

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



LÝ THUYẾT TRẢI PHỒ VÀ ĐA TRUY NHẬP VÔ TUYẾN

(Dùng cho sinh viên hệ đào tạo đại học từ xa)

Lưu hành nội bộ

HÀ NỘI - 2006

LÝ THUYẾT TRẢI PHỔ VÀ ĐA TRUY NHẬP VÔ TUYẾN

Biên soạn : TS. NGUYỄN PHẠM ANH DŨNG

LỜI NÓI ĐẦU

Các công nghệ đa truy nhập là nền tảng của các hệ thống thông tin đa truy nhập vô tuyến nói chung và thông tin di động nói riêng. Các công nghệ này cho phép các hệ thống đa truy nhập vô tuyến phân bổ tài nguyên vô tuyến một cách hiệu suất cho các người sử dụng. Tùy thuộc vào việc sử dụng tài nguyên vô tuyến để phân bổ cho các người sử dụng mà các công nghệ này được phân chia thành: đa truy nhập phân chia theo tần số (FDMA), đa truy nhập phân chia theo thời gian (TDMA), đa truy nhập phân chia theo mã (CDMA) và đa truy nhập phân chia theo không gian (SDMA). Các hệ thống thông tin di động mới đều sử dụng kết hợp cả bốn công nghệ đa truy nhập này để phân bổ hiệu quả nhất tài nguyên cho các người sử dụng. Công nghệ đa truy nhập phân chia theo mã với nhiều ưu việt so với các công nghệ khác nên ngày càng trở thành công nghệ đa truy nhập chính.

Công nghệ đa truy nhập CDMA được xây dựng trên cơ sở kỹ thuật trải phổ. Kỹ thuật trải phổ đã được nghiên cứu và áp dụng trong quân sự từ những năm 1930, tuy nhiên gần đây các kỹ thuật này mới được nghiên cứu và áp dụng thành công trong các hệ thống tin vô tuyến tổ ong. Các phần tử cơ bản của mọi hệ thống trải phổ là các chuỗi giả ngẫu nhiên. Có thể coi rằng Sol Golomb là người đã dành nhiều nghiên cứu toán học cho vấn đề này trong các công trình của ông vào những năm 1950. Ý niệm đầu tiên về đa truy nhập trải phổ phân chia theo mã (SSCDMA: Spread Spectrum Code Division Multiple Access) đã được R.Price và P.E.Green trình bày trong bài báo của mình năm 1958. Vào đầu những năm 1970 rất nhiều bài báo đã chỉ ra rằng các hệ thống thông tin CDMA có thể đạt được dung lượng cao hơn các hệ thống thông tin đa truy nhập phân chia theo thời gian (TDMA: Time Division Multiple Access). Các hệ thống trải phổ chuỗi trực tiếp đã được xây dựng vào những năm 1950. Thí dụ về các hệ thống đầu tiên là: ARC-50 của Magnavox và các hệ thống thông tin vô tuyến vệ tinh OM-55, USC-28. Trong các bài báo của mình (năm 1966) các tác giả J.W.Schwartz, W.J.M.Aein và J. Kaiser là những người đầu tiên so sánh các kỹ thuật đa truy nhập FDMA, TDMA và CDMA. Các thí dụ khác về các hệ thống quân sự sử dụng công nghệ CDMA là vệ tinh thông tin chiến thuật TATS và hệ thống định vị toàn cầu GPS. Ở Mỹ các vấn đề về cạn kiệt dung lượng thông tin di động đã nảy sinh từ những năm 1980. Tình trạng này đã tạo cơ hội cho các nhà nghiên cứu ở Mỹ tìm ra một phương án thông tin di động số mới. Để tìm kiếm hệ thống thông tin di động số mới người ta nghiên cứu công nghệ đa truy nhập phân chia theo mã trên cơ sở trải phổ (CDMA). Được thành lập vào năm 1985, Qualcomm, sau đó được gọi là "Thông tin Qualcomm" (Qualcomm Communications) đã phát triển công nghệ CDMA cho thông tin di động và đã nhận được nhiều bằng phát minh trong lĩnh vực này. Lúc đầu công nghệ này được đón nhận một cách dè dặt do quan niệm truyền thống về vô tuyến là mỗi cuộc thoại đòi hỏi một kênh vô tuyến riêng. Đến nay công nghệ này đã trở thành công nghệ thống trị ở Bắc Mỹ và nền tảng của thông tin di động thế hệ ba. Qualcomm đã đưa ra phiên bản CDMA đầu tiên được gọi là IS-95A. Hiện nay phiên bản mới IS-2000 và W-CDMA đã được đưa ra cho hệ thống thông tin di động thứ 3.

