Tất cả các frame khác có một frame con điều khiển thời biểu. Chiều dài của frame con điều khiển cố định và có chiều dài MSH-CTRL-LEN x 7 OFDM ký hiệu, trong đó MSH-CTRL-LEN là một tham số được biểu thị trong Network Descriptor IE của MSH-NCFG.

9.6.1 Frame con Network Control

Frame con Network Control gồm hai phần và được minh họa trong hình 9.17. Các MAC PDU của hai phần này, network entry và network configuration chứa hai thông báo Mesh: MESH-NENT và MSH-NCFG:

- MSH-NENT (Mesh Network Entry) là một thông báo quản lý MAC cơ bản vốn cung cấp phương tiện cho một nút mới để đạt được sự đồng bộ hóa và sự đi vào mạng ban đầu vào một mạng Mesh.

- MSH-NCFG (Mesh Network Configuration) là một thông báo quản lý MAC được truyền đại chúng, cung cấp một cấp độ truyền thông cơ sở giữa các nút trong các mạng gần kề khác nhau cho dù từ các nhà cung cấp thiết bị hoặc nhà vận hành wireless tương tự nhau hoặc khác nhau. Trong số những thứ khác, Network Descriptor là một dữ liệu nhúng của thông báo MSH-NCFG. Network Descriptor chứa nhiều tham số kênh (các phương pháp điều biến và mã hóa, các giá trị ngưỡng...), làm cho nó tương tự như UCD và DCD.



Hình 9.17: Hai phần của frame con Network Control của frame con Mesh. Cấu hình mạng chứa Network Descriptor

9.6.2 Frame con Schedule Control

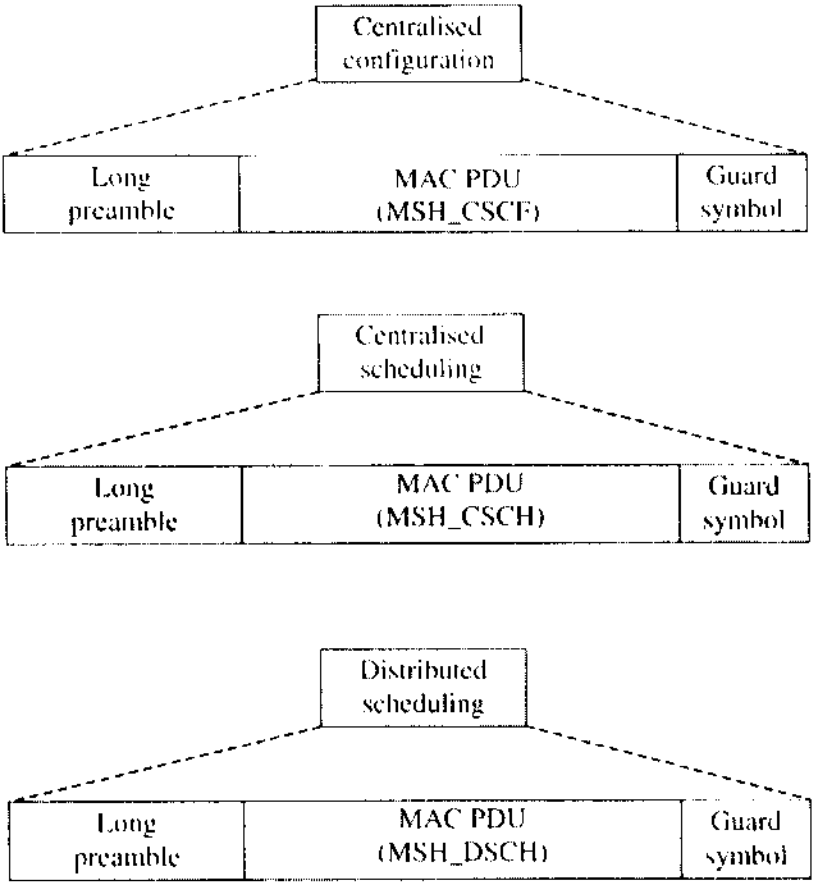
Frame con Schedule Control gồm ba phần và được minh họa trong hình 9.18. Các MAC PDU của ba phần này, cấu hình tập trung, lập thời biểu tập hợp và lập thời biểu phân phối chứa ba thông báo Mesh: MSH-CSCF, MSH-CSCH và MSH-DSCH:

- MSH-CSCF (Mesh Centralised Schedule Configuration) và MSH-CSCH (Mesh Centralised Schedule) là các thông báo quản lý MAC được truyền đại chúng trong chế độ Mesh khi sử dụng việc lập thời biểu tập hợp (centralised scheduling). Mesh BS truyền đại chúng những thông báo này đến tất cả đối tượng lân cận với nó và tất cả nút chuyển tiếp chúng (tái truyền đại chúng).

  Mesh BS có thể tạo một thông báo MSH-CSCH và truyền đại chúng nó đến tất cả đối tượng lân cận để cấp phát băng thông cho một nút

nào đó, và sau đó tất cả nút có một số bước nhảy thấp hơn một ngưỡng nào đó chuyển tiếp thông báo MSH-CSCH đến các đối tượng lân cận của nó vốn có số bước nhảy cao hơn. Mặt khác, các nút có thể sử dụng các thông báo MSH-CSCH để yêu cầu các băng thông từ Mesh BS. Mỗi nút báo cáo các yêu cầu lưu lượng riêng lẻ của mỗi nút "con" trong cây con của nó với Mesh BS.

- MSH-DSCH (Mesh Distributed Schedule) là một thông báo quản lý MAC được truyền đại chúng trong chế độ Mesh khi sử dụng việc lập thời biểu phân phối (distributed scheduling). Trong việc lập thời biểu phân phối, tất cả nút phát một MSH-DSCH với các khoảng thời gian đều đặn để thông báo cho tất cả đối tượng lân cận về thời biểu của trạm phát, giao thức phối hợp được cung cấp trong chuẩn. Hơn nữa, các thông báo MSH-DSCH được sử dụng để truyền tải thông tin về các nguồn tài nguyên miễn phí, xác định nơi các đối tượng lân cận có thể cấp phát.



Hình 9.18: Ba phần của frame con Schedule Control trong frame con Mesh.

Chương 10

Các cơ cấu cấp phát và yêu cầu băng thông Uplink

10.1 Cấp phát băng thông Downlink và Uplink

Những cấp phát băng thông downlink và uplink hoàn toàn khác nhau. Chuẩn 802.16 có một cấu trúc tập trung MAC nơi bộ lập thời biểu (scheduler) BS điều khiển tất cả tham số hệ thống, kể cả giao diện vô tuyến (radio interface). Nhiệm vụ của BS Scheduler này là quyết định các truy cập uplink và downlink. Các chi tiết frame con uplink và downlink đã được nêu trong chương 9.

Cấp phát băng thông downlink là một tiến trình được thiết lập bởi BS theo những tham số khác nhau, yếu tố quyết định trong sự cấp phát băng thông. Bằng cách xem xét lớp QoS cho nối kết và số lượng lưu lượng được yêu cầu, BS scheduler giám sát liên kết và quyết định SS nào sẽ có chớp tín hiệu downlink và burst profile thích hợp. Trong chương này, các cơ cấu truy cập uplink của WiMAX/802.16 được mô tả. Chương 11 trình bày việc lập thời biểu và QoS.

Trong uplink của mỗi vùng BS hoặc tương đương cell WiMAX, các SS phải tuân theo một giao thức truyền vốn kiểm soát sự tranh chấp giữa chúng và cho phép các dịch vụ truyền được điều chỉnh theo sự trễ và các yêu cầu băng thông của mỗi ứng dụng người dùng. Điều này được thực hiện bằng cách xem xét năm lớp cấp dịch vụ uplink, tương ứng với năm lớp QoS mà các cuộc truyền uplink có thể có.

Sự truy cập và cấp phát băng thông uplink được nhận ra bằng cách sử dụng một trong bốn phương pháp sau đây:

- các cấp phát băng thông không được yêu cầu;
- yêu cầu băng thông piggyback;
- kiểm tra vòng (polling) unicast, đôi khi được gọi đơn giản là polling.
- các thủ tục dựa vào tranh chấp, bao gồm kiểm tra vòng broadcast hoặc multicast, nơi sự tranh chấp dựa vào các thủ tục yêu cầu băng thông có các biến thể phụ thuộc vào lớp PHYsical được sử dụng: OFDM hoặc OFDMA (xem bên dưới).

Các chuẩn nêu rõ ràng những cơ cấu này được định nghĩa để cho phép các nhà cung cấp tối ưu hóa hiệu suất hệ thống bằng cách sử dụng những tổ hợp kỹ thuật cấp phát băng thông khác nhau này trong khi duy trì khả năng liên vận hành nhất quán. Ví dụ, chuẩn đề xuất việc sử dụng sự tranh chấp thay vì polling riêng lẻ cho SS đã không còn hoạt động trong một khoảng thời gian dài. Tiếp theo, việc nhận biết những phương pháp này được mô tả, nhưng trước tiên hai điểm khác biệt về một yêu cầu cấp phát uplink được giới thiệu.

10.2 Các loại yêu cầu cấp phát truy cập Uplink

BS quyết định các cuộc truyền trong uplink và downlink. Đối với sự truy cập uplink, một sự cấp phát (grant) được định nghĩa là quyền cho một SS để truyền trong một khoảng thời gian nhất định. Các yêu cầu về băng thông phải được thực hiện bằng số byte cần thiết để tải header và payload MAC, nhưng không phải hao phí PHY. Đối với một SS, các yêu cầu băng thông tham chiếu các nối kết riêng lẻ trong khi mỗi phần cấp phát băng thông được gởi đến Bacsic CID của SS, không phải đến CID riêng lẻ. Sau đó, nhiệm vụ của SS là sử dụng băng thông được quy cho bất kỳ CID đó. Vì nó không thể quyết định yêu cầu nào đang được tôn trọng, khi SS nhận một cơ hội truyền ngắn hơn mong đợi do một quyết định của scheduler, sự mất thông báo yêu cầu hoặc một lý do khác, lý do rõ ràng không được đưa ra.

Do đó, BS cho phép cấp phát sau khi nhận được yêu cầu từ một SS. Có hai điểm cần phân biệt cho yêu cầu này. Những điểm phân biệt này được mô tả bây giờ.

10.2.1 Yêu cầu băng thông gia tăng và tập hợp

Một yêu cầu cấp phát (bởi một SS) có thể gia tăng (incremental) hoặc tập hợp (aggregate):

- Khi BS nhận một yêu cầu băng thông gia tăng, nó thêm số lượng băng thông được yêu cầu vào việc nó đang nhận biết các yêu cầu băng thông của nối kết.
- Khi BS nhận một yêu cầu băng thông tập hợp, nó thay thế việc nhận biết những yêu cầu băng thông của nối kết bằng lượng băng thông được yêu cầu.

Bản chất tự hiệu chỉnh của giao thức cấp phát yêu cầu đòi hỏi các SS nên định kỳ sử dụng các yêu cầu băng thông tập hợp. Chuẩn nêu rõ rằng khoảng thời gian này có thể là một chức năng của QoS của một dịch vụ và của chất lượng liên kết, nhưng không cho một giá trị chính xác cho nó.

Yêu cầu cấp phát có thể được gởi trong hai loại frame MAC, được mô tả trong mục nhỏ dưới đây. Chỉ một loại frame MAC đầu tiên (yêu cầu băng thông độc lập) là tập hợp hoặc gia tăng.

10.2.2 Yêu cầu băng thông độc lập và Piggyback

Hai loại frame MAC của chuẩn 802.16 đã được định nghĩa trong mục 8.2 có thể được sử dụng bởi một SS để yêu cầu việc cấp phát băng thông từ BS. Cụ thể, mục 8.2.3 nêu chi tiết các header MAC và đưa ra hai loại yêu cầu được mô tả bây giờ.

Yêu cầu băng thông độc lập được truyền trong một frame MAC chuyên dụng có một dạng Header không có payload Type I, được biểu thị bởi bit đầu tiên của frame, bit Header Type bằng 1. Một trường Type trong header yêu cầu băng thông xác định xem yêu cầu là gia tăng hoặc tập hợp (xem bảng 8.3). Trong header yêu cầu băng thông, một trường yêu cầu băng thông dài 19 bit, trường Bandwidth Request xác định số byte của băng thông uplink được yêu cầu bởi SS cho một CID đã cho cũng được cung cấp trong header này.

Yêu cầu băng thông độc lập được đưa vào hai phương pháp yêu cầu cấp phát chính: unicast polling và polling dựa vào sự tranh chấp.

Đối với bất kỳ sự cấp phát uplink, SS có thể tùy chọn quyết định sử dụng sự cấp phát cho:

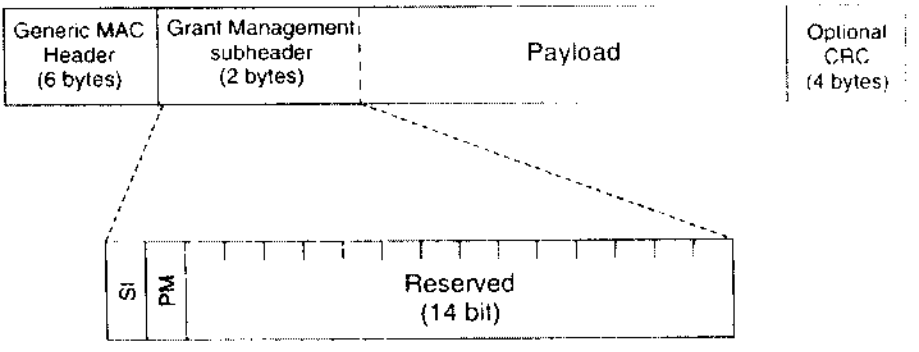
- dữ liệu;
- các yêu cầu;
- các yêu cầu được piggyback trong dữ liệu.

Yêu cầu băng thông piggyback sử dụng header con quản lý cấp phát vốn được truyền trong một frame MAC generic (sau đó có một header MAC generic). Điều này được xác định bằng bit đầu tiên của frame, bit Header Type bằng 0. Có thể tránh SS truyền MPDU (header MAC yêu cầu băng thông) đầy đủ với hao phí của một header MAC chỉ để yêu cầu băng thông. Header con quản lý cấp phát, trong một frame MAC generic được sử dụng bởi SS để truyền các yêu cầu quản lý băng thông đến BS. Bit Type trong header frame MAC generic (xem bảng 8.2) xác định sự hiện diện có thể có của một header con quản lý cấp phát.

Yêu cầu băng thông piggyback (header con quản lý cấp phát) là một cách nhẹ để nối kết một băng thông uplink yêu cầu mà không

cần phải tạo và truyền một MPDU đầy đủ với hao phí của các header MAC và CRC. Header con quản lý cấp phát dài hai byte. Nó được sử dụng bởi SS để truyền các yêu cầu quản lý băng thông đến BS trong một frame header MAC generic ngoài dữ liệu khác được truyền trong cùng một frame MAC. Phụ thuộc vào lớp của QoS của nối kết, ba loại header con quản lý cấp phát được định nghĩa như được định nghĩa và được sử dụng:

1. Header quản lý cấp phát (xem hình 10.1). Đây là trường hợp cho lớp QoS = UGS. UGS (Unsolicited Grant Services) là một lớp QoS được thiết kế để hỗ trợ các service flow thời gian thực, nơi SS có một sự truy cập uplink đều đặn (xem chương 11 để biết thêm chi tiết về lớp UGS). Đối với lớp QoS này, bit PM (Poll-Me) trong header con quản lý cấp phát có thể được sử dụng bởi SS để cho BS biết rằng nó cần được kiểm tra vòng (poll) để yêu cầu băng thông cho các nối kết không phải UGS (xem bên dưới).

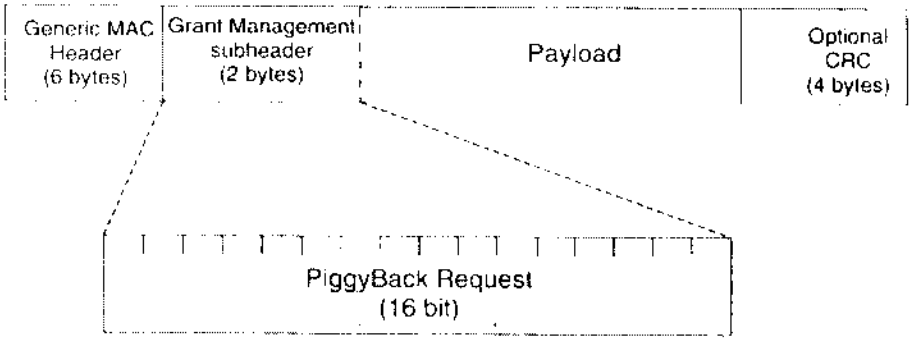


Hình 10.1: Header con quản lý cấp phát cho lớp QoS = UGS (Unsolicited Grant Services)

Header con quản lý cấp phát chứa chỉ hai bit hữu dụng: SI (Slip Indicator), được sử dụng bởi SS để xác định một slip của các phần cấp phát uplink liên quan đến chiều sâu hàng đợi uplink, và bit PM (Poll-Me), được sử dụng bởi SS để yêu cầu một sự kiểm tra vòng băng thông có lẽ cho thêm băng thông uplink cần thiết đối với sự truy cập đều đặn mà UGS SS này có. Việc sử dụng bit Slip Indicator bởi SS như sau: BS có thể cung cấp việc bù đắp dài hạn các điều kiện kém, chẳng hạn như các map bị mất hoặc những sự không tương hợp của tốc độ đồng hồ bằng cách phân phát thêm các phần cấp phát. Cờ SI cho phép ngăn việc dự trữ quá nhiều băng thông bởi BS. SS xác lập cờ này một khi nó phát hiện rằng service flow đã vượt quá chiều sâu hàng đợi của nó. Một khi SS phát hiện hàng đợi truyền

service flow trở lại trong giới hạn đó, nó xóa cờ SI. Không có các giá trị chính xác cho những giới hạn này được nêu trong chuẩn.

2. Header con yêu cầu cấp phát piggyback (xem hình 10.2). Đây là trường hợp cho các lớp QoS UGS. Vì header con yêu cầu băng thông được piggyback không có một trường Type, nó sẽ luôn gia tăng. Trường yêu cầu piggyback là số byte của băng thông uplink được yêu cầu bởi SS. Yêu cầu băng thông dành cho CID được xác định trong header frame MAC (xem mục 8.2).



Hình 10.2: Header con quản lý cấp phát cho lớp QoS = UGS (Unsolicited Grant Services). Trường yêu cầu piggyback là số byte của băng thông uplink được yêu cầu bởi SS

3. Yêu cầu piggyback mở rộng. Điều này được định nghĩa bằng điểm sửa đổi 16e cùng với và cho lớp ertPS (mới được định nghĩa). Số byte của băng thông uplink (piggyback) được yêu cầu bởi SS nằm trên 11 bit (thay vì 16). Yêu cầu thì gia tăng. Trong trường hợp của lớp ertPS, nếu MSB (Frame Latency Indicator hoặc FLI) của header con quản lý cấp phát là 1, BS thay đổi kích cỡ polling của nó thành kích cỡ được xác định trong các LSB của trường này (trường Frame Latency (FL)).

Chuẩn (16e) nêu rõ rằng các trường FL và FLI có thể được sử dụng để cung cấp cho BS thông tin về việc đồng bộ hóa của ứng dụng SS vốn tạo dữ liệu định kỳ cho các service flow UGS/rtPS mở rộng. SS có thể sử dụng trường này để phát hiện xem thời gian trễ mà service flow này gặp phải tại SS có vượt quá một giới hạn nhất định hay không, ví dụ một khoảng thời gian frame. Nếu FL xác định thời gian trễ quá mức, BS có thể dịch chuyển các cấp phát được lập thời biểu trước đó cho service này (xem xét FL).

Chuẩn nêu rõ khả năng của yêu cầu piggyback là tùy chọn. Điều này có lẽ bao gồm header con quản lý cấp phát PM.

10.3 Các cơ cấu yêu cầu cấp phát sự truy cập Uplink

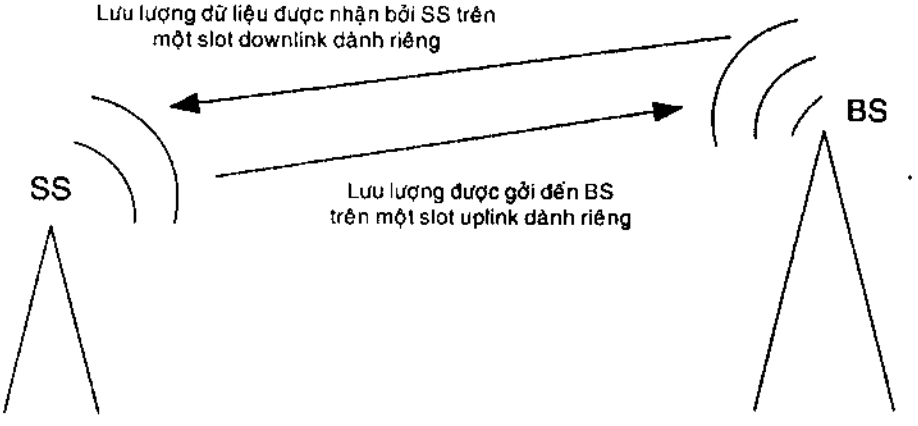
Chuẩn 802.16 định nghĩa hai phương pháp yêu cầu cấp phát chính:

- unicast polling (hoặc polling);
- polling dựa vào sự tranh chấp.

Lớp UGS của QoS có các phần cấp phát băng thông không được yêu cầu, đôi khi được xem là một cơ cấu yêu cầu cấp phát (ngầm định) mặc dù nó dựa vào các slot dành riêng được ấn định cho các SS lớp UGS được quan tâm. Những cơ cấu yêu cầu cấp phát này bây giờ sẽ được mô tả bắt đầu với một cơ cấu đơn giản nhất, các phần cấp phát băng thông không được yêu cầu.

10.3.1 Các phần cấp phát băng thông không được yêu cầu

Kỹ thuật cấp phát băng thông không được yêu cầu gồm các slot dành riêng cho các lớp SS UGS. Loại yêu cầu băng thông này hữu dụng cho các ứng dụng đòi hỏi một luồng dữ liệu tốc độ cố định. Hình 10.3 minh họa cơ cấu cấp phát băng thông không được yêu cầu trong uplink và downlink. Loại cấp phát truy cập này được sử dụng chỉ bởi lớp UGS của QoS.



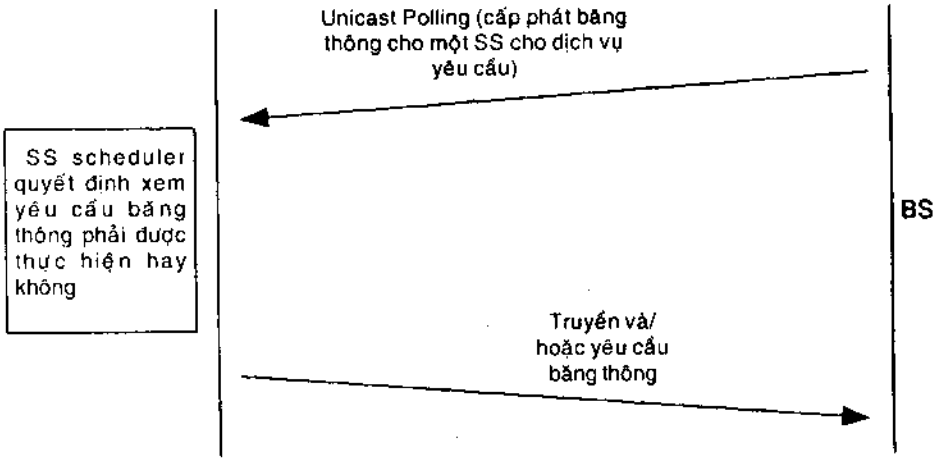
Hình 10.3: Các phần cấp phát băng thông không được yêu cầu trong uplink

10.3.2 Unicast Polling

Polling (kiểm tra vòng) là tiến trình mà qua đó BS cấp phát băng thông cho các SS nhằm mục đích thực hiện các yêu cầu băng thông. Những cấp phát này có thể dành cho một SS riêng lẻ hoặc một nhóm SS. Việc sử dụng polling đơn giản hóa hoạt động truy cập và bảo đảm

rằng các ứng dụng có thể nhận dịch vụ trên một cơ sở quyết định nếu nó được yêu cầu. Kỹ thuật cấp phát này được sử dụng khi yêu cầu tài nguyên băng thông không liên quan đủ để có các cấp phát băng thông không được yêu cầu cho tất cả người dùng; sau đó PS có thể trực tiếp gán lượng yêu cầu đến các SS khi cần thiết.

Khi một SS được kiểm tra vòng một cách riêng lẻ, nó là một unicast polling. Trong trường hợp của unicast polling, thông báo cụ thể không được truyền để kiểm tra vòng SS. Thay vào đó, SS được cấp phát, trong UL-MAP, băng thông đầy đủ để phản hồi bằng một yêu cầu Bandwidth (BW). Chuẩn xác định rằng đối với bất kỳ sự cấp phát uplink riêng lẻ, SS có thể tùy chọn quyết định sử dụng việc cấp phát dữ liệu, yêu cầu hoặc các yêu cầu được piggyback trong việc truyền dữ liệu. Bằng cách xem xét các yêu cầu truyền uplink đang chờ giải quyết khác nhau của nó, SS scheduler quyết định xem một yêu cầu băng thông phải được thực hiện, độc lập hoặc piggyback với dữ liệu (xem phần 10.2) hay không. Nếu SS không có dữ liệu để truyền và sau đó không cần băng thông, sự cấp phát được đệm (pad), cuối cùng sử dụng một padding CID (xem bảng 7.1). Hình 10.4 minh họa cơ cấu unicast polling.



Hình 10.4: Minh họa cơ cấu unicast polling. Nếu SS không có nhu cầu, các slot được cấp phát được đệm

Chuẩn nêu rõ unicast polling thường được thực hiện trên cơ sở mỗi SS bằng cách cấp phát một Data Grant IE (hoặc Data Grant Burst Type IE) được hướng dẫn tại Basic CID của nó. Một Data Grant IE (hoặc Data Grant Burst Type IE) là một UL-MAP_IE với UIUC xác định burst profile của khoảng thời gian truy cập uplink được cấp phát cho một SS.

Các SS với các nối kết UGS hiện hành có thể xác lập bit PM trong header con quản lý cấp phát (xem hình 10.1) trong gói MAC của nối kết UGS của chúng để cho BS biết rằng chúng cần được kiểm tra vòng cho băng thông yêu cầu cho một hoặc nhiều nối kết không phải UGS. Để giảm các yêu cầu băng thông kiểm tra vòng riêng lẻ trong downlink, các SS có các nối kết UGS hiện hành cần được kiểm tra vòng riêng lẻ chỉ khi bit PM này được xác lập. Một khi BS phát hiện yêu cầu kiểm tra vòng này, nó áp dụng tiến trình polling riêng lẻ.

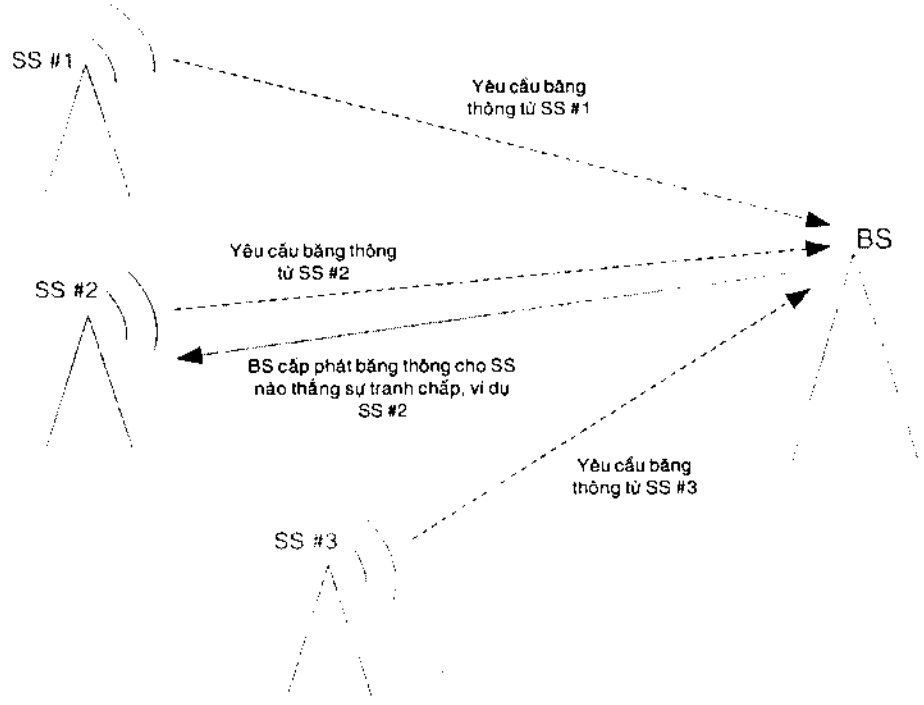
10.3.3 Kiểm tra vòng nhóm (Multicast hoặc Broadcast) dựa vào sự tranh chấp

Băng thông có sẵn có thể không đủ để kiểm tra vòng riêng lẻ tất cả SS không đang hoạt động. Các cơ cấu yêu cầu cấp phát dựa vào sự tranh chấp được cấp phát một phần nhỏ của mỗi frame uplink (trong chế độ FDD) hoặc frame con (trong chế độ TDD) được gọi là slot tranh chấp các yêu cầu băng thông (xem chương 9, hình 9.7). Kích cỡ của slot tranh chấp này được gọi trong chuẩn là Request IE, được biểu thị bởi BS (xem mục 10.3.7). Với slot tranh chấp này, một SS có thể truy cập mạng bằng cách hỏi BS về một slot uplink. Nếu BS nhận yêu cầu (nghĩa là không có sự xung đột), nó lượng giá yêu cầu SS trong ngữ cảnh chấp thuận cấp dịch vụ của nó, trạng thái mạng vô tuyến và thuật toán lập thời biểu và có lẽ cấp phát một slot mà SS có thể truyền dữ liệu trong đó. Một số SS chẳng hạn như các SS không hoạt động trong một khoảng thời gian dài và/hoặc có quyền ưu tiên truy cập thấp, sau đó có thể kiểm tra vòng trong các nhóm multicast. Trong một số trường hợp, một broadcast poll cũng có thể được thực hiện. Do đó, multicast polling tiết kiệm băng thông đối với phương pháp nơi mà tất cả SS được kiểm tra vòng một cách riêng lẻ. Trong trường hợp việc kiểm tra vòng được thực hiện đối với một nhóm SS, băng thông được cấp phát dành cụ thể cho mục đích thực hiện các yêu cầu băng thông.

Một số CID được dành riêng cho các nhóm multicast và cho các thông báo truyền đại chúng (xem bảng 7.1). Đối với việc kiểm tra vòng (unicast) riêng lẻ, poll không phải là một thông báo rõ ràng nhưng là băng thông được cấp phát trong UL-MAP. Sự khác biệt là thay vì kết hợp một băng thông được cấp phát với Basic CID của một SS, việc cấp phát là đối với một CID multicast hoặc broadcast. Một ví dụ về sự kiểm tra vòng BS được cung cấp trong mục 10.3.7.

Group polling (multicast hoặc broadcast) làm việc như sau. Khi cuộc kiểm tra vòng (poll) được hướng dẫn tại multicast CID hoặc broadcast CID, một SS thuộc về nhóm được kiểm tra vòng có thể yêu cầu băng thông trong bất kỳ khoảng thời gian yêu cầu được cấp phát cho CID đó trong một UL-MAP. Hình 10.5 minh họa cơ cấu kiểm tra vòng nhóm dựa vào sự tranh chấp. Để giảm khả năng xung đột với

việc kiểm tra vòng multicast và broadcast, chỉ SS cần băng thông mới trả lời. Những SS trả lời này áp dụng một thuật toán phân giải tranh chấp, được mô tả trong mục 10.3.5 để chọn slot truyền yêu cầu băng thông ban đầu trong đó. Cơ cấu này cho phép phân bố công bằng băng thông giữa các SS khác nhau mà không cấp phát một khe chuyên dụng cho mỗi SS.



Hình 10.5: Minh họa việc kiểm tra vòng nhóm (group polling) dựa vào sự tranh chấp. Ba SS được minh họa là nhóm được kiểm tra vòng (multicast hoặc broadcast). Chúng đều có một yêu cầu băng thông. SS 2 thắng được sự tranh chấp và sau đó nhận một phần cấp phát băng thông.

Một SS trả lời giả định rằng việc truyền đã không thành công nếu nó không nhận được sự cấp phát sau một số thông báo UL-MAP đã cho. Tham số này được gọi là timeout dành riêng dựa vào tranh chấp, được cho trong thông báo quản lý UCD MAC (xem chương 9 để tham khảo một thông báo UCD). Nếu cần, một SS truyền trong tổng thời gian của tất cả phần cấp phát uplink của nó bằng cách sử dụng một cơ cấu padding (đệm) đã cho.

10.3.4 Quản lý các nhóm kiểm tra vòng Multicast

BS có thể thêm một SS vào nhóm kiểm tra vòng multicast được nhận dạng bởi một giá trị CID kiểm tra vòng multicast, bằng cách gởi thông báo quản lý MAC MCA-REQ (Multicast Polling Assignment

Request) với lệnh Join. Mặt khác, BS có thể loại bỏ một SS ra khỏi một nhóm kiểm tra vòng multicast bằng cách gởi thông báo quản lý MCA-REQ MAC với lệnh Leave. Sau khi nhận thông báo MCA-REQ, SS sẽ phản hồi bằng cách gởi thông báo quản lý MAC MCA-RSP (Multicast Polling Assignment Response). Cùng với các tham số TLV của thông báo quản lý MCA-REQ MAC là các mục sau đây: multicast CID (mà SS phải gia nhập hoặc rời khỏi) và việc gán (rời khỏi hoặc gia nhập). Các nhóm multicast có thể có một sự cấp phát kiểm tra vòng định kỳ sau số frame xác định (và được mã hóa bằng TLV) trong thông báo MCA-REQ. Loại kiểm tra vòng định kỳ này (REQ Region Full hoặc REQ Region Focused, xem phần 10.4) cũng nằm trong giữa các tham số MCA-REQ TLV.

MCA-RSP được gởi bởi SS để phản hồi lại một MCA-REQ và chứa chủ yếu mã cấu hình bằng zero nếu yêu cầu đã thành công và bằng khác nhau không trong trường hợp thất bại. Hai thông báo này sử dụng nối kết quản lý chính, nghĩa là chúng được gởi trên CID quản lý chính của SS (trong trường CID header MAC MAC).

10.3.5 Giải quyết tranh chấp cho sự kiểm tra vòng nhóm (Group Polling)

10.3.5.1 Cơ hội truyền

Cơ hội truyền trong một thủ tục dựa vào sự tranh chấp của 802.16 được định nghĩa là sự cấp phát không gian tranh chấp trong một UL-MAP cho nhóm SS. Trong OFDM PHY, có các cơ hội truyền dành riêng cho việc truyền các yêu cầu băng thông và những cơ hội khác cho việc truyền initial ranging (xác định phạm vi ban đầu). Thủ tục initial ranging được mô tả trong chương 11. Nhóm SS này có thể bao gồm tất cả SS có một mục đích gia nhập cell hoặc tất cả SS được đăng ký hoặc một nhóm kiểm tra vòng multicast nào đó.

Quy mô của một cơ hội truyền riêng lẻ dành cho mỗi loại IE tranh chấp được xác định bởi BS trong thông báo quản lý UCD MAC. Tham số này được gọi là Bandwidth request opportunity size hoặc Ranging request opportunite size (xem chương 9), là kích cỡ tính bằng các đơn vị PS (Physical Slot) của payload PHY mà một SS có thể sử dụng để định dạng và phát một thông báo yêu cầu băng thông hoặc một thông báo yêu cầu initial ranging trong vùng yêu cầu tranh chấp. Giá trị bao gồm tất cả hao phí PHY cũng như cung cấp dữ liệu MAC mà thông báo chứa. Nên nhớ rằng đối với các lớp PHYsical OFDM và OFDMA, một PS được định nghĩa là khoảng thời gian của bốn ký hiệu OFDM.

BS luôn cấp phát băng thông cho các IE tranh chấp trong các bội số số nguyên của những giá trị cơ hội truyền riêng lẻ được xuất bản này. Số cơ hội truyền được kết hợp với một UL-MAP_IE cụ thể tương

ứng với một khoảng thời gian yêu cầu initial ranging, hoặc băng thông sau đó phụ thuộc vào tổng kích cỡ của sự cấp phát không gian tranh chấp này cũng như kích cỡ của một cuộc truyền riêng lẻ. Xem ví dụ số trong mục 10.3.7.

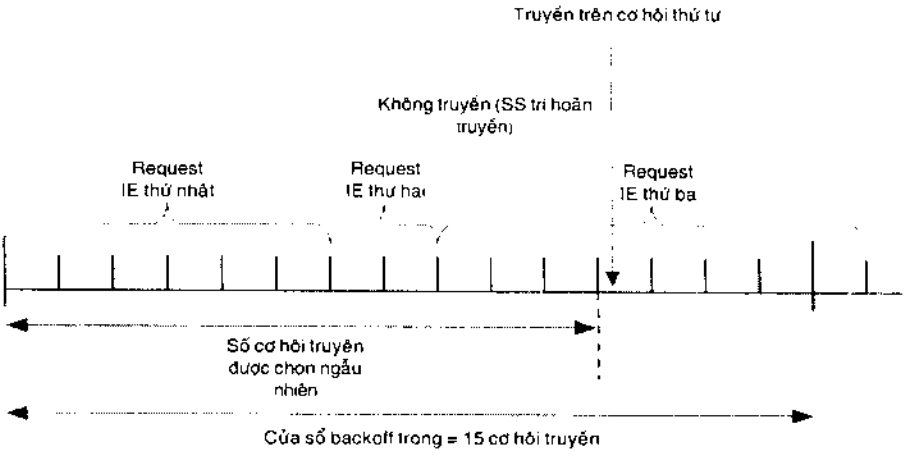
10.3.5.2 Thuật toán giải quyết tranh chấp

Các xung đột có thể xảy ra trong các khoảng thời gian yêu cầu initial ranging và băng thông trong frame (con) uplink. Sự truyền uplink và thuật toán giải quyết tranh chấp giống nhau cho cả hai tiến trình này. Vì một SS có thể có nhiều service flow uplink hiện hành (và sau đó tương đương nhiều CID), nó đưa ra các quyết định ranging hoặc yêu cầu này trên cơ sở mỗi CID hoặc mỗi QoS dịch vụ.

Phương pháp giải quyết tranh chấp được yêu cầu bởi chuẩn 802.16 dựa vào một backoff số mũ nhị phân được xén với cửa sổ backoff ban đầu và các giá trị cửa sổ backoff tối đa được chọn bởi BS. Hai tham số này được xác định trong thông báo UCD. Chúng được cho dưới dạng một lũy thừa hai giá trị -1 (âm 1). Ví dụ, giá trị 4 xác định một cửa sổ backoff giữa 0 và 15; giá trị 10 xác định một cửa sổ backoff giữa 0 và 1023. Đối với bốn cửa sổ này, dãy giá trị của n là 0-15; nghĩa là các kích cỡ có thể có là giữa 0 và 65535.

Thuật toán giải quyết tranh chấp làm việc như sau. Khi một SS có thông tin để gởi và muốn đi vào tiến trình giải quyết tranh chấp, nó xác lập cửa sổ backoff trong của nó bằng với cửa sổ backoff ban đầu request (hoặc ranging cho initial ranging) được định nghĩa trong thông báo UCD. Bản thân thông báo UCD này được tham chiếu bởi số lượng UCD trong thông báo UL-MAP hiện có hiệu lực.

SS ngẫu nhiên chọn một số trong cửa sổ backoff này. Giá trị ngẫu nhiên nhận được xác định số cơ hội truyền tranh chấp mà SS sẽ từ chối trước khi truyền. Một SS xem xét chỉ các cơ hội truyền tranh chấp mà việc truyền này có đủ điều kiện. Các vùng tranh chấp được định nghĩa trong chuẩn là Request IE (hoặc Initial Ranging IE cho initial ranging) trong các thông báo UL-MAP được nhận dạng bởi các UL-MAP_IE thích hợp (xem mục 10.3.7). Chú ý rằng mỗi IE có thể gồm nhiều cơ hội truyền tranh chấp. Sử dụng các yêu cầu băng thông làm ví dụ, xem xét một SS có cửa sổ backoff ban đầu là 0-15 và giả định nó chọn ngẫu nhiên số 11. SS phải trì hoãn tổng cộng 11 cơ hội truyền tranh chấp. Nếu Request IE có sẵn đầu tiên dành cho sáu yêu cầu, SS sẽ không sử dụng Request IE này và có thêm năm cơ hội nữa để trì hoãn. Nếu Request IE kế tiếp dành cho hai yêu cầu, SS có thêm ba cơ hội để trì hoãn. Nếu Request IE thứ ba dành cho tám yêu cầu, SS truyền trên cơ hội thứ tư sau khi trì hoãn thêm ba cơ hội nữa (xem hình 10.6).



Hình 10.6: Ví dụ về một cơ cấu backoff. SS phải đợi 11 cơ hội truyền (một số được chọn ngẫu nhiên giữa 0 và cửa sổ backoff trong). Trong hình này, chỉ Request IE (slot tranh chấp) được trình bày chứ không phải phần còn lại của frame (con) uplink.

Sau một cuộc truyền tranh chấp, SS đợi một Data Grant Burst Type IE trong một map kế tiếp (hoặc Ranging Response (RNG-RSP), thông báo cho initial ranging). Một khi được nhận, việc giải quyết tranh chấp hoàn tất. Đối với các yêu cầu băng thông, nếu SS nhận một Request IE unicast hoặc Data Grant Burst Type IE bất cứ lúc nào trong khi trì hoãn đối với CID này, nó dừng tiến trình giải quyết tranh chấp và sử dụng cơ hội truyền tường minh. SS xem xét cuộc truyền tranh chấp bị mất nếu phần cấp phát dữ liệu đã không được cho trong khoảng thời gian nào đó (hoặc không có sự phản hồi ranging trong một khoảng thời gian đã cho khác cho initial ranging). Trong trường hợp này, SS tăng cửa sổ backoff của nó lên hệ số hai, miễn là nó nhỏ hơn cửa sổ backoff tối đa. Sau đó SS chọn ngẫu nhiên một số mới trong cửa sổ backoff mới của nó và lặp lại tiến trình trì hoãn được mô tả ở trên. Tiến trình thử lại này tiếp tục cho đến khi đạt được số lần thử lại tối đa (nghĩa là Request Retries cho các yêu cầu băng thông và Contention Ranging Retries cho initial ranging). Vào lúc này, đối với các yêu cầu băng thông, SS loại bỏ cuộc truyền đang chờ giải quyết. Giá trị tối đa cho Request Retries là 16. Do có khả năng xảy ra các xung đột, các yêu cầu băng thông được truyền sau một cuộc kiểm tra vòng broadcast hoặc multicast phải là những yêu cầu tập hợp.

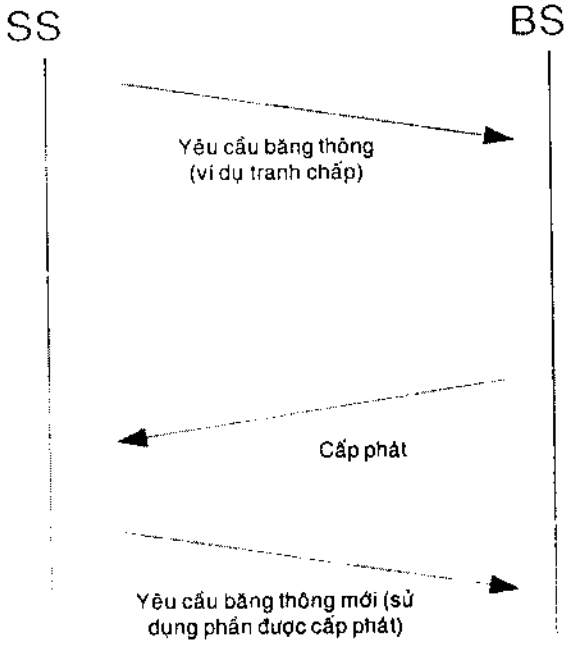
Các lựa chọn về Request (hoặc Ranging) Backoff Start hoặc Request (hoặc Ranging) Backoff End bởi BS cho nó nhiều sự linh hoạt trong việc kiểm soát việc giải quyết tranh chấp. Những lựa chọn này

có thể được thay đổi thường xuyên như tần suất thông báo UCD nếu cần thiết.

Điểm cần xác định là thuật toán giải quyết tranh chấp này được sử dụng như nhau cho WiFi IEEE 802.11 WLAN cho một chức năng truy cập được phân phối dựa vào tranh chấp, đây là chế độ được sử dụng hiệu quả, cho đến bây giờ đối với các WLAN 802.11.

10.3.6 Đánh cấp băng thông

Một băng thông luôn được yêu cầu trên cơ sở CID và được cấp phát trên cơ sở SS (đối với CID cơ sở SS). Tiến trình đánh cấp băng thông được định nghĩa trong chuẩn là việc sử dụng bởi một trạm thuê bao (SS) của phần băng thông được cấp phát phản hồi lại một Bandwidth Request cho nối kết để gởi Bandwidth Request khác thay vì gởi dữ liệu (xem hình 10.7). Tiến trình này được cấp phát cho một số lớp QoS (xem chương 11).



Hình 10.7: Minh họa nguyên lý đánh cấp băng thông

10.3.7 Ví dụ về sự truy cập Uplink

Trình tự thông tin cho việc kiểm tra vòng unicast, multicast và broadcast bây giờ được minh họa trong một ví dụ. Lớp OFDM được xem xét cũng như lý thuyết số sau đây:

- Băng thông = 3.5 MHz;

- n = 8/7 (hệ số lấy mẫu);
- G (hệ số thời gian bảo vệ) = 1/8;
- Khoảng thời gian frame = 5 ms;
- Chế độ song công (duplexing) là FDD.

Đối với những giả thuyết này, có thể xác minh số ký hiệu OFDM mỗi frame là 69 (xem mục 5.2.4). Chuẩn nêu rõ một frame con uplink gồm khoảng thời gian tranh chấp được lập thời biểu cho initial ranging, khoảng thời gian tranh chấp được lập thời biểu cho các mục đích Bandwidth Request và một hoặc nhiều PHY PDU uplink, mỗi PDU được truyền từ một SS khác.

Bảng 10.1 minh họa một ví dụ về nội dung thông báo quản lý UL-MAP MAC. Đặc tính của mỗi IE được định nghĩa bởi một UL-MAP IE, thay đổi phụ thuộc vào loại CID được sử dụng trong IE này (xem các giá trị định nghĩa CID trong bảng 7.1). Khi các giá trị CID được định nghĩa broadcast và multicast được sử dụng, đây là một lời mời cho tất cả (hoặc một số) SS tranh giành các yêu cầu. Nếu một CID cơ sở cơ bản (sau đó CID của một SS) được sử dụng, đây là một lời mời cho SS cụ thể truyền dữ liệu và/hoặc yêu cầu một băng thông (xem mục 10.3.2). Trong bảng này, hai trường UL-MAP_IE, chỉ số kênh con và khoảng lặp lại midamble không được trình bày để đơn giản hóa bảng này. Đối với các tham số lớp PHYsical OFDM (WiMAX cố định), nghĩa là các dạng UL-MAP_IE, các giá trị UIUC (xem bảng 9.9)..., các trường Start Time và Duration được thể hiện bằng các đơn vị của khoảng thời gian ký hiệu OFDM (đối với các DL-MAP_IE).

Bảng 10.1: Ví dụ về nội dung thông báo UL-MAP. Hai trường UL-MAP_IE, chỉ số kênh con và khoảng lặp lại midamble không được trình bày trong bảng này.

Trường thông báo UL-MAP	Mô tả
Management message type of UL-MAP (=3)	Định danh của kênh uplink mà thông báo này tham chiếu đến (không nhầm lẫn với CID). Được chọn tùy ý bởi BS, ID này được sử dụng làm một định danh cục bộ cho một số giao tác
Uplink channel ID (8 bit)	
UCD count (8 bit)	Số lượng thay đổi cấu hình của UCD (giống nhau đối với DL-MAP)
Base Station ID (48 bit)	Định danh trường dài 48 bit của BS (giống nhau đối với DL-MAP)
Allocation start time (32 bit)	Thời gian bắt đầu hiệu dụng của các cấp phát uplink được định nghĩa bởi UL-MAP, bắt đầu từ đầu frame downlink mà thông báo UL-MAP này được đặt trong đó

UL-MAP	CID = 0x0000 UIUC = 1	Định nghĩa (Initial) Ranging IE
IE1	Start time = 0 Duration = 16	
UL-MAP	CID = 0xFFFF UIUC = 2	Định nghĩa một (Bandwidth) Request
IE2	Start time = 16	IE được kết hợp với CID truyền đại
	Duration = 12	chúng. Sau đó đây là một sự kiểm tra vòng truyền đại chúng (broadcast polling)
UL-MAP	CID = 0xFF10 UIUC = 2	Định nghĩa một (Bandwidth) Request
IE3	Start time = 28 Duration = 8	IE được kết hợp với CID = 0xFF10 (multicast CID, xem bảng CID, bảng 7.1). Sau đó đây là một multicast polling
UL-MAP	CID = 0xFF20 UIUC = 2	Định nghĩa một (Bandwidth) Request
IE4	Start time = 36 Duration = 4	IE được kết hợp với CID = 0xFF20 (multicast CID, xem bảng CID, bảng 7.1). Sau đó đây là một multicast polling
UL-MAP	CID = 0x0023 UIUC = 5	Cấp phát uplink cho CID = 0x0023
IE5	Start time = 40 Duration = 10	(Basic CID của một SS riêng biệt). Điều này tương ứng với một uplink burst (hoặc uplink PHY PDU), có thể chứa nhiều thông báo MAC được truyền trong sự điều biến/mã hóa (ngoài các tham số burst profile khác) tương ứng với UIUC = 5 (xem bảng UIUC, bảng 9.9)
UL-MAP	CID = 0x00121 UIUC = 7	Cấp phát uplink cho CID = 0x00012
IE6	Start time = 50 Duration = 7	(Basic CID của một SS riêng biệt). UIUC = 7
UL-MAP	CID = 0x000A UIUC = 7	Cấp phát uplink cho CID = 0x000A
IE7	Start time = 57 Duration = 7	(Basic CID của một SS riêng biệt). UIUC = 7
UL-MAP	CID = 0x0005 UIUC = 9	Cấp phát uplink cho CID = 0x0005
IE8	Start time = 64 Duration = 5	(Basic CID của một SS riêng biệt. UIUC = 9
UL-MAP	CID = 0 UIUC = 14	Sự kết thúc của chớp tín hiệu được
IE9	Start time = 69 Duration = 0	cấp phát cuối cùng được biểu thị bằng việc cấp phát một chớp tín hiệu End of Map (bảng UIUC, 9.9) với trường Duration = 0 và CID = 0

Các cuộc truyền initial ranging sử dụng một preamble dài (hai ký hiệu OFDM liên tục) và burst profile bắt buộc mạnh nhất. Mạnh nhất là BPSK với một tốc độ Channel Coding là 1/2. Ước tính rằng thông báo quản lý Ranging Request MAC dài hai ký hiệu OFDM. Vậy thì Initial Ranging Request PPDU dài bốn ký hiệu OFDM. Trong trường hợp của initial ranging, sự trễ do truyền lan khứ hồi SS/BS tối đa cũng phải được xem xét. Bốn ký hiệu OFDM được thêm (điều này dành cho một cell lớn).

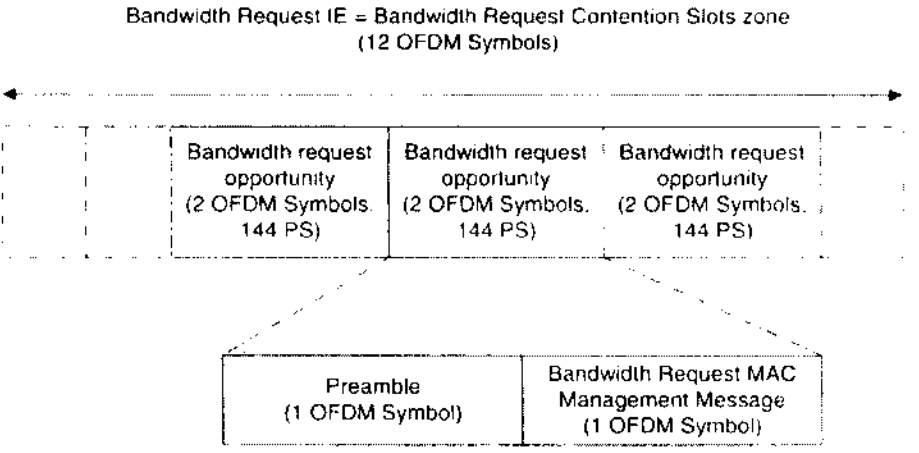
Burst profile Request IE phụ thuộc vào loại yêu cầu băng thông vì có ba yêu cầu uplink (xem bảng UIUC, bảng 9.9). Trong ví dụ này, REQ Region Full được xem xét, đây là yêu cầu uplink "đặc trưng". Do đó, việc phân kênh con không được kích hoạt. Đối với những điều kiện này, mỗi cơ hội truyền gồm một preamble ngắn, nghĩa là một ký hiệu OFDM và một ký hiệu OFDM truyền yêu cầu băng thông, sử dụng burst profile bắt buộc mạnh nhất. Ký hiệu này (96 bit không mã hóa) đủ để truyền 48 bit của frame yêu cầu băng thông MAC. Burst profile mạnh nhất là BPSK với một tốc độ mã hóa kênh chặp Reed-Solomon 1/2. Thực tế, tốc độ mã hóa chặp Reed-Solomon 1/2 luôn được sử dụng làm chế độ mã hóa khi yêu cầu truy cập mạng ngoại trừ trong các chế độ phân kênh con (subchannelisation), vốn sử dụng chỉ việc mã hóa chặp 1/2. Sau đó, Bandwidth Request PPDU dài hai ký hiệu OFDM.

Kích cỡ của một cơ hội truyền riêng lẻ cho mỗi IE tranh chấp được xác định bởi BS trong thông báo quản lý UCD MAC. Thông báo này được gọi là kích cỡ cơ hội yêu cầu băng thông hoặc kích cỡ cơ hội ranging request là kích cỡ tính bằng các đơn vị của PS (Physical Slot) của payload PHY mà một SS có thể sử dụng để truyền một thông báo yêu cầu băng thông hoặc thông báo yêu cầu initial ranging trong một cơ hội yêu cầu tranh chấp.

PS là đơn vị thời gian cơ bản. Một PS tương ứng với bốn ký hiệu (điều biến) được sử dụng trên kênh truyền (đối với các lớp PHY OFDM và OFDMA). Cơ hội truyền riêng lẻ (kích cỡ cơ hội yêu cầu băng thông hoặc kích cỡ cơ hội yêu cầu ranging) bao gồm tất cả hao phí PHY cũng như việc cho phép dữ liệu MAC mà thông báo có thể chứa. Đối với ví dụ này, giả định rằng:

- Kích cỡ cơ hội yêu cầu initial ranging được biểu thị bởi thông báo quản lý UCD MAC bằng tám ký hiệu OFDM. Initial ranging IE (các slot tranh chấp), được xác định bởi thông báo quản lý UL-MAP MAC dài 16 ký hiệu (xem bảng 10.1).
- Kích cỡ cơ hội yêu cầu băng thông được xác định bởi thông báo quản lý UCD MAC bằng hai ký hiệu OFDM (xem hình 10.8). Bandwidth Request IE (các slot tranh chấp), được biểu thị bởi thông báo

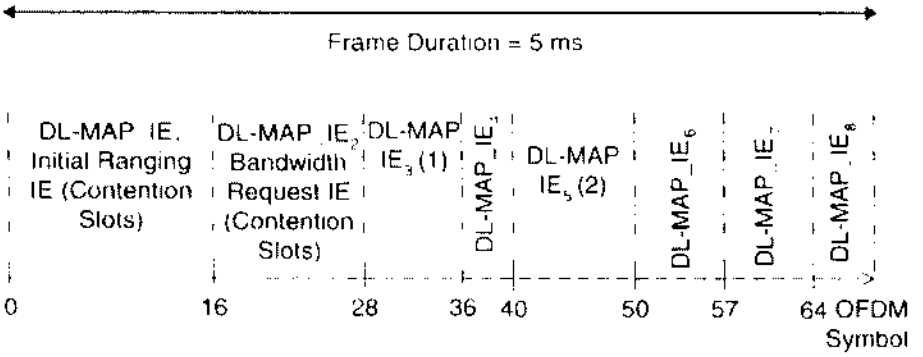
quản lý UL-MAP MAC dài 12 ký hiệu (xem bảng 10.1). Các giá trị số này được sử dụng cho hình frame uplink.



Hình 10.8: Ví dụ về Bandwidth Request IE (các slot tranh chấp yêu cầu băng thông). BS phải cấp phát một băng thông cho Bandwidth Request IE trong bội số số nguyên của các giá trị cơ hội truyền riêng lẻ (được xác định trong thông báo UCD)

Có thể kiểm chứng chiều dài của một kích cỡ cơ hội yêu cầu băng thông hoặc kích cỡ cơ hội yêu cầu ranging (trong PS, như được xác định trong thông báo UCD) là 144 PS (hai ký hiệu OFDM).

Trường duration trong UL-MAP_IE biểu thị khoảng thời gian tính bằng các đơn vị của các ký hiệu OFDM cấp phát. Giá trị này bao gồm preamble, các midamble và postamble chứa trong phần cấp phát. Trong ví dụ được nêu trong phần này, giả định rằng không có midamble, nghĩa là trường midamble repetition interval (2 bit) ở đầu thông báo UL MAP (xem chương 9 để tham khảo UL-MAP) bằng 0b00. Chuẩn xác định rằng tất cả SS phải thu nhận và điều chỉnh thời gian của chúng sao cho tất cả ký hiệu OFDM uplink đến BS trùng hợp thời gian với sự chính xác ±50% của khoảng thời gian bảo vệ tối thiểu hoặc tốt hơn. Hình 10.9 minh họa các chớp tín hiệu uplink trong frame con uplink được mô tả bởi UL-MAP trong bảng 10.1.



(1) Bandwidth Request IE được kết hợp với polling, contention slots

(2) Uplink grant (cấp phát) cho CID = 0x0023 (Basic CID của một SS cụ thể)

Hình 10.9: Các chớp tín hiệu uplink trong frame con uplink được mô tả trong bảng 10.1

Giả sử Modulation and Coding Scheme (MCS) tương ứng với UIUC = 7 là 16-QAM, 3/4, ước tính tốc độ dữ liệu uplink của SS với Basic CID = 0x000A (trên khoảng thời gian của frame được xem xét)? Hãy xét sự cấp phát này được thực hiện cách bốn frame một lần (ví dụ đối với một lớp UGS), tốc độ liên kết uplink của SS có Basic CID = 0 X 000A là bao nhiêu?

- Tốc độ dữ liệu: UIUC = 7-16-QAM, 3/4;
- 7 ký hiệu trong 5 ms: 7 x 192 x 4 x 3/4 = 4032 bit trong 5 năng suất - 806.5 kb/s;
- Một frame trên bốn - 201.6kb/s

10.4 Yêu cầu băng thông hội tụ dựa vào sự tranh chấp trong OFDM PHY

Yêu cầu băng thông hội tụ hoặc yêu cầu tranh chấp hội tụ trong lớp PHYsical OFDM được mô tả trong phần này. Yêu cầu băng thông sử dụng chỉ một phần của tất cả sóng mang thứ cấp OFDM (thay vì tất cả chúng như trong yêu cầu tranh chấp đầy đủ) cùng với các mã tranh chấp. Đối với lớp PHYsical OFDM, hai cơ cấu Bandwidth Request dựa vào tranh chấp, mỗi cơ cấu tham chiếu một REQ (Request) Region trong frame uplink, như được định nghĩa trong chuẩn:

- Sự truyền tranh chấp đầy đủ tương ứng với một không gian tranh chấp uplink được gọi trong REQ Region Full chuẩn, được biểu thị bởi một UIUC = 2 (xem bảng UIUC, bảng 9.9), và là cơ cấu tranh chấp được sử dụng trong mục 10.3.7 nếu sự phân kênh con (subchannelisation) không được kích hoạt.

- Truyền tranh chấp hội tụ tương ứng với một không gian tranh chấp uplink được gọi trong REQ Region Focused chuẩn được biểu thị bởi một UIUC = 3 (xem bảng UIUC, bảng 9.9). Sự truyền này gồm một Contention Code (mã tranh chấp) được điều biến trên một Contention Channel (kênh tranh chấp) gồm bốn sóng mang thứ cấp OFDM được chọn ngẫu nhiên bởi SS ứng cử. Thủ tục backoff luôn là thủ tục được mô tả trong mục 10.3.5. Phương pháp tranh chấp REQ Region Focused rõ ràng có một xác suất xung đột nhỏ hơn REQ Region Full.

Sự truyền tranh chấp đầy đủ có tính bắt buộc. Khả năng truyền tranh chấp hội tụ là tùy chọn. Nếu hai loại yêu cầu có thể thực hiện được, SS có thể chọn một trong hai.

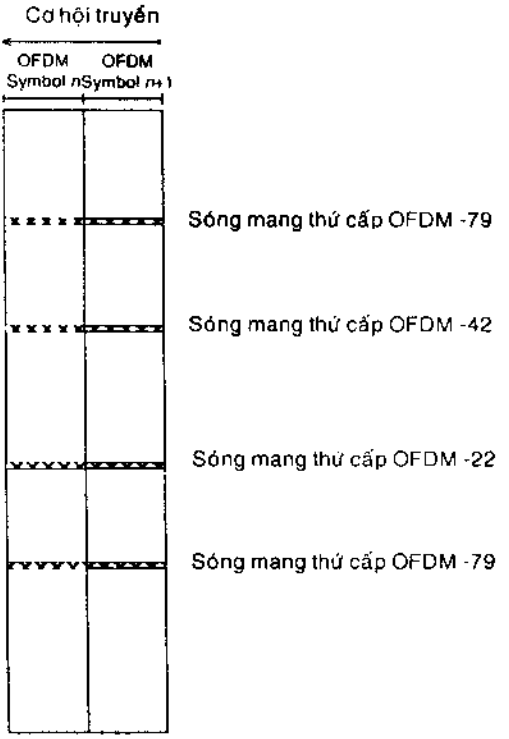
10.4.1 Sự tranh chấp đầy đủ (REQ Region Full)

Trong một REQ Region Full:

- Khi sự phân kênh con (subchannelisation) không được kích hoạt, yêu cầu băng thông là cơ cấu được thấy cho đến thời điểm này trong sách này: mỗi Transmission Opportunity (TO) gồm một preamble ngắn (một ký hiệu OFDM) và một ký hiệu OFDM sử dụng burst profile bắt buộc mạnh mất (BPSK, tốc độ mã hóa 1/2).
- Khi sự phân kênh con được kích hoạt, sự cấp phát được phân chia thành các TO trong tần số và thời gian. Chiều rộng (trong các kênh con) và chiều dài (trong các ký hiệu OFDM) của mỗi TO được định nghĩa trong thông báo UCD cùng với phần mô tả của burst profile tương ứng với UIUC = 2. Số kênh con được sử dụng bởi mỗi cơ hội truyền có thể là 1, 2, 4, 8 hoặc 16. Số ký hiệu OFDM vốn phải được sử dụng bởi mỗi cơ hội truyền cũng được cho trong thông báo UCD. Phần truyền của một SS phải chứa một preamble được phân kênh con tương ứng với TO được chọn theo sau là các ký hiệu OFDM dữ liệu, sử dụng burst profile bắt buộc mạnh nhất.

10.4.2 Tranh chấp hội tụ (REQ Region Focused)

Trong REQ Region Focused, cơ hội truyền (đôi khi được gọi là cơ hội phát) gồm bốn sóng mang thứ cấp hoặc hai ký hiệu OFDM (xem hình 10.10). Mỗi cơ hội truyền được tạo chỉ số bởi các chỉ số cơ hội truyền liên tục, Opportunity (cơ hồi) truyền xảy ra lần đầu tiên được tạo chỉ số 0. Một SS ứng cử (yêu cầu băng thông uplink) gởi một mã ngắn trên một cơ hội truyền như được mô tả bên dưới. Sự truyền này được thực hiện trong một REQ Region Focused được định nghĩa bởi BS sử dụng một UL-MAP_IE UIUC = 3 (xem bảng UIUC, bảng 9.9).



Hình 10.10: Ví dụ về các sóng mang thứ cấp của một cơ hội truyền tranh chấp hội tụ (chỉ số kênh tranh chấp = 20). SS truyền zero biên độ trên tất cả sóng mang thứ cấp

Sự truyền hội tụ gồm một mã tranh chấp được điều biến trên một kênh tranh chấp gồm bốn sóng mang thứ cấp OFDM. SS truyền biên độ zero trên tất cả sóng mang thứ cấp khác. Việc chọn mã tranh chấp được thực hiện với xác suất bằng nhau giữa tám mã mỗi mã bốn bit. Việc chọn kênh tranh chấp được thực hiện với xác suất bằng nhau giữa các cơ hội truyền thời gian/tần số mà SS quan tâm có thể sử dụng. Không có thông báo MAC ở đây, BS chỉ cần phát hiện một mã tranh chấp trên một kênh tranh chấp. Sau khi phát hiện, BS cung cấp một sự cấp pháp uplink để SS truyền một Bandwidth Request MAC PDU và tùy chọn dữ liệu bổ sung, thay vì xác định một Basic CID, một DL-MAP_IE được gởi cùng với một OFDM Focused_Contention_IE (UIUC = 4), vốn xác định kênh tranh chấp, mã tranh chấp và cơ hội truyền đã được sử dụng bởi SS. Điều này cho phép SS quyết định xem nó đã được cho một phần cấp phát hay không bằng cách kết hợp các tham số này với những tham số mà nó đã sử dụng. Sau đó, SS có thể gởi một bandwidth Request MAC PDU trên phần cấp phát uplink được cấp. Thủ tục này được cấp phát trong bảng 10.2.

Bảng 10.2: Các bước của thủ tục tranh chấp hội tụ (REQ Region Focused)

	Bước	Hành động
0	Các thông báo truyền đại chúng BS	BS gởi một UL-MAP_IE với UIUC = 3, xác định một REQ Region Focused (vùng Focused Contention Request trong frame uplink). Các tham số tranh chấp hội tụ REQ khác được truyền đại chúng trên thông báo UCD.
1	SS-BS	Một SS ấn cử (một SS yêu cầu một băng thông uplink) gởi một mã ngắn (một mã tranh chấp, tập hợp 4 bit được điều biến trên một kênh tranh chấp, một tập hợp bốn sóng mang thứ cấp OFDM) trên một TO được chọn ngẫu nhiên giữa các TO (bốn sóng mang thứ cấp OFDM trên hai ký hiệu OFDM) mà SS này có quyền sử dụng.
2	BS-SS	Nếu BS phát hiện mã được hội tụ bởi REQ, BS cung cấp một sự cấp phát uplink cho SS để truyền một Bandwidth Request trong một (DL-MAP) OFDM Focused_Contention_IE (UIUC = 4) vốn xác định kênh tranh chấp, mã tranh chấp và cơ hội truyền đã được sử dụng bởi SS.
3	SS-BS	SS gởi một Bandwidth Request MAC PDU trên phần cấp phát uplink được cấp

Trong một cơ hội truyền, biên độ của mỗi trong bốn sóng mang thứ cấp phải được gia tăng trên biên độ chuẩn của nó, nghĩa là biên độ được sử dụng trong một ký hiệu OFDM không tranh chấp, kể cả việc hiệu chỉnh kiểm soát công suất hiện hành. Việc tăng dB bằng với giá trị của tham số Focused Contention Power Boost được xác định bởi BS trong thông báo UCD.

10.4.2.1 Tranh chấp hội tụ (REQ Region Focused) với sự phân kênh con

Số mã tranh chấp do một SS được bật Subchannelisation (sự phân kênh con) để yêu cầu sử dụng cấp phát được phân kênh con được biểu thị bởi CSE trong chuẩn. Giá trị này được cho bởi BS trong thông báo UCD. Giá trị mặc định là 0 (điển hình, đối với các BS không hỗ trợ việc phân kênh con) và dãy giá trị cho phép là 0-8.

Mã tranh chấp được chọn ngẫu nhiên với xác suất bằng nhau từ tập hợp con tranh chấp thích hợp theo giá trị nếu CSE BS hỗ trợ việc phân kênh con, chỉ các mã tranh chấp CSE cuối cùng (trong số tám mã tranh chấp có sẵn) được sử dụng bởi các SS muốn nhận được sự cấp phát được phân kênh con. Đáp lại, BS có thể:

- cung cấp sự cấp phát được yêu cầu dưới dạng một phần cấp phát được phân kênh con, nơi UL-MAP IE cấp phát băng thông phản hồi lại một tín hiệu vào mạng được phân kênh con, trong phần được phân kênh con của UL-MAP được nhận dạng bởi UIUC = 13;
- cung cấp sự cấp phát được yêu cầu dưới dạng cấp phát đầy đủ (mặc định);
- không cung cấp sự cấp phát.

10.4.3 Tóm tắt các phương pháp yêu cầu cấp phát Uplink dựa vào sự tranh chấp

Để kết thúc phần này, bảng 10.3 tóm tắt các phương pháp yêu cầu cấp phát dựa vào sự tranh chấp OFDM PHY.

Bảng 10.3: Tóm tắt các phương pháp yêu cầu cấp phát uplink dựa vào sự tranh chấp OFDM PHY

Tranh chấp hội tụ		Tranh chấp đầy đủ Được truyền trong một REQ	
Region đầy đủ trong frame uplink		Region Focused trong frame uplink	
Được truyền trong một REQ		Không có sự phân kênh con	
Có sự phân kênh con	Không có sự phân kênh	Có sự phân con	kênh con
Phương pháp cơ bản của yêu cầu cấp phát uplink dựa vào sự tranh chấp (xem ví dụ trong mục 10.3.7)	■ Sự cấp phát được phân chia thành các cơ hội truyền (TO) trong tần số và thời gian	Xem bảng 10.2	■ Mã tranh chấp được gởi bởi một SS ứng cử được chọn ngẫu nhiên với xác suất bằng nhau từ tập hợp con thích hợp của tất cả mã tranh chấp theo giá trị CSE xác định trong UCD

- Chiều rộng (trong các kênh con) và chiều dài (trong các ký hiệu OFDM) của mỗi cơ hội truyền (TO) được định nghĩa trong thông báo UCD
- Để phản hồi, BS có thể cung cấp sự cấp phát được yêu cầu dưới dạng sự cấp phát được phân kênh con: cung cấp sự cấp phat đầy đủ hoặc không cấp phát

10.5 Yêu cầu băng thông CDMA dựa vào tranh chấp trong OFDMA PHY

OFDMA PHY hỗ trợ hai cơ cấu yêu cầu băng thông (Bandwidth Request) dựa vào sự tranh chấp bắt buộc:

- SS gởi header yêu cầu băng thông như được xác định cho lớp OFDM. Các xem xét tranh chấp hội tụ lớp OFDM và sự phân kênh con không còn áp dụng nữa cho OFDMA nơi các kênh con (sóng mang thứ cấp) được phân bố thay vì các ký hiệu OFDM.
- Trái lại, sử dụng cơ cấu dựa vào CDMA được mô tả bên dưới.

Như đã nêu trong chương 9, OFDMA PHY xác định một kênh con ranging (xác định phạm vi). BS cung cấp trong thông báo UCD một tập hợp con các mã ranging dành cho các Bandwidth Request dựa vào sự tranh chấp và initial ranging. BS có thể quyết định mục đích của mã được nhận bởi tập hợp con mà mã thuộc về. Băng thông yêu cầu mà SS chọn với xác suất bằng nhau, một mã ranging từ tập hợp con mã được cấp phát cho các Bandwidth Request. Mã ranging này điều biến kênh con ranging và sau đó được truyền trong sự cấp phát uplink thích hợp. Sau khi phát hiện, BS cung cấp một sự cấp phát uplink phụ thuộc vào sự thực thi cho SS, nhưng thay vì xác định một Basic CID, broadcast CID được gởi cùng với một CDMA_Allocation_IE để xác định vùng phát và mã ranging nào mà SS sử dụng. Điều này cho phép một SS quyết định xem nó đã được cấp phát hay không bằng cách kết hợp những tham số này với những tham số mà nó đã sử dụng. Sau đó, SS sử dụng phần cấp phát để phát một Bandwidth Request MAC PDU và/hoặc dữ liệu.

Nếu Bandwidth Request không dẫn đến sự cấp phát băng thông kế tiếp, SS giả định việc truyền mã ranging đã dẫn đến một xung đột và sau đó tuân theo cơ cấu giải quyết tranh chấp.

Chương 11

Quản lý sự vào mạng và chất lượng dịch vụ (QoS)

11.1 Ranging

Tiến trình ranging được định nghĩa trong chuẩn 802.16 là tiến trình cho phép các SS:

- Thu nhận khoảng dịch chuyển thời gian chính xác của mạng. Sau đó, SS được xếp thẳng hàng với frame nhận được từ BS (đối với các lớp PHYsical OFDM và OFDMA).
- Điều chỉnh công suất yêu cầu và/hoặc thay đổi downlink burst profile. Sau đó, SS có thể được nhận trong các ngưỡng nhận thích hợp.

SS nhận ra ranging bằng cách phát thông báo quản lý RNG-REQ MAC. Thông báo RNG-REQ có thể được gởi trong các slot tranh chấp uplink initial ranging (xác định phạm vi ban đầu) (xem chương 10) hoặc trong các khoảng thời gian cấp phát dữ liệu được cấp phát bởi BS cho SS. Ranging được thực hiện bởi SS lúc khởi tạo và một cách định kỳ. Điều này cung cấp hai loại tiến trình ranging:

- initial ranging (xác định phạm vi ban đầu).
- ranging định kỳ (đôi khi đơn giản được gọi là ranging).

Trong lớp PHYsical OFDM, initial ranging sử dụng các slot tranh chấp uplink initial trong khi ranging định kỳ (periodic) sử dụng các chớp tín hiệu đều đặn (khoảng cấp phát uplink được cấp). Thủ tục initial ranging là một phần của tiến trình nhập vào mạng được mô tả trong mục 11.6.

11.1.1 Các thông báo Ranging

Hai thông báo quản lý MAC được sử dụng cho initial ranging: thông báo Ranging Request (RNG-REQ) và thông báo Ranging Response (RNG-RSP). Những thông báo này bây giờ được nêu chi tiết.

Thông báo Ranging Request (RNG-REQ) được phát bởi SS lúc khởi tạo. Nó cũng có thể được sử dụng tại các thời điểm khác để quyết định sự trễ mạng và để yêu cầu thay đổi công suất và/hoặc thay đổi downlink burst profile. Giá trị trường CID trong header MAC của thông báo RNG-REQ chứa các mục sau đây:

- CID initial ranging (0x0000) nếu SS cố gia nhập vào mạng hoặc nếu SS đã chưa đăng ký và thay đổi các kênh downlink (hoặc cả downlink lẫn uplink).
- Trong tất cả trường hợp khác, Basic CID được sử dụng (những trường hợp khác giả định rằng một Basic CID đã được gán vào SS).

Các tham số được đưa vào thông báo RNG-REQ được trình bày trong bảng 11.1.

Bảng 11.1: Các tham số thông báo RNG-REQ. Một số trường này được mã hóa bằng TLV

Trường RNG-REQ	Mô tả
Downlink channel ID	Định danh của kênh downlink mà trên đó SS đã nhận UCD mô tả kênh uplink mà thông báo yêu cầu ranging này được phát trên đó
Requested downlink burst profile	Được xác định bởi DIUe của downlink burst profile được yêu cầu bởi SS cho lưu lượng downlink
SS MAC address	Được phát khi SS cố gia nhập vào mạng
MAC version	
Ranging anomalies	Sau khi SS đã nhận một RNG-RSP được gởi đến SS, xác định rằng SS đã có công suất tối đa, công suất tối thiểu...
AAS broadcast capability	Thông báo Ranging Response (RNG-RSP) được phát bởi BS để phản hồi lại một RNG-REQ được nhận. Ngoài ra, nó cũng có thể được phát một cách không đồng bộ để gởi các phần hiệu chỉnh dựa vào các số đo đã được thực hiện trên dữ liệu hoặc các thông báo MAC được nhận khác. Kết quả, SS được chuẩn bị để nhận một RNG-RSP bất cứ lúc nào, không phải

chỉ theo sau một cuộc truyền RNG-REQ. Một vài tham số được đưa vào trong thông báo RNG-RSP được trình bày trong bảng 11.2.

Bảng 11.2: Một vài tham số của thông báo RNG-RSP. Một số trường này được mã hóa bằng TLV

Trường RNG-RSP	Mô tả
Ranging status	Xác định việc các thông báo uplink có được nhận trong các giới hạn có thể chấp nhận bởi BS hay không. Trường này bắt buộc. Các giá trị có thể có là 1 = continue (tiếp tục), 2 = abort (hủy bỏ), 3 = success (thành công), 4 = rerange (tái xác định phạm vi)
Timing adjust	Thời gian được yêu cầu để thúc đẩy việc truyền SS nhằm cho phép các frame đến BS tại khoảng thời gian mong đợi. Các đơn vị dành riêng cho lớp PHYsical. Đối với lớp PHYsical OFDM (WiMAX), đơn vị là khoảng thời gian ký hiệu 1/fs). Nếu trường này không được đưa vào, việc điều chỉnh thời gian sẽ không được thực hiện.
Power adjust	Điều chỉnh khoảng dịch chuyển công suất truyền (có dấu 8 bit, trong các đơn vị 0.25 dB). Trường này xác định việc thay đổi tương ứng trong mức công suất truyền mà SS phải thực hiện để các cuộc truyền đến BS với công suất mong muốn. Nếu trường này không được đưa vào, việc điều chỉnh công suất sẽ không được thực hiện
Offset frequency adjust	Điều chỉnh khoảng dịch chuyển tần số truyền (có dấu 32 bit, đơn vị Hz). Trường này xác định việc thay đổi tương ứng tần số phát mà SS phải thực hiện để tương hợp BS tốt hơn. Đây là một sự điều chỉnh tần số tốt trong một kênh, không phải là sự gán lại vào một kênh khác
Basic CID	Được gán bởi BS lúc truy cập ban đầu. Trong trường hợp này, thông báo RNG GRSP được gởi trên CID initial ranging nhằm phản hồi lại một thông báo RNG-REQ được gởi trên CID initial ranging

Primary management CID	Được gán bởi BS lúc truy cập ban đầu, trong những tình huống giống như Basic CID
MAC adress	Địa chỉ SS MAC (48 bit)
Downlink operation burst profile	Xác định DIUC ít mạnh nhất vốn có thể được sử dụng bởi (BS cho các cuộc truyền đến SS
Frame number	Trong đó thông báo RNG-REQ tương ứng (đối với OFDM/WiMAX) đã được nhận. Khi số frame được đưa vào, địa chỉ SS MAC không xuất hiện trong cùng một thông báo.
Ranging subchannel	Chỉ số kênh con ranging OFDM vốn đã được sử dụng để phát thông báo initial ranging
AAS broadcast permssion	Hai thông báo quản lý MAC khác được sử dụng cho việc xác định phạm vi định kỳ (periodic ranging): Thông báo Downlink Burst Profile Change Request (DBPC-REQ) và thông báo Downlink Burst Profile Change Response (DBPC-RSP).

Thông báo Downlink Burst Profile Change Request (DBPC-REQ) được gởi bởi SS đến BS trên SS Basic CID yêu cầu một thay đổi trong downlink burst profile được sử dụng bởi BS để vận chuyển dữ liệu đến SS. Burst profile bắt buộc cho lưu lượng downlink được biểu thị bởi DIUC tương ứng của nó (như được xác định trong thông báo DCD). Thông báo DBPC-REQ được gởi tại loại burst profile (được cấp phát BS) hiện hành. Nếu SS phát hiện fading (sự mất tín hiệu) trên downlink, SS sử dụng thông báo này để yêu cầu sự chuyển tiếp sang một burst profile mạnh hơn. Dạng chung của thông báo DBPC-REQ được minh họa trong hình 11.1. Một yêu cầu thay đổi cdv downlink burst profile được thực hiện bằng thông báo DBPC-REQ (thay vì thông báo RNG-REQ như được mô tả ở trên) nếu SS đã được cấp phát một băng thông uplink, nghĩa là một sự cấp phát dữ liệu cho SS Basic CID. Nếu không, SS sử dụng thông báo RNG-REQ cho một yêu cầu thay đổi downlink burst profile (xem mục 11.1.3).

Management message type (=23) Reserved DIUC Configuration change count

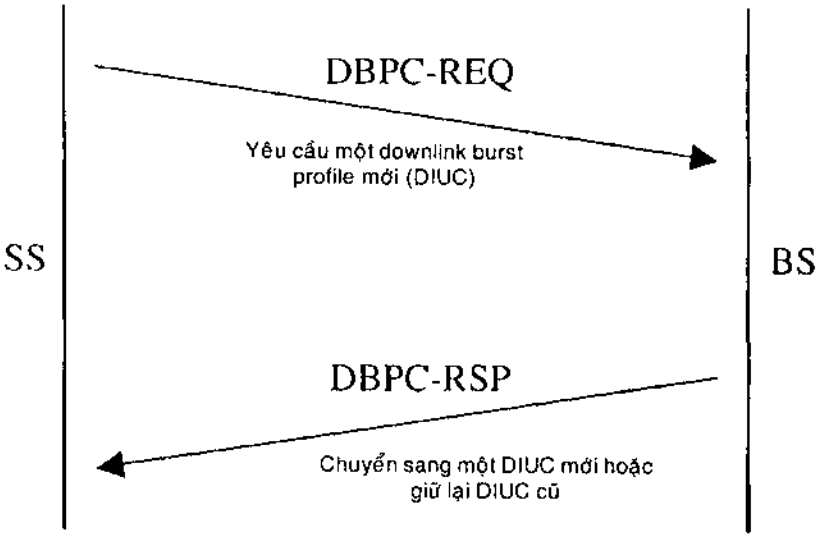
Hình 11.1: Dạng thông báo quản lý DBPC-REQ MAC. Burst profile bắt buộc cho lưu lượng downlink được xác định bởi DIUC tương ứng của nó (như được định nghĩa trong thông báo DCD).

Thông báo Downlink Burst Profile Change Response (DBPC-RSP) được phát bởi BS trên SS Basic CID nhằm phản hồi lại một thông báo DBPC-REQ từ SS. Nếu tham số DIUC giống như được yêu cầu trong thông báo DBPC-REQ, yêu cầu đã được chấp nhận. Nếu không, nếu yêu cầu bị từ chối, tham số DIUC là DIUC trước mà SS đã nhận dữ liệu downlink ở đó. Dạng chung được minh họa trong hình 11.2. Hoạt động của các thông báo yêu cầu và phản hồi DBPC được minh họa trong hình 11.3.

Management message type (=24) Reserved DIUC Configuration change count

Hình 11.2: Dạng thông báo quản lý DBPC-RSP MAC. Nếu tham số DIUC giống như được yêu cầu trong thông báo DBPC-REQ, yêu cầu đã được chấp nhận.

$$P_{TX\_IR\_MAX} = \text{EIR}xP_{\text{IR.max}} + \text{BS\_EIRP} - \text{RSS}$$



Hình 11.3: Minh họa hoạt động của các thông báo yêu cầu và phản hồi DBPC

11.1.2 Initial Ranging

Initial ranging cho phép SS gia nhập mạng thu nhận các tham số truyền chính xác, chẳng hạn như time offset (khoảng dịch chuyển thời gian), tần số và mức công suất truyền sao cho SS có thể giao tiếp với BS.

Trong lớp PHYsical OFDM, initial ranging sử dụng các slot tranh chấp uplink initial ranging. Đầu tiên, một SS đồng bộ hóa với downlink sử dụng preamble và sau đó học các đặc điểm kênh uplink để tìm

một khoảng initial ranging (các slot tranh chấp). Như được mô tả trong chương 10, BS cấp phát một khoảng initial ranging gồm một hoặc nhiều cơ hội truyền (initial ranging). Trong khoảng này, SS gởi một thông báo quản lý RNG-REQ MAC với một giá trị CID = 0 (xem bảng 7.1). Đối với OFDMA PHY, tiến trình initial ranging khác nhau. Nó sử dụng các mã CDMA initial ranging (xem mục 10.5). Trong OFDM PHY, các cuộc truyền initial ranging sử dụng một preamble dài (hai ký hiệu OFDM) và burst profile bắt buộc mạnh nhất.

Khi cơ hội truyền initial ranging xuất hiện, SS gởi thông báo RNG-REQ (sử dụng một mã CDMA trong trường hợp của OFDMA PHY). SS gởi thông báo như thể nó được đồng định vị với BS, vì sự trễ do lan truyền được xem xét trong cơ hội truyền initial ranging.

11.1.2.1 Giá trị công suất truyền ban đầu của thông báo Initial Ranging

SS tính công suất truyền tối đa cho initial ranging, được biểu thị bởi R TX_IR_MAX như sau trong đó

- BS_EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power) là giá trị công suất truyền BS được phát trong thông báo DCD.
- EIRxP IR, max là công suất thu đẳng hướng tối đa tại BS. Giá trị này có được từ thông báo DCD.
- RSS là Received Signal Strength Indicator (RSSI) được đo tại SS.

Có thể kiểm chứng phương trình ở trên là sự nhận ra:

- Công suất truyền tối đa cho initial ranging
- = công suất thu tối đa được ấn định tại BS + sự tổn thất đường dẫn ước tính giữa SS và BS

Các độ khuyếch đại anten SS được đưa vào công thức ở trên. Trong trường hợp $EIRxP_{IR,\ max}$ và BS_EIRP không được biết, SS bắt đầu từ mức công suất truyền tối thiểu được định nghĩa bởi BS.

11.1.2.2 Initial Ranging thành công

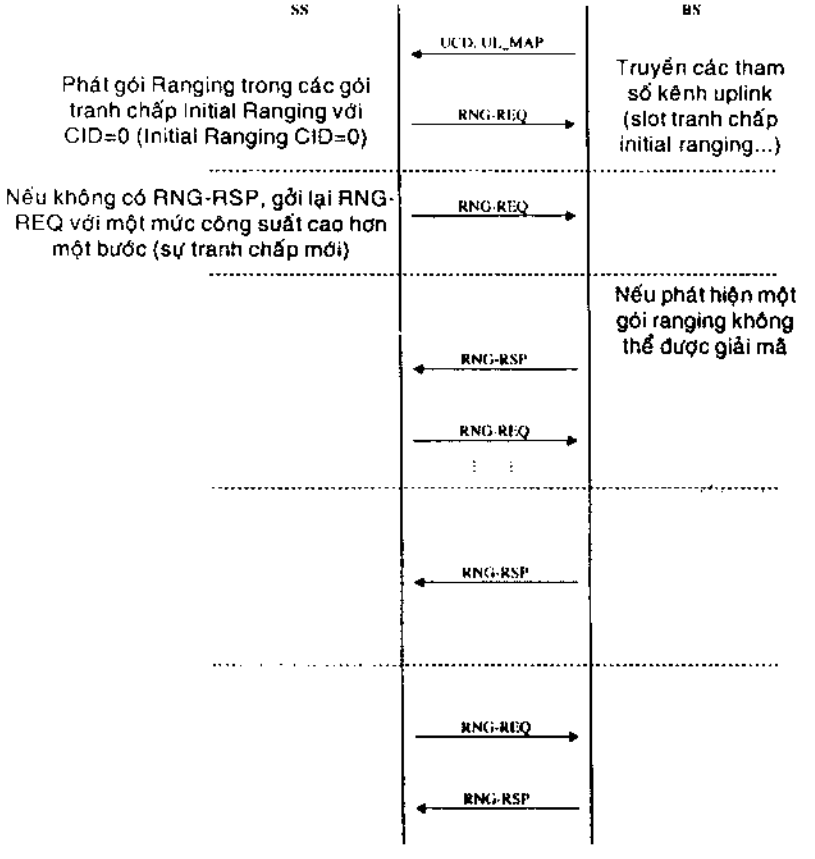
Các CID cho các nối kết quản lý basic và primary (xem mục 8.4) được gán trong các thông báo REG-RSP. Tiến trình ranging bây giờ được mô tả.

Một khi BS đã nhận thành công thông báo RNG-REQ, BS trả về một thông báo RNG-RSP sử dụng CID initial ranging. RNG-RSP này chứa địa chỉ MAC của SS mới này. Trong thông báo RNG-RSP, BS cũng đặt các CID quản lý basic và primary được gán cho SS này.

Cùng một giá trị CID được gán vào cả hai thành viên của mỗi cặp nối kết (uplink và downlink). Thông báo RNG-RSP cũng chứa thông tin về sự điều chỉnh mức công suất truyền và sự điều chỉnh tần số

dịch chuyển cũng như bất kỳ phần hiệu chỉnh dịch chuyển thời gian. Vào lúc này BS bắt đầu sử dụng các khoảng initial ranging được cấp phát riêng lẻ được gởi đến SS Basic CID để hoàn tất tiến trình ranging, trừ khi trạng thái của thông báo RNG-RSP là "success", trong trường hợp này thủ tục initial ranging được hoàn tất. Các đối thoại của các thông báo RNG-REQ và RNG-RSP cũng cung cấp giá trị CID cho nối kết quản lý phụ (secondary).

Nếu trạng thái của thông báo RNG-RSP là "continue", SS đợi một khoảng initial ranging ban đầu được gán vào Basic CID của nó. Bằng cách sử dụng khoảng này, SS phát một thông báo RNG-REQ khác sử dụng Basic CID cùng với bất kỳ mức công suất và phần hiệu chỉnh khoảng dịch chuyển thời gian. BS gởi một khoảng thông báo RNG-RSP khác đến SS có bất kỳ sự tinh chỉnh bổ sung được yêu cầu. Các bước yêu cầu/phản hồi ranging được lặp lại cho đến khi sự phản hồi ranging chứa một thông báo thành công ranging hoặc ranging hủy bỏ BS. Một khi được xác định phạm vi thành công (RNG-REQ nằm trong khả năng chịu đựng của BS), SS gia nhập lưu lượng dữ liệu bình thường trong uplink. Tiến trình này được minh họa trong hình 11.4.



Hình 11.4: Minh họa tiến trình initial ranging

11.1.2.3 Initial Ranging không thành công

Nếu sau khi đã gởi thông báo RNG-REQ, SS không nhận được sự phản hồi, nó gởi lại thông báo RNG-REQ tại một cơ hội truyền initial ranging khác với mức công suất cao hơn. Giá trị bước này không cố định trong chuẩn, mặc dù nó xác định không thể lớn hơn 1 dB. Nếu SS nhận một thông báo RNG-RSP chứa số frame mà thông báo RNG-REQ của nó đã được phát trong đó, SS cho rằng cố gắng truyền đã không thành công. Thông báo RNG-RSP xác định BS đã phát hiện một cuộc truyền trong slot ranging mà nó không thể giải mã. Tuy nhiên, SS thực thi các phần hiệu chỉnh được xác định trong thông báo RNG-RSP và đã phát ra một thông báo RNG-REQ khác sau sự trễ do backoff thích hợp.

11.1.3 Ranging (hoặc Periodic Ranging)

Sau initial ranging mà các tham số vật lý được điều chỉnh, periodic ranging (xác định phạm vi định kỳ) cho phép các SS điều chỉnh các tham số truyền sao cho SS có thể duy trì chất lượng truyền thông với BS. Các tiến trình riêng biệt được sử dụng để quản lý uplink và downlink. Một số chế độ PHY hỗ trợ các cơ cấu ranging duy nhất cho những khả năng của chúng.

11.1.3.1 Downlink Ranging

Trong downlink, nếu CINR được nhận nằm bên ngoài vùng hoạt động cho phép, theo cơ cấu thích ứng liên kết, SS yêu cầu thay đổi sang burst profile mới bằng cách sử dụng một trong hai phương pháp: thông báo RNG-REQ hoặc thông báo DBPC-REQ. Với cả hai phương pháp, thông báo được gởi bằng cách sử dụng Basic CID của SS:

- Thông báo DBPC-REQ. Nếu SS đã được cấp một băng thông uplink, nghĩa là cấp phát dữ liệu cho SS Basic CID, SS gởi một thông báo DBPC-REQ sử dụng phần cấp phát đó. BS phản hồi bằng một thông báo DBPC-RSP.
- Thông báo RNG-REQ. Nếu một phần cấp phát không có sẵn và SS yêu cầu một burst profile mới trên downlink, SS gởi một thông báo RNG-REQ trong một khoảng initial ranging (slot tranh chấp) bằng cách sử dụng cùng một thủ tục như đối với initial ranging.

Sự thích ứng liên kết (link adaptation) của downlink được mô tả trong mục 11.2.

11.1.3.2 Uplink Ranging

Trong uplink, periodic ranging được nhận biết như sau. Đối với mỗi phần cấp phát chớp tín hiệu uplink (unicast) trong đó một tín hiệu được phát hiện, BS quyết định chất lượng của tín hiệu uplink. Nếu tín

hiệu không nằm trong các giới hạn chấp nhận được, BS đưa ra thông báo RNG-RSP kể cả dữ liệu hiệu chỉnh thích hợp (xem dạng RNG-RSP ở trên) và một trạng thái "continue". Nếu một số thông báo hiệu chỉnh đầy đủ được phát ra không có tín hiệu SS, chất lượng có thể chấp nhận. SS gởi thông báo RNG-RSP với một trạng thái "abort" và sau đó kết thúc việc quản lý liên kết của SS. Do đó, SS xử lý các thông báo RNG-RSP mà nó nhận, thực thi bất kỳ phần hiệu chỉnh lớp PHYsical vốn được xác định (khi trạng thái là "continue") hoặc bắt đầu khởi động lại các hoạt động MAC (khi trạng thái là "abort").

SS phản hồi lại mỗi phần cấp phát băng thông uplink mà BS gởi đến nó. Khi trạng thái của thông báo RNG-RSP cuối cùng được nhận bởi SS là "continue", SS đưa thông báo RNG-REQ vào chớp tín hiệu được cấp phát. Khi trạng thái của thông báo RNG-RSP cuối cùng được nhận là "success" (do việc BS xét rằng bây giờ tín hiệu nằm trong các giới hạn có thể chấp nhận), SS sử dụng phần cấp phát để phục vụ các hàng đợi uplink đang chờ giải quyết của nó. Nếu dữ liệu không đang chời giải quyết, SS phản hồi lại phần cấp phát bằng cách truyền một khối dữ liệu được đệm.

Đối với mỗi phần cấp phát chớp tín hiệu uplink (unicast), BS quyết định xem một tín hiệu truyền có hiện diện hay không. Nếu tín hiệu không được phát hiện trong một số phần cấp phát liên tục được xác định, BS kết thúc việc quản lý liên kết cho SS đi kèm.

Khả năng thay đổi các burst profile là cơ sở của cơ cấu thích ứng liên kết, cho phép sử dụng rất hiệu quả nguồn tài nguyên vô tuyến. Sự thích ứng liên kết trong 802.16/WiMAX được mô tả trong mục tiếp theo.

11.2 Thích ứng liên kết

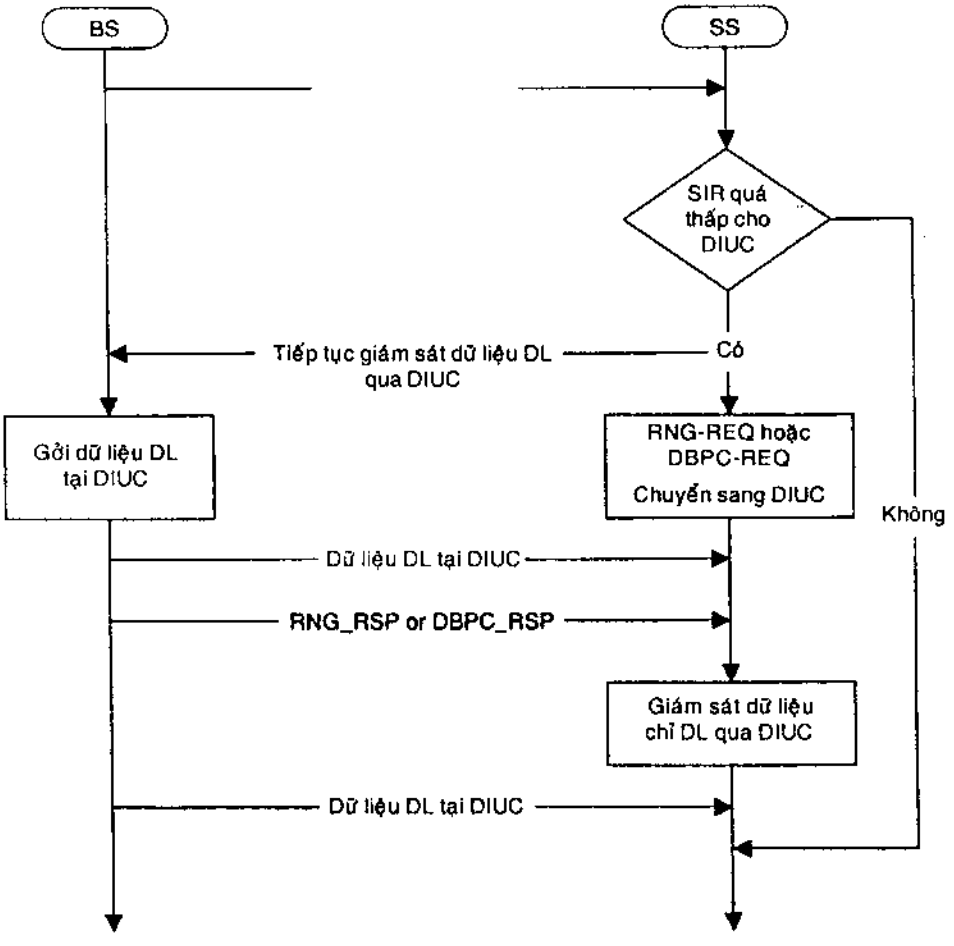
Thích ứng liên kết (link adaptation) có những ứng dụng khác nhau trong downlink và uplink. Nguyên tắc luôn như nhau: chọn Modulation and Coding Scheme (MCS) thích hợp nhất để có tốc độ dữ liệu cao nhất có thể có trong khi hoàn thành những yêu cầu (chất lượng) CINR.

11.2.1 Thích ứng liên kết kênh Downlink

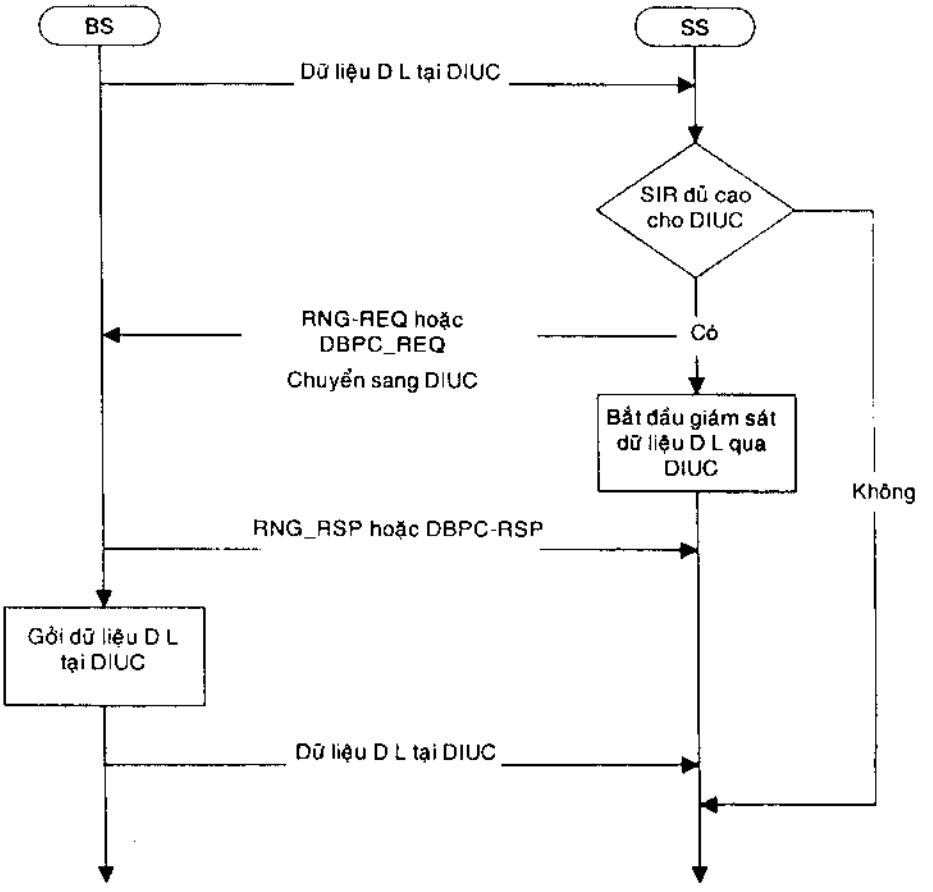
Downlink burst profile được quyết định bởi BS theo chất lượng của tín hiệu vốn được nhận bởi mỗi SS. Để giảm số lượng lưu lượng uplink, SS giám sát CINR và so sánh giá trị trung bình với phạm vi hoạt động cho phép. Vùng này được giới hạn bởi các mức ngưỡng được xác định trong thông báo DCD cho mỗi burst profile được định nghĩa. Nếu CINR đã nhận nằm bên ngoài vùng hoạt động cho phép (xem chương 9), SS yêu cầu việc chuyển sang burst profile mới bằng cách sử

dụng một trong hai phương pháp: thông báo RNG-REQ hoặc thông báo DBPC-REQ. SS áp dụng một thuật toán để quyết định burst profile tối ưu của nó tương ứng với các tham số ngưỡng được thiết lập trong thông báo DCD. Thuật toán này không được xác định trong chuẩn và có thể được đề xuất bởi nhà cung cấp hoặc nhà vận hành.

Các thông báo được trao đổi giữa SS và BS cho một thay đổi burst profile không chính xác như nhau cho dù một SS di chuyển đến một burst profile hầu như mạnh. Hình 11.5 minh họa trường hợp một SS di chuyển đến một loại mạnh hơn. Hình 11.6 minh họa một sự chuyển tiếp sang một burst profile kém mạnh hơn.



Hình 11.5: Chuyển tiếp sang một burst profile mạnh hơn.



Hình 11.6: Chuyển tiếp sang một burst profile kém mạnh hơn.

11.2.2 Thích ứng liên kết kênh Uplink

Trong uplink, burst profile cũng được quyết định (đối với downlink) bởi BS. Thông báo RNG-RSP được sử dụng cho mục đích đó như được mô tả trong mục 11.1.3.

11.3 Năm dịch vụ lập thời biểu hoặc lớp QoS

Chuẩn IEEE 802.16 cung cấp những công cụ mạnh mẽ để đạt được những ràng buộc QoS khác nhau. Lớp MAC chuẩn 802.16 cho phép phân biệt QoS cho các loại ứng dụng khác nhau vốn có thể vận hành trên các mạng 802.16, qua năm loại dịch vụ lập thời biểu (scheduling service) được định nghĩa, còn được gọi là các lớp QoS.

Sự phân loại thành các lớp dịch vụ lập thời biểu này làm dễ dàng chia sẻ băng thông giữa những người dùng khác nhau. Mọi người dùng

có một chất lượng lớp dịch vụ lập thời biểu còn được gọi là lớp QoS. Theo tham số này, bộ lập thời biểu (scheduler) BS cấp phát lượng băng thông cần thiết được yêu cầu cho mỗi ứng dụng. Cơ cấu này cho phép phân bố hiệu quả và được điều chỉnh các tài nguyên hiện có. Do đó, một ứng dụng thời gian thực, chẳng hạn như ứng dụng video, sẽ có quyền ưu tiên trong việc cấp phát băng thông so với FTP (File Transfer Protocol) hoặc các ứng dụng email. Điều này không phải như vậy, ví dụ với hệ thống WiFi (WLAN) đang được sử dụng mà tất cả dịch vụ có cùng mức QoS.

Các dịch vụ lập thời biểu tượng trưng cho những cơ cấu xử lý dữ liệu được hỗ trợ bởi bộ lập thời biểu MAC để vận chuyển dữ liệu trên một nối kết nào đó. Việc lập thời biểu yêu cầu (cấp phát) uplink được thực thi bởi BS dựa vào loại dịch vụ lập thời biểu với mục đích cung cấp cho mỗi SS phụ một băng thông cho các cuộc truyền uplink và các cơ hội để yêu cầu băng thông này khi cần thiết. Như đã đề cập trong sách này, mỗi nối kết được kết hợp với một service dữ liệu và mỗi service flow được tập hợp với một tham số tập hợp QoS. Những tham số này được quản lý bằng cách sử dụng các hộp thoại thông báo quản lý DSA và DSC MAC (xem mục 11.4). Bốn dịch vụ lập thời biểu đã được định nghĩa trong 802.16e:

- Unsolicited Grant Service (UGS);
- real-time Polling Service (rtPS);
- non-real-time Polling Service (nrtPS);
- Best Effort (BE).

Một loại dịch vụ lập thời biểu thứ tư đã được bổ sung trong 802.16e:

- Extended Real-time polling Service (ertPS);

Từng dịch vụ lập thời biểu này có một tập hợp tham số QoS bắt buộc phải được đưa vào định nghĩa service flow khi dịch vụ lập thời biểu được bật cho một service flow. Các tham số QoS được định nghĩa trong chuẩn 802.16 được mô tả trong mục 7.4. Bảng 11.3 trình bày các tham số QoS service flow bắt buộc cho mỗi trong bốn dịch vụ lập thời biểu được định nghĩa trong 802.16-2004. Nếu hiện diện, tham số tốc độ lưu lượng dành riêng tối thiểu (minimum reserved traffic rate) của UGS phải có cùng một giá trị với tốc độ lưu lượng duy trì tối đa (maximum sustained traffic rate). Đối với ertPS, 802.16e xác định các IE dịch vụ chính có tốc độ lưu lượng duy trì tối đa, tốc độ lưu lượng dành riêng tối thiểu, thời gian trễ tối đa và chính xác yêu cầu/truyền.

Bảng 11.3: Các tham số QoS bắt buộc của các dịch vụ lập thời biểu được định nghĩa trong 802.16-2004. Nếu hiện diện, tham số minimum reserved traffic rate của UGS phải có cùng một giá trị với tham số maximum sustained traffic rate.

Dịch vụ lập thời biểu	Tốc độ lưu lượng duy trì tối đa	Tốc độ lưu lượng dành riêng tối thiểu	Chính sách yêu cầu/truyền	Sự rung chịu đựng được	Thời gian trễ tối đa	Tính ưu tiên lưu lượng
UGS	•	Có thể hiện diện	•	•	•	
rtPS	•	•	•		•	
nrtPS	•	•	•			•
BE	•		•			•

Việc lập thời biểu yêu cầu/cấp phát uplink được thực thi bởi BS để cung cấp cho mỗi SS một băng thông cho các cuộc truyền uplink và các cơ hội để yêu cầu một băng thông khi cần thiết. Bằng cách xác định một dịch vụ lập thời biểu và các tham số QoS kết hợp của nó, bộ lập thời biểu BS có thể dự tính trước các nhu cầu thông lượng và thời gian trễ của lưu lượng uplink và cung cấp các cuộc kiểm tra vòng (poll) và/hoặc các phần cấp phát tại các thời điểm thích hợp. Bảng 11.4 tóm tắt các tùy chọn kiểm tra vòng/cấp phát (poll/grant) có sẵn cho từng dịch vụ lập thời biểu.

Bảng 11.4: Các tùy chọn poll/grant cho mỗi dịch vụ lập thời biểu

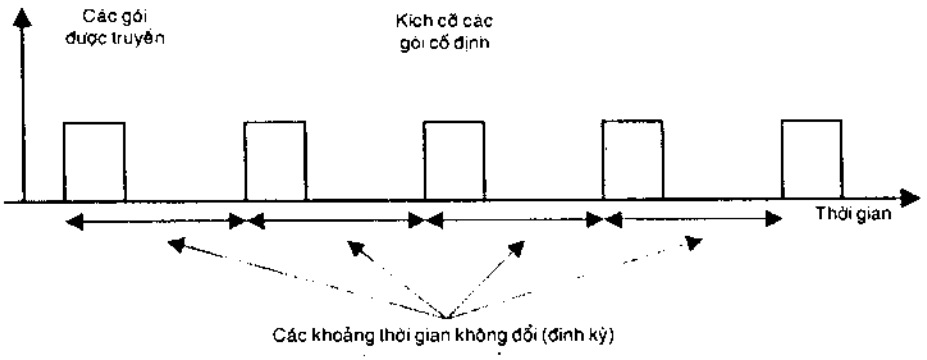
Dịch vụ lập thời biểu	Yêu cầu cấp phát piggyback	Đánh cấp băng thông	Unicast polling	Polling (kiểm tra vòng) dựa vào sự tranh chấp
UGS	Được phép	Được phép	Bit PM (Poll-Me) có thể được sử dụng	Không cho phép
ErtPS	Piggyback mở rộng	Cho phép	Cho phép	Cho phép
RtPS	Không cho phép	Không cho phép	Cho phép	Không cho phép
NrtPS	Không cho phép	Không cho phép	Cho phép	Cho phép
BE	Không cho phép	Không cho phép	Cho phép	Cho phép

Các mục tiếp theo sẽ trình bày thêm chi tiết về mỗi dịch vụ lập thời biểu.

11.3.1 Unsolicited Grant Service (UGS)

Loại dịch vụ lập thời biểu UGS được thiết kế để hỗ trợ các luồng dữ liệu thời gian thực, gồm các gói dữ liệu có kích cỡ cố định được phát ra tại các khoảng thời gian định kỳ. Đây là trường hợp ví dụ cho truyền tín hiệu điện thoại PCM (Pulse Coded Modulation) đặc trưng TI/EI và Voice over IP không có chức năng khử khoảng lặng.

Trong một dịch vụ UGS, PS cung cấp các khoảng cấp phát dữ liệu có kích cỡ cố định tại các khoảng thời gian định kỳ. Điều này loại bỏ hao phí và thời gian trễ của các yêu cầu SS. Hình 11.7 minh họa cơ cấu UGS. BS cung cấp các Data Grant Burst IE (UL-MAP IE, xem chương 10) cho SS tại các khoảng thời gian định kỳ dựa vào tốc độ lưu lượng duy trì tối đa của service flow. Kích cỡ của các khoảng cấp phát này đủ để chứa dữ liệu có chiều dài cố định được kết hợp với service flow, xem xét header MAC generic và header con quản lý cấp phát đi kèm.



Hình 11.7: Cơ cấu cấp phát uplink của dịch vụ lập thời biểu UGS

Header con quản lý cấp phát (xem chương 10) được sử dụng để chuyển thông tin trạng thái từ SS đến BS về trạng thái của service flow UGS. Nếu bit SI (Slip Indicator) của trường grant management (quản lý cấp phát) được xác lập, BS có thể cấp phát lên đến thêm 1% băng thông để bù đắp cho sự không tương hợp của tốc độ đồng hồ. Các SS có nối kết UGS hiện hành không được kiểm tra vòng riêng lẻ (bởi BS) trừ phi chúng xác lập bit PM trong header (một cách chính xác, trong header con quản lý cấp phát) của một gói trên nối kết UGS.