Trong lĩnh vực thông tin di động vệ tinh càng ngày càng nhiều hệ thống tiếp nhận sử dụng công nghệ CDMA. Các thí dụ điển hình về việc sử dụng công nghệ này cho thông tin vệ tinh là: Hệ thống thông tin di động vệ tinh quỹ đạo thấp (LEO: Low Earth Orbit) Loral/Qualcomm Global

Star sử dụng 48 vệ tinh, Hệ thống thông tin di động vệ tinh quỹ đạo trung bình (MEO: Medium Earth Orbit) TRW sử dụng 12 vệ tinh.

Một trong các hạn chế chính của các hệ thống CDMA hiện nay là hiệu năng của chúng phụ thuộc vào nhiễu của các người sử dụng cùng tần số, MUI (Multi user Interference). Đây là lý do dẫn đến giảm dung lượng và đòi hỏi phải điều khiển công suất nhanh. Các máy thu liên kết đa người sử dụng (MUD: Multi User Detector) sẽ cho phép các hệ thống CDMA mới dần khắc phục được các nhược điểm này và cho phép CDMA tỏ rõ được ưu điểm vượt trội của nó.

Gần đây một số công nghệ đa truy nhập mới như: đa truy nhập phân chia theo tần số trực giao (OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access) và CDMA đa sóng mang (MC CDMA: Multicarrier CDMA) cũng trở thành đề tài nghiên cứu của nhiều trường đại học và các phòng thí nghiệm trên thế giới. Đây là các phương pháp đa truy nhập mới đầy triển vọng. Điều chế OFDM là cơ sở để xây dựng OFDMA đã được công nhận là tiêu chuẩn cho WLAN 802.11 và HIPERLAN. Trong tương lai hai công nghệ đa truy nhập này rất có thể sẽ tìm được các ứng dụng mới trong các hệ thống thông tin đa truy nhập vô tuyến băng rộng đa phương tiện và di động thế hệ sau.

Tài liệu bao gồm các bài giảng về môn học "Lý thuyết trải phổ và đa truy nhập vô tuyến" được biên soạn theo chương trình đại học công nghệ viễn thông của Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông. Mục đích của tài liệu là cung cấp cho sinh viên các kiến thức căn bản nhất về các phương pháp đa truy nhập vô tuyến và lý thuyết trải phổ để có thể tiếp cận các công nghệ thông tin vô tuyến di động mới đang và sẽ phát triển rất nhanh.

Tài liệu này được xây dựng trên cơ sở sinh viên đã học các môn: Anten và truyền sóng, Truyền dẫn vô tuyến số. Tài liệu là cơ sở để sinh viên học các môn học: Thông tin di động, Thông tin vệ tinh và các Hệ thống thông tin đa truy nhập vô tuyến khác như WLAN.

Do hạn chế của thời lượng nên tài liệu này chỉ bao gồm các phần căn bản liên quan đến các kiến thức cơ sở về lý thuyết trải phổ và đa truy nhập. Tuy nhiên học kỹ tài liệu này sinh viên có thể hoàn chỉnh thêm kiến thức của môn học bằng cách đọc các tài liệu tham khảo dẫn ra ở cuối tài liệu này.

Tài liệu này được chia làm sáu chương. Được kết cấu hợp lý để sinh viên có thể tự học. Mỗi chương đều có phần giới thiệu chung, nội dung, tổng kết, câu hỏi và bài tập. Cuối tài liệu là đáp án cho các bài tập.