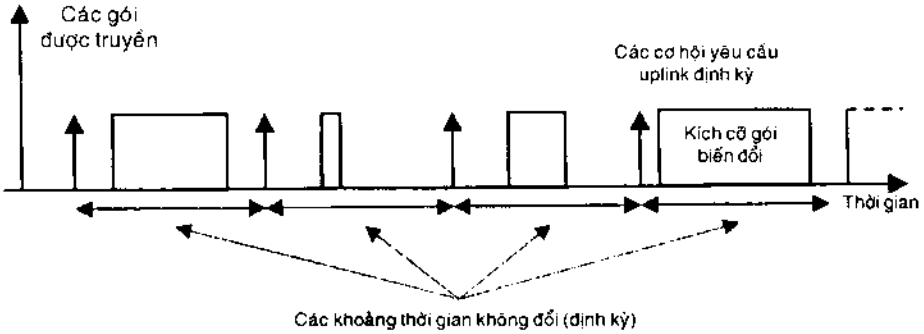
11.3.2 Extended Real-Time Polling Service (ertPS)

Lớp ertPS (extended real-time Polling Service) đã được bổ sung bởi điểm sửa đổi 802.16e. Chuẩn ấn định ertPS là cơ cấu lập thời biểu dựa vào hiệu suất của cả UGS và rtPS. BS cung cấp các phần cấp phát unicast theo một kiểu không yêu cầu như UGS, do đó tiết kiệm thời gian trễ của một yêu cầu băng thông. Tuy nhiên, trong khi các phần cấp phát UGS có kích cỡ cố định, các phần cấp phát ertPS có tính động. ertPS thích hợp cho các ứng dụng thời gian thực có tốc độ biến đổi với những yêu cầu tốc độ dữ liệu và sự trễ. Một ví dụ là Voice over IP không có chức năng khử khoảng lặng.

11.3.3 Real-Time Polling Service (rtPS)

Loại dịch vụ lập thời biểu rtPS được thiết kế để hỗ trợ các luồng dữ liệu thời gian thực, gồm các gói dữ liệu có kích cỡ khả biến được phát ra tại các khoảng thời gian định kỳ. Đây là trường hợp ví dụ cho việc truyền video MPEG (Moving Pictures Experts Group).

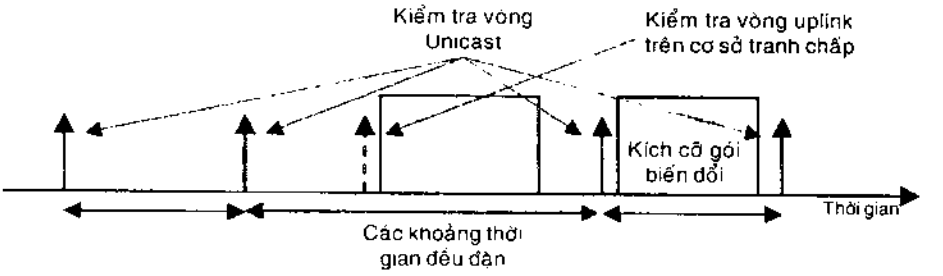
Trong dịch vụ này, BS các cơ hội yêu cầu (uplink) unicast theo định kỳ vốn đáp ứng những nhu cầu thời gian thực của dòng và cho phép SS xác định kích cỡ của phần cấp phát mong muốn. Dịch vụ này đòi hỏi nhiều hao phí yêu cầu hơn UGS, nhưng hỗ trợ các kích cỡ cấp phát khả biến để đạt được hiệu suất vận chuyển dữ liệu thời gian thực tối ưu. Hình 11.8 minh họa cơ cấu rtPS.



Hình 11.8: Cơ cấu phát và yêu cầu cấp phát uplink của dịch vụ lập thời biểu rtPS

11.3.4 Non-Real-Time Polling Service (nrtPS)

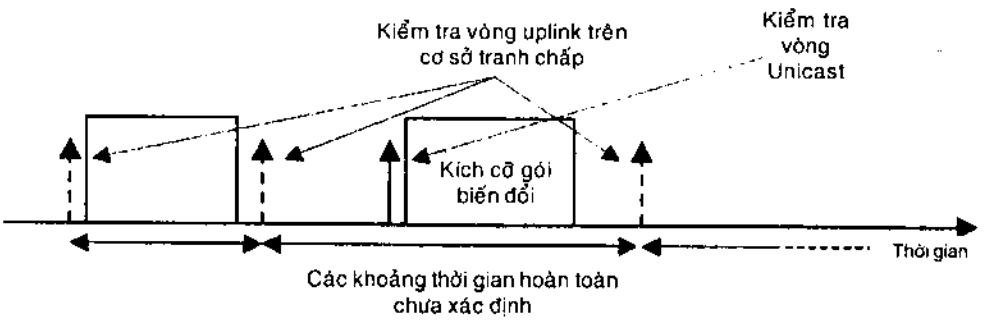
nrtPS được thiết kế để hỗ trợ các luồng dữ liệu có thể chịu đựng sự trễ, gồm các gói dữ liệu có kích cỡ khả biến mà tốc độ dữ liệu tối thiểu được yêu cầu. Chuẩn xét rằng đây là trường hợp ví dụ cho một cuộc truyền FTP. Trong dịch vụ lập thời biểu nrtPS, BS cung cấp các cuộc kiểm tra vòng uplink unicast trên cơ sở đều đặn nhằm bảo đảm service flow nhận các cơ hội yêu cầu thậm chí trong khi mạng bị tắc nghẽn. Chuẩn nêu rõ BS thường kiểm tra vòng các CID nrtPS trên một khoảng thời gian là một giây trở xuống. Ngoài ra, SS được cho phép để sử dụng các cơ hội yêu cầu tranh chấp, nghĩa là SS có thể sử dụng các cơ hội yêu cầu tranh chấp cũng như các cơ hội yêu cầu unicast. Hình 11.9 minh họa cơ cấu nrtPS.



Hình 11.9: Minh họa cơ cấu cấp phát và yêu cầu sự cấp phát uplink của dịch vụ lập thời biểu nrtPS. SS có thể sử dụng các cơ hội yêu cầu tranh chấp cũng như các cơ hội yêu cầu unicast.

11.3.5 Best Effort (BE)

Dịch vụ BE được thiết kế để hỗ trợ các luồng dữ liệu mà không đòi hỏi sự bảo đảm dịch vụ tối thiểu và do đó có thể được xử lý trên cơ sở tốt nhất có sẵn. SS có thể sử dụng các cơ hội yêu cầu tranh chấp cũng như các cơ hội yêu cầu unicast khi BS gởi bất kỳ. BS không có bất kỳ trách nhiệm kiểm tra vòng yêu cầu uplink unicast cho các SS BE. Do đó, một khoảng thời gian dài có thể chạy mà không truyền bất kỳ gói BE, điển hình khi mạng đang ở trạng thái tắc nghẽn. Hình 11.10 minh họa cơ cấu BE.



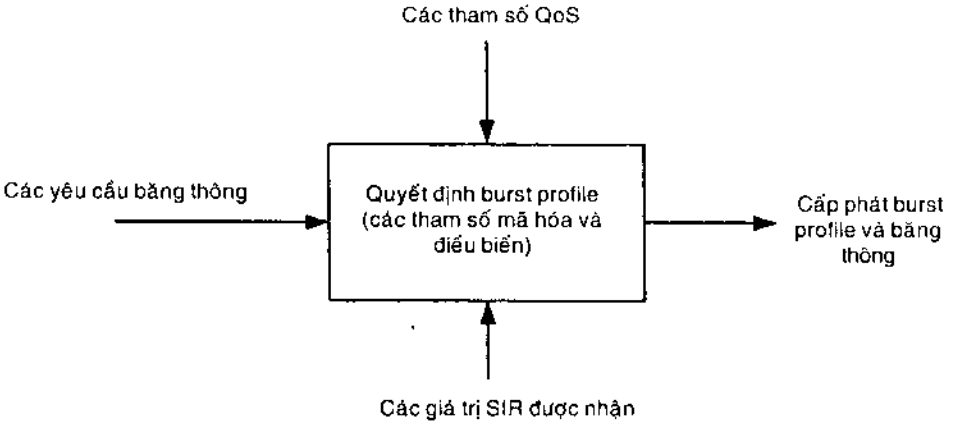
Hình 11.10: Minh họa cơ cấu cấp phát và yêu cầu phần cấp phát uplink của dịch vụ lập thời biểu BE. BS không có bất kỳ trách nhiệm kiểm tra vòng yêu cầu uplink unicast cho một BE SS.

11.4 Lập thời biểu và triển khai các dịch vụ trên WiMAX

11.4.1 Scheduler trong BS!

Như đã đề cập trong sách, hai tôpô được định nghĩa: Point to MultiPoin (PMP) và Mesh. Trong chế độ PMP, mạng vận hành với

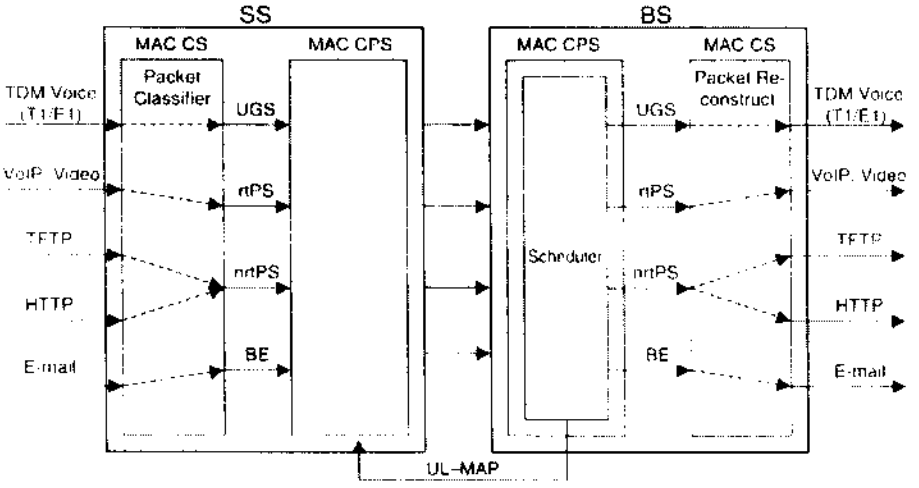
một BS trung tâm và có lẽ với một anten được phân khu vực có khả năng xử lý nhiều vector độc lập cùng một lúc. WiMAX/802.16 sử dụng cấu trúc MAC tập hợp PMP nơi bộ lập thời biểu (scheduler) BS điều khiển tất cả tham số hệ thống (giao diện vô tuyến). Nhiệm vụ của BS scheduler là quyết định burst profile và các khoảng thời gian truyền cho mỗi nối kết; việc lựa chọn các tham số mã hóa và điều biến là những quyết định vốn được đưa ra bởi BS scheduler theo chất lượng liên kết và tải và yêu cầu mạng. Do đó, BS scheduler phải giám sát thường trực các giá trị CINR được nhận (của các liên kết khác nhau) và sau đó quyết định các yêu cầu băng thông của mỗi trạm xem xét lớp dịch vụ cho nối kết này và số lượng lưu lượng được yêu cầu. Bảng 11.11 minh họa hoạt động của BS scheduler.



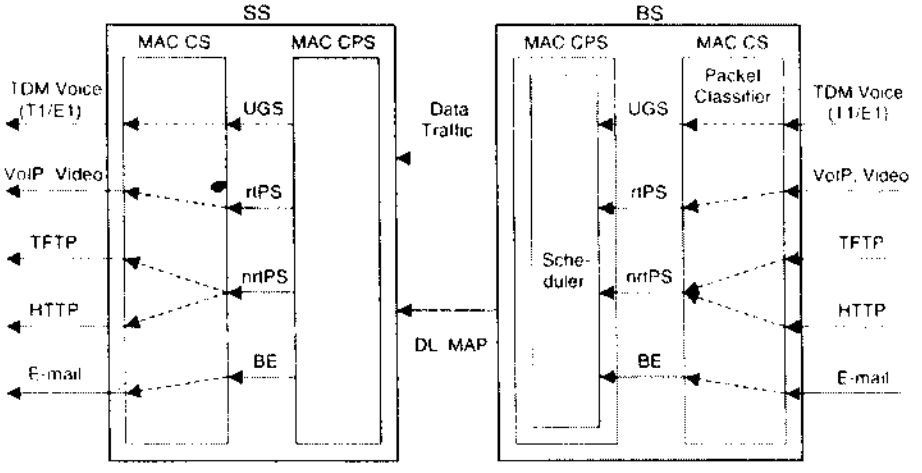
Hình 11.11: BS quyết định cấp phát băng thông và burst profile theo nhiều tham số đầu vào

Bằng cách xác định một dịch vụ lập thời biểu và các tham số QoS đi kèm của nó, BS scheduler có thể dự tính trước các nhu cầu thông lượng và thời gian trễ của lưu lượng uplink. Đây là một hoạt động bắt buộc trong việc quyết định burst profile thích hợp cho mỗi nối kết. BS có thể phát mà không cần phải phối hợp với những BS khác, ngoại trừ có thể cho chế độ Time Division Duplexing (TDD) vốn có thể phân chia thời gian thành các khoảng thời gian truyền uplink và downlink chung cho các BS khác nhau.

Dựa vào các yêu cầu uplink và xem xét những tham số QoS và các quyền ưu tiên của dịch vụ lập thời biểu, BS scheduler quyết định cho các phần cấp phát uplink. Những quyết định này được chuyển đến các SS thông qua thông báo quản lý UL-MAP MAC. Hình 11.12 minh họa hoạt động của BS scheduler cho uplink. BS scheduler cũng quyết định cho downlink và chuyển quyết định bằng cách sử dụng thông báo quản lý DL-MAP MAC. Hình 11.13 minh họa hoạt động BS scheduler cho downlink.



*Hình 11.12: Hoạt động BS scheduler cho uplink



Hình 11.13: Hoạt động BS scheduler cho downlink

Cũng có một scheduler hiện diện trong subscriber station (SS). Vai trò của scheduler này là phân loại tất cả gói đến thành các nối kết SS khác nhau.

Chuẩn không định nghĩa một thuật toán lập thời biểu vốn phải được sử dụng. Bất kỳ thuật toán lập thời biểu đã biết có thể được sử dụng: Round Robin, Weighted Round Robin, Weighted Fair Queuing và hoặc thuật toán lập thời biểu được biết khác hoặc thuật toán sẽ được định nghĩa. Các thuật toán lập thời biểu mới đã được đề xuất cụ thể cho việc lập thời biểu WIMAX/802.16 trong tài liệu.

11.4.2 Lập thời biểu các dịch vụ truyền khác nhau

Mỗi nối kết SS với BS (uplink) được gán một loại dịch vụ lập thời biểu như là một phần tạo của nó. Khi các gói (packet) được phân loại

trong Convergence Sublayer (CS), nối kết mà chúng được đặt vào được chọn dựa vào loại bảo đảm QoS vốn được bắt buộc bởi ứng dụng (xem các hình 11.12 và 11.13).

Mặc dù chuẩn nêu tất cả chi tiết về các lớp QoS khác nhau và các phương pháp cấp phát băng thông, nhưng các chi tiết về việc quản lý lập thời biểu và dành riêng không được chuẩn hóa và sau đó được để lại cho các nhà cung cấp và nhà vận hành. Trong bảng 11.5, loại dịch vụ lập thời biểu được trình bày có thể được sử dụng cho một số dịch vụ đặc trưng. Một số dịch vụ này được đề cập trong chuẩn.

Bảng 11.5: Loại dịch vụ lập thời biểu (hoặc lớp QoS) cho một số dịch vụ

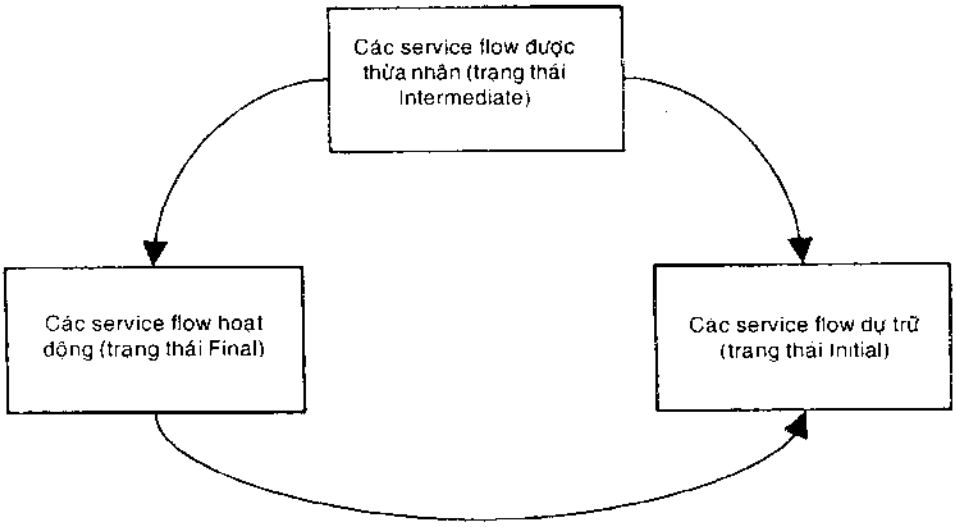
Ứng dụng	Lớp QoS mong đợi	Được xác định rõ ràng bởi chuẩn
TI/EI	UGS	Có
VoIP không có chức năng khử khoảng lặng	UGS	Có
VoIP có chức năng khử khoảng lặng	ertPS	Có
MPEG	rtPS	Có
FTP	nrtPS	Có
TFTP	nrtPS	Không
HTTP	nrtPS	Không
Email	BE	Không

11.5 Bổ sung và thay đổi dịch vụ động

11.5.1 Dự trữ và kích hoạt Service Flow

Một service flow có một ActiveQoS ParamSet không rỗng (non-Null) được gọi là service flow hoạt động (xem mục 7.2.2). Service flow này có thể yêu cầu và được cấp phát một băng thông để vận chuyển các gói dữ liệu. Một service flow được thừa nhận có thể được kích hoạt bằng cách cung cấp ActiveQoSParamSet, truyền tín hiệu các tài nguyên mong muốn vào thời gian hiện hành.

Một service flow có thể được dự trữ và sau đó được kích hoạt. Hoặc, một service flow có thể được tạo động và được kích hoạt ngay tức thì (xem hình 11.4). Trong trường hợp thứ hai này, sự kích hoạt hai giai đoạn được bỏ qua và service flow có sẵn để sử dụng ngay tức thì sau khi cho phép.

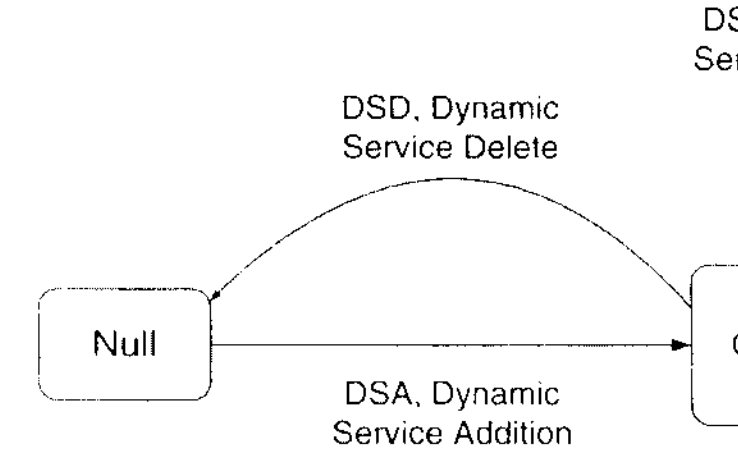


Hình 11.4: Các chuyển tiếp có thể có giữa các service flow. Một BS có thể chọn kích hoạt một service flow được dự trữ trực tiếp hoặc có thể chọn đi đến các service flow hoạt động bằng cách đi qua các service flow được thừa nhận.

Việc dự trữ các service flow nằm bên ngoài phạm vi của chuẩn 802.16. Đây nên là một phần của hệ thống quản lý mạng. Trong quá trình dự trữ, một service flow được xếp loại, với một loại flow "dự trữ" và một service flow ID. Việc mở các service flow sẽ theo sau việc truyền các tham số hoạt động. Trong trường hợp này, loại service flow có thể thay đổi thành "admitted" hoặc "active"; trong trường hợp thứ hai, service flow được ánh xạ sang một nối kết nhất định.

Các service flow có thể được tạo, được thay đổi hoặc xóa. Điều này được thực hiện thông qua một loạt các thông báo quản lý MAC:

- Các thông báo DSA (Dynamic Service Addition) tạo một service flow mới;
- Các thông báo DSC (Dynamic Service Change) thay đổi một service flow hiện có;
- Các thông báo DSD (Dynamic Service Delete) xóa một service flow hiện có. Điều này được minh họa trong hình 11.15.



Hình 11.15: Các hoạt động service flow động

Đối với một số service flow, có thể xác định rằng thủ tục DSA (Dynamic Service Addition) được sử dụng cho việc tạo service flow phải được kích hoạt bởi thủ tục nhập vào mạng. Những trigger ngoại trừ việc nhập vào mạng cũng có thể gây ra việc tạo, thừa nhận hoặc kích hoạt các service flow. Những trigger này được nói nằm bên ngoài phạm vi của chuẩn. Các kiểu mã hóa service flow chứa một định nghĩa đầy đủ về các thuộc tính dịch vụ hoặc một tên lớp dịch vụ. Tên lớp dịch vụ (service class) phải là một chuỗi ASCII, được nhận biết tại BS và xác định gián tiếp một tập hợp tham số QoS.

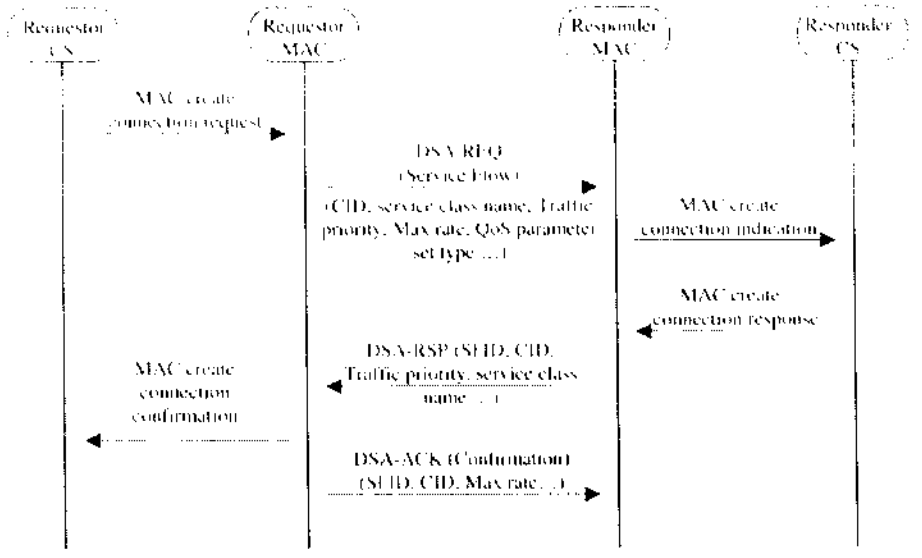
11.5.2 Tạo Service Flow

Việc tạo service flow có thể được bắt đầu bởi một BS (khả năng bắt buộc) hoặc SS (khả năng tùy chọn). Các thông báo DSA có thể được sử dụng để tạo một service flow mới. Vì nó là một service flow mới, CID quản lý chính được sử dụng để thiết lập nó. Giá trị CID này được sử dụng trong header MAC generic của các thông báo DSA.

Một thông báo quản lý DSA-REQ, DSA REQuest MAC từ một SS muốn tạo một service flow uplink hoặc downlink chứa một tham chiếu service flow và một tập hợp tham số QoS được đánh dấu để chỉ thừa nhận hoặc để thừa nhận và kích hoạt. Một DSA-REQ từ một BS chứa một SFID cho một service flow uplink hoặc một service flow downlink, có thể CID đi kèm của nó và một tập hợp tham số QoS kích hoạt hoặc được thừa nhận. Trong cả hai trường hợp, BS kiểm tra liên tục các điểm sau đây:

- việc SS có được ủy thác cho dịch vụ hay không;
- việc QoS service flow có thể được hỗ trợ hay không;

và sau đó tạo SFID và nếu AdmittedQoSParamSet không rỗng, ánh xạ service flow sang một CID. BS hoặc SS phản hồi bằng thông báo quản lý DSA-RSP. DSA Response, MAC biểu thị sự chấp nhận hoặc từ chối. Hình 11.6 minh họa các thông báo thủ tục tạo service flow.



Hình 11.16: Các thông báo và thuộc tính thủ tục tạo service flow thành công. Một số tham số trong hình này không được đưa vào một số thông báo DSx phụ thuộc vào việc tạo service được bắt đầu bởi BS hoặc SS.

Đối với các thông báo DSA-REQ và DSC-REQ được gởi bởi một SS, thông báo DSX-RVD (DSx Received) được tạo bởi BS để báo cho SS biết rằng BS đã nhận chính xác thông báo DSx-REQ. Điều này có thể được thực hiện nhanh trước khi gởi thông báo DSx-RSP được truyền chỉ sau khi DSx-REQ được xác thực.

Dạng chung của các thông báo DSA-REQ, DSA-RSP và DSA-ACK được minh họa trong hình 11.17. Thông báo DSA-REQ không thể chứa các tham số cho nhiều service flow. ID giao tác là một định danh duy nhất cho giao tác này được gán bởi bộ gởi. Mã xác nhận xác định trạng thái cho các thông báo dịch vụ động (DSx-xxx). Các giá trị có thể có là: ok-success, reject, reject-service-flow-exists, reject-header-suppression, reject-authentication-failure...

Loại thông báo quản lý (=11. 12 hoặc 13)	ID giao tác	Mã xác nhận (chỉ DSA RSP và ACK)	Thông tin được mã hóa bằng TLV

Hình 11.7: Dạng chung của các thông báo quản lý DSA-REQ, DSA-RSP và DSA-ACK MAC

Trường thông tin được mã hóa bằng TLV chứa thông số của các đặc điểm lưu lượng của service flow, các tham số dành riêng cho CS và các yêu cầu lập thời biểu. Các tham số này là:

- CID xác định CID được gán bởi BS sang một service flow. CID được sử dụng trong các yêu cầu băng thông và trong các header MAC PDU
- SFID: tham chiếu chính của một service flow. Chỉ BS có thể phát ra một SFID trong các thông báo DSA-REQ/DSC-REQ được bắt đầu bởi BS và trong DSA-RSP/DSC-RSP đến các thông báo DSA-REQ/DSC-REQ được bắt đầu bởi SS. SS xác định SFID của một service flow sử dụng tham số này trong một thông báo DSC-REQ.
- Tên lớp dịch vụ; xem mục 11.5.1 ở trên.
- Loại xác lập tham số QoS: provisioned, admitted hoặc active.
- Quyền ưu tiên lưu lượng. Giá trị của tham số này xác định quyền ưu tiên được gán cho một service flow. Với hai service flow giống hệt trong tất cả tham số QoS ngoài việc ưu tiên ra, service flow có quyền ưu tiên cao hơn sẽ được cho thời gian trễ thấp hơn và ưu tiên đệm (buffer) cao hơn. Đối với các service flow không giống nhau, tham số priority (quyền ưu tiên) sẽ không được ưu tiên hơn bất kỳ tham số QoS service flow xung đột. Không có thuật toán cụ thể cho việc sử dụng tham số này được trình bày trong chuẩn.

  Đối với các service flow uplink, BS sử dụng tham số này khi quyết định thứ tự ưu tiên trong dịch vụ yêu cầu và tạo phần cấp phát.
- Loại dịch vụ lập thời biểu. Đây là loại dịch vụ vốn sẽ được mở cho service flow đi kèm giữa năm loại dịch vụ lập thời biểu được định nghĩa: BE (mặc định), nrtPS, rtPS, ertPS hoặc UGS. Những tham số này được bỏ qua, dịch vụ BE được giả định. Một loại dịch vụ lập thời biểu không được xác định (phụ thuộc vào sự thực thi) cũng được xác lập.
- Những tham số QoS khác: tốc độ lưu lượng duy trì tối đa (maximum sustained traffic rate), chớp tín hiệu lưu lượng tối đa (maximum traffic burst), tốc độ lưu lượng dành riêng tối thiểu (minimum reserved traffic rate), tốc độ lưu lượng có thể chịu đựng tối thiểu (minimum tolerable traffic rate), các tham số ARQ cho các nối kết được bật ARQ... (xem các tham số QoS trong mục 7.4).

- Target SAID (Security Association IDentifier). Điều này xác định SAID mà service flow được thiết lập sẽ được ánh xạ sang. SAID là một định danh kết hợp an ninh được ie giữa BS và SS (xem chương 15).
- Thông số CS. Thông số này xác định CS mà nối kết được thiết lập sẽ sử dụng. Các lựa chọn có thể có là No CS, Packet IPv4, Packet IPv6, Packet 802.3/Ethernet, Packet 802.1Q VLAN, Packet IPv4 over 802.3/Ethernet, Packet IPv6 over 802.3/Ethernet, Packet IPv4 over 802.1Q VLAN, Packet IPv6 over 802.1Q VLAN và ATM.

11.5.3 Chỉnh sửa và xóa Service Flow

Các service flow được dự trữ và được tạo động được chỉnh sửa bằng thông báo DSC vốn có thể thay đổi các tập hợp tham số QoS admitted và active của flow. Một sự trao đổi thông báo DSC có thể chỉnh sửa các tham số của một service flow downlink hoặc một service flow uplink.

Một giao tác DSC thành công thay đổi các tham số QoS của service flow bằng cách thay thế các tập hợp tham số QoS admitted và active. Nếu thông báo chứa chỉ tập hợp admitted, tập hợp active được xác lập sang giá trị rỗng (null) và flow được hủy kích hoạt. Nếu thông báo không chứa cả hai tập hợp này thì cả hai tập hợp được xác lập sang giá trị rỗng và flow được hủy thừa nhận (de-admitted). Khi thông báo chứa cả hai tập hợp tham số QoS, tập hợp admitted được kiểm tra trước tiên và nếu việc kiểm soát sự thừa nhận thành công, tập hợp active trong thông báo được kiểm tra trên tập hợp admitted trong thông báo để bảo đảm rằng nó là một tập hợp con. Nếu tất cả cuộc kiểm tra thành công, các tập hợp tham số QoS trong thông báo trở thành các tập hợp tham số QoS admitted và active mới cho service flow. Nếu một trong hai cuộc kiểm tra thất bại, giao dịch DSC thất bại và các tập hợp tham số QoS service flow không được thay đổi. Một số tham số service flow, kể cả loại lập thời biểu service flow có thể không được thay đổi với các thông báo DSC.

Một SS muốn xóa một service flow tạo thông báo DSD-REQuest cho BS. BS xác nhận rằng SS thật sự là một "chủ sở hữu" service flow" và sau đó loại bỏ service flow. BS phản hồi bằng cách sử dụng thông báo DSD-RSP. Mặt khác, một BS muốn xóa một service flow động, không còn cần đến nữa, tạo một yêu cầu delete cho SS đi kèm sử dụng một DSD-REQUEST. SS loại bỏ service flow và tạo một phản hồi bằng cách sử dụng một DSD-RSP.

11.5.4 Authorisation Module

Authorisation module là một chức năng logic trong BS chấp thuận hoặc từ chối mọi thay đổi đối với các tham số QoS và các classifier kết hợp với một service flow. Điều này bao gồm mọi thông báo DSA-

REQ nhằm tạo một service flow và mọi thông báo DSC-REQ nhằm thay đổi một tập hợp tham số QoS của một service flow hiện có. Các thay đổi như vậy bao gồm yêu cầu một quyết định điều khiển thừa nhận (ví dụ xác lập AdmittedQoSParamSet) và yêu cầu kích hoạt một service flow (ví dụ xác lập ActiveQoSParamSet).

Trong mô hình authorisation (ủy quyền) tĩnh, authorisation module lưu trữ trạng thái provisioned của tất cả service flow được trì hoãn. Các yêu cầu admission và activation cho các service flow dự trữ này được cho phép miễn là tập hợp tham số QoS admitted là một tập hợp con của tập hợp tham số QoS dự trữ và tập hợp tham số QoS active là một tập hợp con của tập hợp tham số QoS admitted. Các yêu cầu thay đổi tập hợp tham số QoS dự trữ bị từ chối. Các yêu cầu tạo các service flow động mới bị từ chối. Điều này xác định một hệ thống tĩnh nơi tất cả dịch vụ có thể có được định nghĩa trong cấu hình ban đầu của mỗi SS.

Trong mô hình ủy quyền động, authorisation module giao tiếp qua một giao diện riêng biệt với một policy server độc lập. Policy server này có thể báo cho authorisation module biết trước các yêu cầu admission và activation sắp tới và nó xác định hành động ủy quyền thích hợp cần được thực hiện trên những yêu cầu đó. Các yêu cầu admission và activation từ một SS sau đó được kiểm tra bởi authorisation module để bảo đảm rằng ActiveQoSParamSet được yêu cầu là một tập hợp con của tập hợp được cung cấp bởi policy server. Các yêu cầu admission và activation từ một SS vốn được báo hiệu trước bởi policy server bên ngoài được cho phép. Các yêu cầu admission và activation từ một SS vốn không được báo hiệu trước bởi policy server ngoài có thể dẫn đến sự truy vấn thời gian thực đến policy server hoặc có thể bị từ chối.

Trước khi thiết lập nối kết ban đầu, BS truy tìm tập hợp QoS dự trữ cho một SS. Tập hợp này được chuyển đến autorisation module trong BS. BS lưu trữ tập trung tham số QoS dự trữ và sử dụng thông tin này để ủy quyền quyền các flow động vốn là một tập hợp con của tập hợp tham số QoS dự trữ. Chuẩn nêu rõ BS nên thực thi các cơ cấu để ghi đè tiến trình chấp thuận được tự động hóa (chẳng hạn như được mô tả trong mô hình ủy thác động). Ví dụ nó có thể:

a. từ chối tất cả yêu cầu cho dù chúng đã được dự trữ trước hay không;

b. xác định một bản trong với một cơ cấu chính xác phong phú hơn nhưng được lựa chọn bởi tập hợp QoS dự trữ;

c. 46 tất cả yêu cầu đến một policy server bên ngoài.

11.6 Nhập vào mạng

Các hệ thống phải tuân theo một danh sách các thủ tục để nhập vào và đăng ký một SS mới hoặc nói chung hơn, một nút mới đi đến mạng. Các thủ tục nhập vào mạng được mô tả trong phần này áp dụng chỉ vào tôpô PMP. Thủ tục nhập vào mạng cho Mesh (không được đưa vào các profile WiMAX lúc này) được mô tả trong chuẩn.

Hình 11.18 minh họa trình tự thủ tục nhập vào mạng. Trình tự thủ tục nhập vào mạng được mô tả sau đây:

1. Quét để tìm một kênh downlink và thiết lập sự đồng bộ với BS. Khi thiết lập hoặc sau khi mất tín hiệu, SS phải thu nhận một kênh downlink. SS có sự lưu trữ bất khả biến mà các tham số hoạt động sau cùng được lưu trữ trong đó. Đầu tiên nó cố tái thu nhận kênh downlink. Nếu điều này thất bại, nó liên tục quét các kênh của dải tần số downlink hoạt động cho đến khi nó tìm thấy một tín hiệu downlink hợp lệ.

   Preamble bắt đầu frame là một mẫu phổ biến liên tục và SS có thể sử dụng nó để đồng bộ hóa các tham số thời gian và tần số với BS. BS có thể tận dụng thêm các phương pháp quét chủ động hoặc phương pháp sự đa dạng để tăng tốc và cải thiện tiến trình đồng bộ hóa của downlink. Tại giai đoạn này, SS cần các thông báo DL-MAP, DCD, UCD và UL-MAP.

2. Đồng bộ hóa. SS MAC tìm kiếm thông báo DL-MAP. SS hoàn thành sự đồng bộ hóa MAC một khi nó đã nhận tối thiểu một thông báo DL-MAP. Một SS MAC vẫn được đồng bộ hóa miễn là nó tiếp tục nhận được thành công các thông báo DL-MAP và DCD của kênh downlink. Nếu khoảng thời gian Lost DL-MAP được định nghĩa theo chuẩn trôi qua mà không có một thông báo DL-MAP hợp lệ, một SS phải cố tái thiết lập sự đồng bộ hóa. Khoảng thời gian Lost DL-MAP (được biểu thị là T21 trong chuẩn) = 11 s, như được cập nhật trong 802.16e.

   Đạt được các tham số truyền (uplink) từ thông báo UCD. Sau khi đồng bộ hóa, SS đợi một thông báo UCD từ BS để có được tập hợp tham số truyền cần thiết cho một kênh uplink. Các thông báo UCD và các tham số truyền uplink (UL-MAP) được truyền theo định kỳ bởi BS (xem các chương 9 và 10).

3. Thực thi initial ranging. Mục đích chính của initial ranging là điều chỉnh mỗi tham số dịch chuyển thời gian và công suất SS trong giai đoạn khởi tạo. Initial ranging (xem mục 11.1 ở đầu chương để biết chi tiết về thủ tục này) xảy ra khi một SS muốn

đi vào một mạng. SS gởi một thông báo RNG-REQ trong một khoảng initial ranging dựa vào sự tranh chấp. Trường CID xác lập sang giá trị SS không được khởi tạo (initial ranging CID=0).

Các CID cho các kết nối quản lý basic và primary được gán trong thủ tục initial ranging này (xem mục 11.1.2).

4. Thương lượng các khả năng cơ bản. Đây là giai đoạn mà SS và BS trao đổi các tham số được hỗ trợ của chúng. Sau khi hoàn thành ranging, SS báo cho BS biết về những khả năng cơ bản của nó bằng cách chuyển một thông báo SBC-REQ (SS Basic Capability Request) bằng những khả năng của nó. Thông báo SBC-REQ được chuẩn bởi SS trong giai đoạn khởi tạo (Network Entry) để báo cho BS biết về những khả năng cơ bản của nó. Các tham số sau đây được đưa vào yêu cầu các khả năng cơ bản:

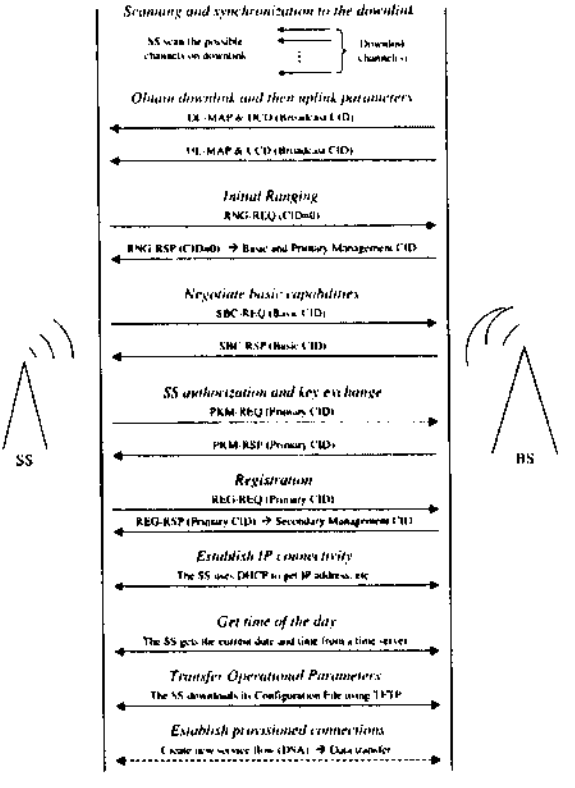
   - Cấp phát băng thông: hỗ trợ sự song công tần số đầy đủ nếu mỗi H-FDD và FDD được hỗ trợ (cho một profile TDD nếu không có lựa chọn khác).
   - Các tham số vật lý: công suất truyền tối đa (cho mỗi trong bốn kiểu điều biến: BPSK, QPSK, 16-QAM và 64-QAM), công suất truyền hiện hành (được sử dụng cho chớp tín hiệu vốn tải thông báo SBS-REQ), sự hỗ trợ tranh chấp hội tụ (dành riêng cho OFDM PHY), hỗ trợ bộ giải điều biến SS (64-QAM, CTC, BTC, STC và AAS), hỗ trợ bộ điều biến SS (64-QAM, BTC, CTC, sự phân kênh con và yêu cầu BW tranh chấp hội tụ), hỗ trợ tranh chấp hội tụ SS (xem chương 10) và hỗ trợ lớp con SS TC, kích cỡ FFT (dành riêng cho OFDMA PHY), hỗ trợ sự chuyển vị,hỗ trợ các tham số MIMO, hỗ trợ các tham số AAS, hỗ trợ các tham số an ninh, hỗ trợ các tham số kiểm soát công suất, hỗ trợ các tham số tiết kiệm điện, hỗ trợ các tham số handover...
   - Các giá trị kích cỡ của FSN (Fragment Sequence Number) được sử dụng khi hình thành các MAC PDU trên các nối kết không phải ARQ, chẳng hạn như khả năng nhận các yêu cầu được piggyback bằng dữ liệu...

   BS phản hồi bằng một thông báo SBC-RSP (SS Basic Capability Response) với sự giao nhau của các tính năng SS và BS. Thông báo SBC-RSP được truyền bởi BS nhằm phản hồi lại một SBC-REQ được nhận. Vai trò của nó là xác nhận chứ không phải các tham số được đề xuất trong SBC-REQ. Nếu BS không nhận biết một tính năng SS, nó có thể trả về tính năng này là "off" trong SBC-RSP.

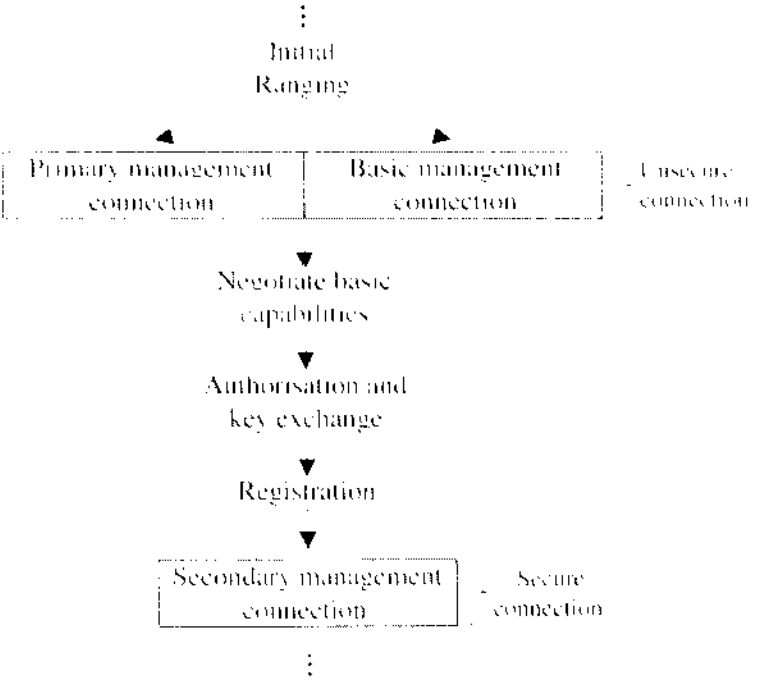
5. Uỷ quyền SS và thực hiện việc trao đổi các khóa (key). Kế tiếp. SS phải trao đổi các khóa bí mật vốn là một phần của cơ cấu xác thực. Điều này được nhận biết thông qua giao thức PKM. SS gởi một thông báo PKM-REQ (Privacy Key Management Request) đến BS. BS phản hồi bằng một thông báo PKM-RSP (Privacy Key Management Response). Sự trao đổi này được nêu chi tiết trong chương 15.

6. Thực hiện việc đăng ký. Đăng ký (registration) là tiến trình mà qua đó SS được phép đi vào mạng và cụ thể, một SS được quản lý nhận CID quản lý phụ của nó và do đó trở thành một SS có thể quản lý. Phần này của tiến trình Network Entry được nêu chi tiết trong mục 11.6.1 bên dưới.

Các nối kết quản lý MAC cơ bản và chính được thiết lập trong SS initial ranging (xem ở trên). Những nối kết này không an toàn. Một nối kết quản lý phụ được thiết lập khi thủ tục ủy thác được hoàn tất trong quá trình đăng ký SS. Nối kết này được sử dụng để thiết lập nối kết IP và để tải cấu hình file Trivial File Transfer Protocol (TFTP) (xem các bước dưới đây). Nối kết quản lý phụ an toàn. Hình 11.9 minh họa trình tự giữa initial ranging và việc đăng ký tiến trình SS Network Entry.



Hình 11.18: Các thủ tục SS Network Entry.



Hình 11.19: Initial ranging (xác định phạm vi ban đầu) cho đến phần đăng ký của tiến trình SS Network Entry. Hình này trình bày trường hợp của một SS được quản lý, nghĩa là có một nối kết quản lý phụ.

Sự thực thi các giai đoạn 7, 8 và 9 tại SS là tùy chọn. Những giai đoạn này phải được thực hiện chỉ khi SS đã xác định trong thông báo REG-REQ rằng nó là một SS được quản lý.

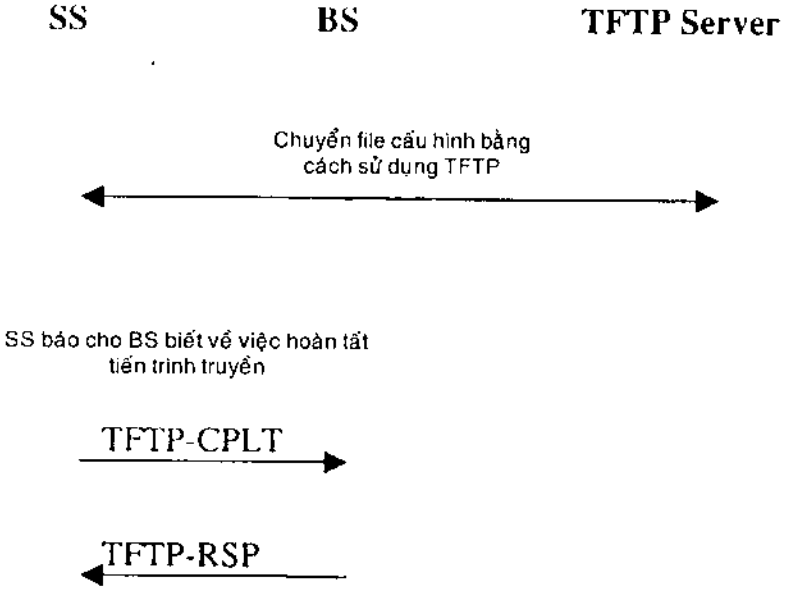
7. Thiết lập khả năng nối kết IP. Vào lúc này, SS sử dụng các cơ cấu Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) để có được một địa chỉ IP từ server DHCP và bất kỳ tham số khác cần để thiết lập khả năng kết nối IP. Nếu SS có một file cấu hình (ví dụ chứa các bảng bộ lọc QoS), sự phản hồi DHCP chứa tên của một file vốn chứa thêm các tham số cấu hình. Các tham số IP của SS được thiết lập dựa vào sự phản hồi server DHCP. Việc thiết lập khả năng kết nối IP được table trên nối kết quản lý phụ SS. Các thông báo quản lý phụ được tải trong các gói dữ liệu IP (xem mục 5.2.6 của chuẩn để tham khảo các dạng IP CS PDU).

   Thiết lập thời gian trong ngày. SS cần có ngày tháng và thời gian hiện hành từ BS. Điều này được yêu cầu để đóng tem thời gian các sự kiện (event) được ghi chép. Ví dụ, nó có thể cần cho một số thuật toán mã hóa. Giao thức mà qua đó SS truy tìm

thời gian của ngày từ một time server qua BS (không cần xác thực) được định nghĩa trong IETF RFC 868 vốn cho số giây bắt đầu từ năm 1900 trên 4 byte. Yêu cầu và phản hồi được chuyển bằng cách sử dụng User Datagram Protocol (UDP).

Thời gian được truy tìm từ sử dụng, Universal Coordinated Time (UTC), phải được kết hợp với khoảng dịch chuyển thời gian được nhận từ phản hồi DHCP để tạo thời gian cục bộ hiện hành SS. Việc thiết lập thời gian trong ngày được thực hiện trên nối kết quản lý phụ SS.

8. Chuyển các tham số hoạt động. Sau khi thủ tục DHCP thành công, SS download file cấu hình của nó bằng cách sử dụng Trivial File Transfer Protocol (TFTP) trên nối kết quản lý phụ SS, như được minh họa trong hình 11.20 nếu được xác định trong phần phản hồi DHCP (file server cá nhân TFTP được xác định trong phần phản hồi DHCP). TFTP là một giao thức khá đơn giản được sử dụng để chuyển các file, hoạt động trên UDP.



Hình 11.20: Chuyển file cấu hình SS (thủ tục hoạt động)

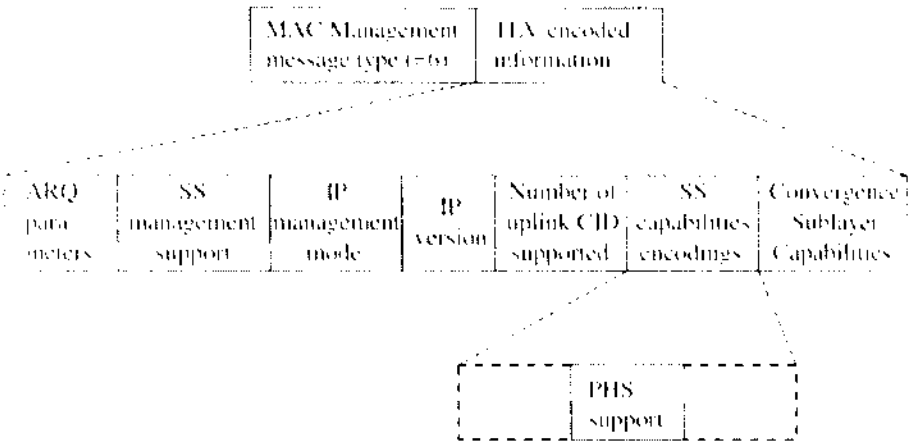
Khi việc download file cấu hình đã hoàn tất thành công, SS báo cho BS biết bằng cách truyền một thông báo quản lý TFTP-CPLT (Config File TFTP Complete Message) MAC trên nối kết quản lý chính SS. Việc chuyển các thông báo TFTP-CPLT bởi SS tiếp tục theo định kỳ cho đến khi một thông báo quản lý

TFTP-RSP (Config File TFTP Complete Response) MAC được nhận bằng một phản hồi "OK" từ BS hoặc SS kết thúc việc truyền lại do sự cạn kiệt khả năng thử lại. File cấu hình SS chứa nhiều thông tin hệ thống chẳng hạn như thông tin khởi động.

9. Thiết lập các nối kết. Sau khi chuyển các tham số hoạt động (cho một SS được quản lý) hoặc sau khi đăng ký (cho một SS không được quản lý), BS gởi các thông báo DSA-REQ đến SS để thiết lập các nối kết cho các service flow dự trữ thuộc về SS. SS phản hồi bằng các thông báo DSA-RSP như được nêu chi tiết trong mục 11.3 ở trên.

11.6.1 Đăng ký

Đăng ký (registration) là tiến trình mà qua đó SS được phép đi vào mạng và cụ thể, một SS được quản lý nhận CID quản lý phụ của nó và do đó trở thành một SS có thể quản lý. Để đăng ký với một BS, SS gởi thông báo quản lý REG-REQ MAC đến BS. Dạng chung của thông báo REQ-REQ được minh họa trong hình 11.21.



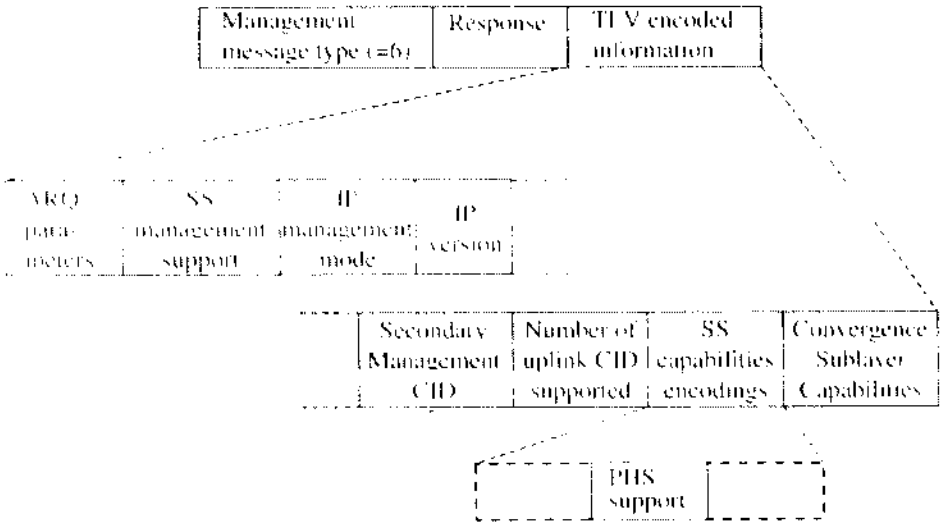
Hình 11.21: Dạng chung của thông báo REG-REQ. Tất cả kiểu mã hóa TLV đều được trình bày trong hình này

Trong thông báo REG-REQ, SS xác định những điều sau đây:

- **Các tham số ARQ**: các tham số phân đoạn (fragmentation) và ARQ được áp dụng trong quá trình thiết lập nối kết quản lý phụ.
- **Hỗ trợ quản lý SS**: cho dù SS có được quản lý bởi thông báo IP dựa vào chuẩn trên nối kết quản lý phụ hay không; nếu "có", đây là cái được gọi là SS được quản lý.

- **Chế độ quản lý IP**. Chế độ này biểu thị rằng nhà cung cấp (provider) dự định quản lý SS trên một cơ sở đang tiến triển bằng các cơ cấu dựa vào IP.
- **IP version**. Điều này xác định phiên bản của IP được sử dụng trên nối kết quản lý phụ: 4 (mặc định) hoặc 6. Khi SS chứa phiên bản IP trong REG-REQ, BS chứa tham số phiên bản IP trong REG-RSP của nó. BS quyết định sử dụng một trong các phiên bản IP được hỗ trợ bởi SS.
- **Các kiểu mã hóa các tính năng SS:** hỗ trợ ARQ (xác định tính có sẵn của sự hỗ trợ SS cho ARQ), hỗ trợ MAC CRC (xác định việc SS có hỗ trợ CRC cấp MAC hay không), hỗ trợ CID nhóm kiểm tra vòng (multicast) (xác định số nhóm kiểm tra vòng đồng thời tối đa mà SS có khả năng thuộc về), hỗ trợ chính sách xác thực (xác định việc SS có thể áp dụng sự an ninh IEEE 802.16 hay không, hình thành các chứng nhận kỹ thuật X.509 và thuật toán mã hóa khóa chung RSA, dưới dạng chính sách xác thực)...
- **Mã hóa Vendor ID:** xác thực nhà cung cấp.
- Mã hóa phiên bản MAC.
- Số kết hợp an ninh được hỗ trợ tối đa: xác định số kết hợp an ninh hỗ trợ tối đa của SS.
- Các tính năng Convergence Sublayer (CS) (các tùy chọn Classification/PHS: ATM, Packet IPv4 hoặc v6...; theo mặc định, Packet, IPv4 và 802.3/Ethernet nên được hỗ trợ, cấp hỗ trợ PHS).

BS phản hồi bằng một thông báo REG-RSP (REGistration RESponse). Đối với một SS đã xác định là SS được quản lý trong REG-REQ của nó, thông báo REG-RSP chứa CID quản lý phụ được cấp phát bởi BS. Dạng chung của thông báo REG-RSP được minh họa trong hình 11.22. Trường response xác định sự thành công hoặc sự thất bại xác thực thông báo. Việc kiểm chứng xác thực thông báo dựa vào HMAC hoặc CMAC (xem chương 15 để biết sự xác thực thông báo).