Người biên soạn: TS. Nguyễn Phạm Anh Dũng

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐA TRUY NHẬP VÔ TUYẾN VÀ KỸ THUẬT TRẢI PHỔ

1.1. GIỚI THIỆU CHUNG

1.1.1. Các chủ đề được trình bày trong chương

- Tổng quan FDMA
- Tổng quan TDMA
- Tổng quan CDMA
- Tổng quan SDMA
- So sánh dung lượng các hệ thống FDMA, TDMA và CDMA

1.1.2. Hướng dẫn

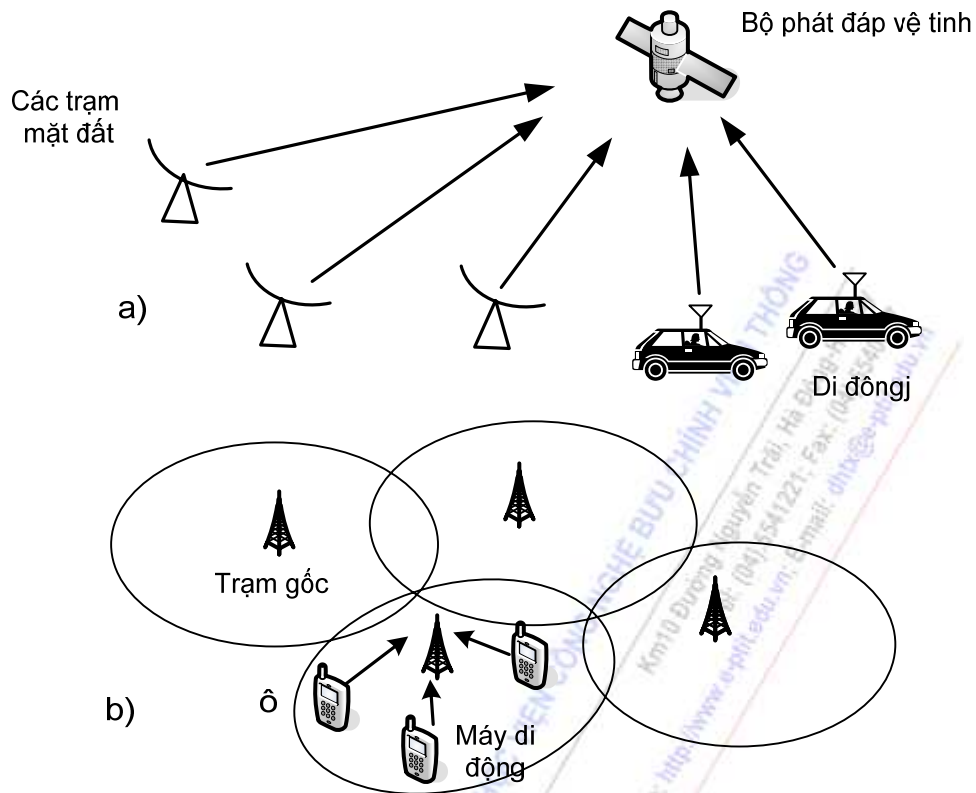
- Học kỹ các tư liệu được trình bày trong chương này
- Tham khảo thêm [2]
- Trả lời các câu hỏi và bài tập cuối chương

1.1.3. Mục đích chương

- Hiểu được tổng quan các phương pháp đa truy nhập
- Hiểu cách so sánh được dung lượng của các hệ thống đa truy nhập khác nhau

1.2. MỞ ĐẦU

Các phương thức đa truy nhập vô tuyến được sử dụng rộng rãi trong các mạng thông tin di động. Trong chương này ta sẽ xét tổng quan các phương pháp đa truy nhập được sử dụng trong thông tin vô tuyến. Ngoài ra ta cũng xét kỹ thuật trải phổ như là kỹ thuật cơ sở cho các hệ thống thông tin di động CDMA. Mô hình của một hệ thống đa truy nhập được cho ở hình 1.1.



Hình 1.1. Các hệ thống đa truy nhập: a) các đầu cuối mặt đất và bộ phát đáp, b) các trạm di động và các trạm gốc.

Thông thường ở một hệ thống thông tin đa truy nhập vô tuyến có nhiều trạm đầu cuối và một số các trạm có nhiệm vụ kết nối các trạm đầu cuối này với mạng hoặc chuyển tiếp các tín hiệu từ các trạm đầu cuối đến một trạm khác. Các trạm đầu cuối ở trong các hệ thống thông tin di động mặt đất là các máy di động còn các trạm đầu cuối trong các hệ thống thông tin vệ tinh là các trạm thông tin vệ tinh mặt đất. Các trạm kết nối các trạm đầu cuối với mạng hoặc chuyển tiếp các tín hiệu từ các trạm đầu cuối đến các trạm khác là các trạm gốc trong thông tin di động mặt đất hoặc các bộ phát đáp trên vệ tinh trong các hệ thống thông tin vệ tinh. Do vai trò của trạm gốc trong thông tin di động mặt đất và bộ phát đáp vệ tinh cũng như máy di động và trạm mặt đất giống nhau ở các hệ thống đa truy nhập vô tuyến nên trong phần này ta sẽ xét chúng đôi lần cho nhau. Trong các hệ thống thông tin đa truy nhập vô tuyến bao giờ cũng có hai đường truyền: một đường từ các trạm đầu cuối đến các trạm gốc hoặc các trạm phát đáp, còn đường khi theo chiều ngược lại. Theo quy ước chung đường thứ nhất được là đường lên còn đường thứ hai được gọi là đường xuống. Các phương pháp đa truy nhập được chia thành bốn loại chính:

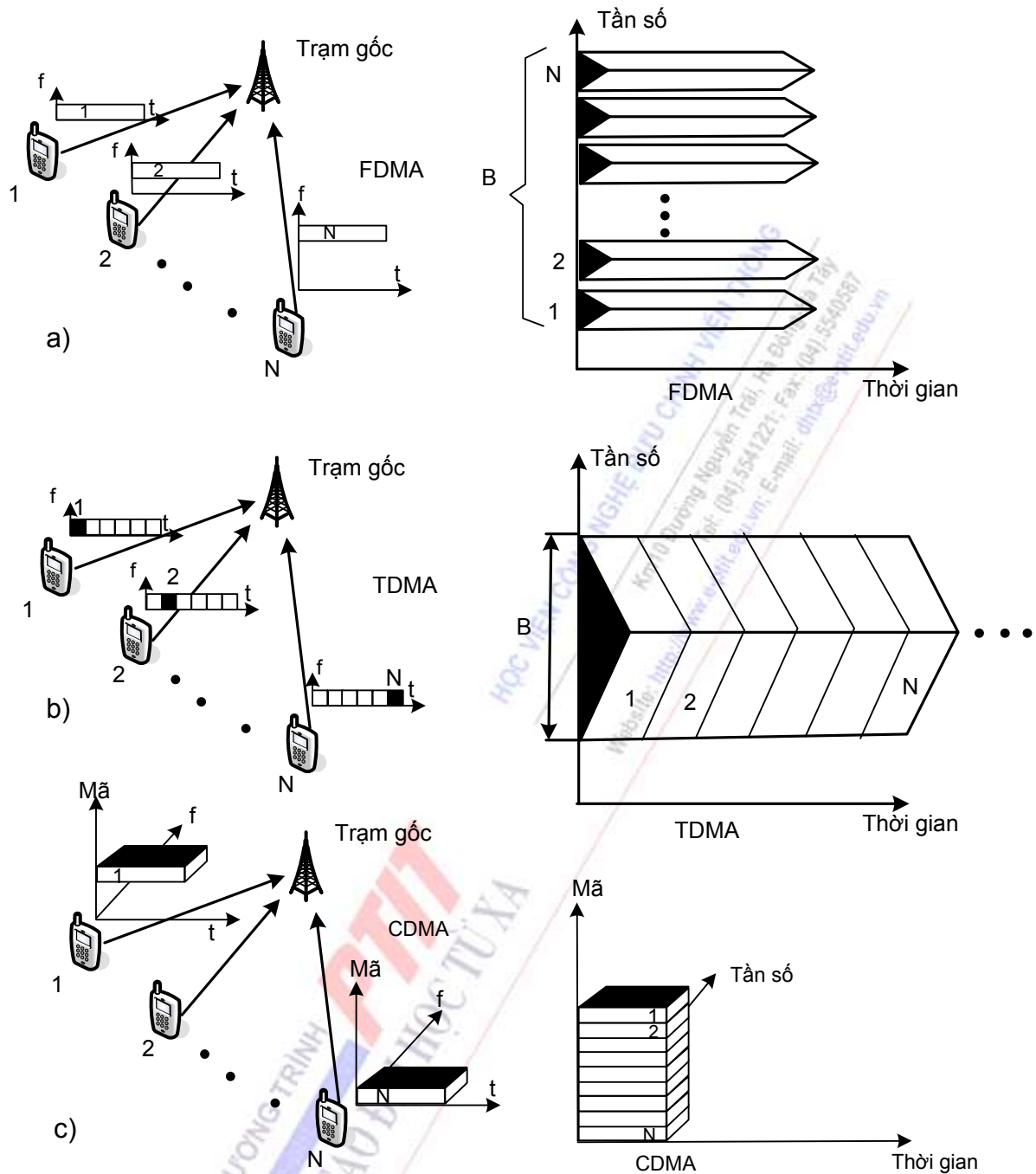
- Đa truy nhập phân chia theo tần số (FDMA: Frequency Division Multiple Access).
- Đa truy nhập phân chia theo thời gian (TDMA: Time Division Multiple Access).
- Đa truy nhập phân chia theo mã (CDMA: Code Division Multiple Access).
- Đa truy nhập phân chia theo không gian (SDMA: Space Division Access).