Hình 11.22: Dạng chung của thông báo REG-RSP. Không phải tất cả kiểu mã hóa TLV đều được trình bày trong hình này.

Trong thông báo này, BS xác định chế độ hoạt động quản lý SS, phiên bản MAC được sử dụng trong mạng, Vendor ID Encoding của BS, sự phản hồi cho chỉ báo REG-REQ về việc bộ yêu cầu (requester) có muốn chấp nhận lưu lượng dựa vào IP trên nối kết quản lý phụ hay không, một khi tiến trình khởi tạo đã được hoàn tất. Cũng được đưa vào trong REG-RSP là một sự phản hồi đối với các khả năng của SS yêu cầu được cung cấp trong REG-REQ (nếu yêu cầu đã chứa thông tin các tính năng) nếu chúng có thể được sử dụng. Nếu một tính năng không được nhận biết, sự phản hồi xác định rằng tính năng sẽ không được sử dụng bởi SS yêu cầu. Tính năng được trả về trong REG-RSP không thể được xác lập để yêu cầu tính năng cao hơn của SS yêu cầu so với những gì được ấn định trong REG-REQ.

11.6.2 Hủy đăng ký và tái đăng ký

Thông báo quản lý DREG-CMD (De/Re-register Command) MAC được truyền bởi BS để buộc SS thay đổi trạng thái truy cập của nó: dừng sử dụng kênh kỹ thuật, sử dụng nó với các giới hạn, quay trở về trạng thái bình thường... DREG-CMD có thể không được yêu cầu hoặc phản hồi lại một thông báo SS DREG-REQ. Thông báo quản lý MAC hủy đăng ký DREG-REQ SS được gởi bởi SS đến BS để báo cho BS về yêu cầu hủy đăng ký SS từ BS và mạng.

11.6.3 SS Reset

BS có thể chuyển thông báo quản lý RES-CMD (Reset Command) MAC trên một SS Basic CID để buộc SS này tự xác lập lại, khởi tạo lại MAC của nó và sau đó lặp lại sự truy cập hệ thống ban đầu. Thông báo này có thể được sử dụng nếu một SS không phản hồi lại BS, hoặc nếu BS phát hiện những điểm bất thường liên tục trong các cuộc truyền của một SS.

Tham số chính của RES-CMD là sự xác thực thông báo. Điều này được thực hiện bằng số trình tự khóa HMAC được ghép với một HMAC-Digest (xem chương 15).

Phần 4

Các chủ điểm khác

Chương 12

Sử dụng hiệu quả các tài nguyên vô tuyến

12.1 Giới thiệu

Các hệ thống WiMAX được thiết kế để cung cấp hiệu suất phổ cao nhằm đưa ra những tốc độ dữ liệu rất cao cho người dùng. Lớp vật lý mạnh dựa vào kỹ thuật OFDM/OFDMA và việc sử dụng mã hiệu suất cao phần lớn là nguyên nhân cho hiệu suất phổ cao vừa có được (xem chương 5 và 6).

Một mặt, hiệu suất phổ được cải thiện bởi các cơ cấu WiMAX Radio Resource Management (RRM) (xem mục 12.3). Những cơ cấu đó được xác định trong các chuẩn IEEE 802.16 bao gồm kiểm soát sự thừa nhận, kiểm soát công suất, thích ứng liên kết và chọn tần số động. Ngoài những cơ cấu vô tuyến này, WiMAX Forum định nghĩa framework và sự phân chia chức năng của các thủ tục quản lý tài nguyên vô tuyến trong mạng truy cập vô tuyến WiMAX (cấu trúc WiMAX được mô tả trong chương 13). Framework này thật sự tối ưu thêm các thủ tục RRM (chủ yếu để kiểm soát sự thừa nhận và sự chuyển giao) và đặc biệt cần thiết cho các hoạt động RRM nhất quán trong một mạng vô tuyến WiMAX giữa các nhà cung cấp khác nhau.

Mặt khác, hiệu suất phổ cao và tính ưu việt hiệu suất so với những hệ thống vô tuyến khác cũng đạt được bằng việc sử dụng các hệ thống công nghệ anten cao cấp. Các chuẩn IEEE 802.16 và các profile WiMAX đi kèm hiện định nghĩa và dự trữ một số lựa chọn cho việc thực thi các công nghệ anten cao cấp (xem mục 12.4). Trong các phiên

bản hiện tại của mobile WiMAX, công nghệ anten thích ứng với beamforming (hình thành chùm tia) và công nghệ MIMO có thể có. Trong khi nhiều công nghệ anten chỉ được chấp nhận trong các phiên bản nâng cao cho các chuẩn 3GPP và 3GPP2 vốn làm cho sự triển khai khối của chúng trở nên thách thức trong mạng hoàn chỉnh hiện có, những công nghệ này thật sự được hỗ trợ từ ngay lần tung ra các hệ thống mobile WiMAX, làm cho chúng trở thành một tính năng thật sự cho triển khai mạng vô tuyến WiMAX đầu tiên và cuối cùng là nền tảng chính cho hiệu suất vô tuyến hoàn hảo.

Trong khi các kỹ thuật trước rõ ràng nâng cao hiệu suất của các hệ thống cho các nối kết unicast giữa một BS và một MS (Mobile Station). WiMAX Forum cũng dự trữ việc hỗ trợ hiệu quả Multicast/Broadcast Services (MBS) trên giao diện không khí WiMAX. Để đạt được hiệu suất cao, việc triển khai hệ thống WiMAX phải tuân theo một số hướng dẫn được đề cập tiếp theo.

12.2 Xem xét kỹ thuật vô tuyến cho những hệ thống WiMAX

Những giải pháp WiMAX bao gồm WiMAX cố định và WiMAX di động. Theo loại thiết bị đầu cuối được cung cấp (CPE (Consumer Premise Equipment) ngoài trời, CPE trong nhà tự lắp đặt, thiết bị đầu cuối di động - PCMCIA, laptop, các smamrt phone), mỗi giải pháp có một phương pháp triển khai khác.

12.2.1 Sự lan truyền LOS/NLOS

Vùng phủ sóng từ một BS được liên kết với một vài tham số vô tuyến. Tham số đầu tiên là môi trường lan truyền. Phụ thuộc vào vị trí tương ứng của BS và thiết bị đầu cuối (terminal), một số model có thể được sử dụng để đánh giá sự tổn thất do sự lan truyền.

12.2.1.1 Sự lan truyền LOS và Near LOS

Các sự lan truyền Line-of-Sight (LoS) và Near Line-of-Sight (NLoS) có thể xảy ra khi BS và MS được triển khai ngoài trời, trên chiều cao trung bình của môi trường. Điều này có thể là trường hợp triển khai một giải pháp WiMAX cố định trong môi trường đô thị với BS được đặt trên một điểm độ cao (hoặc tại đỉnh của một cột tháp) và SS (sau đó CPE cho WiMAX cố định) được triển khai trên mái nhà của khách hàng.

Sự lan truyền LOS đòi hỏi vùng Fresnel đầu tiên không có bất kỳ rào cản nào. Trong trường hợp đó, những tổn thất do lan truyền tỉ lệ với bình phương khoảng cách giữa BS và SS. Tuy nhiên, trong sự triển khai thực tiễn, điều này rất hiếm xảy ra. Vùng Fresnel thường bị cản trở và/hoặc có vài cản trở trên BS đến đường truyền CPE.

Trong trường hợp đó, các mô hình gần LOS được sử dụng. Tuy nhiên, trong trường hợp có vài rào cản (một tòa nhà, một thác nước, một ngọn đồi), những rào cản được mô phỏng bằng mép dao (knife-edge). Một ví dụ về mô hình này có thể được tìm thấy trong phần tham khảo.

1.2.2.1.2 Sự lan truyền NLOS

Sự lan truyền NLOS (Non-Line-of-Sight) xảy ra khi thiết bị đầu cuối được đặt trong nhà và/hoặc ngang tầm mặt đất. Trong tình huống này, trong hầu hết các trường hợp, không có đường dẫn trực tiếp giữa BS và thiết bị đầu cuối, có một số cao các rào cản trên đường dẫn từ BS đến MS (các tòa nhà, cây cối, xe hơi...) và bộ thu có thể thu một số bản sao của tín hiệu vốn đã gặp phải sự phản chiếu/khúc xạ trên các rào cản khác nhau. Loại lan truyền này điển hình cho những triển khai di động.

Trong trường hợp của WiMAX, sự lan truyền NLOS tương ứng với việc triển khai một WiMAX cố định hoặc di động sử dụng các thiết bị đầu cuối trong nhà tự lắp đặt (triển khai DSL không dây), hoặc việc triển khai WiMAX di động với các thiết bị đầu cuối di động (PCMCIA, laptop có chipset tích hợp, các điện thoại di động đa chế độ...).

Trong NLOS, những tổn thất với khoảng cách cao hơn nhiều so với trong LOS. Số mũ phân rã do khoảng cách là giữa 3 và 4. Một ví dụ về mô hình lan truyền được sử dụng để đánh giá những tổn thất do lan truyền trong NLOS là mô hình Erceg.

12.2.2 Các tham số vô tuyến và các độ khuếch đại hệ thống

Để lượng giá phạm vi hoạt động, đòi hỏi thêm các tham số. Đầu tiên, giá trị của một số tham số lan truyền phụ thuộc vào thêm những tham số vô tuyến chẳng hạn như:

- Dải tần số. WiMAX có thể được triển khai tại các tần số khác nhau (2.3 GHz, 2.5 GHz và 3.5 GHz); tần số càng cao, những tổn thất do lan truyền càng cao.
- Chiều cao anten BS. Các tổn thất do lan truyền giảm đi nếu chiều cao anten được tăng lên.
- Chiều cao an của thiết bị đầu cuối. Thiết bị đầu cuối càng thấp, các tổn thất càng cao (đối với sự triển khai di động, chiều cao của thiết bị đầu cuối thường được lấy giữa 1.5 và 2m).

Sau đó, phụ thuộc vào tình huống triển khai, một giới hạn (margin) mô phỏng những dao động của môi trường vô tuyến cần được xem xét.

Trong trường hợp của tình huống LOS/near LOS, BS và MS là cố định. Tuy nhiên, sự tổn thất do lan truyền dao động (ví dụ theo những tham số địa khí hậu). Do đó, để đánh giá phạm vi hoạt động, một giới hạn (margin) cần được lượng giá theo sự có sẵn của tín hiệu được yêu cầu (ví dụ 99%) và các tham số địa khí hậu. Một phương pháp để đánh giá giới hạn có sẵn trong phần tham khảo.

Trong trường hợp của tình huống NLOS, để phản ánh sự phân bố của các rào cản trong vùng bao phủ, một giới hạn, được gọi là giới hạn che chắn cần được xem xét để đánh giá phạm vi hoạt động. Hiệu suất che chắn (shadowing) này được mô phỏng bởi sự phân bố lognormal với độ lệch chuẩn phụ thuộc vào môi trường (thường từ 10dB trong một môi trường đô thị đến 5 dB trong các môi trường nông thôn). Giới hạn vừa có được cũng phụ thuộc vào tính có sẵn xác suất tín hiệu trên vùng cell (thường giữa 90 và 95%). Một phương pháp để đánh giá giới hạn này có thể được tìm thấy trong phần tham khảo. Ngoài ra, những giới hạn khác có thể được đưa vào những thất thoát do lan truyền: giới hạn trong nhà (trong trường hợp của các yêu cầu bao phủ trong nhà), giới hạn nhiễu (để phản ánh mức nhiễu được tạo ra bởi các cell khác phát tại cùng một tần số), những tổn thất do vật thể...

Sau cùng, để đánh giá phạm vi hoạt động, độ khuếch đại hệ thống có thể được đánh giá. Độ khuếch đại hệ thống là hiệu mức tín hiệu tối đa vốn có thể được chấp nhận trên đường dẫn từ BS đến thiết bị đầu cuối sao cho bộ thu có thể giải mã một tín hiệu có đủ chất lượng. Các độ khuếch đại hệ thống phụ thuộc vào nhiều tham số riêng biệt.

- Công suất truyền của BS/thiết bị đầu cuối (terminal).
- Độ khuếch đại anten của BS/thiết bị đầu cuối. Độ khuếch đại tại phía thiết bị đầu cuối phụ thuộc vào loại thiết bị cuối. Các CPE ngoài trời có thể có độ khuếch đại vượt quá 14dBi trong khi các thiết bị đầu cuối di động có thể có chỉ một độ khuếch đại anten 0dBi.
- Độ nhạy của bộ thu. Độ nhạy của bộ thu phụ thuộc vào băng thông tín hiệu, sự điều biến và phương pháp mã hóa. Các chuẩn IEEE 802.16 cung cấp các giá trị tham chiếu tối thiểu nhưng các nhà cung cấp có thể đưa ra các giải pháp hiệu suất tốt hơn.

12.2.3 Các tính năng vô tuyến WiMAX cải thiện phạm vi hoạt động

Đối với những giải pháp WiMAX cố định triển khai các CPE ngoài trời, vùng hoạt động có thể vài km (xem phần tham khảo). Tuy nhiên, để có được những con số phạm vi hoạt động phù hợp với một hệ thống di động (cellular system) hiện có cho các triển khai như di động WiMAX, cần thêm những tính năng để bù đắp cho những tổn thất

phụ do các độ khuếch đại anten thiết bị đầu cuối thấp hơn, sự xuyên qua trong nhà và hành vi NLOS.

Tính năng cải tiến vô tuyến có thể áp dụng cho các WiMAX cố định và di động là sự phân kênh con (subchannelisation). Đây là khả năng tập hợp công suất truyền trên một vài kênh con và do đó đạt được sự hòa hợp giữa vùng hoạt động và tốc độ dữ liệu tối đa mà một thiết bị đầu cuối có thể đạt được tại mép cell. Những tính năng cải tiến khác chỉ có thể áp dụng cho WiMAX di động là:

- Convolutional Turbo Coding (CTC).
- Repetition Coding. Đối với mỗi lần truyền lại, có thể đạt được lên đến độ khuếch đại 3 dB. Lần nữa điều này cho phép một sự hòa hợp giữa phạm vi hoạt động tối đa và tốc độ dữ liệu tại mép cell.
- Hybrid ARQ (HARQ). Đây là khả năng bộ thu kết hợp một số lần truyền của các MAC PDU tương tự.
- Các công nghệ anten cao cấp: beamforming và MIMO.

12.2.4 Các hướng dẫn hoạch định tần số

Lần nữa, theo tình huống triển khai, các hướng dẫn hoạch định tần số là khác nhau.

12.2.4.1 WiMAX cố định

Trong trường hợp của một WiMAX cố định với CPE ngoài trời được triển khai trong LOS/near LOS, được hoạch định tần số tương tự như tần số của các hệ thống Fixed Wireless Access (FWA) (ví dụ truyền sóng viba PMP) có thể được sử dụng. Tại vị trí vô tuyến, một số lựa chọn cho các cấu hình sector có thể được sử dụng (1, 3, 4 và 6 sector mỗi vị trí). Trong sự triển khai như FWA, CPE có một anten ngoài có độ khuếch đại cao và do đó có một chiều rộng chùm tia anten giảm. Kết quả, anten của CPE cung cấp khả năng chống nhiễu đáng kể; do đó để đạt được mục tiêu CINR trên vùng dịch vụ, việc hoạch định tần số với 3 và 4 tần số có thể được sử dụng. Đối với WiMAX cố định với một CPE trong nhà tự lắp đặt cũng có các anten dẫn hướng, một kế hoạch tần số tương tự có thể được sử dụng.

Nhiều sector (lên đến sáu) hoặc nhiều tần hơn mỗi sector có thể được triển khai trên các phía hiện có.

12.2.4.2 WiMAX di động

Trong trường hợp triển khai WiMAX di động có các thiết bị đầu cuối di động, không có sự giảm nhiễu do anten MS (các anten mọi hướng). Tuy nhiên, do việc sử dụng OFDMA và sự chuyển vị (vốn tạo ra sự ngẫu nhiên nào đó trong việc sử dụng các sóng mang thứ cấp), và do hiệu suất vô tuyến tốt hơn (các khả năng tao mã nhiều hơn,

beamforming và/hoặc MIMO), có thể triển khai một hệ thống hiệu quả với một phương pháp tái sử dụng kế hoạch tần số là 3 và thậm chí 1.

Trong trường hợp của MBS (xem bên dưới), kênh tần số được gán để truyền các nối kết multicast/broadcast phải được triển khai theo một cách Single Frequency Network (SFN).

Đối với densification, những kỹ thuật tương tự được sử dụng cho các hệ thống di động hiện có được sử dụng: nhiều tần số hơn mỗi site, tách cell, lớp microcellular, vùng hoạt động trong nhà từ trong nhà...

12.2.5 Đồng bộ hóa Base Station

IEEE 802.16-2004 xác định rằng có ba tùy chọn đồng bộ hóa BS:

- Cấu hình không đồng bộ (asynchronous configuration). Mọi BS sử dụng sự chuyển vị riêng của nó. Các chiều dài frame và thời gian bắt đầu không được đồng bộ giữa các base station. Cấu hình có thể được sử dụng làm sự triển khai chi phí thấp độc lập.
- Cấu hình đồng bộ (synchronous configuration). Tất cả BS sử dụng cùng một khối tham chiếu (ví dụ bằng cách sử dụng GPS, hoặc Global Positioning System). Các khoảng thời gian và thời gian bắt đầu cũng được đồng bộ giữa các BS, nhưng mỗi BS có thể sử dụng các chuyển vị khác nhau. Do sự đồng bộ hóa thời gian trong tình huống này và khoảng thời gian ký hiệu dài của ký hiệu OFDMA, các sự chuyển giao (handover) nhanh cũng như các sự chuyển giao mềm có thể có. Cấu hình này có thể được sử dụng làm một sự triển khai BS độc lập với một mức nhiễu được kiểm soát.
- Cấu hình đồng bộ phối hợp (coordinated synchronous configuration). Tất cả BS hoạt động trong chế độ đồng bộ và sử dụng các chuyển vị tương tự. Một lớp trên có trách nhiệm xử lý các cấp phát kênh con trong các sector của base station, bảo đảm xử lý tốt hơn băng thông và cho phép hệ thống xử lý các tải cân bằng giữa các sector và trong hệ thống.

Chuẩn ấn định rằng, đối với sự nhận biết TDD và FDD, tất cả BS nên (nhưng không được bắt buộc) được đồng bộ hóa thời gian với một tín hiệu thời gian chung.

12.3 Các thủ tục quản lý tài nguyên vô tuyến

12.3.1 Kiểm soát công suất

Sự hỗ trợ thủ tục kiểm soát công suất thì bắt buộc trong uplink. Thủ tục bao gồm một tiến trình định chuẩn ban đầu và một tiến trình cập nhật định kỳ.

Bằng cách đo công suất nhận được tại phía BS, BS có thể gởi các chỉ báo khoảng dịch chuyển công suất đến MS để điều chỉnh mức công suất truyền của nó một cách thích hợp. Phải chú ý phòng hờ nơi MS sử dụng chỉ một phần của các kênh con, mật độ công suất vẫn không đổi bất kể số kênh con thật sự được sử dụng (trừ phi đạt được mức công suất tối).

Sự chỉ báo khoảng công suất được gởi bởi BS nhất quán với MCS thật sự vốn sẽ được sử dụng cho việc truyền uplink. Các điều chỉnh công suất liên quan đến việc sử dụng một phương pháp điều biến khác sau đó được xem xét. Sau cùng, khoảng dịch chuyển công suất cũng nhất quán với công suất tối đa mà MS có thể truyền (được biểu thị trong thông báo SBC-REQ MAC).

Sau khi nhận thông tin khoảng dịch chuyển công suất, MS điều chỉnh công suất truyền của nó theo phương trình (12.1) bằng cách đơn giản cộng khoảng dịch chuyển (offset) với giá trị cuối cùng được sử dụng để truyền:

$$P_{\text{New}} = P_{\text{Last}} + \text{Offset} \qquad (12.1)$$

trong đó P_{last} là công suất truyền được sử dụng sau cùng, P_{new} là công suất truyền mới và "Offset" là sự tích lũy các giá trị khoảng dịch chuyển được gởi bởi BS kể từ lần truyền sau cùng. Thông tin khoảng dịch chuyển công suất truyền được gởi trong các thông báo RNG-RSP bằng các đơn vị 0.25 dB. Tiến trình này cho phép các dao động công suất với tốc độ tối đa 30dB/s với chiều sâu tối thiểu 10dB.

Trong trường hợp của các hệ thống WiMAX dựa vào OFDMA, sự điều khiển công suất khác nhau cho một số loại chớp tín hiệu uplink. Đối với các vùng chớp tín hiệu uplink được sử dụng cho kênh hồi tiếp nhanh (UIUC = 0), việc xác định phạm vi CDMA (UIUC = 12) và IE cấp phát CDMA (UIUC = 14), công thức cập nhật công suất truyền của MS như sau:

$$P_{\text{New}} = P_{\text{Last}} + (C/N_{\text{new}} - C/N_{\text{last}}) - 10[\log(R_{\text{new}}) - \log(R_{\text{last}})] + \text{Offset} \qquad (12.2)$$

trong đó

- $P_{New} = P_{Last}$ và "Offset" như được định nghĩa trong phương trình (12.1),
- C/N_{new} là C/N (Carrier over Noise) được chuẩn hóa của MCS mới được sử dụng trong vùng,
- C/N_{last} là C/N được chuẩn hóa của MSC được sử dụng sau cùng,
- R_{new} là số lần lặp lại của MCS mới được sử dụng trong vùng,
- R_{last} là số lần lặp lại của MCS sau cùng.

Các giá trị C/N được chuẩn hóa là những giá trị mặc định được cho bởi chuẩn (xem bảng 12.10). Tuy nhiên, BS có thể ghi đè những giá trị này bằng cách sử dụng một TLV thông báo UCD chuyên dụng.

Bảng 12.1: Các giá trị C/N được chuẩn hóa cho các thủ tục kiểm soát công suất của các thiết bị đầu cuối WiMAX dựa vào OFDMA.

MCS	C/N(db) được chuẩn hóa
Vùng ACK	-3
Vùng phản hồi nhanh	0
Mã CDMA	3
QPSK 1/3	0.5
QPSK 1/2	6
QPSK 2/3	7.5
QPSK 3/4	9
16-QAM 1/2	12
16-QAM 2/3	14.5
16-QAM 3/4	15
16-QAM 5/6	17.5
16-QAM 1/2	18
16-QAM 2/3	20
16-QAM 3/4	21
16-QAM 5/6	23

Cơ cấu kiểm soát công suất cũng có thể được thực thi trong downlink (ví dụ bằng cách giới hạn sự nhiễu được tạo ra cho những cell khác). Tuy nhiên, việc thực thi nó nếu có dành riêng cho nhà cung cấp.

12.3.2 Dynamic Frequency Selection (DFS)

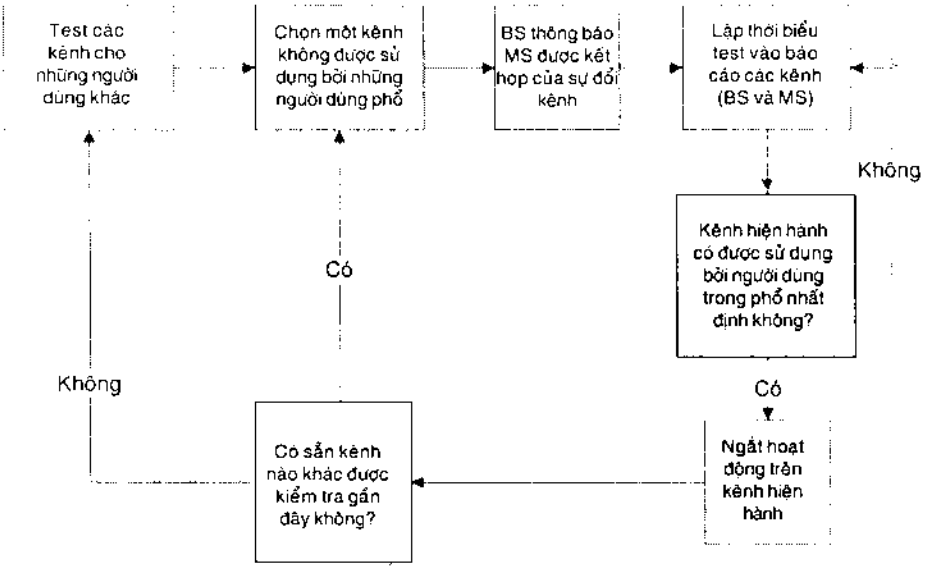
Các cơ cấu DFS có thể được yêu cầu trong trường hợp triển khai một hệ thống WiMAX trong dải tần số miễn bản quyền (ví dụ dải tần số 5.8 GHz). Trong trường hợp đó, BS và MS thực thi một tập hợp cơ cấu vốn cho phép:

- phát âm thanh môi trường vô tuyến trước khi sử dụng một kênh;
- định kỳ phát hiện "những người dùng phổ cụ thể" (một người dùng phổ cụ thể là một người dùng vốn đã được nhận dạng bởi bộ điều chỉnh (regulator) khi đòi hỏi sự bảo vệ chặt chẽ khỏi nhiễu có hại);
- gián đoạn hoạt động trên một kênh sau khi phát hiện một người dùng phổ riêng biệt;

- lập thời biểu các khoảng thời gian test âm thanh định kỳ (từ BS và MS);
- chọn/chuyển sang một kênh mới

Trong bất kỳ trường hợp, BS không thể sử dụng một kênh mà không test kênh cho những người dùng khác, kể cả những người dùng phổ riêng biệt.

Một ví dụ về dòng tiến trình được đơn giản hóa trong hoạt động DFS được minh họa trong hình 12.1. Lúc khởi tạo, BS phát âm thanh các kênh dựa vào các tham số thời gian được ấn định sẵn. Trước khi có thể sử dụng một kênh mới, BS phải phát âm thanh kênh này trong tối thiểu một "khoảng thời gian test khởi động" trên những người dùng khác. Sau khi hoàn tất việc quét các kênh, BS có thể chọn hoạt động trên một kênh vốn không được sử dụng bởi những người dùng phổ cụ thể và sau đó có thể thiết lập một nối kết với MS trong vùng hoạt động của nó. Các cơ cấu để phát âm thanh các kênh, để đo nhiễu, để phát hiện những người dùng phổ riêng biệt và để chọn một kênh hoạt động được để lại cho nhà sản xuất.



Hình 12.1: Ví dụ về một lưu đồ tiến trình được đơn giản hóa cho hệ thống WiMAX thực thi DFS

Trong quá trình hoạt động trên một kênh, BS có thể được hỗ trợ bởi MS để đo việc sử dụng một hoặc nhiều kênh bởi những người dùng khác. Việc lập thời biểu tiến trình này có thể được thực hiện trong một khoảng thời gian yên lặng trong cell hoặc trong quá trình hoạt động bình thường. Khi BS yêu cầu hỗ trợ MS, BS báo cho MS biết bằng một IE đo kênh trong DL-MAP. Sau đó, nếu kênh cần được

đo là kênh hoạt động, BS treo tất cả việc lập thời biểu truyền của MAC PDU sang bất kỳ MS trong vùng cell trong khoảng thời gian đo. Trong tiến trình test, MS lưu trữ một số tham số: số frame tương ứng với số đo đầu tiên, thời gian đo tích lũy và sự hiện hữu của một người dùng phổ cụ thể trong kênh. Những tham số được báo cáo trở về BS trong sự phản hồi báo cáo số đo. Tuy nhiên, nếu MS phát hiện một người dùng phổ cụ thể, nó sẽ gởi một thông báo REP-RSP không yêu cầu đến BS càng sớm càng tốt.

Sau khi phát hiện một phổ người dùng riêng biệt trên kênh hoạt động (bởi BS hoặc MS), BS phải gián đoạn việc truyền các MAC PDU dữ liệu và MAC PDU thông báo quản lý MAC trong các khoảng thời gian ấn định sẵn ("Max Data Operation Period" và "Management Operation Period").

Khi hoạt động cần được gián đoạn, BS bắt đầu chọn một kênh mới để hoạt động từ một kênh được test gần đây và hợp lệ được xác lập hoặc bằng cách tiếp tục một tiến trình tương tự với tiến trình được sử dụng lúc khởi tạo. Sau khi chọn một kênh mới, BS báo cho các MS đi kèm của nó biết về sự thay đổi kênh bằng cách đưa vào thông báo DCD số kênh mới và số frame nơi sự chuyển đổi xảy ra.

Trong trường hợp của DFS, regulator authority xác định các timer có liên quan trong kênh thủ tục phát âm thanh (trong suốt quá trình phát âm thanh ban đầu hoặc phát âm thanh định kỳ) cũng như các ngưỡng để ngăn sự nhiễu có hại cho những người dùng khác.

Cuối cùng, một cơ cấu đơn giản có thể được thực thi cho những mục đích khác với DFS và có thể được áp dụng cho bất kỳ những triển khai WiMAX trong các môi trường kênh chia sẻ.

12.3.3 Các thủ tục quản lý tài nguyên vô tuyến khác

Để tối ưu hóa hiệu suất của các hệ thống dựa vào IEEE 802.16, các thủ tục quản lý tài nguyên vô tuyến khác được thực thi. Kiểm soát sự thừa nhận các nối kết mới là một phần của hoạt động RRM. WiMAX Forum định nghĩa một framework để hỗ trợ và tối ưu hóa việc kiểm soát sự thừa nhận (xem mục 12.3.5). Các thuật toán quyết định kiểm soát sự thừa nhận được để lại cho các nhà sản xuất.

Các cơ cấu thích ứng liên kết cũng được thực thi. Lần nữa, cách tiến trình hoạt động và việc chọn MCS tùy thuộc các điều kiện kênh và tiêu chuẩn cục bộ khác để lại cho nhà cung cấp. Chương 11 cung cấp thêm chi tiết về các đối tượng nguyên thủy hỗ trợ cho sự thích ứng liên kết.

12.3.4 Các số đo kênh

Để BS đưa ra những quyết định cho việc quản lý tài nguyên vô tuyến (kiểm soát công suất, chọn phương pháp điều biến và mã hóa và sử dụng công nghệ anten cao cấp), chuẩn định nghĩa một tập hợp bộ chỉ báo chất lượng kênh. Có sẵn hai họ bộ chỉ báo:

- RSSI (Received Signal Strength Indicator) vốn cung cấp thông tin về mức công suất nhận được;
- CINR (Carrier-to-Interference-and-Noise Ratio) vốn cung cấp thông tin về các mức sóng mang với nhiễu được nhận.

Thiết bị vô tuyến WiMAX (MS và BS) có thể thực thi phương tiện để đo, tính toán và báo cáo những bộ chỉ báo này. Ngoài ra, để phản ánh những dao động của kênh vô tuyến đúng lúc, hai số liệu thống kê của các bộ chỉ báo được đánh giá và được báo cáo: giá trị trung bình và độ lệch chuẩn.

12.3.4.1 Received Signal Strength Indicator (RSSI)

Các RSSI được dẫn xuất từ các mẫu mức công suất đã nhận được đo. Các RSSI được báo cáo là một giá trị trung bình (trong thang tuyến tính, ví dụ tính bằng mW) của các mẫu mức công suất được đo (việc tính trung bình được thực hiện bởi một bộ lọc số mũ với một hệ số quên được cung cấp như là một tham số cấu hình bởi BS).

RSSI trung bình được tính từ

$$\mu_{RSSI}[k] = \begin{cases} R[0] & \text{Nếu } k = 0 \\ (1-\alpha_{avg})\mu_{RSSI}[k-1] + \alpha_{avg}R[k] & \text{Nếu } k > 0 \end{cases} \quad (\text{mW}) \qquad (12.3)$$

trong đó R[k] là công suất được đo trong thông báo k và α_{avg} là hệ số tính trung bình. Chỉ số mẫu k được gia tăng cho mọi frame và công suất được đo trên frame preamble. Hệ số tính trung bình được truyền bởi BS trong một TLV thông báo DCD hoặc trong một thông báo REP-REQ MAC. Nếu không, giá trị mặc định 1/4 sẽ được xem xét bởi MS.

Độ lệch chuẩn của RSSI được dẫn xuất từ số liệu thống kê bình phương mong đợi của các mức tín hiệu được đo X^2_{RSSI}, được tính bởi

$$x^2_{RSSI}[k] = \begin{cases} |R[0]^2| & \text{Nếu } k = 0 \\ (1-\alpha_{avg})x^2_{RSSI}[k-1] + \alpha_{avg}|R[k]^2| & \text{Nếu } k > 0 \end{cases} \quad (\text{mW}^2) \qquad (12.4)$$

Phương pháp để đo cường độ tín hiệu được nhận dành riêng cho nhà cung cấp. Tuy nhiên, các số đo vẫn nằm bên trong một lỗi tuyệt đối ±4 dB.

Các giá trị được báo cáo được gởi trong thông báo MAC REP-REQ sử dụng thang dBm (dB) cho RSSI trung bình (tương ứng là độ lệch chuẩn), như được xác định bởi

$$\begin{aligned} \mu_{RSSI\,dBm}[k] &= 10\log(\mu_{RSSI}[k]) && \text{(dBm)} \\ \sigma_{RSSI\,dBm}[k] &= 5\log(|x^2_{RSSI}[k]-(\mu_{RSSI}[k])^2|) && \text{(dB)} \end{aligned} \qquad (12.5)$$

Các giá trị được định lượng với một gia số 1 d B và mỗi giá trị được gởi trong một trường 1 byte trong thông báo MAC REP-REQ. Dãy của RSSI mở rộng từ -123 dBm đến -40 dBm.

12.3.4.2 Carrier-to-Interference and Noise Ratio (CINR)

Đối với các hệ thống dựa vào IEEE 802.16-2004 (sử dụng OFDM), các bộ chỉ báo CINR được báo cáo là các bộ chỉ báo CINR vật lý. Khi BS yêu cầu một báo cáo đo CINR từ MS, MS sẽ trả lời lại bằng cách đưa vào thông báo REP-RSP MAC các ước tính của giá trị trung bình và các độ lệch chuẩn của CINR. Các giá trị CINR được báo cáo trong một thang dB với các bước 1 dB, bắt đầu từ -10 dB đến 53 dB.

Các giá trị CINR được báo cáo được tính trung bình bằng cách sử dụng cùng một phương pháp tính trung bình như phương pháp tính trung bình cho RSSI. Phương pháp được đánh giá CINR dành riêng cho nhà cung cấp. Các mẫu số đo có thể được lấy từ các mẫu được phát hiện hoặc các mẫu dẫn hướng.

Đối với các hệ thống dựa vào IEEE 802.16-2005 (sử dụng OFDMA), các tùy chọn bổ sung được xác định. Một mặt, các số đo CINR khác nhau được định nghĩa: các số đo CINR vật lý và hiệu dụng. Mặt khác, các báo cáo CINR có thể được gởi qua thông báo REP-REQ MAC (giá trị trung bình và/hoặc độ lệch chuẩn của CINR) hoặc qua một kênh phản hồi nhanh (chỉ CINR trung bình).

Một số báo cáo CINR vật lý có thể được yêu cầu từ MS:

- Các số đo CINR vật lý trên preamble. Trong trường hợp của 3 mạng tái sử dụng tần số, CINR được đo trên các sóng mang được điều biến của preamble, hoặc trong trường hợp của 1 mạng tái sử dụng tần số, CINR được đo trên tất cả sóng mang thứ cấp (được điều biến hay không, ngoại trừ các dải tần số bảo vệ và kênh DC).
- Số đo CINR vật lý từ một vùng chuyển vị. Trong trường hợp này, các mẫu CINR được đo từ các mẫu dẫn hướng trong vùng chuyển vị.

Ngoài ra, BS cũng có thể yêu cầu các số đo "CINR hiệu dụng" từ một vùng chuyển vị trên các sóng mang thứ cấp điều khiển. CINR hiệu dụng là một chức năng của CINR vật lý, xem xét các điều kiện kênh và các giới hạn thực thi (sự thực thi phụ thuộc vào nhà sản xuất).

Với tùy chọn này, MS có thêm khả năng xác định MCS vốn thích hợp nhất cho mức độ sửa lỗi mục tiêu đã xác định cho BS.

12.3.5 Hỗ trợ sự quản lý tài nguyên vô tuyến trong WiMAX RAN

12.3.5.1 Phân chia chức năng RRM trong WiMAX RAN

WiMAX Forum cũng định nghĩa một framework để tối ưu hóa hoạt động của RRM trong một mạng truy cập vô tuyến WiMAX (còn được gọi là một Access Service Network (ASN), xem chương 13), và cũng hỗ trợ khả năng liên vận hành của các thủ tục RRM giữa các nhà cung cấp trong thời hạn dài.

Như được xác định bởi WiMAX Forum, chức năng RRM trong mạng có thể cung cấp các tiện ích báo cáo và hỗ trợ quyết định cho một số chức năng mạng, chẳng hạn như:

- kiểm soát sự thừa nhận, ví dụ bảo đảm rằng có sẵn đủ tài nguyên vô tuyến tại phía BS để phục vụ thích hợp một MS hoặc nối kết hoặc service flow mới (theo yêu cầu dịch vụ hoặc sau một handover);
- chuẩn bị và kiểm soát handover (sự chuyển giao), ví dụ tối ưu hóa việc chọn BS đích theo các bộ chỉ báo vô tuyến và tải BS.

RRM cũng có thể tùy chọn tham gia việc quản lý tài nguyên mạng vận chuyển.

Framework này dựa vào một sự phân chia chức năng của các chức năng RRM thành hai phần (Radio Resource Agent (RRA) và Radio Resource Controller (RRC) vốn giao tiếp qua các đối tượng nguyên thủy (primitives) được chuẩn hóa.

Đối tượng nguyên thủy được trao đổi để báo cáo thông tin (từ RRA đến RRC hoặc giữa các RRC) hoặc thông tin hỗ trợ quyết định giao tiếp (từ RRC đến RRA). Thông tin này bao gồm các báo cáo số đo mỗi MS và dung lượng dự phòng mỗi BS.

12.3.5.2 Các cải tiến tương lai của chức năng mạng RRM

Kể từ hôm nay, BS thực hiện các thủ tục kiểm soát công suất và quản lý nhiễu một cách độc lập. Tuy nhiên, framework RRM được định nghĩa bởi WiMAX Forum để cửa mở để cải tiến thêm những thủ tục RRM. Những cải tiến có có thể được thực thi bằng cách trao đổi thêm thông tin (ví dụ trên các cấu hình kênh) giữa các thực thể RRM

để tối ưu hóa tổng thể tài nguyên vô tuyến và không chỉ một BS trên mỗi sự tối ưu hóa BS.

12.4 Các công nghệ Anten cao cấp trong WiMAX

Để cải thiện công suất vô tuyến, các công nghệ anten rất thường được sử dụng trong các hệ thống di động (cellular system). Một giải pháp rất phổ biến trong một hệ thống truyền không dây là sử dụng sự phân tập của bộ thu tại phía BS. Các tín hiệu được truyền bởi thiết bị đầu cuối được thu tại BS bởi nhiều anten (thường là hai hoặc bốn) và các tín hiệu từ các đường dẫn được thu khác nhau được kết hợp. Một kỹ thuật rất phổ biến để kết hợp các tín hiệu khác nhau này là kỹ thuật Maximum Ratio Combining (MRC) vốn kết hợp (hoặc gia trọng) cùng một ký hiệu được thu từ mỗi nhánh theo chất lượng thu của chúng. Kết quả là việc tăng độ nhạy của bộ thu tại BS và kết quả mở rộng phạm vi hoạt động và/hoặc khả năng sử dụng một chế độ truyền vô tuyến kém mạnh hơn trong một tốc độ truyền cao hơn. Độ lớn cải tiến là độ lớn phân tập ví dụ trong một hệ thống có hai anten, độ khuếch đại thường khoảng 3 dB.

Phương pháp phân tập thu rất hiệu quả nếu các tín hiệu đến từ các anten khác nhau không được tương quan. Sự tương quan của anten phụ thuộc chủ yếu vào khoảng cách giữa các anten (một sự tách biệt từ 10 đến 20 thường được yêu cầu trong một môi trường macrocellular): đây được gọi là sự phân tập không gian. Một lựa chọn thay thế cho các cấu hình anten như vậy là sử dụng các anten được phân cực chéo; điều này giới hạn sự tác động nhìn thấy được đối với môi trường.

Việc thực thi và hỗ trợ sự phân tập thu đơn giản trong một BS dành riêng cho nhà cung cấp và không đòi hỏi bất kỳ cơ cấu chuẩn. Hiện tại, cũng có nhiều kỹ thuật anten cao cấp hơn: công nghệ anten thông minh với beamforming (tạo chùm tia) và các anten MIMO. Mỗi công nghệ có những ưu điểm riêng của nó và những ràng buộc triển khai hệ thống được phát triển thêm trong các mục nhỏ tiếp theo.

Cả hai công nghệ cũng đòi hỏi hỗ trợ chuẩn để đạt được đầy đủ lợi ích hoạt động của chúng. Các chuẩn IEEE 802.16, đặc biệt điểm sửa đổi IEEE 802.16 cung cấp tất cả điểm móc nối cho sự hỗ trợ cả hai công nghệ anten.

12.4.1 Các công nghệ Beamforming hoặc AAS

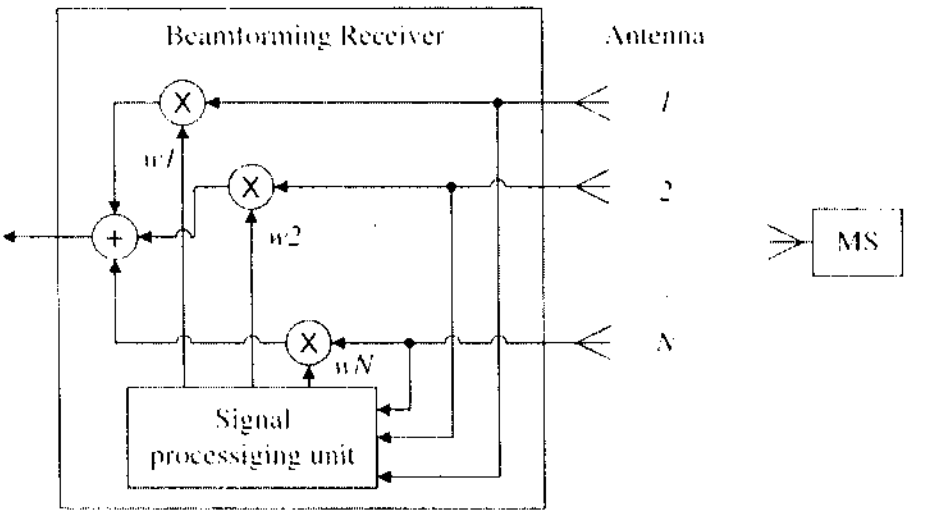
Các công nghệ beamforming (tạo chùm tia) có thể được gặp phải đằng sau một số từ: anten thông minh, beamforming và Adaptive Antenna System (AAS). Trong phần sau đây, beamforming sẽ được sử dụng.

12.4.1.1 Các điểm cơ bản về Beamforming

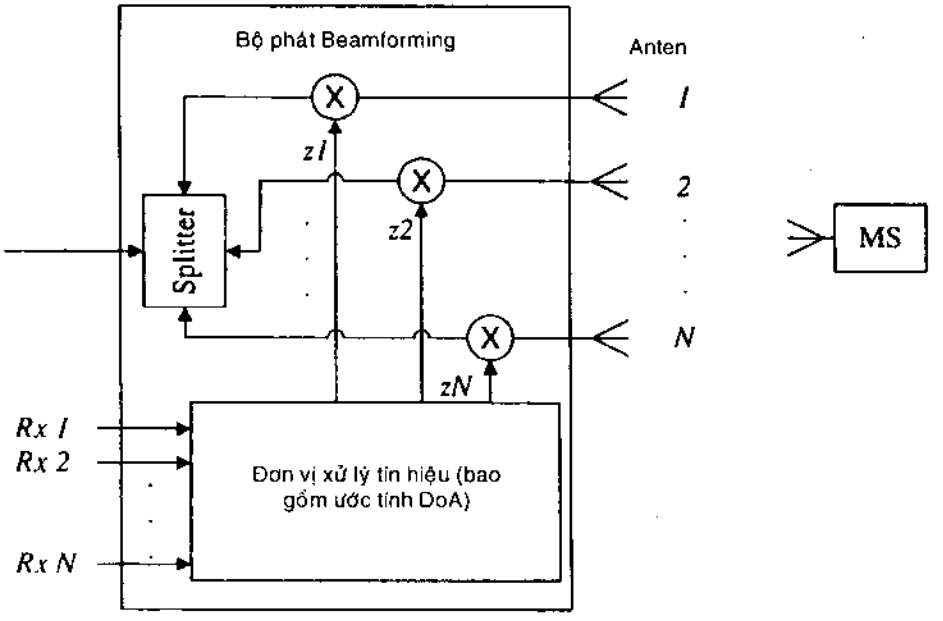
Mục tiêu chính của công nghệ beamforming là tận dụng từ bản chất không gian/thời gian của kênh truyền phát. Thật vậy, do nhiều sự phản chiếu, sự khúc xạ và sự phân tán trên đường dẫn bộ phát đến bộ thu trong một môi trường di động, năng lượng tiến đến BS đến từ nhiều hướng, mỗi hướng bị ảnh hưởng bởi một sự suy giảm và pha khác nhau.

Trong một môi trường macrocellular (nghĩa là anten của BS nằm trên mái nhà) các tín hiệu tiến đến BS nằm bên trong một hình nón. Độ mở rộng góc của tín hiệu phụ thuộc vào môi trường. Trong một môi trường đô thị, độ mở rộng góc là 20 độ. Trong một môi trường mở hơn như một môi trường nông thôn, độ mở rộng góc là một vài độ.

Trong uplink, nguyên lý công nghệ beamforming là kết hợp rõ ràng những tín hiệu được thu cho N phần tử anten cua một mảng anten. Một sơ đồ beamforming chung chung được minh họa trong hình 12.2. Một sơ đồ khối của một bộ thu beamforming (tương ứng là bộ phát) với một mảng anten N phần tử được minh họa trong hình 12.2 (tương ứng hình 12.3). Trong trường hợp của một sơ đồ khối của một bộ thu beamforming với một mảng anten N phần tử, một đơn vị xử lý tín hiệu phân tích cùng một tín hiệu được thu từ N phần tử anten và tính toán các trọng số (Wi) vốn được áp dụng trên mỗi đường dẫn để kết hợp.



Hình 12.2: Ví dụ về một sơ đồ khối của bộ thu beamforming với một mảng anten N phần tử



Hình 12.3: Ví dụ về một sơ đồ khối của bộ phát beamforming với một mảng anten N phần tử

Trên downlink, việc xử lý rất tương tự như uplink. Dựa vào thông tin được đo trên tín hiệu được thu trong uplink, có thể ước tính Direction of Arrival (DoA) từ tín hiệu uplink và áp dụng các trọng số khác nhau, Z_i (biên độ và pha) vào các đường dẫn truyền khác nhau của cùng một tín hiệu sao cho đồ thị bức xạ anten vừa có được tập trung đến hướng của người dùng.

Vì các trọng số trong downlink phụ thuộc vào các tín hiệu uplink, điều này giả định tính thuận nghịch kênh nhất định giữa các tín hiệu uplink và downlink vì BS không biết sự phản hồi kênh không gian downlink. Thật sự, tính thuận nghịch có thể được giả định thực tiễn hơn trong trường hợp của hệ thống TDD vì các tín hiệu uplink và downlink sử dụng cùng một tần số tại các khaỏng thời gian khác nhau. Trên hệ thống FDD, tín thuận nghịch khó đánh giá hơn.

Thật ra, công nghệ beamforming bao gồm một số kỹ thuật. Các thực thi đầu tiên của beamforming đã được dựa vào các cơ cấu chuyển anten đơn giản: trong phương pháp đó, các phần tử của mảng anten nơi đơn giản được mở hoặc tắt theo các tín hiệu được thu. Điều này có ưu điểm là sự đơn giản nhưng khả năng beamforming bị giới hạn. Ngày nay, beamforming sử dụng một mảng thích ứng: biên độ và pha của mỗi phần tử anten có thể được xác lập độc lập. Điều này có ưu điểm là có khả năng đạt được tính vô hạn của các chùm tia.

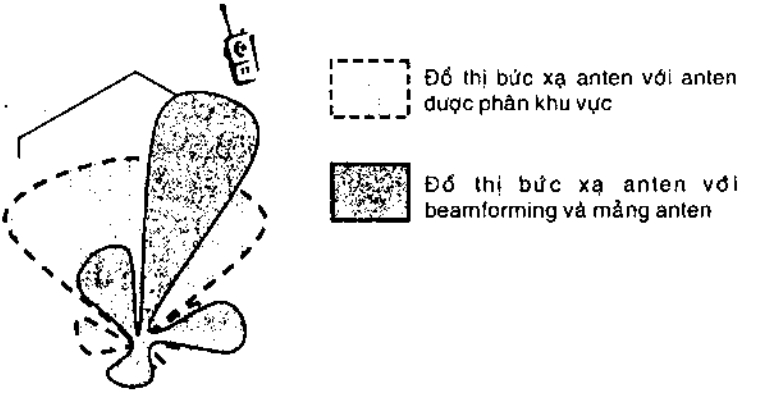
Với beamforming thích ứng, một số chiến lược tối ưu hóa có thể được sử dụng. Đơn vị xử lý tín hiệu phải tăng tối đa CINR được thu. Điều này có thể đạt được bằng cách có một đồ thị bức xạ anten vừa có được sao cho mảng anten tạo một giá trị rỗng theo hướng đến của một interferer mạnh. Tuy nhiên, số interferer vốn có thể được hủy bị giới hạn bởi số phần tử hình thành mảng: với N phần tử anten, có thể có tối đa N-1 interferer rỗng. Ngoài ra, kỹ thuật này đòi hỏi hiểu biết tốt môi trường vô tuyến (ám chỉ thêm các hao phí). Điều này giải thích tại sao trong nhiều hệ thống được thực thi phương pháp này được sử dụng trong uplink, nơi BS có thể hiểu biết tối đa về môi trường vô tuyến.

Sau cùng, một sự thực thi beamforming nâng cao có thể kích hoạt SDMA (Spatial Division Multiple Access). Miễn là hai hoặc nhiều người dùng được tách biệt đầy đủ trong không gian, có thể gởi chúng cùng một lúc trên cùng tài nguyên vật lý, thông tin khác nhau trên các chùm tia khác nhau. Tuy nhiên, việc sử dụng SDMA rất khó trong một môi trường di động nơi các MS vốn được tách biệt tốt vào bất kỳ thời điểm nào có thể o trong cùng một hướng vào thời điểm kế tiếp.

12.4.1.2 Những lợi ích của Beamforming

Những lợi ích của beamforming gồm nhiều phần: tăng phạm vi hoạt động và tiết kiệm công suất tại phía MS, giảm nhiễu và tăng dung lượng.

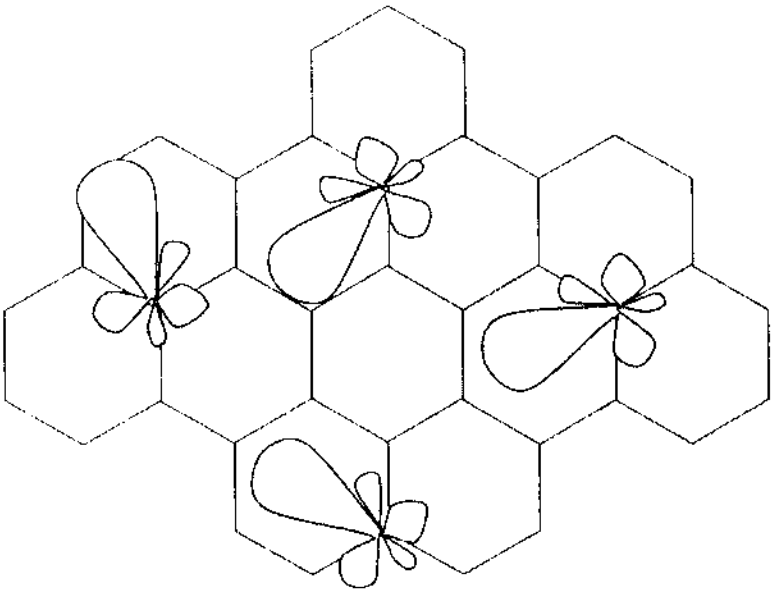
Thứ nhất, beamforming cải thiện ngân sách liên kết cho việc truyền dữ liệu cho cả downlink lẫn uplink. Thực vậy, bằng cách tập trung năng lượng trong một hướng, độ khuếch đại anten vừa có được trong một hướng được tăng đáng kể (xem hình 12.4). Độ khuếch đại bổ sung này có lợi cho việc cải thiện tầm hoạt động của BS (ít vị trí hơn cần cho một sự triển khai) và/ hoặc để giảm cs mà MS cần để truyền các tín hiệu (tiết kiệm công suất).



Hình 12.4: Mở rộng phạm vi hoạt động với beamforming

Các độ khuếch đại lý thuyết so với một anten thông thường, đối với một mảng anten N phần tử có 10xlog(N) cho uplink và 20xlog(N) cho downlink. Ví dụ, với một mảng anten bốn phần tử các độ khuếch đại lần lượt là 6 dB (12 dB) cho uplink (tương ứng cho downlink). Độ khuếch đại trong downlink cao hơn vì ngoài độ khuếch đại beamforming, công từ mỗi bộ phát tăng rõ ràng. Giá trị của những độ khuếch đại này đã được hiệu lực hóa trong nhiều cuộc thử nghiệm và được chứng minh phù hợp với lý thuyết. Các độ khuếch đại bổ sung được đo trong uplink do độ khuếch đại phân tập không gian bổ sung.

Thứ hai, bởi vì năng lượng được hội tụ theo hướng của người dùng, có một sự giảm nhiễu tổng quát trong một hệ thống di động sử dụng beamforming. Thật vậy, khi beamforming được triển khai trên BS của một vùng địa lý nào đó, các chùm tia được định hướng như là một chức năng của việc phân chia lại những người dùng được phục vụ trong một cell; vào một thời điểm, trên một nguồn vô tuyến đã ấn định, một người dùng được phục vụ. Kết quả, sự nhiễu được tạo ra bởi sự truyền thông của người dùng này chỉ ở một góc giới hạn so với việc triển khai anten được phân khu vực (xem hình 12.5).



Hình 12.5: Giảm nhiễu với beamforming

Độ mở rộng góc của búp chính thì xấp xỉ là tổng góc của sector (khu vực) được chia cho số phần tử anten N. Ví dụ, với một mảng anten bốn phần tử và một anten 90 độ, chiều rộng búp chính (tại -3 dB) là khoảng 220 độ. Do đó, vì những người dùng được phân bố ngẫu

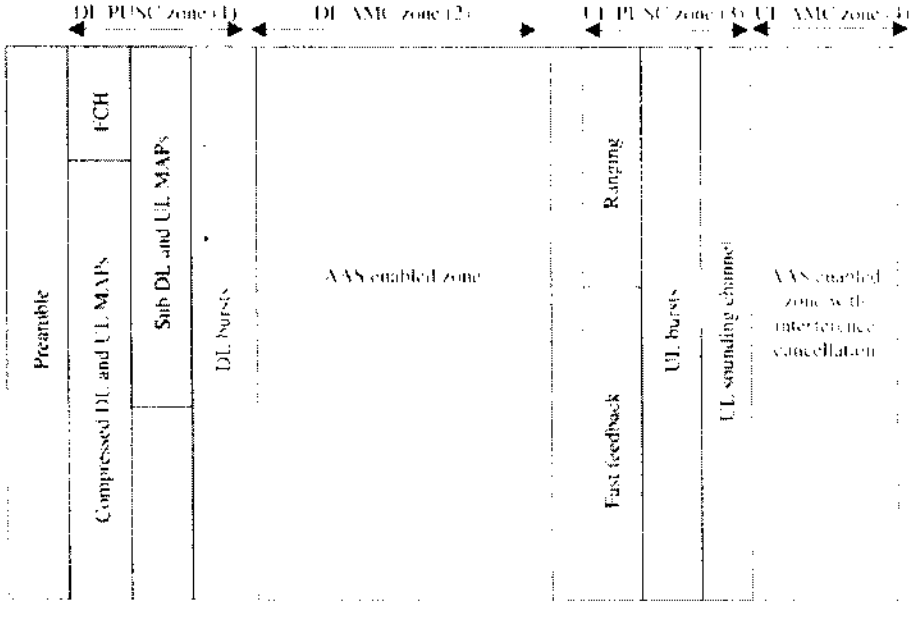
nhiện, các hướng chùm tia thay đổi theo các vị trí người dùng, điều này tạo ra thêm độ khuếch đại phân tập nhiễu. Việc giảm nhiễu được cải thiện thêm bằng việc sử dụng các thuật toán triệt tiêu nhiễu rõ ràng.

Hai kết quả trực tiếp của việc giảm nhiễu là một chất lượng tín hiệu tốt hơn và tính có sẵn qua vùng cell và một dung lượng tốt hơn trong cell cho các hệ thống sử dụng sự thích ứng liên kết. Thật vậy, vì các giá trị CINR tốt hơn, khả năng sử dụng một phương pháp điều biến và mã hóa tốt hơn thì cao hơn.

12.4.1.3 Hỗ trợ Beamforming trong các chuẩn IEEE 802.16

Beamforming được định nghĩa trong IEEE 802.16-2004 và 802.16e. Tính năng này không nằm trong tập hợp các of WiMAX cố định. Đối với các profile WiMAX di động. Tính năng này bắt buộc được hỗ trợ bởi MS và tùy chọn cho BS. Đối với WiMAX di động, một số cơ cấu nhằm cải thiện hiệu suất và hoạt động của beamforming được dự trữ.

Trong downlink, để có thể beamform (tạo chùm tia) một số người dùng tại cùng các kênh con và trên các kênh con khác nhau, một vùng được dành riêng (được biểu thị trong DL-MAP). Vùng này được ghi nhãn là (2) trong hình 12.6 chứa những sự chuyển vị với các kênh điều khiển chuyên dụng. Điều này có nghĩa rằng một MS nhận một chớp tín hiệu trong vùng này chỉ lấy làm các kênh điều khiển hợp lệ các kênh điều khiển được kết hợp với kênh con mà nó đã được cấp phát.



Hình 12.6: Ví dụ về một frame có các vùng hỗ trợ hoạt động AAS

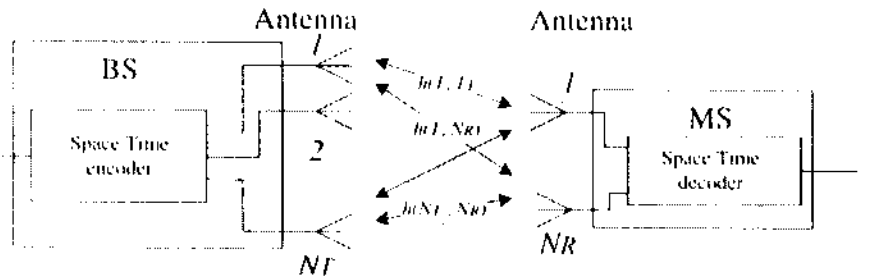
Trong uplink, như được đề cập trước đó, các cơ cấu beamforming có thể được áp dụng trên bất kỳ MS. Tuy nhiên, để cải thiện hiệu suất và để giúp BS trong việc phát hiện/đo sự nhiễu mà những người dùng nó muốn phục vụ gặp phải, một vùng truyền tín hiệu riêng biệt có thể được cấp phát: vùng phát âm thanh uplink (được biểu thị bởi UIUC=13). Thật vậy, BS có thể đề nghị một MS nào đó phát một tín hiệu trong vùng này để BS có thể đánh giá sự nhiễu trên một số sóng mang thứ cấp cho những MS đó.

Sau cùng, để giới hạn hao phí truyền tín hiệu, giải pháp WiMAX tận dụng beamforming có thể sử dụng các map nén và map con để phát những thông báo truyền tín hiệu chung (DL-MAP/UL-MAP). Thật vậy, điều này cho phép áp dụng các phương pháp điều biến, mã hóa và lặp lại khác nhau vào một số vùng trong thông báo DL-MAP/UL-MAP. Giải pháp này cũng có thể được tận dụng trong trường hợp của MIMO hoặc sự hỗ trợ của HARQ.

12.4.2 Giải pháp MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)

12.4.2.1 Các điểm cơ bản về MIMO

Các hệ thống MIMO sử dụng nhiều anten vào và nhiều anten ra hoạt động trên một kênh (tần số) đơn. Tại phía bộ phát, tín hiệu được mã hóa không gian-thời gian và được phát từ N_T anten. Tại phía thu, các tín hiệu được thu từ N_R anten (xem hình 12.7). Bộ giải mã không gian-thời gian kết hợp tín hiệu được thu bởi N_R anten và được phát từ N_T anten sau khi đã ước tính ma trận kênh (N_T x N_R).



Hình 12.7: Sơ đồ khối MIMO generic cho downlink

Mục đích của giải pháp MIMO là khai thác sự phân tập không gian và thời gian của các kênh trên các đường dẫn vô tuyến khác nhau giữa mỗi tổ hợp anten phát/thu để cải thiện độ nhạy thu và/hoặc để cải thiện dung lượng kênh. Có một số họ giải pháp MIMO. Hai giải pháp tột cùng là các phương pháp MIMO phân tập không gian và các phương pháp MIMO đa công không gian.

MIMO phân tập không gian nói đến những giải pháp nơi cùng một thông tin được phát (sau khi mã hóa không gian-thời gian) trong không gian và thời gian. Độ khuếch đại phân tập lý thuyết của một giải pháp như vậy là một chức năng sản phẩm của các anten phát/thu và bằng N_T x N_R. Ví dụ, một hệ thống MIMO thực thi bốn anten tại phía BS và hai anten tại phía MS có một độ khuếch đại phân tập là 9 dB. Một ví dụ về một phương pháp như vậy là mã Alamouti không gian-thời gian (STC). Mã không gian - thời gian của giải pháp 2x1 này được cho bởi ma trận sau đây:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} S_1 & -S_2^* \\ S_2 & S_1^* \end{bmatrix} \qquad (12.6)$$

Trong ma trận A, S_1 và S_2 là những ký hiệu cần được phát trên không khí. Tại ký hiệu k, ký hiệu S_1 được phát từ anten 1 và S_2 được phát từ anten 2. Tại ký hiệu k + 1, ký hiệu S_2* được phát từ anten 1 và ký hiệu S_1* được phát từ anten 2. S_1* là liên hợp phức của ký hiệu S_1).

Spatial Multiplexing (SM) MIMO nói đến các giải pháp nơi trong một khoảng cách ký hiệu, thông tin khác nhau được gởi song song trên các anten khác nhau. Với phương pháp này, về lý thuyết dung lượng tăng tuyến tính dưới dạng một hàm của N, N là mức tối thiểu giữa N_T và N_R. Một ví dụ về mã không gian-thời gian của một giải pháp như vậy được cho bởi công thức sau đây cho một phương pháp SM 2 x 2:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{bmatrix} \qquad (12.7)$$

Với mã SM, dung lượng của kênh và tốc độ phát chớp tín hiệu được tăng. Tuy nhiên, điều này chỉ xảy ra trong điều kiện CINR rất tốt và một kênh không được tương quan cao.

Ngoài ra, có một số phương pháp MIMO vốn là sự hỗn hợp giữa SM và các phương pháp phân tập không gian. Thứ tự phân tập và việc tăng dung lượng phụ thuộc vào mã không gian-thời gian và số anten.

Gần đây hơn, các phương pháp MIMO sử dụng sự mã hóa trước đã được định nghĩa. Trong những trường hợp này, mã không gian-thời gian phụ thuộc vào sự phản hồi từ bộ thu trên các trạng thái kênh. Thật vậy, giải pháp này đòi hỏi một hoạt động vòng kín và sự truyền tín hiệu bổ sung giữa bộ thu và bộ phát.

Cuối cùng, MIMO cũng có thể được tạo từ các tín hiệu phát từ các BS khác nhau (MIMO ảo). Điều này đòi hỏi sự đồng bộ hóa thời gian của BS nhưng cũng sự đồng bộ hóa của scheduler của BS có liên quan trong việc truyền phát.

12.4.2.3 Các lợi ích của MIMO

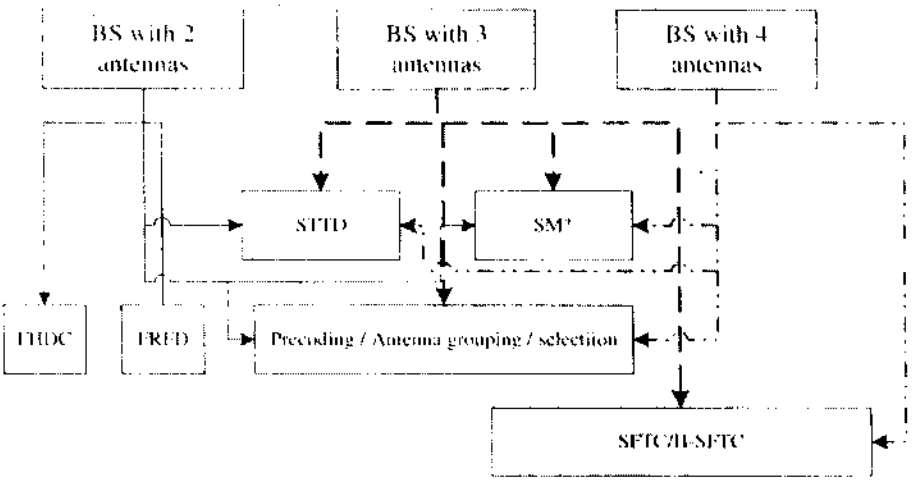
Phụ thuộc vào phương pháp, những lợi ích của MIMO có thể là cải thiện độ nhạy của bộ thu và/hoặc khuếch đại dung lượng và các tốc độ đỉnh. Tuy nhiên, như đã nêu trước đó, để đạt được hiệu suất tốt nhất từ MIMO, các kênh thu/phát khác nhau nên không được tương quan cao. Điều này được thực hiện trong môi trường có sự phân tán rất cao và các tín hiệu đến từ một độ mở rộng góc rất lớn (ví dụ trong một môi trường microcellular).

Đặc biệt, các phương pháp SM rất nhạy với sự tương quan vì trong trường hợp của một kênh tương quan, phương pháp SM tạo ra thêm nhiễu.

12.4.2.3 Hỗ trợ MIMO trong các chuẩn IEEE 802.16

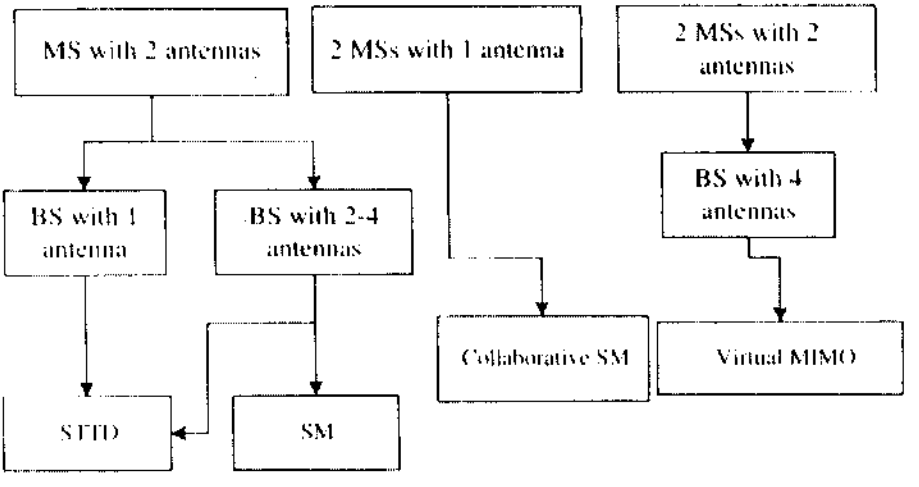
Chuẩn IEEE 802.16-2004 cung cấp một vài hỗ trợ cho MIMO. Chỉ phương pháp Alamouti như được định nghĩa bởi phương trình (12.6) được định nghĩa và không bắt buộc trong profile cho các hệ thống WiMAX cố định/chuyển vùng. Trái lại, IEEE 802.16e hỗ trợ mở rộng cho MIMO.

Ngoài những phương pháp được định nghĩa trong chuẩn, WiMAX Forum đã chọn hai phương pháp MIMO cho downlink với hai anten tại phía BS và hai anten tại phía MS. Các phương pháp là các phương pháp được định nghĩa trong các phương trình (12.6) và (12.7). Hỗ trợ MIMO downlink trong IEEE 802.16e được minh họa trong hình 12.8. Trong downlink, giải pháp WiMAX di động có thể có lợi từ độ khuếch đại phân tập bổ sung hoặc dung lượng và tốc độ đỉnh được tăng gấp đôi.



Hình 12.8: Hỗ trợ MIMO downlink trong IEEE 802.16e. STTD=Space Time Transmit Diversity, SM=Spatial Multiplexing chế độ *SM đòi hỏi tối thiểu hai anten tại phía MS), FHCD = Frequency Hopped Diversity Coding, FRFD = Full Rate Full Diversity, SFTC = Space Frequency Time Code và H-SFTC = Hybrid SFTC.

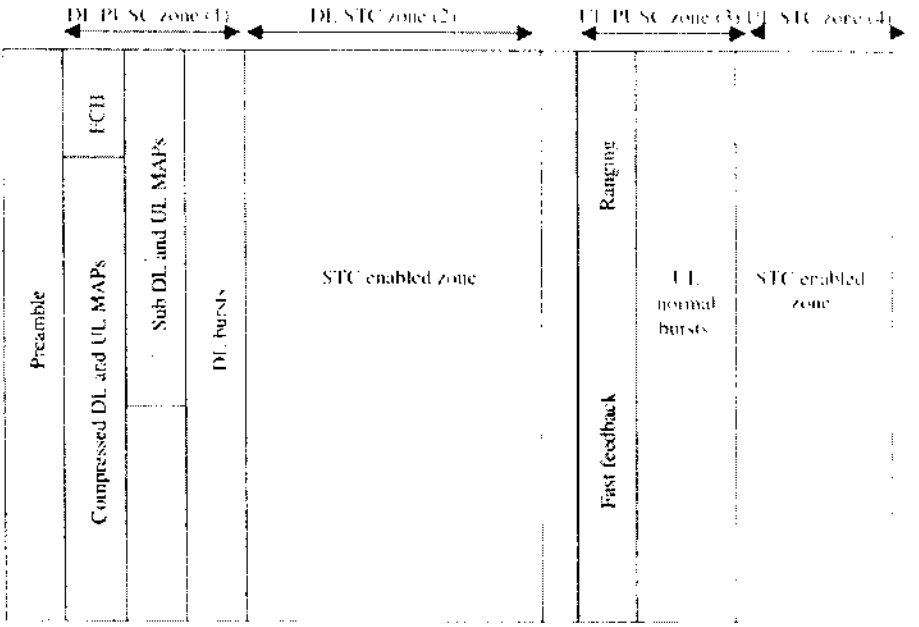
Trong uplink, trong số tất cả tùy chọn được đưa vào chuẩn (xem hình 12.9), chỉ một phương pháp được chọn cho WiMAX di động: SM cộng tác. Với SM cộng tác, hai MS được trang bị một bộ phát, gởi thông tin dữ liệu khác nhau cùng một lúc trên các kênh tương tự nhau. Trong một chế độ như vậy, người dùng có thể được phân biệt bằng sự trợ giúp của các ký hiệu điều khiển vốn sử dụng các tone khác nhau cho mỗi người dùng (mỗi MS phát một nửa trong tổng các ký hiệu điều khiển có sẵn).



Hình 12.9: Hỗ trợ MIMO uplink trong IEEE 802.16e-2005

Trong uplink, MIMO có thể cải thiện dung lượng của hệ thống WiMAX di động bằng cách cung cấp đủ chất lượng tín hiệu. Dĩ nhiên, vì việc sử dụng SM nhạy với điều kiện vô tuyến. Một giải pháp MIMO có thể bao gồm giải pháp chuyển sang chế độ MIMO tốt nhất phụ thuộc vào chất lượng tín hiệu.

Thật vậy, hoạt động MIMO ngầm định rằng các tín hiệu được phát trên không khí có một dạng riêng biệt. Để trộn các người dùng vận hành với MIMO với những người dùng khác trong một frame, các vùng MIMO được định nghĩa (được xác định trong thông báo DL-MAP). Ví dụ, hình 12.10 là một ví dụ về một MIMO trộn frame và các vùng không phải MIMO. Trong hình này, vùng (1) chứa các kênh truyền tín hiệu chung và một số chớp tín hiệu downlink (sử dụng một sự chuyển vị PUSC). Vùng (2) là vùng MIMO cho downlink. Vùng (3) là vùng trong uplink cho những người dùng vốn không thể sử dụng MIMO cộng tác (ví dụ bởi vì mức tín hiệu với nhiễu ước tính của họ quá yếu). Vùng (3) cũng chứa các thông báo truyền tín hiệu uplink chung cho ranging (xác định phạm vi), phản hồi nhanh... Sau cùng, vùng (4) là vùng MIMO uplink.



Hình 12.10: Ví dụ về một frame với các vùng hỗ trợ hoạt động MIMO

12.5 Multicast Broadcast Services (MBS)

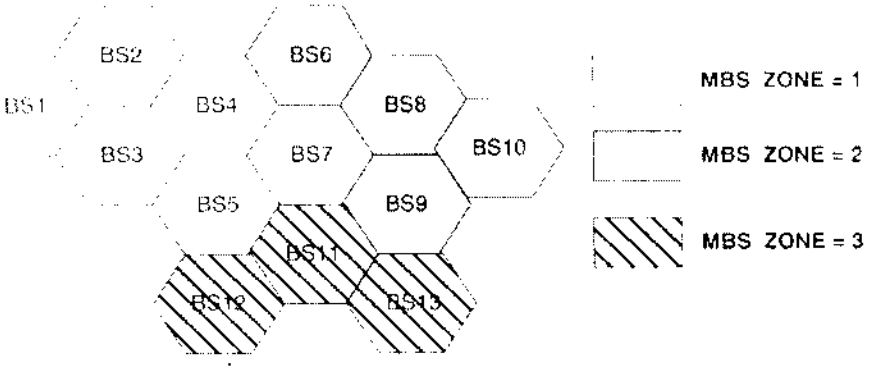
Multicast Broadcast Services (MBS) có thể được yêu cầu khi nhiều MS kết nối với một BS thu cùng một thông tin hoặc nhiều BS phát cùng một thông tin. Thật vậy, điều này cho phép tiết kiệm tài nguyên bằng cách cấp phát một ống dẫn vô tuyến cho tất cả những người

dùng đã đăng ký cùng một dịch vụ thay vì cấp phát nhiều ống dẫn tùy thuộc số người dùng. Điều này đặc biệt có lợi cho loại ứng dụng TV truyền thanh nơi đồng thời một số người dùng trong cùng một vùng hoạt động được kết nối với cùng một dịch vụ (trong trường hợp này là một kênh TV).

12.5.1 Multi-BS Access MBS

Hệ thống WiMAX di động hỗ trợ MBS như là một tính năng tùy chọn cho BS. Khi tính năng MBS được hỗ trợ, chế độ Multi-BS Access được thực thi như được định nghĩa trong chuẩn IEEE 802.16e.

Trong một hệ thống Multi-BS MBS, một số BS trong cùng một khu vực địa lý phát cùng các thông báo broadcast/multicast đồng thời trên cùng một kênh tần số. Những BS này thường thuộc về MBS_ZONE. MBS_ZONE là một định danh duy nhất được phát từ mỗi BS của tập hợp trên thông báo DCD. Một ví dụ về sự cấp phát MBS_ZONE được trình bày trong hình 12.11. Phải lưu ý rằng một BS có thể thuộc về các MBS_ZONE khác nhau.



Hình 12.11: Ví dụ về sự triển khai vùng MBS và sự cấp phát MBS_ZONE. Tất cả MS được đăng ký một MBS_ZONE có thể thu các tín hiệu MBS từ bất kỳ BS của MBS_ZONE

Một hoạt động Multi-BS MBS đòi hỏi từ các BS thuộc về cùng một MBS_ZONE:

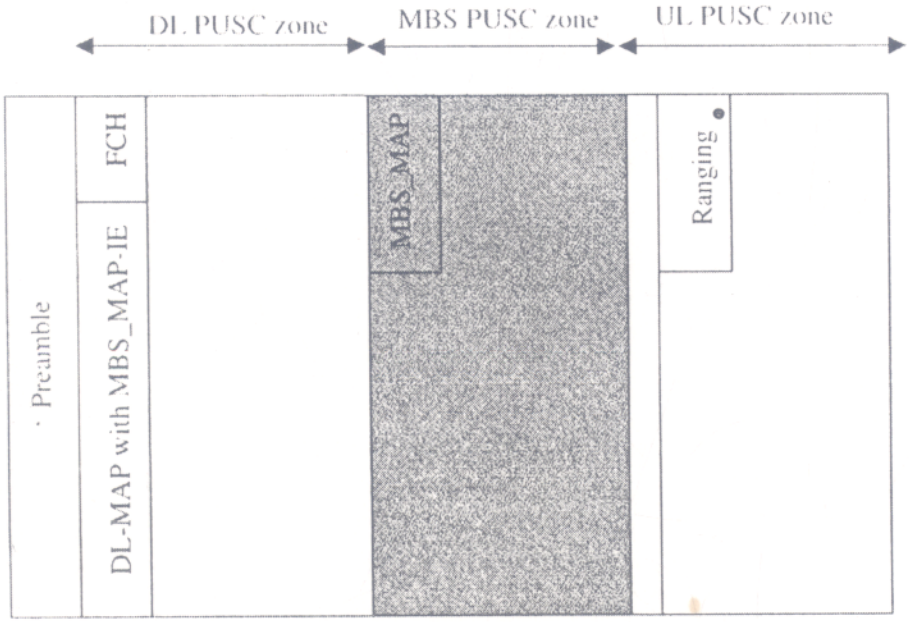
- đồng bộ hóa thời gian (số frame và mức ký hiệu);
- sử dụng cùng một CID cho các thông báo broadcast/multicast;
- sử dụng cùng một Security Association (SA) để mã hóa các thông báo broadcast/multicast.

Sử dụng một giải pháp Multi-BS MBS mang lại hai lợi ích chính. Thứ nhất, các MS vốn đăng ký thành công một dịch vụ MBS có thể thu thông tin MBS từ bất kỳ BS của MBS_ZONE mà không cần đăng ký một BS cụ thể của vùng đó (thậm chí MS trước đó trong chế độ

Idle). Thứ hai, MS thu các tín hiệu MBS từ nhiều BS cùng một lúc. Điều này cung cấp một độ khuếch đại phân tập vĩ mô và sự nâng cao hiệu suất cho các tín hiệu MBS. Điều này tương tự như khái niệm Single Frequency Network (SFN) trong các hệ thống DVB-H.

12.5.2 Frame MBS

Khi MBS được kích hoạt trên một BS, nó có thể sử dụng một tần số chuyên dụng hoặc nó có thể sử dụng chỉ một vùng chuyên dụng trong frame, như được minh họa trong hình 12.12. Các phần mô tả của các vùng MBS hiện có trong một frame được xác định bằng cách sử dụng DL-MAP trong trường DIUC 2 mở rộng (DIUC = 14) bởi MBS_MAP_IE, bao gồm (trong số những thứ khác) định danh MBS_ZONE, khoảng dịch chuyển ký hiệu (symbol offset) mà vùng MBS bắt đầu, sự chuyển vị cần được sử dụng (PUSC hoặc sự chuyển vị khác) và kích cỡ của vùng MBS (trong các ký hiệu và kênh con).



Hình 12.12: Ví dụ về frame 802.16 với vùng dịch vụ MBS. Sự hiện diện của vùng MBS được biểu thị trong thông báo DL-MAP (trong một trường MBS_MAP_IE). Các chi tiết chính xác của vùng MBS sau đó được mô tả trong thông báo MBS_MAP ở đầu vùng MBS

Mỗi vùng MBS bắt đầu với MBS_MAP vốn mô tả các nối kết MBS có sẵn trong vùng MBS. Đặc biệt, trong số những thứ khác, nó chứa các CID được sử dụng bởi các nối kết multicast/broadcast, các cấu hình kênh (sự điều biến, mã hóa và cuối cùng là sự mã hóa lặp lại) và

channel ID logic. Các channel ID logic được sử dụng để phân biệt các nối kết MBS khác nhau bên trong một vùng MBS vốn thuộc về cùng một MBS CID (ví dụ, điều này có thể được sử dụng để phân biệt giữa các kênh TV khác nhau với các quyền đăng ký khác nhau).

Các MBS PDU trong vùng MBS tuân theo tổ hợp multicast CID và channel CID logic, như được mô tả bởi sự kết hợp dịch vụ giữa MS và BS. Dĩ nhiên, từ thời gian khi MS đi vào chế độ Idle hoặc khi MS di chuyển qua các vùng BS khác nhau của cùng một MBS_ZONE, không cần MS đăng ký BS để nhận nội dung MBS. Sự ánh xạ giữa multicast CID và channel CID logic phải giống nhau trong các cell thuộc về cùng MBS_ZONE. Thủ tục để cung cấp tính nhất quán của các định danh được sử dụng bởi các kênh MBS nằm ngoài phạm vi của chuẩn IEEE 802.16.

Chương 13

Cấu trúc WiMAX

13.1 Nhu cầu về một cấu trúc WiMAX chuẩn hóa

13.1.1 Các nhóm công tác và tài liệu hỗ trợ

Chuẩn IEEE 802.16 chỉ định nghĩa các lớp PHY và MAC. Kết quả để bảo đảm khả năng liên vận hành giữa các mạng và các nhà cung cấp khác nhau, đối với các hoạt động chẳng hạn như roaming, điều quan trọng là phải định nghĩa các chuẩn trên phạm vi giao diện và thiết bị rộng nhất như trong các chuẩn di động 3GPP và 3GPP2. Sau đó, ngoài việc liệt kê những tính năng truy cập vô tuyến cho sự nối mạng nhiều nhà cung cấp giữa các base station và thiết bị đầu cuối dựa vào các chuẩn 802.16, WiMAX Forum cũng nhằm phân phối một framework cho cấu trúc mạng IP end-to-end hiệu suất cao để hỗ trợ những người dùng cố định, chuyển vùng, và di động (xem bảng 13.1 để tham khảo các định nghĩa loại dịch vụ).

Bảng 13.1: Các định nghĩa dịch vụ WiMAX

Loại dịch vụ	Vùng	Tốc độ	Handover	Chú giải
Cố định	BS đơn	Tĩnh	Không, tuy nhiên có thể đòi hỏi chọn lại BS do các điều kiện liên kết	Thường là các thiết bị đầu cuối ngoài trời cố định
Chuyển vùng	Bất kỳ BS	Tĩnh	Không, tuy nhiên có thể đòi hỏi chọn lại BS do các điều kiện liên kết	Sử dụng trong nhà/ thường tự lắp đặt

Mang chuyển được	Bất kỳ BS	Di động	Có	Tính liên tục phiên cho các ứng dụng không nằm trong thời gian thực
Di động đơn giản	Bất kỳ BS	Di động	Có	Hiệu suất cho các ứng dụng không thời gian thực và hỗ trợ các ứng dụng thời gian thực
Di động đầy đủ	Bất kỳ BS	Di động	Có	Tính liên tục của phiên làm việc cho các ứng dụng thời gian thực

Thủ tục WiMAX dựa vào việc sử dụng các giao thức API chuẩn hóa và tương thích với các framework chẳng hạn như IP Multimedia Subsystem (IMS). Hai nhóm công tác từ tổ chức WiMAX Forum (xem chương 2) định nghĩa cấu trúc và những tính năng đi kèm: Network Working Group (NWG) tạo những thông số mạng và Service Provider Working Group (SPWG) giúp định nghĩa các yêu cầu và quyền ưu tiên.

Tập hợp thông số được phát hành bởi hai nhóm này bao gồm một số lựa chọn để ánh xạ số chức năng bắt buộc cho các thiết bị vật lý, cho phép đồng thời các lựa chọn thực thi phụ thuộc nhà sản xuất giá trị gia tăng và cũng các điểm liên vận hành tại cấp mạng nhờ đến các giao diện mở được chuẩn hóa (hoặc các điểm tham khảo trong tài liệu WiMAX). Các bản phác thảo NWG mới nhất có thể truy cập công cộng tại http://www.wimaxforum.ogr/technology/documents.

Các tham số được tổ chức theo phiên bản và gồm một bộ tài liệu ba giai đoạn:

- Tài liệu giai đoạn 1 định nghĩa các yêu cầu cho cấu trúc WiMAX.
- Tài liệu giai đoạn 2 mô tả mô hình tham chiếu mạng, các điểm tham chiếu và cũng bao gồm một số phần thông tin để làm việc lẫn nhau giữa một mạng WiMAX và một mạng khác (ví dụ mạng DSL). Cấu trúc mạng WiMAX rõ ràng cũng thể áp dụng cho các triển khai chuẩn (không phải chỉ cho những tình huống làm việc lẫn nhau).
- Tài liệu giai đoạn 3 định nghĩa các chi tiết của những giao thức và những cấu trúc khác cần được thực thi trong một mạng end-to-end WiMAX.

13.1.2 Các yêu cầu cấp cao

Cấu trúc tham chiếu WiMAX đã được tạo có các loại yêu cầu khác nhau trong ý nghĩa:

- Một mạng dựa vào gói dữ liệu (packet) hiệu suất cao với sự phân chia chứa năng, bảo đảm sự linh hoạt tối đa dựa vào các giao thức chuẩn từ IEE và IETF.

- Hỗ trợ đầy đủ các ứng dụng roaming và làm việc lẫn nhau với các mạng cố định/di động khác.

Đối với các dịch vụ và ứng dụng, một mạng WiMAX được thiết kế để có thể hỗ trợ:

- Thoại (sử dụng VoIP), đa phương tiện (sử dụng IMS) và những dịch vụ quy định khác chẳng hạn như các cuộc gọi khẩn cấp.
- Truy cập một lượng lớn các nhà cung cấp dịch vụ ứng dụng.
- Giao diện với nhiều cổng nối làm việc lẫn nhau và media để chuyển đổi các dịch vụ thừa kế (ví dụ circuit voice, MMS) và để vận chuyển chúng trên các mạng truy cập WiMAX.
- Phân phối IP MBS, các dịch vụ multicast và broadcast (xem chương 12).

Ngoài ra xem xét việc nối mạng lẫn nhau vào roaming, một số tình huống triển khai phải được hỗ trợ:

- ghép đôi các mạng tự do với các mạng hữu tuyến (ví dụ DSL) hoặc vô tuyến (ví dụ các mạng di động 3GPP hoặc 3GPP2) hiện có.
- Một roaming hiện có giữa các nhà vận hành WiMAX (việc này bao gồm sử dụng nhất quán AAA, Authentication Authorization and Accouting trong số các nhà vận hành WiMAX cho việc xác thực và lập hóa đơn trong số những thứ khác).
- Nhiều phương pháp xác thực khác nhau (username/password, các chứng nhận kỹ thuật số, dựa vào SIM).

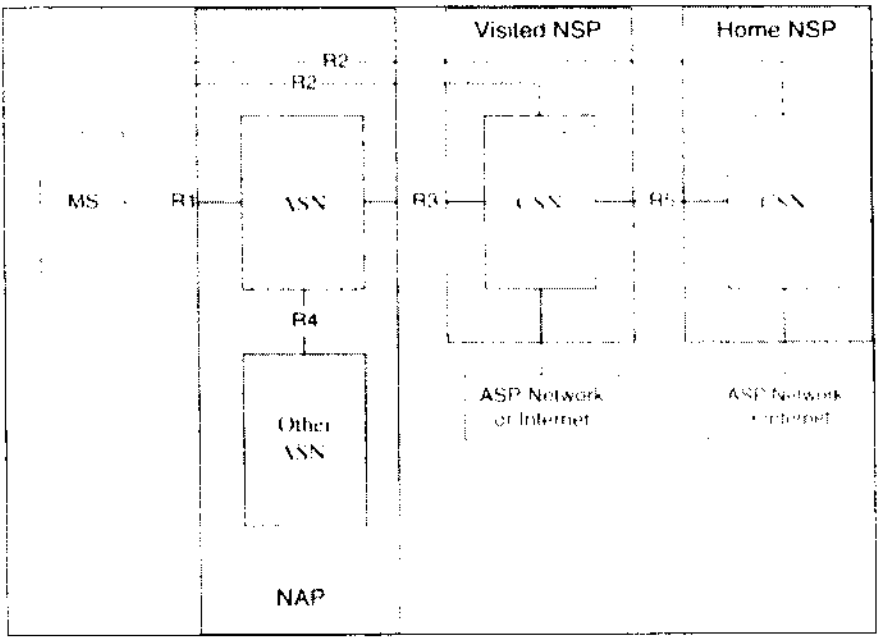
Cấu trúc tham chiếu và sự phân chia chức năng vừa có được triển khai thêm trong các mục tiếp theo của chương này.

13.2 Mô hình tham chiếu mạng

13.2.1 Tổng quan và các định nghĩa

Mô hình tham chiếu WiMAX (xem hình 13.1) gồm ba thành phần được kết nối với nhau bằng các giao diện được chuẩn hóa hoặc bằng các điểm tham chiếu R1 đến R5. Ba thành phần là:

- MS (Mobile Station);
- ASN (Access Service Network);
- CSN (Connectivity Service Network).



Hình 13.1: Mô hình tham chiếu WiMAX với các thành phần (MS/ASN/CSN), các điểm tham chiếu R1 đến R5 và các actor (NAP/NSP/ASP).

Mobile Station (MS) là một thiết bị di động generic cung cấp khả năng kết nối giữa một thiết bị thuê bao và một BS WiMAX. Access Service Network (ASN) bao gồm một tập hợp chức năng cung cấp sự nối kết truy cập vô tuyến cho các thuê bao WiMAX ASN, được liên thông qua điểm tham chiếu R4, có thể được triển khai bởi Access Service Providers (NAP). NAP cung cấp hạ tầng truy cập vô tuyến cho một hoặc nhiều Network Service Providers (NSP). NSP là một thực thể doanh nghiệp cho phép kết nối API và dịch vụ WiMAX cho những thuê bao WiMAX phù hợp với các Service Level AgreeMents (SLA) được thiết lập. NSP triển khai Connectivity Service Network (CSN) để cung cấp khả năng kết nối IP cho những thuê bao WiMAX. Trên phía mạng truy cập vô tuyến, các dịch vụ WiMAX được cung cấp qua các hợp đồng với một hoặc nhiều NAP.

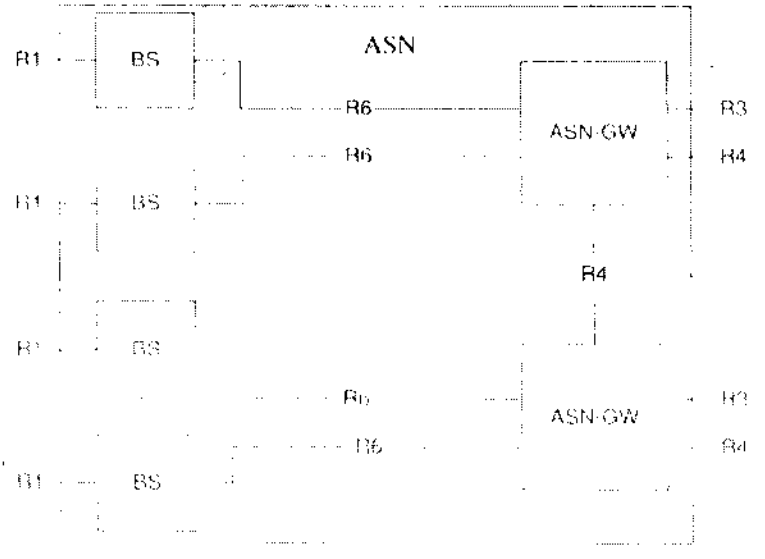
Trên phía ứng dụng, các dịch vụ WiMAX được phân phối nhờ các hợp đồng với các Application Service Providers (ASP) và/hoặc qua các nối kết trực tuyến với Internet. Ngoài ra, NSP trong một quốc gia nào đó có các hợp đồng roaming với nhiều NSP khác mà có thể ở trong các quốc gia khác. Do đó, thuê bao WiMAX có thể kết nối với Home NSP (H-NSP) hoặc với Visited NSP (V-NSP), một NSP mà Home NSP của nó có hợp đồng roaming.

13.2.2 Mô hình tham chiếu ASN và các Profile

ASN bao gồm tất cả chức năng cho phép kết nối vô tuyến cho các thuê bao WiMAX. Kết quả ASN chủ yếu cung cấp:

- Khả năng kết nối Layer 2 cho các thuê bao WiMAX (qua giao diện không khí WiMAX).
- Các cơ cấu Radio Resource Management (RRM) chẳng hạn như điều khiển và thực thi handover.
- Paging và quản lý vị trí (trong trường hợp của các thiết bị mang chuyển được / di động).
- Các chức năng relay (tiếp vận) cho CSN để thiết lập khả năng kết nối Layer 3 với những thuê bao WiMAX (ví dụ cấp phát địa chỉ IP, các thủ tục AAA).
- Tạo đường hầm dữ liệu và truyền tín hiệu giữa ASN và CSN qua điểm tham chiếu R3.
- Phát hiện mạng và chọn NAP/NSP ưu tiên.

ASP thường bao gồm một số base station (BS) kết nối với một số cổng nối ASN (ASN-GW) như được minh họa trong hình 13.2. Bên trong ASN, thêm hai điểm tham chiếu được mô tả trong thông số cấu trúc Release 1 nhưng chỉ theo cách mang tính thông tin: R6 giữa BS và ASN-GW và R8 giữa các BS khác nhau. Nhưng giao diện này là nền tảng cho các điểm liên vận hành hơn nữa giữa BBS và ASN-GW của các nhà cung cấp WiMAX trong các phiên bản cấu trúc tiếp theo.



Hình 13.2: Mô hình tham chiếu ASN Generic. R3 nằm giữa ASN và CSN trong khi R4 ngoài nằm giữa các ASN.

13.2.2.1 Base Station (BS)

BS là thực thể thực thi những tính năng PHY và MAC như được định nghĩa trong các chuẩn IEEE 802.16. Như được định nghĩa bởi các nhóm WiMAX Forum, BS cũng có tác dụng lập thời biểu các thông báo người dùng và truyền tín hiệu được trao đổi với ASN-GW qua giao diện R6 (xem bên dưới để tham khảo R6). Nó cũng bao gồm các chức năng truy cập khác theo profile ASN (xem bảng 13.2).

Trong một mạng truy cập WiMAX, một instance BS được định nghĩa bởi một sector và sự gán tần số. Trong trường hợp gán nhiều tần số cho sector, sector chứa bao nhiêu instance tùy thuộc số tần số được gán. Điều này tương tự với các mạng 3GPP UMTS hoặc 3GPP2.

Khả năng kết nối với nhiều ASN-GW có thể được bắt buộc trong trường hợp cân bằng tải hoặc trong những mục đích dư thừa.

13.2.2. ASN Gateway (ASN-GW)

ASN-GW là một thực thể logic, bao gồm:

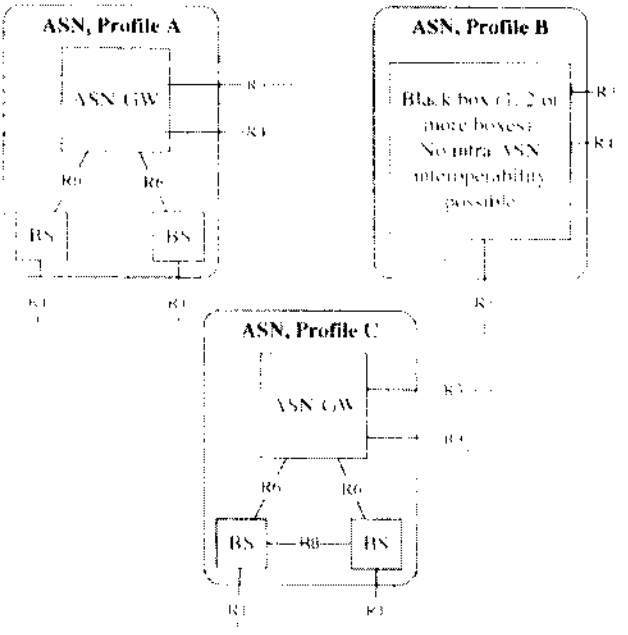
- Các thực thể chức năng điều khiển được ghép đôi với một chức năng tương ứng trong ASN (ví dụ trong một instanc BS), một chức năng thường trú trong ASN hoặc một chức năng trong một ASN khác.
- Chức năng lập tuyến bearer plane routing hoặc chức năng tạo cầu nối.

ASN-GW có chức năng như một điểm quyết định cho các chức năng không phải bearer plane routing (ví dụ quản lý tài nguyên vô tuyến) và như một điểm thi hành cho các chức năng bearer plane. Đối với các mục đích thực thi, việc phân chia các chức năng ASN thành hai nhóm này là tùy chọn. Nếu việc phân chia này được thực hiện, hai nhóm được tách biệt bởi nhóm R7. Như trong bất kỳ hệ thống viễn thông, ASN-GW có thể được thiết kế để cung cấp sự dư thừa và sự cân bằng tải giữa các hộp ASN-GW khác nhau.

13.2.2.3 Các profile ASN

Có ba lựa chọn thực thi ASN: Các profile ASN A, B và C (xem hình 13.2). Theo các profile này, một số chức năng được thực thi bởi BS hoặc ASN-GW (các profile A và C, xem bảng 13.2) và bởi bất kỳ hộp trong trường hợp của một ASN profile B. Cụ thể, sự thực thi A bao gồm:

- Điều khiển handover bên trong ASN-GW vốn cho phép kiểm soát dễ dàng hơn các tài nguyên vô tuyến trong thủ tục handover và chuẩn bị tái định tuyến đường dẫn Layer 3.
- Radio Resource Control (RRC) bên trong ASN-GW (cân bằng tải có thể thực hiện giữa các BS).



Hình 13.3: Các profile ASN A, B và C

Bảng 13.2: Phân chia các chức năng giữa BS và ASN-GW cho ASN profile A và profile C.

Hạng mục chức năng	Chức năng	Các giao thức được phơi bày, các đối tượng nguyên thủy	Điểm tham chiếu kết hợp	Profile A các thực thể ASN	Profile C, các thực thể ASN
Security (an ninh)	Authenticator (bộ xác thực)	Đối tượng nguyên thủy tiếp vận xác thực	R6	ASN-GW	ASN-GW
	Authenticator relay (tiếp vận xác thực)	Authentication relay primitives (các đối tượng nguyên thủy tiếp vận xác thực)	R6	BS	BS
	Key distributor (bộ phân phối khóa)	Các đối tượng nguyên thủy chuyển AK [a], các đối tượng nguyên thủy thiết lập quan hệ SA-TEK [b]	R6	ASN-GW	ASN-GW
	Key receiver (bộ thu khóa)	Các các đối tượng nguyên thủy truyền AK [a], các các đối tượng nguyên thủy thiết lập quan hệ SA-TEK [b]	R6	BS	BS
Di động trong ASN	Chức năng đường dẫn dữ liệu (loại 1 hoặc 2)	Các đối tượng nguyên thủy điều khiển dữ liệu đường dẫn dữ liệu	R6	ASN-GW và BS	ASN-GW và BS
	Các chức năng handover	Các đối tượng nguyên thủy điều khiển handover	R6	ASN-GW và BS	ASN-GW và BS
	Server và client ngữ cảnh		R6	ASN-GW và BS	ASN-GW và BS

Di động layer 3	MIP FA [c]	Client MIP	R6		ASN-GW
Quản lý tài nguyên vô tuyến	RRC [d]	Các đối tượng nguyên thủy RRM	R6	ASN-GW	BS
	RR[e]	Các đối tượng nguyên thủy RRM	R6	BS	BS
Paging	Paging agent	Paging và các đối tượng nguyên thủy chế độ Idle	R6	BS	BS
	Paging controller	Paging và các đối tượng nguyên thủy chế độ Idle	R6	ASN-GW	ASN-GW
QoS	SFA [f]	Các đối tượng nguyên thủy QoS	R6	ASN-GW	ASN-GW
	SFM [g]			BS	BS

[a]AK = Authentication Key (được chuyển trong quá trình nhập vào mạng ban đầu).

[b]SA-TEK = Security Association Traeffic Encryption Key (trong một thủ tục thiết lập quan hệ ba chiều giữa MS và BS lúc nhập vào mạng ban đầu.

[c]MIP FA = Mobile IP Foreign Agent (được sử dụng cho sự di động trong ASN-GW).

[d]RRC = Radio Resource Controller (thực thể thực hiện các quyết định về việc chỉnh sửa các tài nguyên vô tuyến dựa vào các số đo vô tuyến hay bất kỳ thông tin khác).

[e]RRA = Radio Resource Agent (thực thể được đặt trong một BS vốn duy trì một cơ sở dữ liệu các bộ chỉ báo tài nguyên vô tuyến).

[f]SFA = Service Flow Authorisation (xem phần QoS).

[g]SFM = Service Flow Management (xem phần QoS).

Các điểm di động được nêu ASN trong số BS được thực hiện qua các tham chiếu R4 và R6. Tính di động nối đến các handover nơi điểm neo (anchor) cho MS trong ASN không thay đổi (xem chương 14 để biết về handover trong chuẩn IEEE 802.16).

Phần thực thi profile C có cùng một cấu trúc như profile A với điểm khác biệt chính là các BS có nhiều chức năng hơn. Một phần thực thi profile C bao gồm:

- Điều khiển handover bên trong BS.
- Radio Resource Control (RRC) bên trong BS.
- Các điểm di động được nêu ASN giữa BS được thực hiện qua các điểm tham chiếu R4 và R6 như trong profile A.

Profile B không xác định bất kỳ sự phân chia chức năng. Việc phân chia các chức năng giữa các hộp nếu có được để lại cho nhà cung cấp lựa chọn. Kết quả không thể có khả năng liên vận hành trong ASN với profile B.

13.2.3 Mô hình tham chiếu CSN

Connectivity Service Network (CSN) gồm tất cả chức năng / thiết bị vốn cho phép kết nối IP cho các thuê bao WiMAX. Kết quả CSN bao gồm các chức năng sau đây:

- ủy quyền nối kết người dùng và truy cập Layer 3 (cấp phát địa chỉ IP cho các user sessions, proxy server và các chức năng AAA).

- Quản lý QoS (policy và kiểm soát sự thừa nhận dựa vào các user profile).
- Hỗ trợ tính di động dựa vào Mobile IP [HA (Home Agent), chức năng cho tính di động trong ASN).
- Tạo đường hầm (dựa vào các giao thức TP) với thiết bị / các mạng khác (hỗ trợ tạo đường hầm ASN-CSN, tạo đường hầm trong SCN cho roaming).
- Tính hóa đơn thuê bao WiMAX.
- Các dịch vụ WiMAX (truy cập Internet, các dịch vụ dựa vào vị trí, kết nối cho các dịch vụ peer-to-peer, dự trữ, ủy quyền và / hoặc kết nối với IMS, các tiện ích cho các dịch vụ nghe trộm hợp pháp chẳng hạn như CALEA (Communications Assistance Law Enforcement Act).

Để hoàn thành những chức năng đó, CSN được triển khai bởi NSP có thể bao gồm thiết bị sau đây:

- Các router (với một chức năng HA cho tính di động gateway trong ASN).
- Các server DSN (Domain Name System) / DHCP cho phân giải địa chỉ IP và cấu hình địa chỉ IP người dùng.
- Proxy/server AAA và cơ sở dữ liệu người dùng cho sự xác thực / ủy quyền / kế toán và dự trữ truy cập người dùng WiMAX với một số báo cáo đề cập đến người sử dụng một Home Location Register (HLR) (trung tâm) như trong một số hệ thống di động khác (ví dụ GSM, UMTS) để thực thi các chức năng AAA.
- Các gateway (cổng nối) làm việc với nhau để tích hợp / liên vận hành một mạng WiMAX với một mạng khác (ví dụ một mạng không dây 3GPP hoặc một PSTN).
- Các firewall để cung cấp sự bảo vệ cho các mạng WiMAX bằng cách thi hành các chính sách truy cập và lọc trên lưu lượng qua lại một mạng ngoài (đặc biệt được sử dụng để phát hiện / ngăn chặn sự từ chối dịch vụ).

13.2.4 Các điểm tham chiếu

Mô hình tham chiếu mạng WiMAX định nghĩa một số điểm tham chiếu (RP) giữa một số điểm thực thể trong mạng WiMAX (xem các hình 13.1 và 13.3). Các RP đó giới thiệu các điểm liên vận hành giữa các thiết bị từ các nhà cung cấp khác nhau. Trong phạm vi của cấu trúc mạng WiMAX Release 1, có 6 RP bắt buộc (R1 đến R6) và hai RP thông tin (R7 và R8).

13.2.4.1 Điểm tham chiếu R1 (chuẩn hóa)

Điểm tham chiếu R1 nối đến giao diện vô tuyến giữa MS và ASN. Kết quả nó bao gồm tất cả tính năng vật lý và MAC được duy trì

trong các prfile WiMAX từ chuẩn IEEE 802.16. R1 tải lưu lượng người dùng và các thông báo lên điều khiển người dùng.

13.2.4.2 Điểm tham chiếu R2 (chuẩn hóa)

Điểm tham chiếu R2 là một giao diện logic giữa MS và ASN. Nó chứa tất cả giao thức và những thủ tục khác vốn có liên quan việc xác thực (người dùng và thiết bị), ủy quyền dịch vụ và quản lý cấu hình Home IP. Giao diện logic này được thiết lập giữa MS và H-NSP và một số giao thức (chẳng hạn như quản lý địa chỉ Home IP) có thể được thực hiện bởi visited NSP trong trường hợp roaming.

13.2.4.3 Điểm tham chiếu R3 (chuẩn hóa)

Điểm tham chiếu R3 là giao diện logic giữa ASN và CSN. Nó truyền tải các thông báo plane điều khiển (các phương pháp AAA, phương pháp thi hành chính sách cho end-to-end QoS, các thông báo quản lý tính di động ví dụ cho sự tái định vị MS) và thông tin plane dữ liệu thông qua việc tạo đường hầm giữa ASN và CSN.

13.2.4.4 Điểm tham chiếu R4 (chuẩn hóa)

Điểm tham chiếu R4 kết nối hai ASN (ASN profile B) hoặc hai ASN-GW (ASN profile A hoặc C). nó truyền tải các thông báo plane điều khiển và plane dữ liệu đặc biệt trong quá trình handover (chuyển giao) của một người dùng WiMAX giữa các ASN/ASN-GW hoặc trong các thủ tục cập nhật vị trí trong chế độ Idle. RP này hiện là điểm duy nhất có khả năng liên vận hành giữa các ASN từ các nhà cung cấp khác nhau.

Phương pháp tạo đường hầm (tunnelling) được đề nghị là sử dụng IP trong chế độ tạo đường hầm IP cho R4 dựa vào giao thức GRE (Generic Routing Encapsulation).

13.2.4.5 Điểm tham chiếu R5 (chuẩn hóa)

Điểm tham chiếu R5 là giao diện kết nối hai CSN lại với nhau. Nó gồm tập hợp phương pháp plane điều khiển và plane dữ liệu trong CSN trong vsited NSP và trong Home NSP.

13.2.4.6 Điểm tham chiếu R6 (chuẩn hóa cho các profile A và C)

Điểm tham chiếu R6 được chuẩn hóa trong cấu trúc WiMAX Release 1 trong ngữ cảnh của các profile ASN riêng biệt. Trong Release 1, các profile ASN A và C phân tích Asn thành BS và ASN GW. Trong các trường hợp, các thủ tục chuẩn hóa được xác định trong Release 1. Dĩ nhiên, Router 6 không thể áp dụng cho profile B.

Điểm tham chiếu R6 kết nối BS và ASN-GW. Nó truyền tải các thông báo điều khiển (cho việc thiết lập, chỉnh sửa, điều khiển, giải

phóng đường dẫn dữ liệu phù hợp với tính di động MS) và thông tin plane dữ liệu (đường dẫn dữ liệu trong ASN giữa BS và ASN-GW). Phương pháp tạo đường hầm được sử dụng là GRE, MPLS hoặc VLAN (các phương pháp tạo đường hầm khác cũng có thể được đề xuất trong giai đoạn sau). Giao diện này cũng truyền tải cùng với R4, thông tin trạng thái MAC được tải bởi điểm tham chiếu R8 khi khả năng liên vận hành giữa các BS không có sẵn.

13.2.4.7 Các điểm tham chiếu thông tin khác

Trong Asn, hiện có thêm hai giao diện qua (R7 và R8) được định nghĩa cho thêm các điểm liên vận hành trong phạm vi của các phiên bản kế tiếp WiMAX. Những giao diện đó chỉ mang tính thông tin trong frame của cấu trúc WiMAX Relsase 1.

Điểm tham chiếu R7 là một giao diện logic tùy chọn giữa chức năng quyết định và chức năng thi hành trong ASN-GW.

Điểm tham chiếu R7 là một giao diện logic giữa các BS. Nó truyền tải sự trao đổi dòng plane điều khiển được sử dụng để cho phép một handover (chuyển giao) nhanh và hiệu quả giữa các BS. R8 cũng có thể tùy chọn truyền tải thông tin plane dữ liệu trong giai đoạn handover. Nên chú ý rằng một giao diện vật lý trực tiếp không thực sự được bắt buộc giữa các BS. Thực ra các phân phối R8 truyền tải qua ví dụ ASN-GW.

13.3 Các chức năng mạng

Phần này mô tả các chức năng chính đạt được bởi hệ thống WiMAX end-to-end.

13.3.1 Phát hiện và chọn mạng

Chức năng này được yêu cầu cho các dịch vụ WiMAX chuyển vùng, mang chuyển được và di động (xem bảng 13.1) mà trong cùng một khu vực địa lý MS có thể có sự truy cập vùng hoạt động vô tuyến đến một ASN được quản lý bởi NAP đơn và được chia sẻ bởi một số NSP hoặc sự truy cập vùng phủ sóng đến nhiều ASP được quản lý bởi một số NAP/NSP. Để thực hiện sự phát hiện và chọn mạng, MS (vốn đã được dự trữ sẵn với thông tin cấu hình lúc đăng ký) thực hiện một tiến trình 4 bước:

- Phát hiện NAP. Trong quá trình quét DCD của các BS khác nhau trong vùng hoạt động từ MS, MS phát hiện "operator ID" trong trường MSID.
- Phát hiện NSP. MS phát hiện NSO có sẵn thông qua danh sách NSP IP vốn được truyền đại chúng bởi ASN như là một phần của thông báo nhận dạng thông tin hệ thống. Sự phát hiện NSP cũng có thể được thực hiện qua các thông báo yêu cầu / phản hồi.

- Liệt kê và chọn NSP. Dựa vào thông tin động có được trong vùng hoạt động và thông tin cấu hình từ đăng ký, MS chọn NSP thích hợp. Cấu hình thủ công của NSP cũng có thể có sẵn trong trường hợp của một visited NSP.

Đính kèm ASN. Sau khi chọn NSP và ASP đi kèm, ASN xác định lựa chọn của nó bằng cách gởi một thông báo NAI (Network Access Identifier) được sử dụng bởi ASN để quyết định AAA bước nhảy kế tiếp mà một gói MS AAA sẽ được chuyển đến.

13.2.2 Tạo địa chỉ IP

Các bản WiMAX hỗ trợ các cơ cấu tạo địa chỉ IPv4 và IPv6. Cuối thủ tục, một địa chỉ IP PoA (Point of Attachment) được gởi đến MS. Các chế độ địa chỉ cấp phép IP phụ thuộc vào các loại dịch vụ truy cập WiMAX.

Trong trường hợp của IPv4, cấu hình PoA động dựa vào DHCP. Proxy DHCP có thể thường trú trong ASN và server DHCP trong CSN. Trong trường hợp của IPv6, việc cấp phát địa chỉ IP có trạng thái (stateful) dựa vào DHCPv6. Server DHCP thường trú trong CSN và proxy DHCP có thể thường trú trong ASN. Đối với CoA (Care of Address) có trạng thái, các cấp phát địa chỉ IP RFC 2462 và RFC 3041 được sử dụng.

Các phương pháp địa chỉ PoA IP theo các dịch vụ truy cập WiMAX và phiên bản IP được tóm tắt trong bảng 13.3.

Bảng 13.3: Phương pháp địa chỉ PoA IP theo các dịch vụ truy cập WiMAX và phiên bản IP.

Loại dịch vụ	Phương pháp địa chỉ PoA IP (IPv4)	Phương pháp địa chỉ PoA IP (IPv6)
Truy cập cố định	Tĩnh hoặc động	Tự động cấu hình tĩnh hoặc có trạng thái
Truy cập chuyển vùng	Động	Cấu hình có trạng thái hoặc không trạng thái
Truy cập di động	DHCP cho các thiết bị đầu cuối P-MIP[a] MIP dựa vào các thiết bị đầu cuối C-MIP[b]	Tự động cấu hình có trạng thái hoặc không trạng thái

[a]P-MIP = chế độ IP Proxy-Mobile

[b]C-MIP = chế độ IP Client-Mobile

13.3.3 Framework AAA

Framework AAA tuân theo các tham số IETF và có những dịch vụ sau đây:

- Xác thực (authentication): Xác thực thiết bị, người dùng hoặc kết hợp người dùng / thiết bị.
- Ủy quyền (authorisation): Gởi thông tin user profile cho các seesion, tính di động và QoS.
- Kế toán (accounting) gởi thông tin cho các dịch vụ trả trước / trả sau.

Các thủ tục và ủy quyền dựa vào EAP (Extensible Authentication Protocol). Giữa MS và ASM (chức năng xác thực) EAP chạy trên PK Mv2 vốn cho phép xác thực cả người dùng lẫn thiết bị. Giữa server AAA và ASN, EAP chạy trên RADIUS.

Accounting cũng dựa vào các thông báo. WiMAX Release 1 cung cấp accounting ngoại tuyến (trả sau) và trực tuyến (trả trước) trong trường hợp của accounting ngoại tuyến (offline), ASN tạo các UDR (Usage Data Records) vốn là một tổ hợp các tham số dành riêng cho radio và các tham số dành riêng cho IP. Sau đó, ASN phục vụ gởi UDR đến server RADIUS.

13.3.4 Tính di động

- Các thủ tục di động được phân chia thành hai mức độ: Các thủ tục di động được neo ASN. Điều này nói đến MS nơi không cần cập nhật địa chỉ CoA còn được gọi là micromobility (tính vi di động).
- Các thủ tục di động neo CSN. Macroobility (tính di động vĩ mô) giữa ASN và CSN dựa vào các giao thức IP di động chạy qua giao diện R3.

Tính di động được neo CSN ám chỉ rằng trong trường hợp của IPv4, MS chuyển sang một FA (Foreign Agent) neo mới. Các hệ thống WiMAX hỗ trợ tối thiểu một trong các phương pháp IP di động sau đây:

- Proxy-MIP. Trong trường hợp này MS không biết các hoạt động quản lý tính di động CSN và không có thêm sự truyền tín hiệu / hao phí trên không khí để hoàn tất tính di động CSN.
- Client MIP (CMIPv4). Trong trường hợp này, cilent MIP trong MS tham gia tính di động giữa ASN.

13.3.5 End-To-End Quality of Service

Chuẩn IEEE định nghĩa framework QoS cho giao diện không khí (xem chương 11). Các thông số cấu trúc WiMAX mở rộng framework QoS sang mạng hoàn chỉnh nơi có thể có nhiều lựa chọn cho việc thi hành QoS trên Layer 2 hoặc Layer 3.

Framework end-to-end QoS phụ thuộc vào các chức năng được thực thi trong CSN (PF (Policy Function) và AF (Application Function)) và trong ASN (SFM (Service Flow Management) và SFA (Ser-

vice Flow Authorisation)). Trong CSN, AF kích khởi một trigger service flow đến PS dựa vào thông tin được gởi bởi MS mà nó giao tiếp với. Sau đó, PF đánh giá các yêu cầu dịch vụ dựa vào một cơ sở dữ liệu policy trong NSP. Trong ASN, SFA giao tiếp và nó có trách nhiệm đánh giá các yêu cầu dịch vụ dựa vào các profile QoS người dùng. SFM (được đặt trong BS và có trách nhiệm tạo, thừa nhận, chỉnh sửa và giải phóng các service flow 802.16) chủ yếu bao gồm một chức năng kiểm soát sự thừa nhận mà quyết định dựa vào nguồn tài nguyên vô tuyến có sẵn và thông tin cục bộ, việc một liên kết vô tuyến (radio link) có thể được tạo hay không.

Chương 14

Tính di động, Handover và các chế độ tiết kiệm năng lượng

14.1 Các vấn đề xem xét về handover

Một trong những mục tiêu chính của điểm sửa đổi 802.16e là giới thiệu tính di động (Mobility) trong WiMAX. Kết quả, các profile WiMAX di động dựa vào 802.16e. Tính di động dựa vào Handover (chuyển giao). Hoạt động Handover đôi khi được gọi là "handoff" là việc một người dùng di động đi từ cell này đến cell khác mà không làm gián đoạn phiên làm việc đang diễn ra (cho dù một cuộc gọi điện thoại, phiên dữ liệu hoặc phiên làm việc khác). Handover có thể do thuê bao di động chuyển động, do các thay đổi điều kiện kênh vô tuyến hoặc do những xem xét dung lượng cell. Handover là một tính năng bắt buộc của mạng di động (cellular). Trong chương này, handover (HO) được mô tả như được định nghĩa trong 802.16e.

Trong 802.16e, hai loại handover chung được định nghĩa:

- Handover cứng còn được gọi là ngắt rồi đóng. Mobile station (MS) thuê bao dừng liên kết vô tuyến của nó đầu tiên trước khi thiết lập liên kết vô tuyến của nó với BS mới. Đây là một handover khá đơn giản.
- Handover mềm còn được gọi là đóng rồi ngắt. MS thiết lập liên kết vô tuyến của nó với BS mới trước khi dừng liên kết vô tuyến của nó với BS đầu tiên. MS có thể có hai hoặc nhiều liên kết với hai hoặc

nhiều BS vốn cung cấp trạng thái handover mềm. Handover mềm rõ ràng nhanh hơn handover cứng.

Hai loại hanover mềm được định nghĩa trong 802.16e

- Fast BS Switching (FBSS). Đây là một trạng thái mà trong đó MS có thể chuyển đổi nhanh từ một BS này sang BS khác. Sự chuyển đổi nhanh bởi vì MS thực hiện điều đó mà không nhận biết thủ tục nhập vào mạng đầy đủ đối với BS mới.
- Macro Diversity HandOver (MDHO). Các cuộc truyền nằm giữa MS và BS.

Trong các profile WiMAX di động, chỉ handover cứng thì bắt buộc. FBSS và MDHO thì tùy chọn. Chuẩn 802.16 cũng xác định rằng việc hỗ trợ MDHO hoặc MBSS tùy chọn cho cả MS và BS.

Handover có những mục tiêu đầy thách thức (xem mục 13.1 để biết các yêu cầu handover như là một chức năng của loại truy cập WiMAX). Đầu tiên nó phải đủ nhanh, 50 ms hoặc 100 ms. Cũng có các yêu cầu an ninh vì có thể xảy ra một số cuộc tấn công trong thủ tục handover. Sau cùng, handover không chỉ có những vấn đề xem xét Layer 2. Các vấn đề xem xét Layer 2 cũng cần đến như được đề cập trong chương 13, do đó, handover không độc lập với cấu trúc.

14.2 Thu nhận tôpô mạng

14.2.1. Quảng cáo tôpô mạng

Một BS truyền đại chúng thông tin về tôpô mạng bằng cách sử dụng thông báo quản lý MOB _NBR-ADV (Neighbour ADVertisement) MAC. Thông báo này cung cấp thông tin kênh về các BS lân cận thường được cung cấp bởi các cuộc truyền thông báo DCD/UCD riêng của mỗi BS. MOB _NBR-ADV không chứa tất cả thông tin của các BS lân cận, UCD và DCD. Chuẩn xác định rằng một BS có thể nhận được thông tin đó trên mạng xương sống và tính có sẵn của thông tin này làm dễ dàng việc đồng bộ hóa MS với BS lân cận bằng cách loại bỏ nhu cầu giám sát sự truyền từ BS lân cận (mục tiên handover) cho các thông báo truyền phát DCD/UCD. Các BS sẽ tiếp tục ánh xạ các bảng địa chỉ BS MAC lân cận và các chỉ số BS lân cận được truyền qua thông báo MOB _NBR-ADV cho mỗi số lượng thay đổi cấu hình vốn có cùng một chức năng như đối với thông báo DCD.

Các BS hỗ trợ chức năng mobile, có chức năng truyền một thông báo quản lý MOB _NBR-ADV MAC tại một khoảng thời gian định kỳ để nhận dạng mạng và xác định các đặc điểm của BS lân cận cho một MS tiềm ẩn đang tìm kiếm việc nhập vào ban đầu hoặc handover. Chuẩn xác định rằng giá trị tối đa của khoảng thời gian này là 30 giây.

14.2.2 MS quét tìm các BS lân cận

Một khoảng thời gian quét được định nghĩa là thời gian mà MS quét để tìm một BS có sẵn. Một BS có thể cấp các khoảng thời gian cho MS với mục đích MS tìm kiếm và giám sát tính thích hợp của các BS lân cận như là mục tiêu trong một handover. Việc MS quét tìm các BS lân cận dựa vào các thông báo quản lý MAC sau đây: MOB_CSN-REQ, SCaNning interval allocation REQuest, MOB_CSN-REQ, SCaNning interval allocation. MOB_CSN-REQ và SCaNning result REPort.

Thông báo MOB_CSN-REQ được gởi bởi MS để yêu cầu một khoảng thời gian quét nhằm mục đích tìm kiếm các BS có sẵn và quyết định tính thích hợp của chúng như là các mục tiêu trong HO. Trong thông báo MOB_CSN-REQ, MS xác định một nhóm các BS lân cận mà chỉ Scanning hoặc Scanning with Association được yêu cầu bởi MS. Neighbour_BS_Index của thông báo MOB_CSN-REQ tương ứng với vị trí của các BS trong thông báo MOB _NBR-ADV. Trong thông báo này, MS cũng có thể yêu cầu cấp phát quét Scanning allocation để thực hiện việc quét hoặc Association ranging (xác định phạm vi kết hợp) không tranh chấp. Association là một thủ tục initial ranging (xác định phạm vi ban đầu) tùy chọn xảy ra trong khoảng thời gian quét đối với một trong các BS lân cận (xem mục kế tiếp).

Sau khi nhận thông báo MOB_CSN-REQ, BS phản hồi bằng một thông báo MOB_CSN-RSP. Thông báo MOB_CSN-RSP cũng có thể không được yêu cầu. Thông báo MOB_CSN-RSP cấp phát cho MS yêu cầu một khoảng thời gian quét tối thiểu dài như khoảng thời gian được yêu cầu bởi MS hoặc từ chối yêu cầu của nó. Trong thông báo MOB_CSN-RSP, BS xác định một nhóm BS lân cận mà chỉ Scanning hoặc Scanning with Association được đề nghị bởi BS.

Theo sau việc nhận một thông báo MOB_CSN-RSP cấp phát yêu cầu, một MS có thể quét để tìm một hoặc nhiều BS trong khoảng thời gian được cấp phát trong thông báo. Khi một BS được nhận dạng thông qua việc quét, MS có thể cố đồng bộ hóa với các cuộc truyền định downlink của nó và ước tính chất lượng của kênh PHY.

BS có thể thương lượng trên mạng xương sống với một BS Recommended for Association (trong thông báo MOB_CSN-REQ) việc cấp phát các cơ hội unicast ranging. Sau đó, MS sẽ được thông báo trên Rendez vous time để thực hiện Association ranging với Recommended BS. Khi tiến hành unicast ranging cho một BS Recommended for Association, MS sử dụng một cơ hội unicast ranging được cấp nếu có sẵn.

BS phục vụ có thể đệm dữ liệu vào được gởi đến MS trong khoảng thời gian quét và truyền dữ liệu đó sau khoảng thời gian quét trong bất kỳ khoảng thời gian xen kẽ (interleaving) hoặc sau khi thoát khỏi chế độ Scanning. Khi chế độ Report là 0b10 (nghĩa là được kích khởi bởi event) trong MOB_CSN-RSP được nhận gần đây nhất, MS quét tất cả BS trong danh sách Recommended BS của thông báo này và sau đó truyền một thông báo MOB_CSN-REP để báo cáo kết quả quét cho BS phục vụ của nó sau mỗi khoảng thời gian quét tại thời gian được xác định trong thông báo MOB_CSN-RSP. MS có thể truyền một thông báo MOB_CSN-REP để báo cáo các kết quả quét cho BS phục vụ của nó bất cứ lúc nào. Thông báo sẽ được truyền trên Primary Management CID.

14.2.3 Thủ tục Association

Association là một thủ tục initial ranging tùy chọn xảy ra trong khoảng thời gian quét đối với một trong các BS lân cận. Chức năng của Association là cho phép MS thu nhận và ghi chép các tham số ranging và thông tin tính có sẵn của dịch vụ với mục đích chọn lực thích hợp một BS mục tiêu handover và / hoặc xúc tiến một handover tương lai tiềm năng cho một BS mục tiêu. Các tham số ranging được ghi chép của một Association BS có thể được sử dụng thêm để thiết lập các giá trị initial ranging trong các sự kiện ranging tương lai trong một handover.

Sau khi hoàn tất một MS initial ranging thành công của một MS, nếu thông báo RNG-RSP được gởi bởi BS chứa một tham số dự đoán cấp dịch vụ được xác lập sang 2, MS có thể đánh dấu BS là Associated trong bản định danh Association cục bộ MS của nó, ghi chép các phần tử của ANG-RSP sang bản Association cục bộ MS và xác lập một timer (bộ định thời gian) lão hóa thích hợp.

Có ba cách Association như sau:

- **Association Level 0**: Scan/Association không có sự phối hợp. BS phục vụ và MS thương lượng thời hạn và các khoảng thời gian Association (thông qua MOB_CSN-REQ). BS phục vụ cấp phát các khoảng thời gian định kỳ nơi MS có thể gange (xác định phạm vi) các BS lân cận. BS mục tiêu không biết về MS. MS sử dụng các phần cấp phát ranging dựa vào tranh chấp BS mục tiêu.
- **Association Level 1**: Association có sự phối hợp. Sau khi yêu cầu MS thông qua thông báo MOB_CSN-REQ, BS phục vụ cung cấp các thông số Association cho MS và phối hợp Association giữa MS và các BS lân cận. BS mục tiêu dành riêng một mẻ initial ranging CDMA và một slot initial ranging (cơ hội truyền) trong một vùng ranging chuyên dụng đã xác định (thời gian tụ họp). BS lân cận có thể gắn cùng một mẻ hoặc cơ hội truyền vào nhiều MS nhưng không cả hai.

Không có khả năng xảy ra sự xung đột của các cuộc truyền từ những MS khác nhau.

- **Association Level 2**: Báo cáo sự kết hợp được hỗ trợ bằng mạng. MS có thể yêu cầu thực hiện Association với việc báo cáo Association được hỗ trợ bởi mạng bằng cách gởi thông báo MOB_CSN-REQ kể cả một danh sách các BS lân cận cho BS phục vụ với kiểu quét bằng 0b011. BS phục vụ cũng có thể yêu cầu loại Association này một cách đơn phương bằng cách gởi thông báo MOB_CSN-RSP với sự chỉ báo thích hợp. Sau đó BS phục vụ sẽ phối hợp thủ tục Association với các BS lân cận được yêu cầu theo một kiểu tương tự như Association Level 1. Với Level 2, MS chỉ được yêu cầu truyền mã ranging CDMA đến các BS lân cận. MS không đợi RNG-RSP từ các BS lân cận. Thay vào đó thông tin RNG-RSP trên các khoảng dịch chuyển PHY được gởi bởi mỗi BS lân cận đến BS phục vụ trên mạng xương sống. BS phục vụ có thể tập hợp tất cả thông tin ranging thành một thông báo MOB_ASC-REPORT, MOB_ASC-REP, Association result Report.

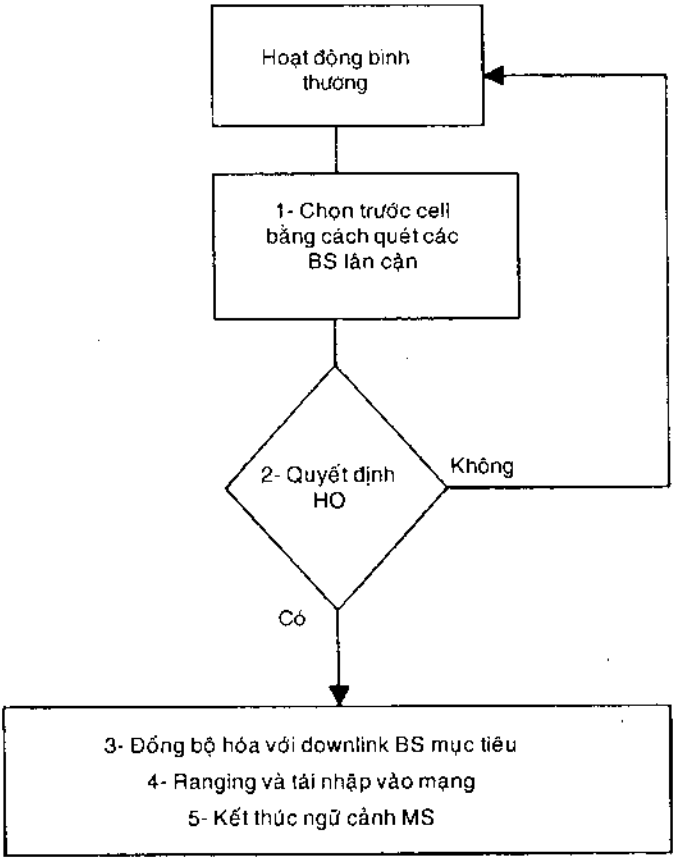
14.2.4 Handover Ranging CDMA và điều chỉnh tự động

Đối với OFDMA PHY, 802.16e định nghĩa handover ranging. Một MS muốn thực hiện việc handover ranging phải lấy một tiến trình tương tự như tiến trình được định nghĩa trong phần initial ranging với các chỉnh sửa sau đây. Trong tiến trình handover ranging CDMA, mã handover ranging CDMA được sử dụng thay vì mã initial ranging. Mã này được chọn từ miền handover ranging. Các mã handover ranging được sử dụng cho việc ranging với một BS mục tiêu trong quá trình handover, nếu MS được thông báo trước cho handover MS sắp tới, nó có thể cung cấp thông tin cấp phát băng thông cho MS bằng cách sử dụng Fast_ Ranging_IE để gởi một thông báo RNG-REQ.

14.3 Tiến trình Handover

Chuẩn 802.16 nêu rõ ràng thuật toán quyết định handover nằm ngoài phạm vi của nó. Các tài liệu WiMAX Forum cũng không chọn thuật toán handover. Chỉ framework được định nghĩa. MS, sử dụng thông tin hiện hành của nó trên BS lân cận hoặc sau một yêu cầu nhận thông tin như vậy (xem mục trước), đánh giá việc quam tâm của nó đối với một handover tiềm năng với một BS mục tiêu. Một khi quyết định handover được tiến hành bởi BS phục vụ hoặc MS, một thông báo được gởi trên các thông báo quản lý MOB_BSHO-REQ (BS Handover REQuest) hoặc MOB_MSHO-REQ (MS Handover REQuest) MAC phụ thuộc vào đối tượng đưa ra quyết định handover, BS hoặc MS. Các bước tiến trình handover được mô tả trong phần dưới đây:

Tiến trình handover gồm 5 giai đoạn được mô tả tóm tắt trong hình 14.1. các giai đoạn tiến trình handover được mô tả trong các mục tiếp theo.



Hình 14.1: Minh họa các giai đoạn tiến trình handover.

14.3.1 Chọn lại cell

Chọn lại cell nói đến tiến trình một MS quét và / hoặc kết hợp (association) với một hoặc nhiều BS để quyết định tính thích hợp của chúng cùng với những xem xét hiệu suất khác như là một mục tiêu handover. MS có thể sử dụng thông tin BS lân cận được thu nhận từ thông báo MOB_NBR-ADV được giải mã hoặc có thể yêu cầu lập thời biểu các khoảng thời gian quét hay các khoảng thời gian sleep (ngủ) để quét, BS lân cận nhằm mục đích đánh giá việc MS quan tâm đến handover đối với một BS mục tiêu tiềm năng.

14.3.2 Quyết định và khởi tạo handover

Handover bắt đầu với một quyết định cho MS để tiến hành handover từ BS phục vụ sang BS mục tiêu. Quyết định có thể khởi nguồn tại MS hoặc BS phục vụ. Các kết quả quyết định handover trong một thông báo của mục đích MS để thực hiện handover thông qua thông báo MOB_MSHO-REQ (MS HO REQuest) (quyết định handover bởi MS) hoặc thông báo MOB_BSHO-REQ (BS HO REQuest) (quyết định handover bởi BS).

BS có thể truyền một thông báo MOB_BSHO-REQ khi nó muốn bắt đầu một handover. Yêu cầu này có thể được đề nghị hoặc bắt buộc. Trong trường hợp nó bị bắt buộc, tối thiểu một BS bắt buộc phải hiện diện trong thông báo MOB_BSHO-REQ. Nếu bắt buộc, MS phản hồi bằng thông báo MOB HO-IND, xác định việc cam kết đối với handover trừ khi MS không thể thực hiện handover sang bất kỳ BS được đề nghị trong thông báo MOB_BSHO-REQ mà trong trường hợp này, MS có thể phản hồi bằng thông báo MOB HO-IND với các tham số thích hợp hiển thị sự từ chối HO. Một MS nhận thông báo MOB_BSHO-REQ có thể quét các BS lân cận được đề nghị trong thông báo này.

Trong trường hợp một handover được khởi tạo bởi MS, BS truyền một thông báo MOB_BSHO-RSP sau khi nhận được thông báo MOB_MSHO-REQ.

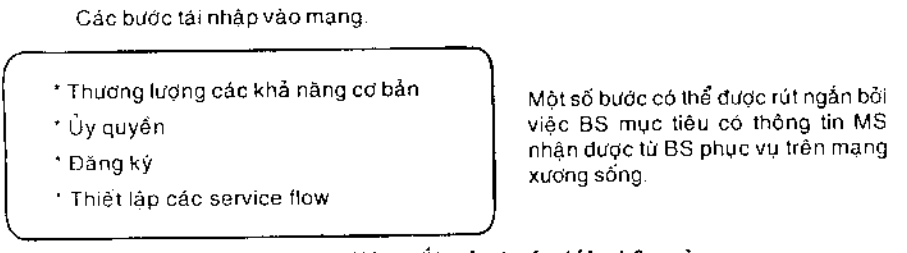
14.3.3 Đồng bộ với một Downlink BS mục tiêu

Việc đồng bộ với một downlink BS mục tiêu phải được thực hiện. Nếu trước đó MS đã nhận một thông báo (quản lý MAC) MOB_NBR-ADV bao gồm một BSID mục tiêu, tần số vật lý, DCD và UCD, tiến trình này có thể được rút ngắn. Trước đó BS mục tiêu đã nhận thông báo handover từ một BS phục vụ trên mạng xương sống thì BS mục tiêu có thể cấp phát cơ hội initial ranging dựa vào sự không tranh chấp.

14.3.4 Ranging và việc tái nhập vào mạng

MS và BS mục tiêu tiến hành hợp đồng handover ranging. Việc tái nhập vào mạng tiến hành từ bước initial ranging trong tiến trình Network Entry (xem chương 11): Thương lượng các khả năng cơ bản, giai đoạn xác thực PKM, giai đoạn thiết lập TEK, đăng ký (BS có thể gởi một thông báo REG-RSP không được yêu cầu với thông tin các khả năng cập nhật hoặc bỏ qua thông báo REG-RSP khi không có thông tin TLV cần được cập nhật) và các bước tùy chọn Network Entry tiếp theo khác (khả năng kết nối IP)...

Việc tái nhập vào mạng có thể được rút ngắn bởi việc BS mục tiêu có thông tin MS nhận được từ BS phục vụ trên mạng xương sống. Phụ thuộc vào lượng thông tin đó, BS mục tiêu có thể quyết định bỏ qua một hoặc một số bước Network Entry (hình 14.2). Sau đó Handover ranging có thể là một phiên bản initial ranging được đơn giản hóa. Để thông báo có một MS đang tìm kiếm handover về việc có thể bỏ qua các thông báo quản lý tiến trình tái nhập vào trong nỗ lực handover hiện hành (do tính có sẵn của dịch vụ MS và thông tin ngữ cảnh hoạt động có được trên mạng xương sống), BS mục tiêu phải đặt trong thông báo RNG-RSP một HO Process Optimisation TLV biểu thị các thông báo quản lý việc tái nhập nào có thể được bỏ qua. MS hoàn thành việc xử lý tất cả thông báo được chỉ định trước khi đi vào hoạt động bình thường (Normal Operation) với BS mục tiêu.



Hình 14.2: Tóm tắt các bước tái nhập vào mạng

Bất kể việc nhận thông tin MS từ một server phục vụ, BS mục tiêu có thể yêu cầu thông tin MS từ mạng xương sống.

14.3.5 Kết thúc ngữ cảnh MS

Đây là bước cuối cùng của một handover. Sự kết thúc ngữ cảnh MS được định nghĩa là sự kết thúc BS phục vụ của ngữ cảnh tất cả nối kết thuộc về MS và loại bỏ ngữ cảnh kết hợp với chúng nghĩa là thông tin trong các hàng đợi, một bộ máy trạng thái (state machine) ARQ, các bộ đếm (counter), bộ định thời gian (timer), thông tin khử header... Điều này được hoàn thành bằng cách gởi thông báo MOB_HO-IND với giá trị HO_IND-type biểu thị một phiên bản BS phục vụ.

14.3.6 Hủy Handover

Một MS có thể hủy HO bất cứ lúc nào trước khi kết thúc khoảng thời gian Resource_Retain_Time sau khi truyền thông báo MOB_HO-IND. Resource_Retain_Time là một trong các tham số được trao đổi trong thủ tục đăng ký (phần Network Entry). Chuẩn ấn định rằng Resource_Retain_Time là một bộ số 100 milli giây và 200 milli giây được đề nghị là thời gian mặc định.

14.4 Fast BS Switching (FBSS) và Macro Diversity Handover (MDHO)

14.4.1 Tập hợp phân tập

Có một số điều kiện bắt buộc đối với các BS phân tập trong các thủ tục FBSS và MDHO. Những điều kiện này được liệt kê bên dưới:

- Các BS được đồng bộ và dựa vào một nguồn thời gian chung và có các frame được đồng bộ.
- Các frame được gởi bởi các BS từ tập hợp phân tập đến MS trong khoảng tiền tố, nghĩa là tiền tố sự trễ do truyền nhỏ hơn cyclic.
- Hoạt động tại cùng một kênh tần số.
- Các BS được yêu cầu chia sẻ hoặc chuyển ngữ cảnh MAC. Ngữ cảnh như vậy bao gồm tất cả thông tin mà MS và BS thường trao đổi trong quá trình Network Entry (nhập vào mạng), đặc biệt là trạng thái xác thực để một MS được xác thực / đăng ký với một trong các BS từ các BS tập hợp phân tập được tự động xác thực / đăng ký với những BS khác từ cùng một tập hợp phân tập. Ngữ cảnh cũng bao gồm một tập hợp service flow và ánh xạ tương ứng sang các nối kết được kết hợp với MS, các khóa xác thực và mã hóa hiện hành được kết hợp với những nối kết. Cũng có các điều kiện BS dành riêng cho MDHO (xem mục dưới).

Một MS có thể quét các BS lân cận và có thể chọn các BS thích hợp để được đưa vào tập hợp phân tập. MS báo cáo các BS được chọn và thủ tục cập nhật tập hợp phân tập được thực hiện bởi MS và BS. Sau khi một MS hoặc BS đã bắt đầu tập hợp cập nhật phân tập bằng cách sử dụng MOB_MSHO/BSHO-REQ, MS có thể hủy việc cập nhật phân tập bất cứ lúc nào. Việc hủy này được tiến hành bằng cách truyền một MOB_HO-IND với các tham số thích hợp. BS có thể tái cấu hình danh sách tập hợp phân tập và tái truyền thông báo MOB_BSHO-RSP đến MS.

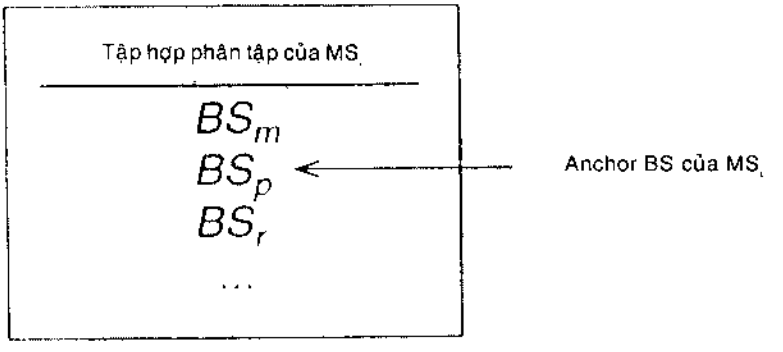
Trong một tập hợp phân tập MS, một định danh thành riêng (member identifier), TEMP_BSID được gán cho mỗi BS trong tập hợp phân tập.

14.4.2 Các loại BS khác nhau cho một MS

Trước khi đi vào chi tiết các thuật toán handover đóng rồi ngắt, FBSS và MDHO, các loại BS khác nhau cho một MS đã cho một MS nào đó được tóm tắt:

- Serving BS (BS phục vụ). Là BS mà MS đã hoàn tất việc đăng ký gần đây nhất lúc nhập vào mạng (Network Entry) ban đầu hoặc trong suốt một quá trình handover.

- Neighbour BS. BS lân cận là một BS (ngoại trừ BS phục vụ) có nội dung truyền downlink có thể được nhận (tương đối tốt) bởi MS.
- Target BS. Đây là BS mà một MS dự định được đăng ký vào cuối một quá trình handover.
- Active BS (chủ động). Active BS được thông báo về những khả năng MS, các tham số an ninh, service flow và đầy đủ thông tin ngữ cảnh MAC. Đối với một Macro Diversity HandOver (MDHO), MS truyền / nhận dữ liệu qua lại tất cả active trong tập hợp phân tập.
- Anchor BS (BS neo). Đối với MDHO hoặc FBSS hỗ trợ các MS, đây một BS nơi BS được đăng ký, được đồng bộ hóa, thực hiện việc ranging và giám sát downlink cho thông tin điều khiển (xem hình 14.3). Đối với một FBSS hỗ trợ MS, đây là BS phục vụ được ấn định để truyền / nhận dữ liệu qua lại MS tại một frame nào đó. Do đó có thể kiểm chứng rằng một Anchor BS là một trường hợp riêng biệt của một BS phục vụ. Một MS được bắt buộc liên tục giám sát cường độ tín hiệu của các BS vốn được đưa vào tập hợp phân tập. MS chọn một BS từ tập hợp phân tập hiện hành của nó để trở thành Anchor BS và báo cáo Anchor BS được chọn trên thông báo CQICH (xem chương 9) hoặc MOB_MSHO-REQ. Các MS và BS có thể sử dụng phương pháp phản hồi nhanh để cập nhật tập hợp phân tập: Khi MS có nhiều BS trong tập hợp phân tập của nó, MS truyền thông tin chọn anchor BS nhanh đến anchor BS hiện hành bằng cách sử dụng kênh phản hồi nhanh OFDMA (xem frame OFDMA trong chương 9).



Hình 14.3: Minh họa một anchor BS trong tập hợp phân tập.

14.4.3 FBSS (Fast BS Switching)

Một handover FBSS bắt đầu với quyết định cho một MS nhận / phát dữ liệu qua lại anchor BS vốn có thể thay đổi trong tập hợp phân tập. Một handover FBSS có thể được kích khởi bởi các thông báo MOB_MSHO-REQ hoặc MOB_BSHO-REQ.

Khi hoạt động trong FBSS, MS chỉ giao tiếp với anchor BS cho các thông báo uplink và downlink (các nối kết quản lý và lưu lượng). MS và BS duy trì một danh sách các BS có liên quan trong FBSS với MS. Đây là tập hợp phân tập FBSS. MS quét các BS lân cận và chọn các BS thích hợp để đưa vào tập hợp phân tập. Trong số các BS trong tập hợp phân tập, một anchor BS được định nghĩa đã được xác định. Một handover FBSS là quyết định của một MS nhận hoặc phát dữ liệu từ một anchor BS mới trong tập hợp phân tập.

MS liên tục giám sát cường độ tín hiệu của BS của tập hợp phân tập và chọn một trong các BS này để trở thành anchor BS. Sự chuyển tiếp anchor BS này sang một anchor BS khác nghĩa là chuyển đổi BS được tiến hành và không trao đổi các thông báo truyền tín hiệu handover rõ ràng. Một yêu cầu quan trọng của FBSS là dữ liệu được truyền đồng thời đến tất cả thành viên của một tập hợp phân tập của các BS vốn có khả năng phục vụ MS.

FBSS hỗ trợ các BS truyền đại chúng thông báo DCD bao gồm H_Add Threshold và H_Deleete Threshold. Các ngưỡng (Threshold) này có thể được sử dụng bởi MS có khả năng FBSS để quyết định xem MOB_MSHO-REQ có nên được gởi để yêu cầu chuyển sang một anchor BS khác hoặc thay đổi tập hợp phân tập hay không.

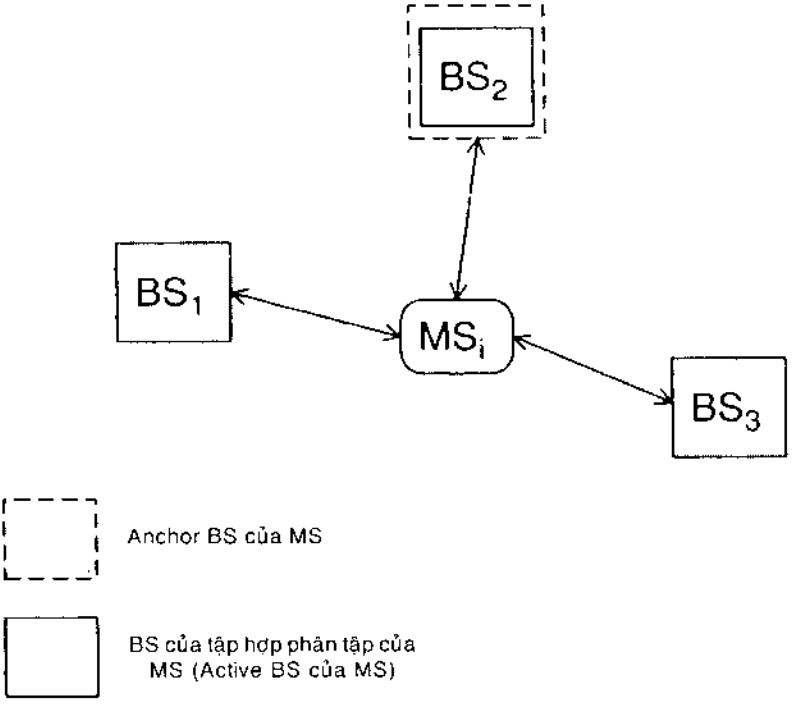
14.4.4 MDHO (Macro Diversity Handover)

Một MDHO quyết định cho một MS truyền sang và nhận từ nhiều BS cùng một lúc. Một MDHO có thể bắt đầu với các thông báo MOB_MSHO-REQ hoặc MOB_BSHO-REQ.

Khi hoạt động trong một MDHO, MS giao tiếp với tất cả BS trong tập hợp phân tập cho các thông báo lưu lượng unicast uplink và downlink (xem hình 14.4). Việc sử dụng sự phân tập truyền không giống nhau trong hai cuộc giao tiếp khác nhau.

Đối với một MDHO downlink hai hoặc nhiều BS cung cấp sự truyền dữ liệu downlink MS đồng bộ hóa để việc kết hợp phân tập đó có thể được tiến hành bởi MS.

Đối với một MDHO uplink, nội dung truyền từ một MS được nhận bởi nhiều BS sao cho sự phân tập chọn của thông tin được nhận bởi nhiều MS có thể được tiến hành.



Hình 14.4 : Minh họa một chế độ hoạt động MDHO.

Các BS có liên quan trong một MDHO hoặc tương đương là một thành viên của tập hợp phân tập MS MDHO, sử dụng cùng một tập hợp CID cho các nối kết vốn đã được thiết lập với MS. MAC/PHY PDU tương tự sẽ được gởi bởi tất cả BS có liên quan trong MDHO đến MS.

Quyết định tập hợp phân tập và tiến trình cập nhật anchor BS bắt đầu với các thông báo bởi MS (thông qua thông báo MOB_MSHOREQ) hoặc bởi BS (thông qua thông báo MOB_BSHO-REQ).

14.5 Các chế độ tiết kiệm năng lượng

IEEE 802.16 định nghĩa hai chế độ mở: Chế độ Sleep và chế độ Idle để có:

- Hoạt động MS có hiệu quả về điện.
- Một handover hiệu quả hơn.

Kết quả, chế độ hoạt động bình thường vốn hiện hữu trong 802.16-2004 được gọi là chế độ Active.

14.5.1 Chế độ Sleep

Trong trạng thái chế độ sleep, MS tiến hành các khoảng thời gian vắng mặt được thương lượng trước từ giao diện không khí BS phục vụ.

MS không có sẵn cho BS phục vụ (downlink và uplink) trong những khoảng thời gian này. Các mục tiêu của chế độ sleep như sau:

- Giảm thiểu việc sử dụng công suất MS.
- Giảm thiểu việc sử dụng các tài nguyên giao dịch không khí của base station phục vụ. Ngoài ra MS có thể quét các base station khác để thu nhập thông tin nhằm hỗ trợ handover trong chế độ sleep. Việc thực thi chế độ sleep thì tùy chọn cho MS và có tính bắt buộc BS.

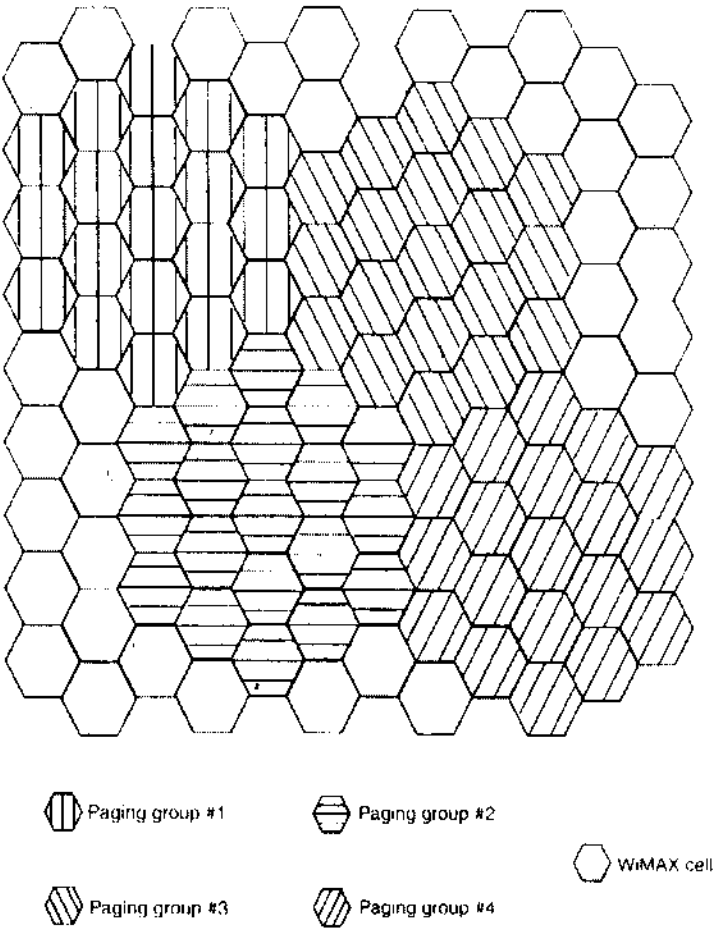
Đối với mỗi MS trong chế độ sleep, BS của nó duy trì một hoặc một số ngữ cảnh, mỗi ngữ cảnh liên quan đến một lớp tiết kiệm năng lượng chế độ sleep nhất định. Lớp tiết kiệm năng lượng là một nhóm nối kết có chung các thuộc tính yêu cầu. Có ba loại lớp tiết kiệm năng lượng khác nhau theo các tập hợp tham số của chúng, các thủ tục kích hoạt / hủy kích hoạt và các chính sách có sẵn MS để truyền dữ liệu. MOB_SLP-REQ (SLeeP Request Message) (được gởi bởi một MS hỗ trợ chế độ Sleep) và MOB_SLP-RSP (SLeeP Response Message (được gởi bởi BS) cho phép thực hiện một yêu cầu định nghĩa và / hoặc kích hoạt các lớp tiết kiệm năng lượng chế độ Sleep nhất định.

Khoảng thời gian không có sẵn của một MS là khoảng thời gian không trùng lắp với bất kỳ cửa sổ nghe nào của lớp tiết kiệm năng lượng hiện hành của MS này. Trong khoảng thời gian không có sẵn, BS không truyền đến MS do đó MS có thể tắt nguồn hoặc thực hiện những hoạt động khác vốn không đòi hỏi giao tiếp với BS, chẳng hạn như quét các BS lân cận, kết hợp với các BS lân cận... Trong các khoảng thời gian không có sẵn cho MS, BS có thể đệm hoặc (nó có thể loại bỏ) các MAC SDU được gởi đến các nối kết unicast được gởi đến MS.

14.5.2 Chế độ Idle

Mục đích chế độ Idle là một cơ cấu nhằm cho phép BS trở nên có sẵn theo định kỳ để gởi thông báo lưu lượng chuyển phát downlink mà không đăng ký tại một BS cụ thể khi MS đi qua một môi trường không khí có nhiều BS, thường trên một khu vực địa lý lớn. Chế độ Idle có lợi cho các MS bằng cách loại bỏ các yêu cầu hiện hành cho các handover và tất cả yêu cầu hoạt động bình thường của chế độ Active. Bằng cách giới hạn hoạt động MS chỉ trong việc quét tại các khoảng thời gian riêng biệt, chế độ Idle cho phép MS bảo toàn năng lượng và các nguồn tài nguyên hoạt động. Chế độ Idle cũng có lợi cho mạng và các BS bằng cách loại bỏ giao diện không khí và lưu lượng handover mạng từ các MS về cơ bản không hoạt động trong khi vẫn cung cấp một phương pháp (paging) đơn giản và nhanh để cảnh báo MS về lưu lượng downlink đang chờ xử lý.

BS được phân chia thành 4 nhóm logic được gọi là các nhóm paging. Mục đích của những nhóm này là cung cấp một vùng hoạt động liên tục (xem hình 14.5), trong đó MS không cần truyền trong uplink nhưng có thể page (nhắn tin) trong downlink nếu có lưu lượng nhắm vào nó. Các nhóm paging phải đủ lớn để hầu hết các MS sẽ vẫn nằm trong cùng một nhóm paging phần lớn thời gian và đủ nhỏ sao cho hao phí paging hợp lý. Một BS có thể là một thành viên của một hoặc nhiều nhóm paging.



Hình 14.5: Ví dụ về các nhóm paging

Thông báo MOB_PAG-ADV (BS broadcast PAGing) được gởi bởi BS trên Broadcast CID hoặc multicast CID chế độ Idle trong khoảng thời gian paging BS. Thông báo này xác định cho một số MS hỗ trợ chế độ Idle một yêu cầu tiến hành ranging để thiết lập vị trí và báo nhận một thông báo hoặc đi vào mạng. Một MS sẽ kết thúc chế độ

Idle và nhập vào mạng nếu nó giải mã một thông báo MOB_PAG-ADV vốn chứa địa chỉ MS MAC thành mã hành động 0b10 (Network Entry).

Việc khởi tạo chế độ Idle có thể bắt đầu sau khi hủy đăng ký MS. Trong hoạt động bình thường của chế độ Active với BS phục vụ của nó, một MS có thể gởi tín hiệu mục đích bắt đầu Idle bằng cách gởi một thông báo DREG-REQ với một De_Registration_Request_Code = 0 x 01, biểu thị một yêu cầu hủy đăng ký MS từ một BS phục vụ và khởi tạo chế độ MS Idle. Lúc khởi tạo chế độ MS Idle, một MS có thể tham gia chọn cell để nhận được một BS ưu tiên mới. BS ưu tiên là một BS lân cận mà MS đánh giá và chọn làm BS với các thuộc tính downlink giao diện không khí tốt nhất.

Chế độ Idle cũng có thể được khởi tạo bởi: BS phục vụ có một TLV khoảng thời gian REQ với một mã Action = 5 x 05 trong thông báo DREG-CMD, báo hiệu MS bắt đầu một yêu cầu chế độ Idle.

Chương 15

An ninh mạng WiMAX

15.1 Các thành phần an ninh được sử dụng trong chuẩn 802.16

Một hệ thống Wireless sử dụng kênh vô tuyến vốn là một kênh mở. Do đó, những thủ tục an ninh phải được bao hàm để bảo vệ tính bảo mật và tính toàn vẹn lưu lượng và để ngăn các cuộc tấn công an ninh mạng khác nhau chẳng hạn như đánh cắp dịch vụ. Lớp MAC IEEE 802.16 chứa một lớp con an ninh (xem các lớp giao thức trong chương 3). Lớp con (sublayer) này và những thủ tục chính của nó được mô tả trong chương này.

Giao thức Privacy Key Management (PKM), sau đó được gọi là PKM v1 được đưa vào lớp con an ninh chuẩn 802.16-2004 để phân bố an toàn dữ liệu khóa (keying) từ BS đến SS. Ngoài ra, PKM được sử dụng để áp dụng sự truy cập có điều kiện vào các dịch vụ mạng, làm cho nó trở thành giao thức xác thực, bảo vệ chúng không bị đánh cắp dịch vụ (hoặc khống chế dịch vụ) và cung cấp sự trao đổi khóa an toàn. Nhiều thuật toán mã hóa (mã hóa dữ liệu) được đưa vào lớp con an ninh chuẩn 802.16 để mã hóa dữ liệu gói qua mạng 802.16.

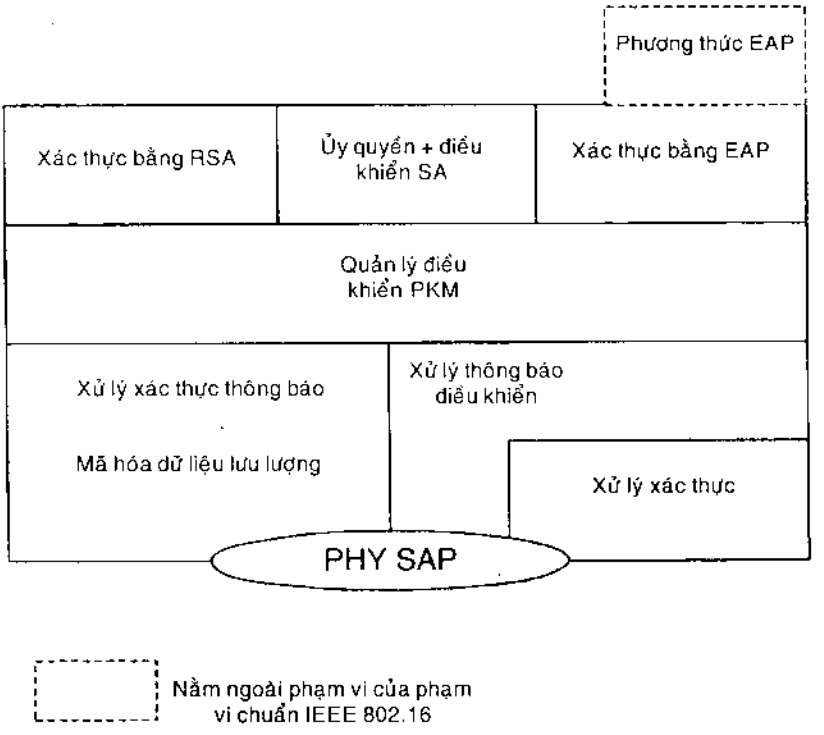
Lớp con Security đã được tái định nghĩa trong điểm sửa đổi IEEE 802.16e chủ yếu do việc 802.16-2004 có một lỗ hổng bảo mật (ví dụ không có sự xác thực của BS) và các yêu cầu an ninh cho những dịch vụ mobile không giống như các dịch vụ cố định. Lớp con Security có hai giao thức thành phần chính như sau:

- Một giao thức đóng gói dữ liệu (data encapsulation) để bảo an toàn dữ liệu gói qua mạng BWA cố định. Giao thức này định nghĩa một tập hợp bộ mật mã được hỗ trợ nghĩa là ghép đôi các thuật toán mã

hóa và xác thực dữ liệu và những quy tắc để áp dụng những thuật toán đó vào một payload (tải trọng) MAC PDU.

- Một giao thức quản lý khóa (PKM) cung cấp sự phân phối an toàn dữ liệu khóa từ BS đến SS. Thông qua giao thức quản lý khóa này, các SS và BS đồng bộ hóa dữ liệu. Ngoài ra BS sử dụng giao thức để thi hành sự truy cập có điều kiện đến các dịch vụ mạng. Điểm sửa đổi 802.16 định nghĩa PKMv2 với những tính năng cải tiến.

Lớp con Security của WiMAX như nó đã được tái định nghĩa trong IEEE 802.16e được minh họa trong hình 15.1. Các thành phần của hình này sẽ được mô tả trong chương này, đôi khi SS được biểu thị là MS.



Hình 15.1: Các thành phần lớp con Security.

15.1.1 Các thuật toán mã hóa

Nhiều thuật toán mã hóa được đưa vào lớp con Security của chuẩn 802.16. Chúng có thể được sử dụng để bảo vệ an toàn sự trao đổi khóa mã hóa và để mã hóa dữ liệu vận chuyển. Một số thuật toán này là tùy chọn trong một số ứng dụng.

Các thuật toán mã hóa được đưa vào 802.16 là:

- RSA (Rivest Shamir Adleman). RSA là một thuật toán mã hóa không đối xứng khóa chung (public-key) được sử dụng để mã hóa thông báo Authorisation Reply bằng cách sử dụng khóa chung SS. Thông báo Authorisation Reply bao gồm Authorisation Key (AK). RSA cũng được sử dụng để mã hóa các khóa lưu lượng khi những khóa này được truyền từ BS đến SS.
- DES (Data Encryption Standard). DES và 3-DES là các thuật toán mã hóa khóa "mật" chia sẻ. Thuật toán DES có thể được sử dụng để mã hóa dữ liệu lưu lượng. Nó bắt buộc cho thiết bị 802.16. Thuật toán 3-DES có thể được sử dụng để mã hóa các khóa mã hóa lưu lượng.
- AES (Advanced Encryption Standard). Thuật toán AES là thuật toán mã hóa khóa (mật) chia sẻ. Thuật toán AES được sử dụng để mã hóa dữ liệu lưu lượng và cũng có thể được sử dụng để mã hóa các khóa lưu lượng. Việc thực thi nó là tùy chọn.

  Các thuật toán mật mã cũng được đưa vào 802.16:
- HMAC (Hashed Message Authentication Code) và CMAC (Cipher-based Message Authentication Code). HMAC và CMAC được sử dụng để xác thực thông báo và kiểm soát tính toàn vẹn.

15.1.2 Chứng nhận (Certificate) X.509

ITU-T X.509 (trước đây là CCITT X.500) hoặc ISO/IEC 9594-8 đã được xuất bản đầu tiên trong năm 1988 như là một phần của các đề xuất thư mục X.500, định nghĩa một dạng chứng nhận (certificate) chuẩn được sử dụng trong IETF RFC 3280 được sử dụng trong chuẩn 802.16 (trích dẫn RFC 2459 của IETF).

Chuẩn 802.16 cho biết rằng các SS phù hợp 802.16 phải sử dụng các dạng chứng nhận X.509 Version 3 cung cấp một hạ tầng khóa chung được sử dụng cho việc xác thực an ninh. Mỗi SS mang một chứng nhận số X.509 duy nhất được phát hành bởi nhà sản xuất SS được gọi là chứng nhận SS X.509. Chính xác hơn, chứng nhận này được phát hành và được ký bởi một Certification Authority (CA) và được cài đặt bởi nhà sản xuất. Chứng nhận số digital certificate này chứa khóa chung SS RSA và địa chỉ SS MAC.

Mỗi SS có một chứng nhận CA nhà sản xuất X.509 được phát hành bởi nhà sản xuất hoặc một cơ quan có thẩm quyền bên ngoài. Sau đó khóa chung của nhà sản xuất được đặt trong chứng nhận CA nhà sản xuất X.509 này vốn lần lượt được ký tên bởi một CA cấp cao hơn. CA cấp cao hơn này dường như không được định nghĩa rõ ràng trong trong phiên bản hiện tại của chuẩn. Sau đó, có hai loại X.509: các

chứng nhận SS X.509 và chứng nhận CA nhà sản xuất X.509. Trong chuẩn 802.16-2004, có một chứng nhận X.509 cho BS.

Các trường chính của chứng nhận X.509 là:

- Phiên bản chứng nhận X.509 luôn được xác lập sang v3 khi được sử dụng trong chuẩn 802.16.
- Số serial chứng nhận là một số nguyên duy nhất mà CA phát hành gán cho chứng nhận.
- Thuật toán chữ ký (signature) là một định danh đối tượng và các tham số được chọn xác định thuật toán được sử dụng để ký tên chứng nhận.
- Giá trị chữ ký là chữ ký số được tính toán trên tbs Certificate ("to be signed Certificate") được mã hóa bởi ASN.1.DER. Chuẩn cho biết rằng thuật toán chữ ký RSA với SHA-1 (Security Hash Algorithm) được sử dụng cho cả hai loại chứng nhận.
- Nơi phát hành chứng nhận là Distinguished Name (DN) của CA vốn đã phát hành chứng nhận.
- Tính hợp lệ của chứng nhận là khi nào chứng nhận được kích hoạt và khi nào nó hết hạn.
- Chủ đề chứng nhận là DN thực thể có khóa chung được chứng nhận trong trường thông tin khóa chung chủ đề. Tên quốc gia, tên tổ chức và địa điểm sản xuất là nhưng thuộc tính của chủ đề chứng nhận. Một thuộc tính khác là tên cho CA hoặc cho SS, địa chỉ MAC chung 48 bit của nó (xem chương 8) và số serial của nó. Địa chỉ MAC được sử dụng để nhận dạng SS cho các server dự trữ khác nhau trong quá trình khởi tạo.
- Trường Certificate Subject Public Key Info chứa nội dung khóa chung (khóa chung và các tham số) và định danh của các thuật toán mà khóa được sử dụng. Đây là nội dung chính của chứng nhận X.509.
- Các trường tùy chọn cho phép tái sử dụng các tên nơi phát hành theo thời gian.
- Các phần mở rộng chứng nhận là dữ liệu phần mở rộng (extension).

BS sử dụng khóa chung chứng nhận X.509 của một SS để kiểm chứng tính xác thực của chứng nhận này và sau đó xác thực SS. Điều này được thực hiện bằng cách sử dụng giao thức PKM (xem phần 15.2 bên dưới). Thông tin an ninh này cũng xác thực các phản hồi được nhận bởi SS.

15.1.3 Các khóa mã hóa và Security Association (SA)

An ninh chuẩn 802.16 sử dụng nhiều khóa mã hóa. Các khóa mã hóa được định nghĩa trong 802.16-2004 được liệt kê trong bảng 15.1, trong đó ký hiệu và số bít trong mỗi khóa được cho. Một danh sách

không toàn diện về các khóa được sử dụng trong giao thức PKMv2 xem xét điểm sửa đổi 802.16e được đề xuất trong bảng 15.2.

Bảng 15.1: Các khóa mã hóa được sử dụng trong chuẩn 802.16, trong phiên bản 802.16-2004 của nó đó là PKMv1.

Khóa mã hóa	Ký hiệu	Số bit	Mô tả
Khóa xác thực (Authorisation Key)	AK	160	Xác thực một SS bởi khóa chia sẻ BS của nó được sử dụng để bảo vệ thêm các giao dịch và tạo thời gian sống của các khóa mã hóa giữa 1 và 70 ngày.
Khóa mã hóa khóa (Key Encryption Key)	KEK	128	3-DES được sử dụng để mã hóa TEK
Khóa mã hóa lưu lượng (Traffic Encryption Key)	TEK	128	Khóa mã hóa dữ liệu. Thời gian sống giữa 30 phút và 7 ngày.
Khóa HMAC cho downlink	HMAC_KEY_D	160	Được sử dụng để xác thực các thông báo theo hướng downlink.
Khóa HMAC cho uplink	HMAC_KEY_U	160	Được sử dụng để xác thực các thông báo theo hướng uplink.
Khóa HMAC trong chế độ Mesh	HMAC_KEY_S		Được sử dụng để xác thực các thông báo theo chế độ Mesh.

Bảng 15.2: Các khóa chính được sử dụng trong chuẩn 802.16 sau điểm sửa đổi 802.16e.

Tên	Ý nghĩa	Phiên bản PKM	Ghi chú
PMK	Pairwise Master Key	2	Có được từ sự xác thực EAP.
PAK	Primary Authorisation	2	Có được từ sự ủy quyền bằng RSA.
AK	Authorisation Key	1 và 2	Xác thực giữa một SS và một BS. Trong trường hợp của PKMv2, có được từ PMK hoặc PAK.
KEK	Key Encryption Key	1 và 2	Sử dụng để mã hóa TEK.
TEK	Traffic Encryption Key	1 và 2	Được sử dụng để mã hóa dữ liệu
GKEK	Group Key Encryption Key	2	Được sử dụng để mã hóa GTEK
GTEK	Group Traffic Encryption Key	2	Được sử dụng để mã hóa các gói dữ liệu multicast.
MAK	MBS Autharisation Key	2	Xác thực cho MBS
MGTEK	MBS Group Traffic Encryption Key	2	Được sử dụng để tạo MTK với MAK.
MTK	MBS Traffic Key	2	Bảo vệ lưu lượng MBS. Có được từ MAK và MGTEK.

H/CMCA/KEY_D	1 và 2	Bảo đảm tính toàn vẹn thông báo cho downlink.
H/CMAC_KEY_U	1 và 2	Bảo đảm tính toàn vẹn thông báo cho uplink.

Chuẩn định nghĩa Security Association (SA) là một tập hợp thông tin an ninh trong một BS và một hoặc nhiều SS client (hoặc MS) của nó chia sẻ để hỗ trợ các cuộc giao tiếp an toàn. Thông tin chia sẻ của một SA bao gồm Cryptographic được sử dụng trong SA. Cryptographic là tập hợp phương thức SA để mã hóa dữ liệu, xác thực dữ liệu và trao đổi TEK. Nội dung chính xác của SA phụ thuộc vào Cryptographic Suite của SA: Các khóa mã hóa, thời gian sống của các khóa... Security Association Identifier (SAID) là một định danh 16 bit được chia sẻ bởi BS và MS vốn nhận dạng duy nhất một SA. Có ba loại security association (kết hợp an ninh): SA cho các nối kết unicast, Group Security Association (GSA) cho các nhóm muliticast và MBS Group Security Association (MBSGSA) cho các dịch vụ MBS.

Các SA được quản lý bởi BS. Khi sự kiện xác thực xảy ra, BS cho SS một danh sách Security Association kết hợp với nối kết của nó. Nói chung một SS có một Security Association (một sự kết hợp "chính") cho nối kết quản lý phụ của nó và thêm hai nối kết quản lý cho các liên kết downlink và uplink. Sau đó, BS có thể xác định một hoặc nhiều SA mới cho SS.

Các SA tĩnh được dự trữ trong BS. Các SA động được tạo và bị xóa khi được yêu cầu nhằm phản hồi lại việc khởi tạo và kết thúc các service flow.

15.2 Xác thực và giao thức PKM

Lớp con an ninh của IEEE 802.16 sử dụng một giao thức quản lý khóa lên server được xác thực trong đó BS, server, điều khiển việc phân phối nội dung khóa cho client SS. Sau đó, an ninh được dựa vào giao thức PKM (Privacy Key Management). BS xác thực một client SS trong quá trình trao đổi ủy quyền ban đầu (xem chương 11) bằng cách sử dụng sự xác thực SS bằng chứng nhận số (digital-certificate). Giao thức PKM sử dụng mật mã khóa chung để thiết lập một khóa mật chia sẻ giữa SS và BS. SS cũng sử dụng giao thức PKM để hỗ trợ việc tái ủy quyền và làm mới khóa định kỳ.

Nếu trong quá trình thương lượng các khả năng (xem mục 11.6), SS xác định rằng nó không hỗ trợ an ninh IEEE 802.16, các thủ tục uy quyền và trao đổi khóa trong Network Entry được bỏ qua, nghĩa là trao đổi khóa và mã hóa dữ liệu không được thực hiện. Chuẩn cho biết rằng nếu được dự trữ theo cách này, BS sẽ xem xét SS đã được xác thực; nếu không SS không được phục vụ.

Điểm sửa đổi 802.16e đã định nghĩa PKMv2 với những tính năng cải tiến. Bảng 15.3 tóm tắt những điểm khác biệt chính giữa hai phiên bản PKM.

Bảng 15.3: Điểm khác biệt chính giữa PKMv1 và PKMv2.

Tính năng	PKMv1	PKMv2
Authentication (xác thực)	Xác thực một chiều bằng RSA: BS xác thực SS	Xác thực lẫn nhau, hỗ trợ hai phương pháp xác thực: EAP và RSA.
Security Association	Một họ SA: Unicast gồm ba loại security association: primary (chính), dynamic (động) và static (tĩnh)	Họ SA: Unicast, Group Security Association và MBS Security Association. Gồm ba loại security association giống như PKMv1.
Trao đổi khóa	Sử dụng ba thuật toán mã hóa: 3-DES, RSA và AES.	Phương pháp mã hóa mới được thực thi: AES with Key Wrap.
Mã hóa dữ liệu	Hai thuật toán khác nhau được định nghĩa trong chuẩn: * DES trong chế độ CBC * AES trong chế độ CCM	Sử dụng những thuật toán tương tự cộng với AES trong CRT và AES trong việc thực thi chế độ CBC.
Những bổ sung khác		Quản lý an ninh cho: * Lưu lượng truyền phát * Lưu lượng MBS Định nghĩa một thủ tục xác thực trước trong trường hợp của handover.

Đầu tiên các thông báo quản lý MAC giao thức PKM 802.16 được mô tả và sau đó là việc sử dụng những thông báo này và các chứng nhận số X.509 để xác thực và trao đổi nội dung khóa.

15.2.1 Các thông báo quản lý MAC giao thức PKM

Giao thức PKM có hai thông báo quản lý MAC loại chung (generic) trong chuẩn 802.16:

- PKM Request (PKM-REQ). Thông báo PKM-REQ đóng gói một thông báo PKM trong payload thông báo của nó. Nó luôn được gởi từ SS đến BS.
- PKM Response (PKM-RSP). Thông báo PKM-RSP đóng gói một thông báo PKM trong payload thông báo của nó. Nó luôn được gởi từ BS đến SS.

Cả hai PKM-REQ và PKM-RSP sử dụng nối kết quản lý chính (primary) với ngoại lệ khi BS gởi thông báo PKM-RSP đến SS cho một dịch vụ multicast hoặc dịch vụ broadcast, nó có thể được tải trên nối kết broadcast. Các dạng chung của các thông báo PKM-REQ và PKM-RSP được minh họa trong hình 15.2, 15.3 và bảng 15.3.

Loại thông báo quản lý (= 9 cho PKM-REQ)	Mã (8 bit)	Định danh PKM (8 bit)	Thông tin được mã hóa bởi TLV

Hình 15.2: Dạng thông báo quản lý MAC PKM-REQ.

Loại thông báo quản lý (= 10 đối với PKM-RSP)	Mã (8 bit)	Định danh PKM (8 bit)	Thông tin được mã hóa bởi TLV

Hình 15.3: Dạng thông báo quản lý MAC PKM-RSP.

Bảng 15.4 tóm tắt các tham số thông báo quản lý MAC PKMv1 của chuẩn 802.16 và các phần mô tả. Các mã thông báo PKM-REQ và PKM-RSP được bổ sung cho PKMv2 được tìm thấy trong bảng 26 của phần tham khảo.

Bảng 15.4 : Các tham số và phần mô tả thông báo quản lý PKM MAC. Trường Core Code xác định loại của nó.

Loại thông báo giao thức PKM	Thông báo MAC (mã)	Tham số thông báo	Mô tả
Authorisation Info	PKM-REQ (12)	Chứng nhận X.509 của CA nhà sản xuất đã phát hành chứng nhận SS X.509	CA ngoài phát hành những chứng nhận SA này cho các nhà sản xuất SS.
Authorisation Request	PKM-REQ (4)	Chứng nhận người dùng SS X.509 yêu cầu các tính năng an ninh SS, SAID chính của SERVER	Yêu cầu một AK và một danh sách SA.
Authorisation Reply	PKM-RSP (5)	AK, thời gian sống AK và số trình tự, bộ mô tả SA	
Authorisation Reject	PKM-RSP (6)	Error Code (mã lỗi)	BS từ chối yêu cầu ủy quyền (Authorisation Request) SS.
Authorisation Invalid	PKM-RSP (10)	Error Code xác định lý do cho Authorisation Invalid (một khả năng như không có AK hợp lệ được kết hợp với SS yêu cầu)	Ra lệnh SS nhận tái xác thực BS của nó.
Key Request	PKM-REQ (7)	Số trình tự AK, SAID, HMAC-Digest (Keyed SHA message digest)	Yêu cầu một TEK cho một SA được thiết lập.
Key Reply	PKM-RSP (8)	Tất cả nội dung khóa tương ứng với một việc tạo cụ thể một SIAD TEK	Tải 2 TEK cho SAID Encrypted được quan tâm (sử dụng thuật toán 3-DES) với một KEK.

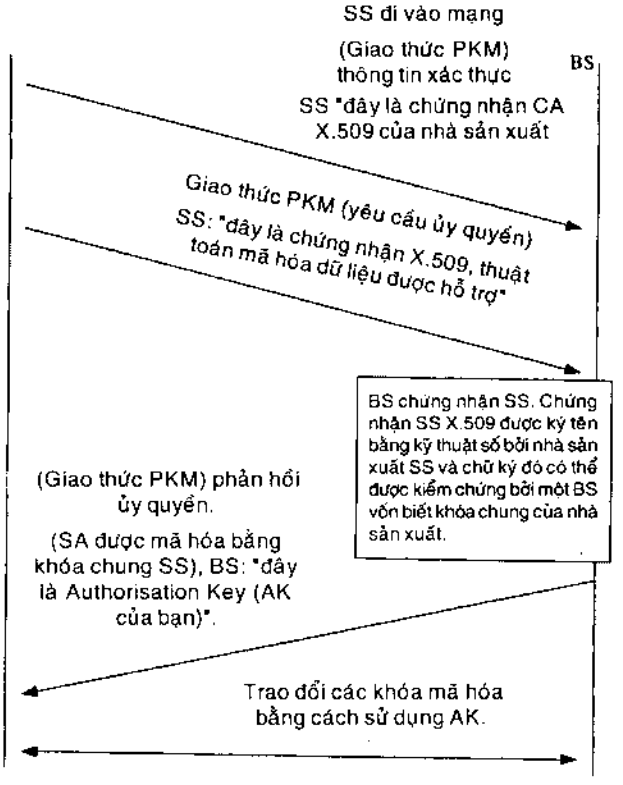
Key Reject	PKM-RSP (9)	Trình tự AK, SAID, Error Code, HMCA-Digst để xác thực thông báo	Xác định SS client nhận không còn được xác thực nữa cho một SAID cụ thể.
TEK Invalid	PKM-RSP (11)	Số trình tự AK, SAID, Error Code, HMCA-Digst để xác thực thông báo	Cho một client SS biết rằng BS đã quyết định SS đã mã hóa một PDU uplink với một TEK không hợp lệ.
SA Add	PKM-RSP (3)	AK, số trình tự, SAID, Error Code, HMCA-Digst để xác thực thông báo	Thiết lập một hoặc nhiều SA.

15.2.2 PKMv1: BS xác thực SS và sau đó cung cấp cho nó nội dung khóa

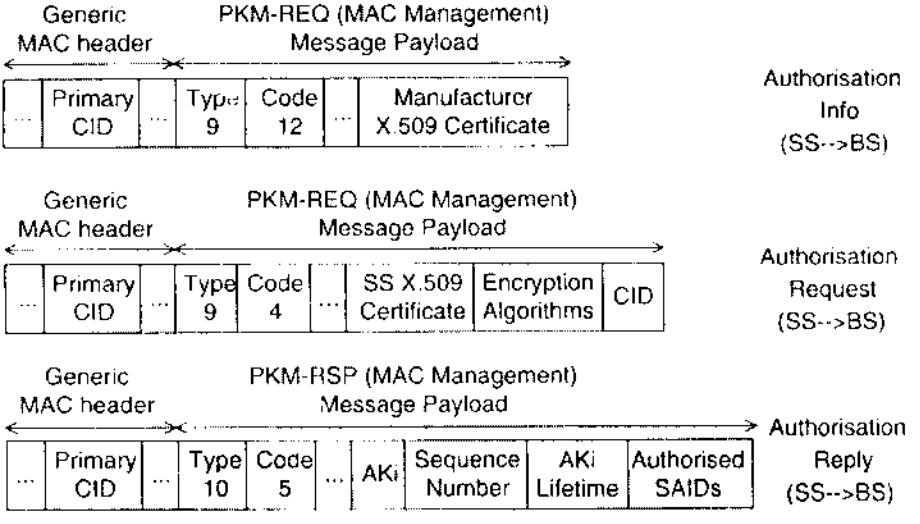
Sau khi thương lượng khả năng, BS xác thực SS và cung cấp cho nó cài đặt khóa để cho phép mã hóa dữ liệu. Tất cả SS có các cặp khóa riêng / chung RSA được cài đặt tại xưởng hoặc cung cấp thuật toán nội tại để tạo động các cặp khóa như vậy. Các SS có các cặp khóa RSA được cài đặt tại xưởng cũng có các chứng nhận X.509 được cài đặt tại xưởng. Các SS vốn phụ thuộc vào những thuật toán nội tại để tạo một cặp khóa RSA hỗ trợ một cơ cấu để cài đặt một chứng nhận X.509 do nhà sản xuất phát hành theo sau việc tạo khóa.

Sau đó, mỗi SS có một chứng nhận X.509 duy nhất được phát hành bởi nhà sản xuất SS. Chứng nhận số SS X.509 chứa khóa chung SS và địa chỉ SS MAC. Chứng nhận SS X.509 là một chứng nhận khóa chung vốn liên kết thông tin nhận dạng 55 với khóa chung RSA của nó theo một cách có thể kiểm chứng. AK là một khóa mật có được từ nhà vận hành. Khi yêu cầu một AK, một 55 trình chứng nhận số của nó cho BS. Chứng nhận SS X.509 được ký tên bằng kỹ thuật số bởi nhà sản xuất SS và chữ ký đó có thể được kiểm chứng bởi một BS vốn biết khóa chung của nhà sản xuất.

Khi yêu cầu một AK (Authorisation Key), một SS trình chứng nhận số X.509 của nó và một phần mô tả của các thuật toán mật mã được hỗ trợ cho BS. AK là một khóa mật chia sẻ được sử dụng để bảo vệ thêm các giao dịch. BS kiểm chứng chứng nhận số, quyết định thuật toán mã hóa vốn nên được sử dụng và sau đó gởi một phản hồi xác thực đến SS. Khóa chung được kiểm chứng và sử dụng để mã hóa AK bằng cách sử dụng thuật toán R5A. Sau đó BS gởi AK được mã hóa bằng khóa chung RSA này đến SS yêu cầu. Thủ tục xác thực và việc trao đổi khóa đầu tiên được minh họa trong hình 15.4 và được nêu chi tiết trong phần tiếp theo. Các thông báo quản lý PKM MAC được mô tả ở trên được sử dụng để xác thực và trao đổi khóa đầu tiên (xem phần minh họa trong hình 15.5).



Hình 15.4: Cấp phát khóa xác thực và ủy quyền bởi BS. BS là server còn SS là client.



Hình 15.5: Các thông báo quản lý MAC như được sử dụng để xác thực bằng giao thức PKM và trao đổi khóa trong chuẩn 802.16. Một số tham số được trình bày.

SS gởi thông báo PKM Authorisation Information. Thông báo này chứa chứng nhận X.509 của nhà sản xuất của nó. Thông báo Authorisation Information hoàn toàn là một thông báo mà SS gởi đến BS; với nó, một BS có thể nhận biết động chứng nhận của nhà sản xuất của client SS.

Sau đó, SS gởi một thông báo PKM Authorisation Request chứa chứng nhận SS X.509, SAID chính của SS và một phần mô tả về khả năng an ninh của nó (kể cả các thuật toán mã hóa mà nó hỗ trợ). Khóa chung của nhà sản xuất được đặt trong một chứng nhận X.509 Certification Authority (CA) vốn lần lượt được ký tên bởi một CA cấp cao hơn. BS kiểm chứng nhận số và sau đó sử dụng khóa chung được xác thực để mã hóa một AK. Sau đó, BS gởi AK này đến SS yêu cầu với một thông báo PKM Authorisation Response. Việc sử dụng các chứng nhận X.509 ngăn các SS bản sao không chuyển các thông tin ủy nhiệm giả mạo đến một BS. Việc sử dụng một số trình tự ngăn cái được gọi là replay attack (cuộc tấn công phát lại).

Là một phần trao đổi ủy quyền của chúng, SS cung cấp cho BS một danh sách tất cả bộ mật mã (cập thuật toán mã hóa dữ liệu và xác thực dữ liệu) mà SS hỗ trợ. BS chọn từ danh sách này một bộ mật mã (cryptographic suite) để sử dụng với SA chính của SS yêu cầu và gởi thông tin này trong thông báo Authorisation Replay. Sau thủ tục này, SS được yêu cầu thực hiện các thủ tục xác thực và trao đổi khóa theo định kỳ để làm mới nội dung khóa của nó.

Rõ ràng sự xác thực một chiều này (SS không xác thực BS) là một điểm yếu an ninh vì có thể có các BS tinh quái. Vấn đề này đã được giải quyết bằng PKMv2.

15.2.3 Xác thực lẫn nhau như được định nghĩa trong 802.16e

Giao thức PKMv2 sử dụng cùng một nền tảng như PKMv1. một trong những điểm khác biệt chính là sự xác thực (authentication): PKMv2 sử dụng sự xác thực lẫn nhau, nghĩa là MS cũng xác thực BS để ngăn kết nối với một BS "giả". Sự xác thực lẫn nhau BS và MS là tiến trình:

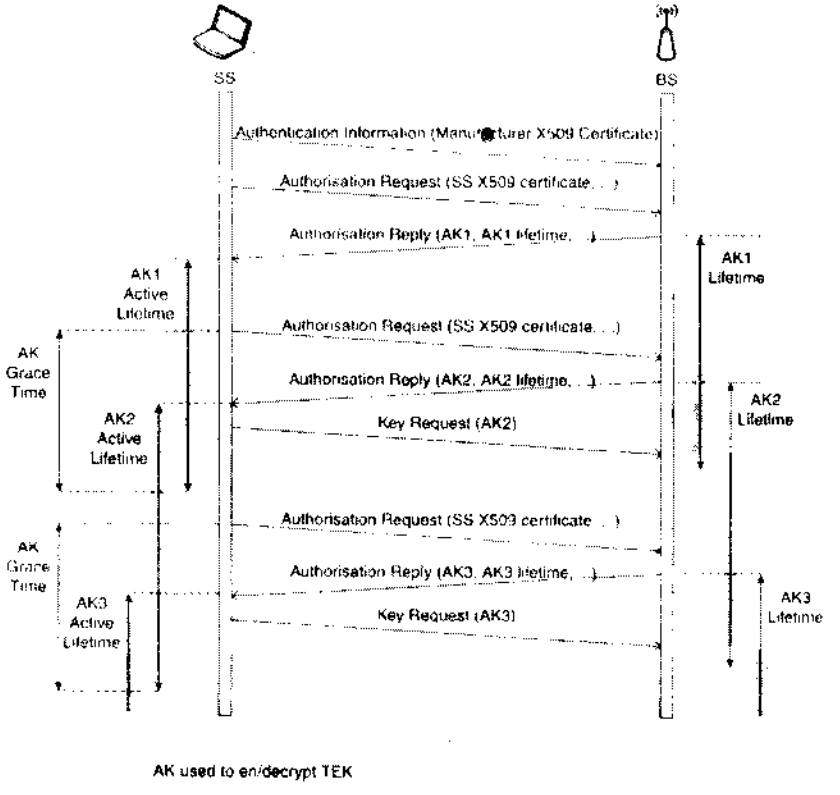
- BS xác thực thông tin nhận dạng MS của một client.
- MS xác thực thông tin nhận dạng BS.
- BS cung cấp cho MS được xác thực một AK.
- BS cung cấp cho MS được xác thực các thông tin nhận dạng (định danh) và những thuộc tính của các SA chính và tĩnh.

Giao thức quản lý khóa sử dụng các chứng nhận số X.509 hoặc EAP để xác thực. Do đó, hai cơ cấu giao thức xác thực riêng biệt được hỗ trợ bởi PKMv2:

- Xác thực RSA. Giao thức này dựa vào các chứng nhận X.509.
- Xác thực Extensible Authentication Protocol (EAP). EAP sử dụng các loại thông tin ủy nhiệm cụ thể (subscriber identity module, password, dựa vào token, chứng nhận X.509 hoặc những thứ khác) phụ thuộc vào phương thức EAP được thực thi. Các phương thức EAP sẽ được sử dụng nằm bên ngoài phạm vi của chuẩn. Tuy nhiên chuẩn ấn định rằng phương thức EAP được chọn sẽ đáp ứng các tiêu chuẩn bắt buộc được liệt kê trong mục 2.2 của RFC 4017. Bây giờ dường như EAP-TLS là thuật toán EAP duy nhất đáp ứng những tiêu chuẩn này.

15.2.4 Quản lý Authorisation Key (AK)

BS chịu trách nhiệm duy trì thông tin khóa của tất cả SA của nó. Chuẩn ấn định rằng PKMv1 sử dụng mật mã khóa chung để thiết lập một khóa mật chia sẻ (nghĩa là một AK) giữa SS và BS. Đối với việc tạo PKMv2 hãy xem bên dưới. Giao thức PKM có một cơ cấu để đồng bộ hóa thông tin khóa này giữa một BS (srever) và client SS của nó. Thủ tục này được minh họa trong hình 15.6 và được nêu chi tiết trong mục tiếp theo.



Hình 15.6: Quản lý các khóa ủy quyền (Authorisation Key) giữa BS và một SS.

Như được đề cập ở trên, việc BS nhận trước tiên một thông báo Authorisation Request từ một SS không được ủy quyền sẽ bắt đầu kích hoạt một AK mới mà BS gởi trở về SS yêu cầu trong một thông báo Authorisation Replay. AK này được kích hoạt cho đến khi nó hết hạn theo thời gian sống AK ấn định sẵn của nó. Tham số này được thông báo Authorisation Replay. Nếu một SS không thể tái ủy quyền trước khi AK hiện hành của nó hết hạn, BS xem SS này là không được ủy quyền và sau đó không còn giữ một AK active (hiện hành) cho nó nữa.

SS có trách nhiệm yêu cầu ủy quyền với BS của nó và duy trì một active AK. Một SS làm mới AK của nó bằng cách tái cấp phát một Authorisation Request. Một khoảng thời gian chuyển tiếp AK bắt đầu khi SS nhận một thông báo Authorisation Request từ một SS và BS có một active AK cho SS đó. Để phản hồi lại Authorisation Request, BS kích hoạt một KA thứ 2 và gởi nó trở lại SS yêu cầu trong một thông báo Authorisation Reply. BS xác lập thời gian sống hiện hành của AK thứ hai này sang thời gian sống còn lại của AK thứ nhất cộng với thời gian sống AK ấn định sẵn do đó khóa thứ hai (mới hơn) vẫn hoạt động trong một thời gian sống AK ngoài việc khóa thứ nhất đã hết hạn. Sau khi thực hiện sự ủy quyền, một SS bắt đầu một liên kết được mã hóa mới cho tầng SAID được nhận dạng trong thông báo Authorisation Reply. SS gởi một thông báo quản lý khi Request MAC được mã hóa bằng AK mới (xem hình 15.6) hai khóa hiện hành có các thời gian sống chồng chéo. BS có khả năng hỗ trợ hai AK hoạt động đồng thời cho mỗi client xếp trong một khoảng thời gian chuyển tiếp AK. Khoảng thời gian chuyển tiếp khóa kết thúc với việc hết hạn của khóa cũ hơn.

Một SS lập thời biểu việc bắt đầu tái ủy thác dựa vào thời gian có thể cấu hình được định nghĩa trong chuẩn là Authorisation Grace Time, trước khi AK mới nhất của SS được lập thời biểu để hết hạn. Authorisation Grace Time được cấu hình để cung cấp cho SS một thời hạn thử lại ủy quyền đủ dài nhằm cho phép các khoảng thời gian trễ hệ thống và cung cấp đủ thời gian để SS hoàn tất thành công một cuộc trao đổi ủy quyền trước khi AK hiện hành nhất của nó hết hạn. BS không cần biết Authorisation Grace Time. BS chỉ phải theo dõi thời gian sống của các AK của nó và hủy kích hoạt tầng AK này khi nó hết hạn. Một AK được sử dụng để tạo các khóa mã hóa dành cho những cuộc trao đổi thêm nữa như được mô tả trong mục tiếp theo.

15.2.5 Quản lý Authorisation Key trong PKMv2

Do PKMv2, có hai giao thức xác thực khác nhau (dựa trên RSA hoặc EAP) và hai nguồn nội dung chính: RSA và EAP.

15.2.5.1 Ủy quyền bằng RSA

Tiến trình ủy quyền bằng RSA đạt được Pre-PAK (Pre-Primary AK) như được mô tả ở trên. Được gởi bởi BS đến MS được mã hóa bằng khóa chung của chứng nhận MS. Pre-PAK được sử dụng để tạo PAK.

15.2.5.2 Xác thực bằng EAP

Một sự ủy quyền lẫn nhau RSA có thể xảy ra trước khi trao đổi EAP. Trong trường hợp đó, các thông báo EAP có thể được bảo vệ bởi một EIK (EAP Integrity Key) được dẫn xuất từ Pre-PAK. Sản phẩm của việc trao đổi EAP là MSK (Master Key). MS và bộ xác thực (authenticator) dẫn xuất một PMK bằng cách cắt xén MSK và một EIK tùy chọn.

Để ngăn một cuộc tấn công trung gian, MS và BS phải thương lượng một chế độ EAP kép (còn được gọi là EAP được xác thực sau EAP) và sử dụng EIK được tạo trong vòng đầu tiên của EAP.

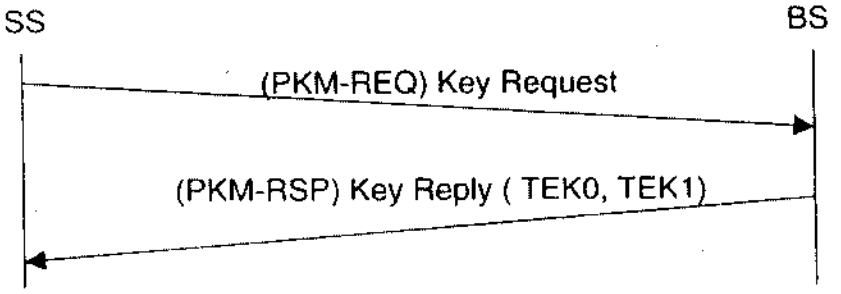
15.2.5.3 Dẫn xuất AK

AK được dẫn xuất bởi BS và MS bằng cách sử dụng PMK (từ thủ tục ủy quyền bằng EAP) hoặc PAK (từ một thủ tục ủy quyền RSA).

15.3 Mã hóa dữ liệu

Mã hóa có thể được áp dụng vào payload MAC PDU. Header MAC generic không bao giờ được mã hóa. Tất cả thông báo quản lý MAC được gởi thông suốt để làm dễ dàng việc đăng ký, ranging (xác định phạm vi) và hoạt động bình thường của lớp MAC. Chỉ các nối kết quản lý phụ và các nối kết quản lý mới được mã hóa.

Giao thức PKM sử dụng các chứng nhận số X.509, thuật toán mã hóa khóa chung RSA và các thuật toán mã hóa mạnh để tiến hành các cuộc trao đổi khóa giữa SS và BS. Sau khi sử dụng PKM làm một mật mã khóa chung để thiết lập một khóa mật chia sẻ (AK) giữa SS và BS, khóa mật này được sử dụng để bảo vệ thêm các cuộc trao đổi TEK (Traffic Encryption Keys) của PKM. AK được sử dụng để tạo một Key Encryption Key (KEK) và các khóa được xác thực thông báo như được mô tả bây giờ. Hoạt động chính là SS hỏi BS về các khóa mã hóa (xem hình 15.7). Việc sử dụng khóa mật chia sẻ, AK cho một cơ cấu hai tầng để phân phối khóa (được mô tả trong mục tiếp theo) cho phép các TEK làm mới mà không đòi hỏi sự hao phí của các hoạt động cần nhiều tính toán.



Hình 5.7: SS hỏi BS về các khóa mã hóa TEK0 và TEK1

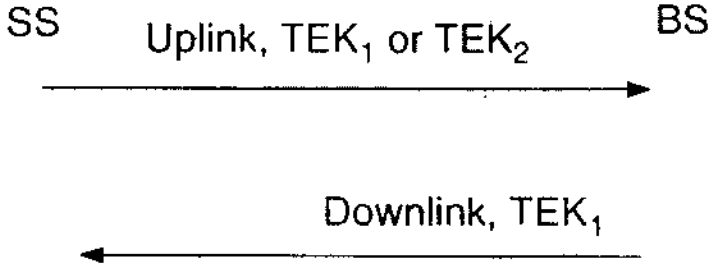
15.3.1 Tạo các khóa mã hóa

Vào mọi thời điểm, BS duy trì hai tập hợp tạo nội dung khóa hiện hành mỗi SA (hoặc tương dương mỗi SAID). Một tập nội dung khóa bao gồm một TAK và các vector khởi tạo tương ứng của nó (phụ thuộc vào thuật toán mã hóa). Đối với AK, một tập hợp tương ứng với việc tạo nội dung khóa cũ hơn trong khi tập hợp thứ hai tương ứng với việc tạo nội dung khóa mới nhất. BS phân phối cả hai lần tạo nội dung khóa hiện hành cho một client SS. Điều này được thực hiện sau khi SS yêu cầu một TEK bằng thông báo Key Request. Thông báo Key Replay chứa hai thuộc tính tham số TEK, mỗi thuộc tính chứa nội dung khóa cho một trong hai tập hợp nội dung khóa hiện hành của SAID.

BS sử dụng hai TEK hiện hành một cách khác nhau phụ thuộc vào việc TEK được sử dụng cho lưu lượng downlink hoặc uplink. Đối với tầng SAID của nó, BS sử dụng hai TEK hiện hành theo những quy tắc sau đây (được minh họa trong hình 15.8):

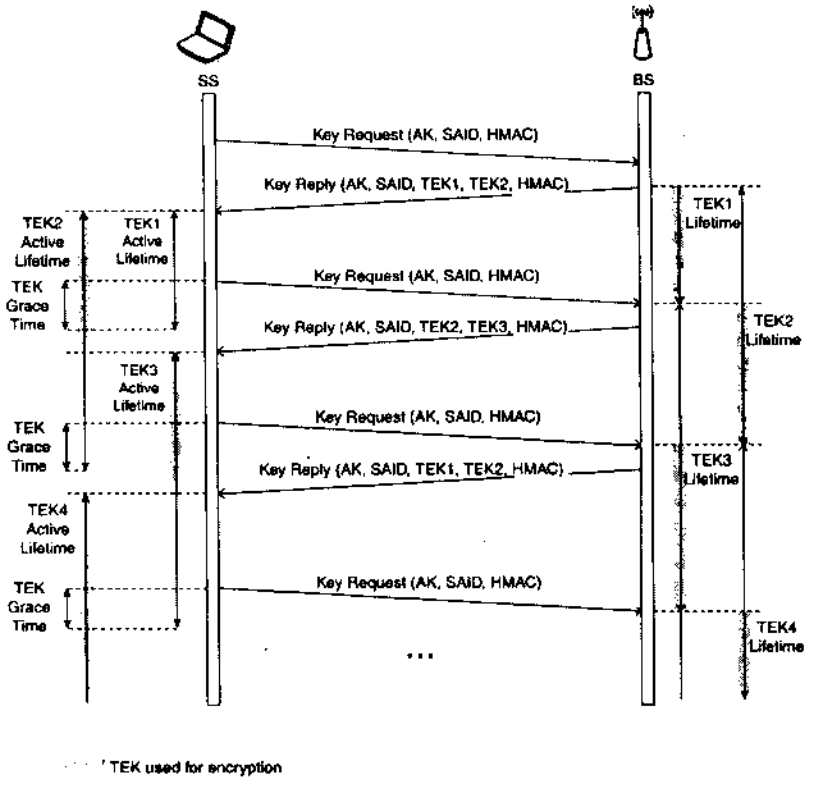
1. BS sử dụng TEK cũ hơn trong hai TEK hiện hành để mã hóa lưu lượng downlink.

2. BS giải mã lưu lượng uplink bằng cách sử dụng TEK cũ hơn hoặc mới hơn phụ thuộc vào khóa nào trong hai khóa mà SS sử dụng trong thời điểm đó:



Hình 15.8: Quản lý Traffic Encryption Key (TEK).

Hình 15.9 minh họa việc quản lý một SA TEK của BS, trong đó phần được tô bóng của thời gian sống của một TEK xác định khoảng thời gian mà TEK đó sử dụng để mã hóa các payload MAC đầy đủ. Đối với các AK, các TEK có một thời gian sống giới hạn và phải được làm mới theo định kỳ. Khi TEK cũ hơn hết hạn, BS sử dụng TEK mới nhất để mã hóa. SS có nhiệm vụ cập nhật các khóa của nó một cách đúng lúc. BS sử dụng một KEK khi mã hóa TEK trong thông báo quản lý Key Reply (PKM-RSP) MAC. TEK được mã hóa bằng một trong những thuật toán sau đây: sử dụng KEK: 3-DES, RSA hoặc AES. Thuật toán mã hóa TEK được xác định bởi định danh thuật toán mã hóa trong bộ mật mã của SA.



Hình 15.9: Quản lý Encryption Key (TEK).

Một bộ tạo số ngẫu nhiên hoặc giả ngẫu nhiên được sử dụng bởi BS để tạo các KEK và TEK. Chuẩn cho biết rằng các thói quen được đề nghị để tạo các số ngẫu nhiên để sử dụng trong các hệ thống mật mã được cung cấp trong IETF RFC 1750. Nên chỉ ra rõ ràng IETF RFC 1750 đã được thay thế (bởi IETF) bằng IETF RFC 4086. Đối với 3-DES KEK, chuẩn 802.16 định nghĩa phương pháp sau đây:

- K_PAD_ = 0 x 53 được lặp lại 64 lần nghĩa là một chuỗi 512 bit.

- KEK = Truncate (SHA(K_PAD_KEK / AK),128).

Ở đây, Truncate (x,n) biểu thị kết quả xén x thành n bit tận cùng bên trái, SHA (x/y) biểu thị kết quả SHA-1 vào một chuỗi bit ghép x và y.

Nội dung khóa của 3-DES gồm hai khóa DES riêng biệt. 64 bit có nghĩa nhất của KEK được sử dụng trong hoạt động mã hóa. 64 bit ít có nghĩa nhất được sử dụng trong hoạt động giải mã.

Các khóa xác thực HMAC được dẫn xuất như sau:

- HMAC_KEY_D = SHA(H_PAD_D I AK),
- HMAC_KEY_U = SHA(H_PAD_U I AK),
- HMAC_KEY_S = SHA(H_PAD_D I Operator Shared Secret),

Trong đó

- H_PAD_D = 0x3A được lặp lại 64 lần và H_PAD_U = 0x5C được lặp lại 64 lần.

Việc trao đổi AK và Traffic Encryption Key (TEK) xảy ra trong mỗi SA.

Operator Shared Secret là một khóa chế độ Mesh được biết bởi tất cả nút chế độ Mesh.

15.3.2 Tạo các khóa mã hóa trong điểm sửa đổi 802.16e

Đối với PKMv1, giải thích PKMv2 sử dụng TEK và KEK để mã hóa các dòng dữ liệu. KEK được sử dụng để mã hóa TEK, GKEK và tất cả khóa khác được gởi bởi BS đến SS trong một thông báo unicast.

15.3.2.1 TEK và KEK

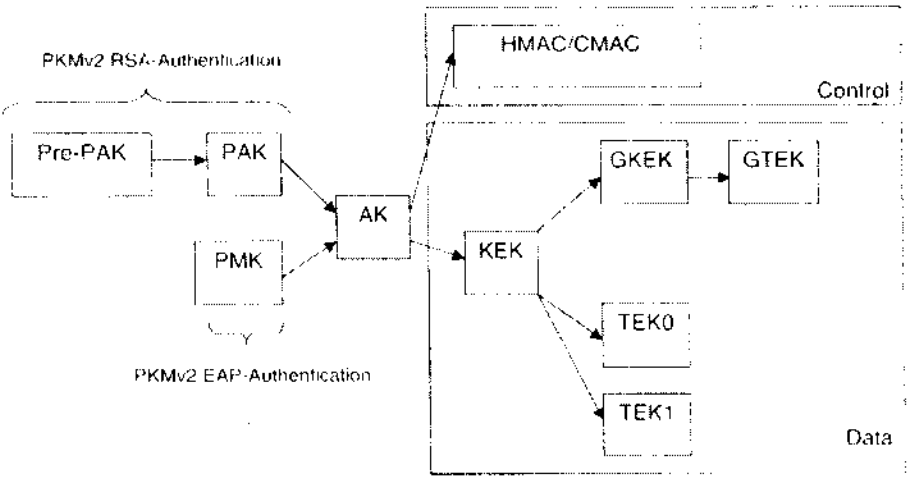
Thủ tục tương tự như đối với PKMv1 (xem mục trước).

15.3.2.2 Mã hóa multicast

Có một GKEK trên mỗi Group Security Associaton. GKEK này được sử dụng để mã hóa các GTEK được gởi trong các thông báo multicast bởi BS đến các MS trong cùng một nhóm multicast. Nó được sử dụng để mã hóa các gói dữ liệu multicast và nó được chia sẻ bởi tất cả MS trong nhóm multicast. GKEK được tạo ngẫu nhiên bởi BS và được mã hóa bởi bằng cách sử dụng các thuật toán tương tự được áp dụng cho việc mã hóa TEK.

15.3.2.3 Khóa lưu lượng dịch vụ multicast và Broadcast

Như các khóa lưu lượng khác, MTK được sử dụng để mã hóa dữ liệu lưu lượng MBS. MGTEK là GTEK cho MBS. Tiến trình tạo hóa trong PKMv1 và PKMv2 được tóm tắt trong hình 15.10.



Hình 15.10: Minh họa tiến trình tạo khóa trong PKMv1 và PKMv2.

15.3.3 Các khóa mã hóa lưu lượng và handover

Trong phần này, sự an ninh 802.16e được xem xét. Việc trao đổi các SA và các tham số TEK (Traffic Encryption Key) được kết hợp với một MS dựa vào sự thiết lập quan hệ ba chiều. Thủ tục này được khởi động một khi một trường hợp xác thực xảy ra hoặc trong trường hợp của một handover:

- Trong quá trình nhập vào mạng ban đầu hoặc tái ủy quyền của (handover), BS gởi PKMv2 SA-TEK-Challenge.
- MS gởi PKMv2 SA-TEK-Request sau khi nhận thông báo PKMv2 SA-TEK-Challenge.
- Để hoàn tất việc chuyển, BS gởi PKMv2-SA-TEK-Response trở về MS.

Trong trường hợp của một handover, tiến trình này có thể được tối ưu hóa và bước đầu tiên có thể tránh được. Ngoài ra, đối với mỗi SA hiện hành trong một BS phục vụ trước, các tham số TEK, GTEK và GKEK tương ứng cũng có thể được đưa vào SA mới. Điều này có thể được thực hiện bằng phương thức SA-TEK-Update vốn mang lại sự tương hợp giữa SA mới và SA cũ.

15.3.4 Các thuật toán mã hóa lưu lượng

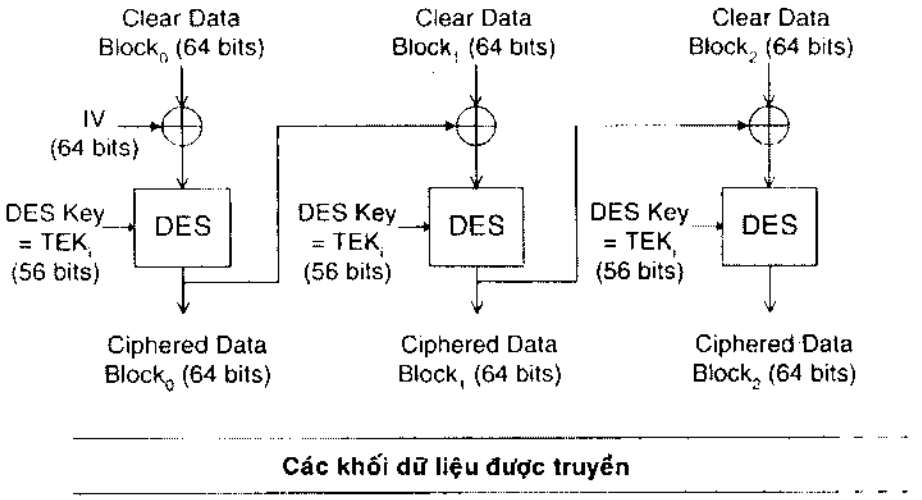
Payload MAC PDU được mã hóa bằng cách sử dụng TEK (GTEK hoặc MTK) hiện hành. Thuật toán mã hóa dữ liệu được xác định bởi định danh thuật toán mã hóa dữ liệu trong bộ mật mã của một SA. Bit EC (Encryption Control) trong header MAC generic xác định việc payload MAC PDU có được mã hóa hay không. Header MAC generic

không được mã hóa. Các thông báo quản lý MAC cơ bản (basic) và chính (primary) cũng không được mã hóa. Tuy nhiên, một trong các thông báo quản lý MAC được xác thực như được mô tả trong mục 15.4.

Chuẩn 802.16-2004 bao gồm hai thuật toán mã hóa dữ liệu phổ biến để mã hóa các payload MAC PDU: DES-CBC và AES-CCM.

15.3.4.1 DES-CBC

Thuật toán Data Encryption Standard (DES) được đưa vào chế độ Cipher Block Chaining (CBC) của nó được minh họa trong hình 15.11. Thuật toán DES cung cấp sự mã hóa khóa 56 bit và bắt buộc trong thiết bị 802.16 (theo 802.16-2004).



Hình 15.11: Thuật toán trong chế độ CBC của nó.

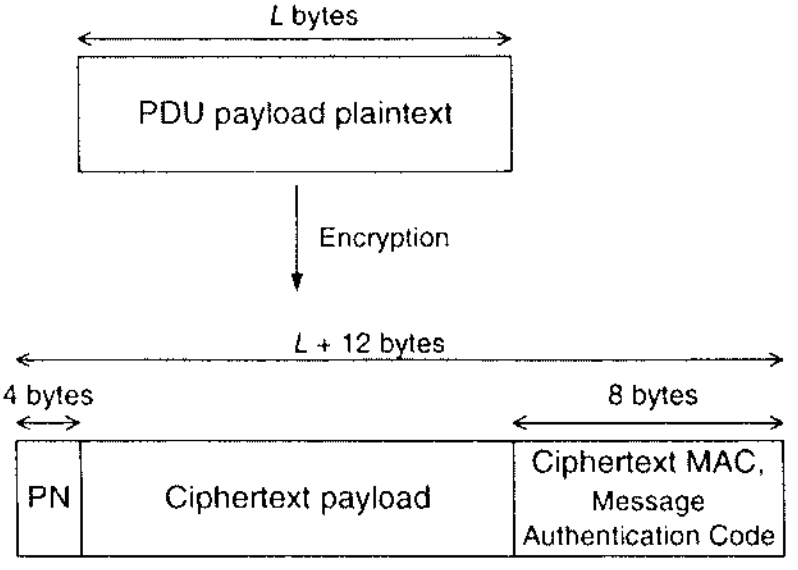
CBC IV (Initialisation Vector) của CBC-DES được tính toán như sau:

- Trong download, CBC được khởi tạo với exclusie-or (XOR) của tham số IV được đưa vào thông tin khóa TEK và nội dung của trường đồng bộ hóa PHY (8 bit, được canh phải) của DL-MAP mới nhất. Encryption Key Sequence (vốn là một trường 2 bit trong header MAC generic (xem chương 8) là chỉ số của TEK và IV được sử dụng để mã hóa payload.
- Trong uplink, CBC được khởi tạo với XOR của tham số IV được đưa vào thông tin khóa TEK và nội dung của trường đồng bộ hóa PHY của DL-MAP vốn có hiệu lực khi UL-MAP cho việc truyền uplink được tạo / nhận.

15.3.4.2 AES-CCM

Advanced Encryption Standard (AES) được đưa vào bộ đếm (counter) của nó với chế độ CBC-MAC (CCM). Thuật toán AES là một sự mã hóa khóa 128 bit. AES an toàn hơn DES (và cũng 3-DES). Tuy nhiên, AES phức tạp hơn và hơi chậm hơn DES.

Hình 15.12 minh họa payload được tạo bởi AES-CCM và sau đó payload được vận chuyển. PDU plaintext (text thuần túy) được mã hóa và được xác thực bằng TEK hiện hành theo thông số AES-CCM. Trước khi dữ liệu được mã hóa, một trường PN (Packet Number) 4-byte được thêm vào. Trường này được liên kết với SA và được gia tăng cho mỗi PDU được truyền. Đây là một cuộc diễu hành chống lại cuộc tấn công replay. Cuộc tấn công replay là khi một số gói hợp lệ được phát lại (replay) bởi một kẻ tấn công nhằm gây một sự hư hại nào đó bằng việc tái tạo một hành động. Bất kỳ PN được nhận nhiều lần bị loại bỏ như một nỗ lực replay. Message Authentication Code text mật mã còn được gọi là MAC (không nhầm lẫn với Medium Access Layer, xem mục tiếp theo để biết về Message Authentication Code), sao cho chỉ số byte 0 (như được liệt kê trong thông số AES) được truyền đầu tiên và chỉ số 37 được truyền sau cùng (nghĩa là LSB đầu tiên). PN không được mã hóa nhưng được đưa vào phép tính kiểm tra tính toàn vẹn thông báo (Message Authentication Code).



Hình 15.12: Dạng payload được mã hóa trong chế độ AES-CCM.

15.3.5 Các thuật toán mã hóa lưu lượng được bổ sung trong điểm sửa đổi 802.16e

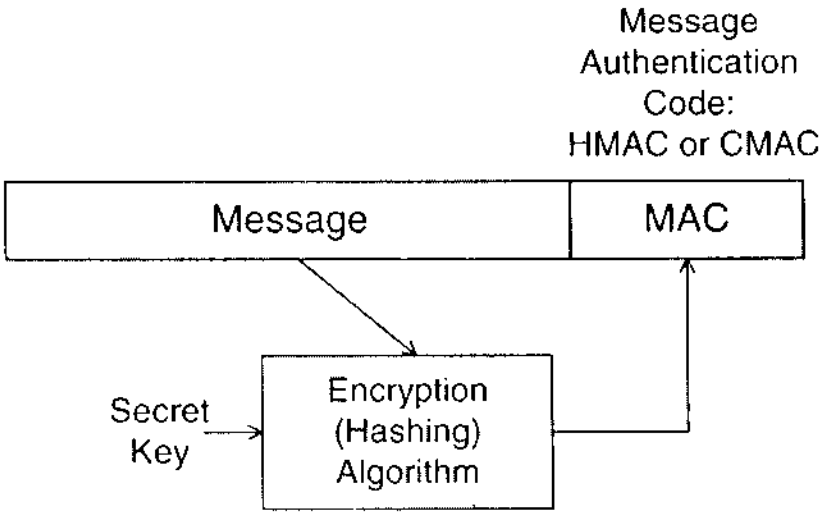
Điểm sửa đổi 802.16e đã bổ sung những thuật toán sau đây:

- AES trong chế độ Counter (CRT) cho MS.
- AES trong chế độ CBC.
- AES KeyWrap với một khóa 128 bit. Thuật toán mã hóa bao bọc khóa AES chấp nhận một giá trị text mật mã và một giá trị kiểm tra tính toàn vẹn. Thuật toán giải mã trả về một khóa plaintext và kiểm tra tính toàn vẹn.

Một hoặc nhiều thuật toán mã hóa được định nghĩa bởi 802.16 có thể bắt buộc trong các profile WiMAX.

15.4 Xác thực thông báo với HMAC

Chuẩn xác định rằng các thông báo quản lý MAC cơ bản và chính được gởi một cách thông suốt để dễ đăng ký, (ranging) xác định phạm vi và hoạt động bình thường của MAC. Do đó, sự xác thực và bảo vệ tính toàn vẹn của các thông báo MAC là rất quan trọng. Các dãy MAC (Message Authentication Code) được gọi là hash được tạo khóa hoặc MAC-Digest được sử dụng để ký tên các thông báo quản lý nhằm thực hiện tính xác thực của chúng (xem hình 15.13). Các thẻ MAC được tạo và sau đó được kiểm chứng bằng cách sử dụng cùng một khóa mật (vốn là sự khác biệt cơ bản với các mã phát hiện lỗi chẳng hạn như các bit chẵn lẻ). Điều này có nghĩa bộ gởi và bộ nhận thông báo phải đồng ý khóa mật trước khi bắt đầu giao tiếp. Rõ ràng khóa này có lẽ khác với khóa mã hóa.



Hình 15.13: Mã hóa việc tạo HMAC hoặc CMCA. MAC còn được gọi là hash được tạo khóa hoặc MAC Digest.

An ninh chuẩn 802.16 bao gồm việc sử dụng một Hashed Message Authentication Code (HMAC) cho sự xác thực thông báo và kiểm soát tính toàn vẹn. 802.16 đã sổ sung khả năng sử dụng CMD như là lựa chọn thay thế cho HMAC. Hash được tạo khóa HMAC (hoặc HMAC-Digest) nằm trong:

- Thuộc tính HMAC-Digest vốn hiện diện trong một số thông báo PKM chẳng hạn như Key Request, Key Reply, Key Reject.
- HMAC Tuple là một thông số TLV được sử dụng cho một số xác thực thông báo quản lý MAC. Các thông báo được xác thực bằng HMAC bao gồm DSx-REQ, Dex-ACK, REG-REQ... HMAC Tuple gồm HMAC-Digest HMAC với SH-1, trên 60 bit, HMAC Key Sequence Number, trên 4 bit và một trường dành riêng. HMAC Sequence Number trong HMAC Tuple bằng với AK Sequence Number mà HMAC_Key_x đã được dẫn xuất từ đó.

Việc tính toán hash được tạo khóa trong thuộc tính HMAC-Digest và HMAC Tuple sử dụng HMAC với thuật toán hash an toàn mật mã, SHA-1 (FIPS 180-1). Phương thức xác thực này được gọi là HMAC-SHA1. Digest phải được tính toán trên toàn bộ thông báo quản lý MAC ngoại trừ các thuộc tính HMAC-Digest và HMAC Tuple.

802.16e đã bổ sung khả năng sử dụng Message Authentication Code (CMAC) dựa vào Cipher-based (RFC 4493) như là một lựa chọn thay thế cho HMAC. Đối với CMAC, việc mã hóa khối AES được sử dụng cho các phép tính MAC (AES-CMAC).

Digest được tính toán trên toàn bộ một thông báo quản lý MAC ngoại trừ các thuộc tính HMAC Digest hoặc HMAC Tuple.

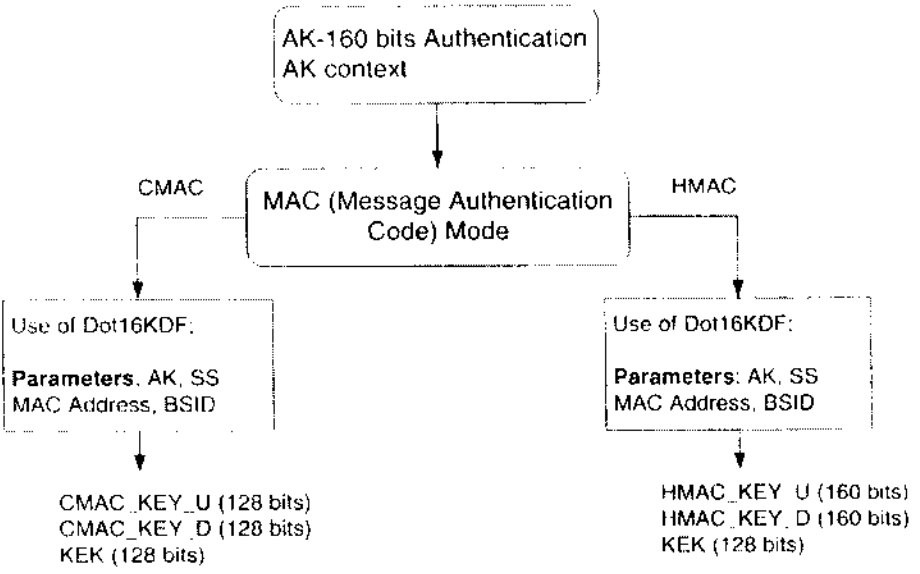
15.4.1 Các khóa xác thực được thông báo

Các khóa xác thực được sử dụng để tính toán hash được tạo khóa bởi HMAC được đưa vào một số thông báo quản lý MAC (xem ở trên) là:

Khóa xác thực dowlink HMAC_Key_D được sử dụng để thông báo theo hướng downlink.

Khóa xác thực uplink HMAC_Key_Ud sử dụng để xác thực các thông báo theo hướng uplink.

Đối với PKMv1, thông báo PKMv2MAC cho uplink là C/HMAC_KEY_U và thông báo MAC cho downlink là C/HMAC_KEY_D. HMAC_KEY_D và HMAC_KEY_U được dẫn xuất từ AK như được đề cập trong phần 15.3 ở trên. Việc dẫn xuất HMAC/CMAC/KEK từ AK được minh họa trong hình 15.14.



Hình 15.14: Dẫn xuất HMAC/CMAC/KEK từ AK.

BS sử dụng HMAC_KEY_D và HMAC_KEY_U cho những điều sau đây:

- Kiểm chứng các thuộc tính HMAC-Digest trong các thông báo quản lý Key Request MAC được nhận từ SS đó, sử dụng HMAC_Key_U.
- Tính toán, bằng cách sử dụng HMAC_Key_D, các thuộc tính HMAC-Digest mà nó ghi vào các thông báo quản lý Key Reply, Key Reject và TEK Invalid MAC được gởi đến SS đó.

Khi nhận các thông báo MAC chứa thuộc tính HMAC Tuple, BS sử dụng HMAC_Key_U được xác định bởi HMAC Key Secquence Number để xác thực các thông báo.

HMAC_Key_S được sử dụng trong phép tính HMAC-Digest chế độ Mesh.

15.5 Những vấn đề an ninh khác

Các thủ tục được trình bày trong chương này đều nói về sự xác thực thiết bị (SS hoặc BS). Các giao thức chẳng hạn như EAP cấp cao hơn có thể được sử dụng cho mục đích này. Loại xác thực này là một phần của thông số mạng WiMAX.

Chương 16

So sánh và kết luận

16.1 So sánh giữa WiMAX cố định và WiMAX di động

Chương này sẽ đưa ra một số so sánh và sau đó đưa ra sự kết luận. Hơi mạo hiểm khi đưa ra những so sánh trong một thời điểm mà sự truy cập không dây băng tần rộng đang đứng trước những thay đổi và cải tiến lớn. Tuy nhiên, dựa vào kiến thức kỹ thuật, nhiều báo cáo tin tức và cuộc phân tích hội thảo, một số so sánh được đưa ra. Chương này sẽ bắt đầu so sánh Fixed WiMAX (WiMAX cố định) và Mobile WiMAX (WiMAX di động).

Công nghệ nào được chọn? Các sản phẩm WiMAX đã có ở đây. Vấn đề là chúng có thể chỉ đề xuất một sự truy cập Wireless, mặc dù với các khoảng cách khá dài lên đến 20 km. Một nhà vận hành tốt hơn có nên đợi thêm một thời gian nữa để có Mobile WiMAX theo những mong đợi hiện tại hay không? Việc quyết định xem xét thị trường nhắm đến phụ thuộc vào mỗi nhà vận hành. Ở những nơi mà hạ tầng viễn thông được triển khai tốt, dường như Fixed WiMAX không thể cạnh tranh với các công nghệ hữu tuyến chẳng hạn như DSL. Thật vậy, thật ngạc nhiên khi có một Mb/s Wireless (không giới hạn) rẻ hơn một Mb/s hữu tuyến (không giới hạn) ở London hoặc Paris trong một ngày không xa. Điều gì xảy ra nếu Mb/s không giới hạn này có tính chuyển vùng (nối kết Internet PDA hoạt động mọi nơi trong thành phố mặc dù bạn phải khởi động lại phiên làm việc của bạn) và thậm chí hơn nữa, tính di động (phiên làm việc của bạn không bị gián đoạn khi bạn di chuyển)?

WiMAX có một số ưu điểm: Cùng một hạ tầng có thể có sự truy cập Fixed WiMAX và Mobile WiMAX; nhà vận hành có thể bắt đầu bằng cách phủ sóng một khu vực nhỏ (nếu các yêu cầu không ngăn cấm điều đó) để thích ứng sự phát triển triển khai cho trường hợp kinh doanh. Đôi khi điều này được gọi là mô hình "trả tiền khi bạn phát triển". Nói chung, trường hợp kinh doanh phải thích ứng theo lý lịch thị trường: những con số, những người đi du lịch, các thuê bao từ xa (cố định), những người yêu thích công nghệ ở đô thị, các ứng dụng được mong đợi chẳng hạn như Internet, game)... Trong một số trường hợp, điều này có thể làm cho Fixed WiMAX là một sự khởi động tốt trước khi triển khai rộng Mobile WiMAX. Điều này cũng có thể cho nhà vận hành Fixed WiMAX một vị trí dẫn đầu, danh tiếng, kiến thức thị trường, cơ sở dữ liệu khách hàng các đội phụ trách kỹ thuật...) trước khi triển khai Mobile WiMAX. Mobile WiMAX thường chiếm đa số trong bức tranh WiMAX. Tuy nhiên, một ước tính chính xác số năm là rất khó đưa ra hôm nay. Điều này cũng để lại một thị phần cho Fixed WiMAX, ít ra trong vài năm tới. Về bản chất, một số ứng dụng là cố định (ví dụ đo đạt từ xa). Mặt khác phải ghi nhớ rằng Mobile WiMAX cũng có thể được sử dụng để truy cập cố định, từ quan điểm kỹ thuật, không xem xét tham số chi phí. Một tham số quan trọng là phổ và chi phí của phổ này cho mỗi Fixed WiMAX và Mobile WiMAX. Kể từ hôm nay, những phổ này không có những vùng phủ chồng.

16.2 So sánh giữa WiMAX và WiFi

Chúng ta có thể bắt đầu bằng cách so sánh WiMAX và WiFi nghĩa là so sánh hai framework khác nhau. WiMAX có các khoảng cách dài hơn nhiều và có thể (hoặc sẽ) cũng bao gồm tính di động (Mobility) giữa các cell. Thực tế, WiMAX và WiFi có tính bổ sung đặc biệt nếu WiMAX được sử dụng cho backhauling của WiFi (xem chương 1).

Cũng có một sự khác biệt trong thứ tự thời gian. WiFi là một WLAN dựa vào chuẩn IEEE 802.11 được xuất bản trong năm 1997 và loại 802.11b được xuất bản trong năm 1999.

WiMAX là một hệ thống BWA có tính di động dựa vào chuẩn IEEE 802.16-2004 được xuất bản trong năm 2004 và loại 802.16e được xuất bản trong tháng 2 năm 2006 (ngoài các điểm sửa đổi 802.16 khác). Do đó nếu chúng ta xem xét chuẩn hoặc các sản phẩm, có một sự khác biệt khoảng 6 năm giữa hai loại này. Trong bảng 16, một số thành phần so sánh giữa WiFi và WiMAX được đưa ra.

Bảng 16.1: Một số điểm so sánh giữa WiFi WLAN và WiMAX BWA.

	WiFi/802.11 WLAN	802.16/WiMAX
Tốc độ dữ liệu (lớp PHY, tối ưu)	Kênh 54Mb/s/20MHz	Kênh 26.2 Mb/s/7 MHz
Quản lý QoS	Best Effort, trừ khi loại 802.11 hiếm được thực thi (cho đến bây giờ)	5 lớp QoS
Đa truy cập (Multiple access)	CSMA/CA (MAC chung cho 802.11, 802.11a và 802.16v và 802.11g); TTD	TDMA: TDD và FDD. Các cơ cấu dành riêng băng thông tinh vi
Phạm vi hoạt động (Range)	Độ lớn: 100m	20 km (CPE ngoài trời), 10 km (CPE trong nhà)
Các dãy tần số	Không có bản quyền	Không có bản quyền và có bản quyền
Công dụng điển hình	WLAN	Truy cập Wireless cố định, tính mang chuyển được, tính di động...

Phải có độ chính xác nào đó cho tốc độ dữ liệu. Một tốc độ dữ liệu được biểu thị trong bảng 16.1 là tốc độ dữ liệu PHYsical (vật lý) nghĩa là tốc độ dữ liệu của các bit được mã hóa. Tốc độ dữ liệu cao nhất được trình bày trong bảng. Đối với tất cả nội dung truyền loại gói (packet) này, không có giá trị cố định cho một giá trị tốc độ dữ liệu lớp dữ liệu do sự truyền lại, sự thích ứng liệt kê, các kích cỡ header khả biến... những nỗ lực chuẩn hóa sẽ tiếp tục để có một tốc độ dữ liệu cao hơn cho IEEE 802.11/WiFi đặc biệt với loại 802.11n.

WiMAX có một hiệu suất tốt hơn nhiều so với WiFi (phạm vi hoạt động, sự quản lý QoS, hiệu suất sử dụng phổ...) nhưng điều này đòi hỏi cái giá của một chi phí cao hơn trong các tần số và sự phức tạp và mức độ phức tạp thiết bị (và sau đó chi phí). Kết quả rõ ràng không chắc chắn rằng một ngày nào đó WiMAX sẽ sớm thay thế WiFi trong một số ứng dụng.

16.3 So sánh giữa WiMAX và 3G

Bảng 16.2 so sánh các thành phần giữa các hệ thống Wireless chính: hệ thống di động thứ hai GSM và sự phát triển EDGE của nó, 3G UMTS, WiFi gồm hai loại: 802.11b (WiFi gốc) và 80.11a (kể cả kỹ thuật truyền OFDM) và WiMAX.

Bảng 16.2: So sánh một số thành phần giữa các hệ thống Wireless chính.

	Tần số hoạt động	Có bản quyền	Một băng thông kênh (sóng mang tần số)	Số người dùng mỗi kênh	Phạm vi hoạt động
GSM/DGE	0.9 GHz, 1.8 GHz...	Có	200 kHz	2 đến 8	30 km (lên đến, thường ít hơn)
UMTS	1.9 GHz	Có	5 MHz	Nhiều (độ lớn: 25); tốc độ dữ liệu giảm	5 km (lên đến, thường ít hơn)
WiFi (11b)	2.4 GHz	Không	5 MHz	1 (tại một khoảng thời điểm nào đó)	100 m
WiFi (11a)	5 GHz	Không	20 MHz	1 (tại một khoảng thời điểm nào đó)	100 m
WiMAX	2.3 GHz, 2.5 GHz, 3.5 GHz, 5.8 GHz..	Các dải tần số có bản quyền và không có bản quyền được xác định	3.5 MHz, 7 MHz, 10 MHz..	Nhiều (100...)	20 km (CPE ngoài trời)

Để so sánh với các mạng 3G di động, chỉ Mobile WiMAX được xem xét vì Fixed WiMAX tượng trưng cho một thị trường hoàn toàn khác với 3G. Những ưu điểm của một trong hai hệ thống được nêu rõ bắt đầu với một hệ thống cũ hơn, 3G di động.

16.3.1 Các ưu điểm của hệ thống di động 3G

- WiMAX sử dụng các tần số cao hơn Cellular 3G vốn chủ yếu hoạt động trong dãy 1.8 GHz. Công suất nhận được giảm khi tần số tăng và các công suất truyền của hệ thống Wireless thường giới hạn do các yêu cầu môi trường và quy định. Các phạm vi hoạt động WiMAX nhỏ hơn các phạm vi hoạt động 3G. Đây là trường hợp cho các thiết bị trong nhà và ngoài trời. Tuy nhiên, tham số phạm vi hoạt động cell thường không phải là tham số giới hạn nhất trong các vùng có mật độ cao nơi mà phần chính ở một thị trường nhà vận hành Mobile được đặt.
- 3G đã có ở đây. Thiết bị của nó bao gồm các mạng High-Speep Downlink Packet Access (HSPDA) tốc độ dữ liệu cao và các sản phẩm đã được sử dụng kể từ 2005 ở một số quốc gia. Nói chung, 3G có một sự tiến bộ lĩnh vực từ 2 đến 3 năm đối với WiMAX. Việc 3G chiếm một thị phần nổi trội có đầy đủ hay không.
- Phổ WiMAX thay đổi giữa các quốc gia khác nhau. Ví dụ một người dùng WiMAX lấy thiết bị từ quốc gia A mang sang quốc gia B có lẽ sẽ sử dụng một tần số WiMAX khác của nhà vận hành quốc gia B. Mặt khác, việc sản xuất thiết bị di động đa tần số với một chi phí giảm bây giờ ngày càng dễ dàng hơn cho các nhà sản xuất.
- Một số quốc gia có những giới hạn về việc sử dụng tần số WiMAX, nghĩa là các nhà vận hành WiMAX có thể bị cấm triển khai tính di động bởi cơ quan quy định.

- Cellular 3G từ lâu hỗ trợ độc quyền các nhà sản xuất hàng đầu chẳng hạn như Nokia. Bây giờ những công ty này dường như quan tâm đến WiMAX trong khi cũng vẫn rất quan tâm đến 3G.

16.3.2 Ưu điểm của hệ thống (Mobile) WiMAX

- Phổ tần số WiMAX rẻ hơn các tần số hệ thống 3G ở nhiều quốc gia. Việc bán bản quyền UMTS ở Châu Âu và đặc biệt ở Đức và vương quốc Anh đạt con số cao đáng ngạc nhiên.
- WiMAX là một hệ thống rất mở, nhiều thuật toán được để lại cho nhà cung cấp mở ra cánh cửa cho sự tối ưu hóa và các kết nối giữa các đơn vị doanh nghiệp khác nhau hoạt động trên các phần khác nhau của mạng (mạng cốt lõi, mạng truy cập vô tuyến, các nhà cung cấp dịch vụ...), có thể trong cùng một quốc gia được làm cho dễ dàng (xem chương 13). Đây là một lợi thế nhưng có lẽ nó gây ra một số vấn đề về khả năng liên vận hành trong vài năm đầu?
- Lớp PHYsical WiMAX dựa vào OFDM, một kỹ thuật truyền được biết là có hiệu suất sử dụng phổ tương đối cao (đối với CS CDMA). Có những kế hoạch nâng cấp 3G bằng việc đưa vào nó OFDM và MINO. Sự phát triển được gọi trong thời điểm này là LTE (Long-Term Evolution). Điều này đưa ra một bước tiến triển thời gian cho WiMAX trong việc thực thi OFDM.
- WiMAX là một công nghệ toàn IP. Đây không phải là trường hợp cho hệ thống 3G nơi nhiều giao thức trung gian (tạo đường hầm...) được tạo cho các phiên bản đầu tiên của 3G không phải là toàn IP. Tuy nhiên, sự phát triển của 3G sẽ cung cấp end-to-end IP (hoặc toàn IP).
- WiMAX có sự hỗ trợ mạnh của các công ty lớn như Intel, KT, Samsung và nhiều hãng khác.

16.4 Kết luận

Sách này đã nỗ lực đưa ra một bức tranh toàn cầu về công nghệ WiMAX mới và lý thú này. WiMAX dựa vào hai nguồn: chuẩn IEEE 802.16, bao gồm những điểm sửa đổi của nó và các tài liệu WiMAX Forum Group.

WiMAX có một số lớn cơ cấu và được mong đợi sử dụng cho nhiều ứng dụng. Tương lai gần sẽ cho biết cơ cấu nào trong những cơ cấu này sẽ được thực thi, chúng sẽ được thực thi như thế nào và những cơ cấu sẽ được cập nhật bởi các cơ quan chuẩn hoá.

Phụ lục A

Các tập hợp thông báo quản lý MAC khác nhau

Tổng quan

Phụ lục này trình bày một mô tả ngắn về quản lý MAC 802.16 chính. Thứ tự trình bày là thứ tự xuất hiện trong sách. Trong phụ lục này, các thông báo broadcast, initial ranging và các thông báo quản lý basic (cơ bản) và primary (chính) được trình bày, nghĩa là tất cả thông báo quản lý MAC. Nên nhớ rằng các thông báo quản lý phụ (secondary) là lớp trên, không phải các thông báo quản lý MAC. Các thông báo quản lý MAC không thể được tải trên các nối kết vận chuyển (Transport Connections), nghĩa là với các giá trị Transport CID. Phần giải thích đầy đủ của những thông báo này có thể được tìm thấy trong chuẩn và cụ thể trong mục 6.3.2.3 của chuẩn và phần các lớp PHY sical liên quan (mục 8) và các kiểu mã hóa TLV (mục 11). Các thông báo 802.16e mới được bổ sung liên quan đến tính di động bắt đầu với MOB.

Các thông báo định nghĩa sự đa truy cập và burst profile

Loại (8 bit)	Tên thông báo	Mô tả	Loại nối kết
0	UCD, Uplink Channel Descriptor	Được truyền bởi BS vào một khoản thời gian đều đặn để cung cấp các burst profile (các tập hợp tham số vật lý) vốn sẽ được sử dụng bởi một kênh vật lý uplink trong một chớp tín hiệu ngoài những tham số kênh uplink khác	Broadcast
1	DCD, Downlink Channel Descriptor	Được truyền bởi BS vào một khoản thời gian đều đặn để cung cấp các burst profile (các tập hợp tham số vật lý) vốn sẽ được sử dụng bởi một kênh vật lý downlink trong một chớp tín hiệu ngoài những tham số kênh downlink khác	Broadcast

2	DL-MAP, Downlink MAP	Định nghĩa truy cập Downlink. Trong một DL-MAP, đối với mỗi chớp tín hiệu downlink, DL-MAP_IE xác định thời gian bắt đầu burst profile (các chi tiết kênh kể các các thuộc tính vật lý) của chớp tín hiệu này	Broadcast
3	UL-MAP Uplink MAP	Định nghĩa truy cập Uplink. Trong một UL-MAP, đối với mỗi chớp tín hiệu uplink, xác định thời gian bắt đầu, khoản thời gian và burst profile (các chi tiết kênh kể các các thuộc tính vật lý) của chớp tín hiệu này	Broadcast

Các thông báo mạng Mesh (cấu hình, nhập vào và lập thời biểu)

Loại (8 bit)	Tên thông báo	Mô tả	Loại nối kết
39	MSH-NCFG, Mesh Network Configuration	Cung cấp một cấp giao tiếp cơ bản giữa các nút trong các mạng lân cận khác cho dù từ cùng các nhà cung cấp thiết bị hoặc nhà vận hành Wireless tương tự nhau hoặc khác nhau. Trong số những thứ khác, Network Descriptor là một dữ liệu nhúng của thông báo MESH-NCFG. Network Descriptor chứa nhiều tham số kênh (các phương pháp điều biến và mã hóa, các giá trị ngưỡng...) vốn làm cho nó tương tự như UDC và DCD	Broadcast
40	MSH-NENT, Mesh Network Entry	Cung cấp phương tiện để một nút mới đạt được sự đồng bộ hóa và sự nhập qua mạng ban đầu vào một mạng Mesh	Basic
41	MSH-DSCH, Mesh Distributed Schedule	Được truyền trong chế độ Mesh khi sử dụng việc lập thời biểu phân phối. Trong việc lập thời biểu phân phối, phối hợp, tất cả nút truyền một MSH-CSCH vào khoảng thời gian đều đặn để thông báo cho tất cả nút lân cận biết về thời biểu của trạm (station)	Broadcast
42	MSH-CSCH Mesh Centralised Schedule	Một thông báo MSH-CSCH được tạo bởi một Mesh BS khi sử dụng việc lập thời biểu tập trung. BS truyền đại chúng thông báo MSH-CSCH đến tất cả nút lân cận với nó và tất cả nút có bước nhảy thấp hơn một ngưỡng đã cho chuyển tiếp thông báo MSH-CSCH đến các nút lân cận vốn có một số bước nhảy cao hơn. Thông báo này được sử dụng để yêu cầu hoặc cấp phát băng thông	Broadcast

43	MSH-CSCF, Mesh Centralised Schedule Configuration	Một thông báo MSH-CSCF được truyền đại chúng trong chế độ Mesh khi sử dụng việc lập thời biểu tập trung. Mesh truyền đại chúng thông báo MSH-CSCF đến tất cả nút lân cận với nó. Tất cả nút chuyển tiếp (tái truyền đại chúng) thông báo theo số chỉ số của nó được xác định trong thông báo	Broadcast

Quản lý các thông báo nhóm multicast polling

Loại (8 bit)	Tên thông báo	Mô tả	Loại nối kết
21	MAC-REQ, Multicast Assignment Request	BS có thể thêm (hoặc loại bỏ) một SS vào một nhóm multicast polling được nhận dạng bởi một multicast CID bằng cách gởi một thông báo MAC-REQ bằng lệnh join (hoặc leave)	Primary management (quản lý chính)
22	MAC-RSP, Multicast Assignment Response	Được gởi bởi SS để phản hồi lại một MAC-REQ. Chứa chủ yếu Confirmation Code xác định yêu cầu đã thành công hay không	Primary management

Các thông báo ARQ

Loại (8 bit)	Tên thông báo	Mô tả	Loại nối kết
33	ARQ-Feedback, thông báo Standalone ARQ Feedback	Thông báo Standalone ARQ Feedback. Thông báo ARQ Feedback có thể được sử dụng để báo hiệu bất kỳ tổ hợp ARQ ACK khác nhau (tích lũy, lựa chọn, lựa chọn với tích lũy)	Basic
34	ARQ-Discard, thông báo ARQ Discard	Được gởi bởi bộ phát khi nó muốn bỏ qua một số ARQ nhất định trong ARQ Trasmission Windows	Basic
35	ARQ-Reset, thông báo ARQ Reset	Được gởi bởi bộ phát hoặc bộ thu của một cuộc truyền được bật ARQ để xác lập lại các bộ máy trạng thái bộ phát và bộ thu ARQ của nối kết bổ	Basic

Các thông báo Ranging

Loại (8 bit)	Tên thông báo	Mô tả	Loại nối kết
4	RNG-REQ, Ranging Request	Được truyền bởi SS lúc khởi tạo. Nó cũng có thể được sử dụng tại các khoản thời gian khác nhau để quyết định sự trễ mạng và để yêu cầu một thay đổi công suất và / hoặc downlink burst profile	Initial ranging hoặc Basic

5	RNG-RSP, Ranging Response	Được truyền bởi SS để phản hồi lại một RNG-REQ được nhận. Nó cũng có thể được truyền một cách không đồng bộ để gởi các phần hiệu chỉnh dựa vào các số đo trên dữ liệu hoặc các thông báo MAC được nhận khác	Initial ranging hoặc Basic
23	DBPC-REQ, Downlink Burst Profile Change Request	Được gởi bởi SS đến BS trên SS Basic CID để yêu cầu một sự thay đổi trong downlink burst profile được sử dụng bởi BS để vận chuyển dữ liệu đến SS	Basic
24	DBPC-RSP, Downlink Burst Profile Change Response	Được gởi bởi BS trên SS Basic CID để phản hồi lại một thông báo DBPC-REQ từ SS. Nếu tham số DIUC (được yêu cầu) giống như được yêu cầu trong thông báo DBPC-REQ thì yêu cầu đã được chấp nhận. Nếu không tham số DIUC của DBPC-RSP là DIUC trước mà SS đã nhận dữ liệu downlink ở đó	Basic

Các thông báo quản lý dịch vụ động (tạo, thay đổi và xóa)

Loại (8 bit)	Tên thông báo	Mô tả	Loại nối kết
11	DSA-REQ, Dynamic Service Additon Request	Được gởi bởi một SS hoặc BS để tạo service flow mới. Các thuộc tính service flow kể cả các thuộc tính QoS được xác định	Primary management
12	DSA-RSP, Dynamic Service Additon Response	Được tạo để phản hồi lại một DSA-REQ được nhận, xác định việc tạo service flow có thành công hoặc bị từ chối	Primary management
13	DSA-ACK, Dynamic Service Additon Acknowledge	Được tạo để phản hồi lại một DSA-RSP được nhận	Primary management
14	DSC-REQ Dynamic Service Change Request	Được gởi bởi một SS hoặc BS để thay đổi động các tham số của một service flow hiện có	Primary management
15	DSC-RSP, Dynamic Service Change Response	Được tạo để phản hồi lại một DSC-REQ được nhận	Primary management
16	DSC-ACK Dynamic Service Additon Acknowledge	Được tạo để phản hồi lại một DSC-RSP được nhận	Primary management
17	DSC-REQ, Dynamic Service Deletion Request	Được gởi bởi một SS hoặc BS để xóa một service flow hiện có	Primary management

18	DSD-RSP, Dynamic Service Deletion Response	Được tạo để phản hồi lại một DSC-REQ được nhận	Primary management
30	DSX-RVD, DSx Received Message	Được tạo bởi BS để báo cho SS biết rằng đã được nhận chính xác bởi một thông báo DSx (DSA hoặc DSC)-REQ. Thông báo DSx-RSP được truyền chỉ sau khi DSx-REQ được xác thực	Primary management

Các thông báo thương lượng khả năng cơ bản SS

Loại (8 bit)	Tên thông báo	Mô tả	Loại nối kết
26	SBC-REQ, SS Basic Capbility Request	Được truyền bởi SS trong quá trình khởi tạo để báo cho BS biết về những khả năng cơ bản của nó, chủ yếu là Physical Parameters (các tham số vật lý) và Bandwidth Allocation (sự cấp phát băng thông) được hỗ trợ	Basic
27	SBC-RSP, SS Basic Capbility Response	Được truyền bởi BS để phản hồi lại một SBC-REQ. Xác định sự giao nhau của các tính năng SS và BS	Basic

Thông báo đăng ký

Loại (8 bit)	Tên thông báo	Mô tả	Loại nối kết
6	REG-REQ, Registration Request	Được gởi bởi SS để đăng ký với BS. Xác định các tham số quản lý hỗ trợ, các tính năng CS, chế độ IP...	Primary management
7	REG-RSP Registration Response	Được gởi bởi BS để phản hồi lại thông báo REG-REQ. Xác nhận hoặc không xác thực. Phản hồi lại những dự báo khả năng reg-req.	Primary management
29	DREG-CMD, De/Re-registration Command	Được truyền bởi BS để buộc SS thay đổi trạng thái truy cập của nó (ngưng sử dụng kênh hiện hành, sử dụng nó lại, sử dụng nó với những giới hạn...). Không được yêu cầu hoặc phản hồi hại một thông báo SS DREG-REQ	Basic
49	DREG-REQ, SS De-registration Request	Được gởi bởi SS đến BS để báo cho BS biết về yêu cầu hủy đăng ký SS từ BS và mạng	Basic

Thông báo xác lập lại SS

Loại (8 bit)	Tên thông báo	Mô tả	Loại nối kết
25	RES-CMD, Reset Command	Để buộc SS tự xác lập lại, tái khởi tạo MAC của nó và lặp lại sự truy cập hệ thống ban đầu	Basic

Các thông báo hoàn thành truyền TFTP file cấu hình

Loại (8 bit)	Tên thông báo	Mô tả	Loại nối kết
31	TFTP-CPLT, Config File TFTP Complete	Khi việc download TFTB file cấu hình đã hoàn tất thành công, SS báo cho BS biết bằng cách truyền một thông báo TFTP-CPLT	Primary management
32	TFTP-RSP, Config File TFTP Complete Response	Phản hồi lại TFTP-CPLT, BS (thường) gởi một thông báo TFTP-RSP với một phản hồi "OK"	Primary management

Các thông báo tài nguyên vô tuyến

Loại (8 bit)	Tên thông báo	Mô tả	Loại nối kết
36	REP-REQ, channel measurement Report Request	Được gởi bởi BS đến SS để yêu cầu RSSI (mức công suất được nhận) và các báo cáo đo kênh CINR. Trong các dải tần số miễn bản quyền, thông báo REP-REQ cũng yêu cầu các kết quả của các số đo DES mà BS đã lập thời biểu trước đó	Basic
37	REP-RSP, channel measurement Report Response	Chứa báo cáo số đo phù hợp với Report Request	Basic
38	FPC, Fast Power Control	Được truyền đại chúng bởi BS để điều chỉnh các mức công suất của nhiều SS cùng một lúc. Các SS áp dụng sự thay đổi đã xác định trong thời gian xử lý FPC của thông báo quản lý downlink SS. Việc thực thi FPC thì tùy chọn. Kiểm soát công suất thường được nhận biết bởi periodic ranging (xác định phạm vi theo định kỳ)	Broadcast

Các thông báo an ninh

Loại (8 bit)	Tên thông báo	Mô tả	Loại nối kết
9	PKM-REQ, Privacy Key Management Request	Truyền một thông báo giao thức PKM (Privacy Key Management) từ client PKM, SS đến server PKM, BS	Primary management
10	PKM-RSP, Privacy Key Management Response	Truyền một thông báo giao thức PKM từ server PKM, BS đến client PKM, SS	Primary management

Các thông báo AAS (Adaptive Antenna System)

Loại (8 bit)	Tên thông báo	Mô tả (liên quan đến các hoạt động AAS)	Loại nối kết
44	AAS-FBCK-REQ	AAS Feedback Request	Basic
45	AAS-FBCK-RSP	AAS Feedback Response	Basic
46	AAS-Beam Select	Loại thông báo AAS Beam Select	Basic
47	ASS-BEAM_REQ	Loại thông báo AAS Beam Request	Basic
48	ASS-BEAM_RSP	Loại thông báo AAS Beam Response	Basic

Các loại thông báo khác

Loại (8 bit)	Tên thông báo	Mô tả	Loại nối kết
28	CLK-CMP, SS network Clock Comparison	Đối với các service flow tải thông tin đòi hỏi các SS tái tạo các tín hiệu đồng hồ mạng của chúng (ví dụ Bell-Labs DS1 còn được gọi là hệ thống truyền mạch T1, 1.536Mb/s). Các thông báo CLK-CMP được BS truyền đại chúng theo định kỳ	

A.1 Các thông báo quản lý MAC được bổ sung bởi 802.16e

Các thông báo quản lý MAC sau đây đã được định nghĩa trong 802.16e. Chúng nói về tính di động, các chế độ tiết kiệm năng lượng, kiểm soát công suất, MBS và MIMO.

Các thông báo chế độ điều khiển công suất

Loại (8 bit)	Tên thông báo	Mô tả	Loại nối kết
63	PMC_REQ, Power control Mode Change Request	Được gởi từ SS đến BS, PMC_REQ được sử dụng để yêu cầu thay đổi chế độ điều khiển công suất hoặc trả lời PMC-RSP	Basic
64	PMC_RSP, Power control Mode Change Response	Quyết định thay đổi chế độ điều khiển công suất vòng mở (hoặc vòng kín) được thực hiện tại BS. Quyết định này được xác định bởi thông báo PMC_RSP MAC	Basic

Thông báo MBS

Loại (8 bit)	Tên thông báo	Mô tả	Loại nối kết
62	MBS_MAP	Được gởi bởi BS, trên một phần MBS để mô tả các nối kết MBS được phục vụ bởi phần MBS này. Nếu MBS_MAP không được gởi, những nối kết này được mô tả trong DL_MAP	

Thông báo thiết lập tiền mã hóa MIMO

Loại (8 bit)	Tên thông báo	Mô tả	Loại nối kết
65	PRC-LT-CTRL, Setup/Tear-down of Long-Term MIMO Precoding	BS có thể thiết lập sự tiền mã hóa MIMO dài hạn với sự phản hồi từ một SS cụ thể bằng cách gởi thông báo này đến SS này. BS cũng có thể sử dụng thông báo này để loại bỏ sự tiền mã hóa dài hạn có phản hồi	Basic

Các thông báo handover

Loại (8 bit)	Tên thông báo	Mô tả	Loại nối kết
53	MOB_NBR_ADV, Neighbour Advertisement	Được truyền đại chúng bởi một BS, cung cấp thông tin kênh về các BS lân cận thường được cung cấp bởi các cuộc truyền thông báo DCD/UCD của mỗi BS	Broadcast, Primary management
54	MOB_SCN_REQ, Scanning interval allocation Request	Được gởi bởi SS (MS) để yêu cầu một khoảng thời gian quét nhằm mục đích tìm kiếm các BS có sẵn và xác định đích tính thích hợp của chúng như là các mục tiêu cho handover	Basic
55	MOB_SCN_RSP, Scanning interval allocation Response	Được gởi bởi BS để bắt đầu báo cáo quét MS có hoặc không có sự cấp phát quét	Basic

60	MOB_SCN_REP, Scanning result Report	MS truyền một thông báo MOB_SCN_REP để báo cáo các kết quả quét cho BS phục vụ của nó sau mỗi khoảng thời hạn quét vào thời gian được xác định trong thông báo MOB_SCN_RSP	Primary management
66	MOB_ASC_REP, Association result Report	Khi Association Level 2 (báo cáo Association được hỗ trợ bởi mạng được sử dụng bởi Serving BS có thể tập hợp tất cả thông báo RNG_RSP mà nó nhận qua mạng xương sống từ các BS lân cận thành một thông báo MOB_ASC_REP mà sau đó Serving BS gởi đến MS	Primary management
56	MOB_BSHO-REQ, BS_HO Request	BS có thể truyền thông báo MOB_BSHO-REQ khi nó muốn bắt đầu một handover	Basic
57	MOB_MSHO-REQ, MS_HO Request	MS có thể truyền thông báo MOB_MSHO-REQ khi nó muốn bắt đầu một handover	Basic
58	MOB_BSHO-RSP, BS_HO Response	BS truyền một thông báo MOB_BSHO-RSP sau khi nhận một thông báo MOB_MSHO-REQ	Basic
59	MOB_HO-IND, HO Indication	Một MS truyền thông báo MOB_HO-IND, đưa ra một chỉ báo rằng nó sắp thực hiện một handover. Khi MS hủy hoặc từ chối một handover, nó cũng truyền thông báo MOB_HO-IND với một chỉ báo thích hợp	Basic

Các thông báo chế độ Sleep

Loại (8 bit)	Tên thông báo	Mô tả	Loại nối kết
50	MOB_SLP-REQ, Sleep Request	Được gởi bởi một chế độ Sleep hỗ trợ MS để yêu cầu định nghĩa và / hoặc kích hoạt các lớp tiết kiệm năng lượng chế độ Sleep nhất định	Basic
51	MOB_SLP-RSP, Sleep Response	Được gởi từ BS đến một MS trên Broadcast CID hoặc trên MS Basic CID để phản hồi lại một thông báo MOB_SLP-REQ, hoặc không được yêu cầu. Có thể chứa định nghĩa của một lớp tiết kiệm năng lượng chế độ Sleep mới hoặc sự kích hoạt tín hiệu	Basic

52	MOB_TRF-IND, Traffic Indication	Được gởi từ BS đến một MS trong một chế độ Sleep vốn có một hoặc nhiều lớp tiết kiệm năng lượng chế độ Sleep loại 1. Thông báo này được gởi trong các khoảng thời gian lắng nghe MS đó, biểu thị việc đã có lưu lượng được gởi đến bất kỳ MS trong chế độ Sleep hay không	Broadcast

Thông báo chế độ Idle

Loại (8 bit)	Tên thông báo	Mô tả	Loại nối kết
61	MOB_PAG-ADV, BS broadcast PAGing	Được gởi bởi BS trên Broadcast CID hoặc multicast CID chế độ Idle trong khoảng thời gian BS Paging. Xác định cho một số MS hỗ trợ chế độ Idle, yêu cầu thực hiện việc ranging để thiết lập vị trí, việc báo nhận một thông báo hoặc nhập vào mạng (Enter Network)	Broadcast

Phụ lục B

Ví dụ về thông báo Downlink Channel Descriptor (DCD)

Chương 9 đã trình bày các phần chung về thông báo DCD, một thông báo quản lý MAC mô tả các đặc điểm PHY của kênh downlink. Ví dụ này của một thông báo DCD chứa các mô tả về hai downlink burst profile được nhận dạng tương ứng bởi DIUC 0101 (thập lục phân: 5) và DAC 1010 (thập lục phân: A). Phụ lục này trình bày đầy đủ chi tiết về thông báo này, sử dụng các tham số giao diện PHYsical OFDM (WiMAX).

Cấu trúc của thông báo dựa vào các bảng 233 và 358 và cụ thể hơn dựa vào mục 11.4 của tham số IEEE 802.16-2004. Một số giá trị được chọn có thể không hoàn toàn dựa vào các điểm xem xét thực tiễn (ví dụ BSID có định nghĩa không toàn diện trong chuẩn). 802.16e đã bổ sung vài tham số vào thông báo DCD (chủ yếu cho tiến trình handover) vốn không được đưa vào ví dụ này.

Nội dung trường	Chiều dài trường	Tên trường	Mô tả
01	8b (cố định)	Loại thông báo quản lý MAC	01 là giá trị cho DCD
04	8b (cố định)	Downlink Channel ID	Được chọn tùy ý bởi BS
01	8b (cố định)	Configuration Change Count	Xác định một thay đổi với thông báo DCD trước (01 là một giả định)

Phần đầu của mô tả downlink burst profile cho giá trị DIUC = 0101 (thập lục phân: 5), phần này được mã hóa bằng TLV.

01	8b (cố định)	Downlink_Burst_Profile	Bộ chỉ báo Downlink_Burst_Profile
44 (thập lục phân:67)	8b (cố định)	Downlink_Burst_Profile Length	67 byte cho toàn bộ Downlink_Burst_Profile của DIUC = 0101

0	4b (cố định)	Dành riêng	Được xác lập sang zero
05	4b (cố định)	Giá trị DIUC trong phần dưới đây	Giá trị này của DIUC sẽ được kết hợp với Downlink_Burst_Profile và Thresholds được định nghĩa

Phần đầu của các giá trị Channel Encodings cho giá trị DIUC = 0101 (thập lục phân: 5), phần này được mã hóa bằng TLV.

01	1 byte	Loại mã hóa Downlink_ Burst_Profile	Số byte cho toàn bộ đối tượng kể cả các mục TLV được nhúng
01	1 byte	Loại mã hóa Downlink_ Burst_Profile	Xem quy tắc cho chiều dài TLV
44 (thập lục phân: 67)	1 byte	Giá trị mã hóa Downlink_Burst_ Profile	67 byte cho toàn bộ Downlink_Burst_Profile của DIUC = 0101
02	1 byte	Loại mã hóa BS EIRP	Công suất truyền BS (công suất bức xạ đặt hướng hiệu dụng)
01	1 byte	Chiều dài mã hóa BS EIRP	Xem quy tắc cho chiều dài TVL
1E	1 byte	Giá trị mã hóa BS EIRP	Có dấu bằng các đơn vị 1dBm (xem ghi chú 1 và cuối phụ lục B)
06	1 byte	Loại mã hóa Downlink channel number	Được sử dụng chỉ trong hoạt động miễn bản quyền
01	1 byte	Chiều dài mã hóa Downlink channel number	
09	1 byte	Giá trị mã hóa Downlink channel number	Channel Number (Channel Nr), một giá trị 8 bit cho phép tính tần số trung tâm kênh cho các dãy tần số miễn bản quyền
07	1 byte (cố định)	Loại mã hóa TTG (Transmit/receive Transition Gap)	Được biểu thị Physical Slot
01	1 byte	Chiều dài mã hóa TTG (Transmit/receive Transition Gap)	
2D	1 byte	Giá mã hóa TTG (Transmit/receive Transition Gap)	148 Physical Slot
08	1 byte (cố định)	Loại mã hóa RTG (Receive/transmit Transition Gap)	Được biểu thị bằng Physical Slot
01	1 byte	Chiều dài mã hóa RTG (Receive/transmit Transition Gap)	

2D	1 byte	Giá trị mã hóa RTG (Receive/transmit Transition Gap)	84 Physical Slot
09 (cố định)	1byte	Loại mã hóa Initial Ranging Maximal Received Signal Strength at BS	RSS IR, MAX: cường độ tín hiệu nhận tối đa Initial Ranging Maximal Received Signal Strength tại BS
02	1 byte	Chiều dài mã hóa Initial Ranging Maximal Received Signal Strength at BS	
FFE4	2 byte	Giá trị mã hóa Initial Ranging Maximal Received Signal Strength at BS	Có dấu bằng các đơn vị 1 dBm (xem ghi chú 1 bên dưới) FFE4= --28dBm (10^{-58} W)
A (thập phân: 10)	1 byte (cố định)	Loại mã hóa Channel Switch Frame Number	Được sử dụng chỉ trong hoạt động miễn bản quyền. Trong trường hợp của DFS (Dynamic Frequency Selection), kênh cần được sử dụng được suy ra bằng cách sử dụng Channel Switch Frame Number này
03	1 byte	Chiều dài mã hóa Channel Switch Frame Number	Xem quy tắc cho chiều dài TLV
000003	3 byte	Giá trị mã hóa Channel Switch Frame Number	+3
C (thập phân: 12)	1 byte (cố định)	Loại mã hóa Downlink centre frequency	Trung tâm dãy tần số trong đó một base station (BS) được ấn định để truyền bằng kHz
04	1 byte	Chiều dài mã hóa Downlink centre frequency	
00365240	4 byte	Giá trị mã hóa Downlink centre frequency	00365240 (0000,0000,0011, 0110,0101,1111,1110,1010) =3560000 kHz (3.56 GHz)
D (giá trị thập phân: 13)	1 byte (cố định)	Loại mã hóa Base Station ID	Base Station ID là một trường dài 48 bít nhận dạng BS (không phải địa chỉ MAC)
06	1 byte	Chiều dài mã hóa Base Station ID	
AE54AA 123456	6 byte	Giá trị mã hóa Base Station ID	Base Station ID có thể lập trình. 24 bit MS phải được sử dụng operator ID. Một giá trị ngẫu nhiên đã được chọn ở đây
E (thập phân 14)	1 byte (cố định)	Loại mã hóa Frame Duration Code	Các giá trị Frame Duration Code được cho trong chuẩn
01	1 byte	Chiều dài mã hóa Frame Duration Code	

03	1 byte	Giá trị mã hóa Frame Duration Code	Mã tương ứng với 8 ms (xem bảng 232 của 802.16-2004)
F (thập phân 15)	1 byte (cố định)	Loại mã hóa Frame Number	Frame Number là một số modulo 2^{12} (một số 12 bit vốn được tăng lên 1 cho mỗi frame).
03	1 byte	Chiều dài mã hóa Frame Number	
A0B1EE	3 byte	Giá trị mã hóa Frame Number	Số frame của frame chứa thông báo DCD
Thứ 94 (thập phân: 148)	1 byte (cố định)	Loại mã hóa MAC version	Xác định phiên bản của chuẩn IEEE 802.16 mà đối tượng khởi tạo thông báo tuân theo
01	1 byte	Chiều dài mã hóa MAC version	
04	1 byte	Giá trị mã hóa MAC version	Biểu thị sự tuân theo IEEE 802.16-2004

Phần đầu của các giá trị mã hóa Burst Profile cho các giá trị DIUC = 0101 (thập lục phân: 5) phần này được mã hóa bằng TLV

01	1 byte (cố định)	Loại mã hóa Frequency	Tần số downlink của burst pro file tính bằng kHz
04	1 byte	Chiều dài mã hóa Frequency	
00365FEA	4 byte	Giá trị mã hóa Frequency	00365FEA (0000,0000, 0011,0110,0101,1111, 1110,1010)=3563 500 kHz (3.5635 GHz)
96 (thập phân: 150)	1 byte (cố định)	Loại mã hóa FEC Code	Cung cấp sự điều biến và cung cấp mã hóa của burst profile
01	1 byte	Chiều dài mã hóa FEC Code	
03	1 byte	Giá trị mã hóa FEC Code	Giá trị này tương ứng với sự điều biến 16-QAM và Reed-Solomon CC, tốc độ mã hóa bằng ½
97 (Thập phân: 151)	1 byte (cố định)	Loại mã hóa DIUC mandatory exit threshold	CINR (Carrier-to-Interference-and-Noise Ratio) được sử dụng để chọn burst profile (hoặc tương đương DIUC). Tính bằng các đơn vị 0.25dB
01	1 byte	Chiều dài mã hóa DIUC mandatory exit threshold	
30 (thập phân: 48)	1 byte	Giá trị mã hóa DIUC mandatory exit threshold	Tương ứng với 48 x 0.25 dB = 12 dB

98 (thập phân: 152)	1 byte (cố định)	Loại mã hóa DIUC mandatory entry threshold	CINR (Carrier-to-Interference-and-Noise Ratio) được sử dụng để chọn burst profile (hoặc tương đương DIUC). Tính bằng các đơn vị 0.25dB
01	1 byte	Chiều dài mã hóa DIUC mandatory entry threshold	
36 (thập phân: 54)	1 byte	Giá trị mã hóa DIUC mandatory entry threshold	Tương ứng với 54 x 0.25 dB = 13.5 dB
99 (thập phân: 153)	1 byte (cố định)	Loại mã hóa TCS enable	TCS (Transmission Convergence Sublayer) là một cơ cấu tùy chọn cho OFDF PHY (8.1.4.3) 0 = TCS được tắt (disable) 1 = TCS được mở (enable) 2 - 255 = dành riêng (Reserved)
01	1 byte	Chiều dài mã hóa TCS enable	
1	1 byte	Giá trị mã hóa TCS enable	1 = TCS enable

Phần đầu của phần mô tả Downlink Burst Profile cho giá trị DIUC = 1010 (thập lục phân: A). Phần này được mã hóa bằng TLV

01	8b (cố định)	Downlink_Burst_ Profile Type	Bộ chỉ báo Downlink_Burst_Profile
44 (Thập phân: 67)	8b (cố định)	Chiều dài Downlink_ Burst_Profile	67 byte cho toàn bộ Downlink_Burst_Profile của DIUC = 1010
0	4b (cố định)	Dành riêng	Được xác lập sang zero
A	4b (cố định)	Giá trị DIUC	Giá trị này của DIUC sẽ được kết hợp với Downlink_Burst_Profile và Thresholds được định nghĩa trong phần dưới đây

Phần đầu của các giá trị Channel Encodings cho giá trị DIUC = 1010 (thập lục phân: A). Phần này được mã hóa bằng TLV

01	1 byte (cố định)	Loại mã hóa Downlink_Burst_Profile	Số byte trong toàn bộ đối tượng kể cả các mục TLV nhúng
01	1 byte	Chiều dài mã hóa Downlink_Burst_Profile	Xem quy tắc cho chiều dài TLV
44 (thập phân: 67)	1 byte	Giá trị mã hóa Downlink_Burst_Profile	67 byte cho toàn bộ mã hóa Downlink_Burst_Profile của DIUC = 1010
02	1 byte (cố định)	Loại mã hóa BS EIRP	Công suất truyền BS (công suất bức xạ đẳng hướng hiệu dụng)

01	1 byte	Chiều dài mã hóa BS EIRP	Xem quy tắc cho chiều dài TLV
1E	1 byte	Giá trị mã hóa BS EIRP	Có dấu bằng các đơn vị 1 dBm (xem bên dưới) 1E = 30 dBm (1W)
06	1 byte (cố định)	Loại mã hóa Downlink Channle Number	Được sử dụng chỉ cho hoạt động miễn bản quyền
01	1 byte	Chiều dài mã hóa Downlink Channle Number	
09	1 byte (cố định)	Giá trị mã hóa Downlink Channle Number	Channel Number (Channel Nr), một giá trị 8 bit cho phép tính toán tần số trung tâm kênh cho các dải tần số miễn bản quyền
07	1 byte (cố định)	Loại mã hóa TTG (Transmit/receive Transition Gap)	Được biểu thị bằng Physical Slot
01	1 byte	Chiều dài mã hóa TTG (Transmit/receive Transition Gap)	
3C	1 byte	Giá trị mã hóa TTG (Transmit/receive Transition Gap)	148 Physical Slot
08	1 byte (cố định)	Loại mã hóa RTG (Receive/transmit Transition Gap)	Được biểu thị bằng Physical Slot
01	1 byte	Chiều dài mã hóa RTG (Receive/transmit Transition Gap)	
3C	1 byte	Giá trị mã hóa RTG (Receive/transmit Transition Gap)	84 Physical Slot
09	1 byte (cố định)	Loại mã hóa Intial Ranging Maximal Received Signal Strength at BS	$RSS^{IR,\ max}$: Cường độ tín hiệu nhận được tối đa Intial Ranging tại BS
02	1 byte	Chiều dài mã hóa Intial Ranging Maximal Received Signal	
FFE6	2	Giá trị mã hóa Intial Ranging Maximal Received Signal	Có dấu bằng các đơn vị 1 dBm (xem ghi chú bên dưới) FFe6 = -26 dBm (10^{-56}W)
A (thập phân: 10)	1 byte (cố định)	Loại mã hóa Channel Switch Frame Number	Được sử dụng chỉ trong hoạt động miễn bản quyền. Trong trường hợp của DFS (Dynamic Frequency Selection), kênh mới cần được sử dụng suy ra bằng cách sử dụng Channel Switch Frame Number này

03	1 byte	Chiều dài mã hóa Channel Switch Frame Number	Xem quy tắc cho chiều dài TLV
000003	3 byte	Giá trị mã hóa Channel Switch Frame Number	+3
C (thập phân: 12)	1 byte (cố định)	Loại mã hóa Downlink centre frequency	Trung tâm của dãy tần số mà trong đó một base station (BS) hoặc SS để truyền tính bằng kHz
04	1 byte	Chiều dài mã hóa Downlink centre frequency	
0036 5240	4 byte	Giá trị mã hóa Downlink centre frequency	00365240 (0000,0000,0011, 0110,0101,1111,1110,1010) = 3 560 000 kHz (3.56 GHz)
D (thập phân: 13)	1 byte (cố định)	Loại mã hóa Base Station ID	Base Station ID là một trường dài 48 bit nhận dạng BS (không phải địa chỉ MAC)
06	1 byte	Chiều dài mã hóa Base Station ID	
AE54 123456	6 byte	Giá trị mã hóa Base Station ID	Base Station ID có thể lập trình. 24 bit MS phải được sử dụng làm operator ID. Một giá trị ngẫu nhiên đã được chọn ở đây
E (thập phân: 14)	1 byte (cố định)	Loại mã hóa Frame Duration Code	Các giá trị Frame Duration Code được cho trong chuẩn
01	1 byte	Chiều dài mã hóa Frame Duration Code	
04	1 byte	Giá trị mã hóa Frame Duration Code	Mã tương ứng với 10 MS (xem bảng 232 của 802.16-2004)
F (thập phân: 15)	1 byte (cố định)	Loại mã hóa Frame	Frame Number là một số modulo 2^{12} (một số 12 bit) vốn được tăng lên một cho mỗi Frame
03	1 byte	Chiều dài mã hóa Frame Number	
A0b1EE	3 byte	Giá trị mã hóa Frame Number	Frame Number của frame chứa thông báo DCD
94 (thập phân: 148)	1 byte (cố định)	Loại mã hóa MAC, version	Xác định phiên bản của IEEE 802.16 mà đối tượng khởi tạo thông báo tuân theo
01	1 byte	Chiều dài mã hóa MAC version	
04	1 byte	Giá trị mã hóa MAC, version	Xác định sự tuân theo IEEE Std 802.16-2004

Phần đầu của các giá trị mã hóa Burst Profile cho các giá trị DIUC = 1010 (thập lục phân: A). Phần này được mã hóa bằng TLV.

01	1 byte (cố định)	Loại mã hóa Frequency	Tần số Downlink của burst profile này tính bằng kHz
04	1 byte	Chiều dài mã hóa Frequency	
0036 5FEA	4 byte	Giá trị tần số Frequency	00365FEA (0000,0000,0011, 0110,0101,1111,1110,1010) = 3 563 500 kHz (3.5635 GHz)
96 (thập phân: 150)	1 byte (cố định)	Loại mã hóa FEC Code	Cung cấp sự điều biến và phương pháp mã hóa của burst profile
01	1 byte	Chiều dài mã hóa FEC Code	
05	1 byte	Giá trị mã hóa FEC Code	Giá trị này tương ứng với sự điều biến 64-QAM và Reed-Solomon CC, tốc độ mã hóa = 2/3
97 (thập phân: 151)	1 byte (cố định)	Loại mã hóa DIUC mandatory exit threshold	CINR (Carrier-to-Interference-and-Noise Ratio) được sử dụng để chọn burst profile (hoặc tương đương DIUC). Tính bằng 0.25 dB
01	1 byte	Chiều dài mã hóa DIUC mandatory exit threshold	
52 (thập phân: 82)	1 byte	Giá trị mã hóa DIUC mandatory exit threshold	Tương ứng với 82 x 0.25 dB = 20.5 dB
98 (thập phân: 152)	1 byte (cố định)	Loại mã hóa DIUC mandatory exit entry threshold	CINR (Carrier-to-Interference-and-Noise Ratio) được sử dụng để chọn burst profile (hoặc tương đương DIUC). Tính bằng 0.25 dB
01	1 byte	Chiều dài mã hóa DIUC mandatory exit entry threshold	
62 (thập phân: 98)	1 byte	Giá trị mã hóa DIUC mandatory exit entry threshold	Tương ứng với 98 x 0.25 dB = 24.5
99 (thập phân: 153)	1 byte (cố định)	Loại mã hóa TCE_enable	TCS (Transmission Sublayer) là một cơ cấu tùy chọn cho OPDM PHY 0 = TCS disable (được tắt) 1 = TCS enable (được mở) 2 - 255 = Reserved (dành riêng)

01	1 byte	Chiều dài mã hóa TCE_enable	
1	1 byte	Giá trị mã hóa TCE_enable	1 = TCS enable (được mở)

Không có quy tắc cụ thể nào được trình bày trong chuẩn (802.16-2004) cho một số mã tham số. Giả định rằng với N tổ hợp có thể có (ví dụ với 16 bit, 65 536 tổ hợp), N/2 tổ hợp đầu tiên (0 đến 32767) tượng trưng cho các số dương trong khi 32768 tổ hợp kế tiếp (32768 đến 65536) tượng trưng cho các số âm (bù hai). Để có được "-28", lấy số tổ hợp (65536) trừ cho 28 để được 65508 (nhị phân: 1111,1111,1110,0100; thập lục phân: FFE4).

Mục lục

Phần 1 : Giới thiệu WiMAX

Phần 4 : Các chủ điểm khác

Hướng dẫn sử dụng WIMAX

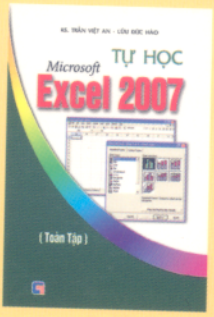
KS. TRỊNH QUỐC TIẾN

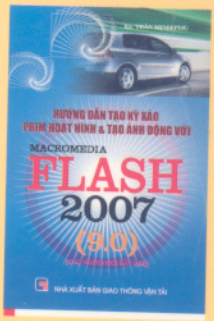
Chịu trách nhiệm xuất bản:
HOÀNG CHÍ DŨNG
Biên tập: NGUYỄN NAM
Bìa: LÊ THÀNH
Sửa bản in : HOÀNG SƠN

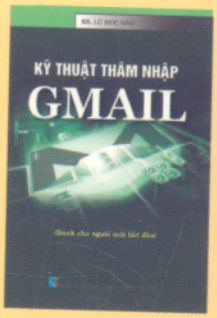
NHÀ XUẤT BẢN HỒNG ĐỨC

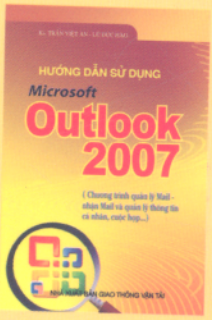
In 1.000 cuốn khổ (16x24)cm tại Công Ty Cổ Phần Văn Hóa Vạn Xuân. Số đăng ký KHXB 86-2008/CXB/56-22/ HĐ. QĐXB số 16/QĐXB ký ngày 22/02/2008. In xong và nộp lưu chiểu quý 2 năm 2008.

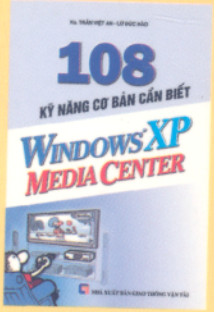
HƯỚNG DẪN SỬ DỤNG **WiMax**











NVC
NHAN VAN CORP.
HỆ THỐNG NHÀ SÁCH NHÂN VĂN
Trân trọng tri thức Việt

TRUNG TÂM PHÁT HÀNH SÁCH:
* 875 CMT8 - P. 15- Q.10, TP. Hồ Chí Minh
Tel: 09770096 Fax: 9708161
* 486 Nguyễn thị Minh Khai, P.2, Q. 3, TP. Hồ Chí Minh
Tel/Fax: 8396733
* 01 Trường Chinh, P.11, Q. Tân Bình, TP. Hồ Chí Minh
Tel: 9712285 Fax: 9712286

www.nhanvan.com.vn

WIMAX
8 935072 829704
GIÁ: 57.000Đ