Các phương pháp đa truy nhập cơ bản nói trên có thể kết hợp với nhau để tạo thành một phương pháp đa truy nhập mới.

Các phương pháp đa truy nhập được xây dựng trên cơ sở phân chia tài nguyên vô tuyến cho các nguồn sử dụng (các kênh truyền dẫn) khác nhau.

Nguyên lý của ba phương pháp đa truy nhập cơ bản đầu tiên được cho ở hình 1.2. Mỗi kênh người sử dụng vô tuyến trong hệ thống vô tuyến tổ ong mặt đất hay một trạm đầu cuối trong hệ thống thông tin vệ tinh đa trạm sử dụng một sóng mang có phổ nằm trong băng tần của kênh vào thời điểm hoạt động của kênh. Tài nguyên dành cho kênh có thể được trình bày ở dạng một hình chữ nhật trong mặt phẳng thời gian và tần số. Hình chữ nhật này thể hiện độ rộng của kênh và thời gian hoạt động của nó (hình 1.2). Khi không có một quy định trước các sóng mang đồng thời chiếm hình chữ nhật này và gây nhiễu cho nhau. Để tránh được can nhiễu này các máy thu của trạm gốc (hay các phát thu của các trạm phát đáp trên vệ tinh) và các máy thu của các trạm đầu cuối phải có khả năng phân biệt các sóng mang thu được. Để đạt được sự phân biệt này các tài nguyên phải được phân chia:

- Như là hàm số của vị trí năng lượng sóng mang ở vùng tần số. Nếu phổ của sóng mang chiếm các băng tần con khác nhau, máy thu có thể phân biệt các sóng mang bằng cách lọc. Đây là nguyên lý đa truy nhập phân chia theo tần số (FDMA: Frequency Division Multiple Access, hình 1.2a).
- Như là hàm vị trí thời gian của các năng lượng sóng mang. Máy thu thu lần lượt các sóng mang cùng tần số theo thời gian và phân tách chúng bằng cách mở cổng lần lượt theo thời gian thậm chí cả khi các sóng mang này chiếm cùng một băng tần số. Đây là nguyên lý đa truy nhập phân chia theo thời gian (TDMA: Time Division Multiple Access; hình 1.2b).
- Như là hàm phụ thuộc mã của các năng lượng sóng mang. Máy thu thu đồng thời các sóng mang cùng tần số và phân tách chúng bằng cách giải mã các sóng mang này theo mã mà chúng được phát. Do mỗi kênh hay nguồn phát có một mã riêng nên máy thu có thể phân biệt được sóng mang thậm chí tất cả các sóng mang đồng thời chiếm cùng một tần số. Mã phân biệt kênh hay nguồn phát thường được thực hiện bằng các mã giả tạp âm (PN: Pseudo Noise Code). Phương pháp này được gọi là đa truy nhập phân chia theo mã (CDMA: Code Division Multiple Access; hình 1.2c). Việc sử dụng các mã này dẫn đến sự mở rộng đáng kể phổ tần của sóng mang so với phổ mà nó có thể có khi chỉ được điều chế bởi thông tin hữu ích. Đây cũng là lý do mà CDMA còn được gọi là đa truy nhập trải phổ (SSMA: Spread Spectrum Multiple Access).
- Như là hàm phụ thuộc vào không gian của các năng lượng sóng mang. Năng lượng sóng mang của các kênh hay các nguồn phát khác nhau được phân bố hợp lý trong không gian để chúng không gây nhiễu cho nhau. Vì các kênh hay các nguồn phát chỉ sử dụng không gian được quy định trước nên máy thu có thể thu được sóng mang của nguồn phát cần thu thậm chí khi tất cả các sóng mang khác đồng thời phát và phát trong cùng một băng tần. Phương pháp này được gọi là phương pháp đa truy nhập theo không gian (SDMA: Space Division Multiple Access). Có nhiều biện pháp để thực hiện SDMA như:

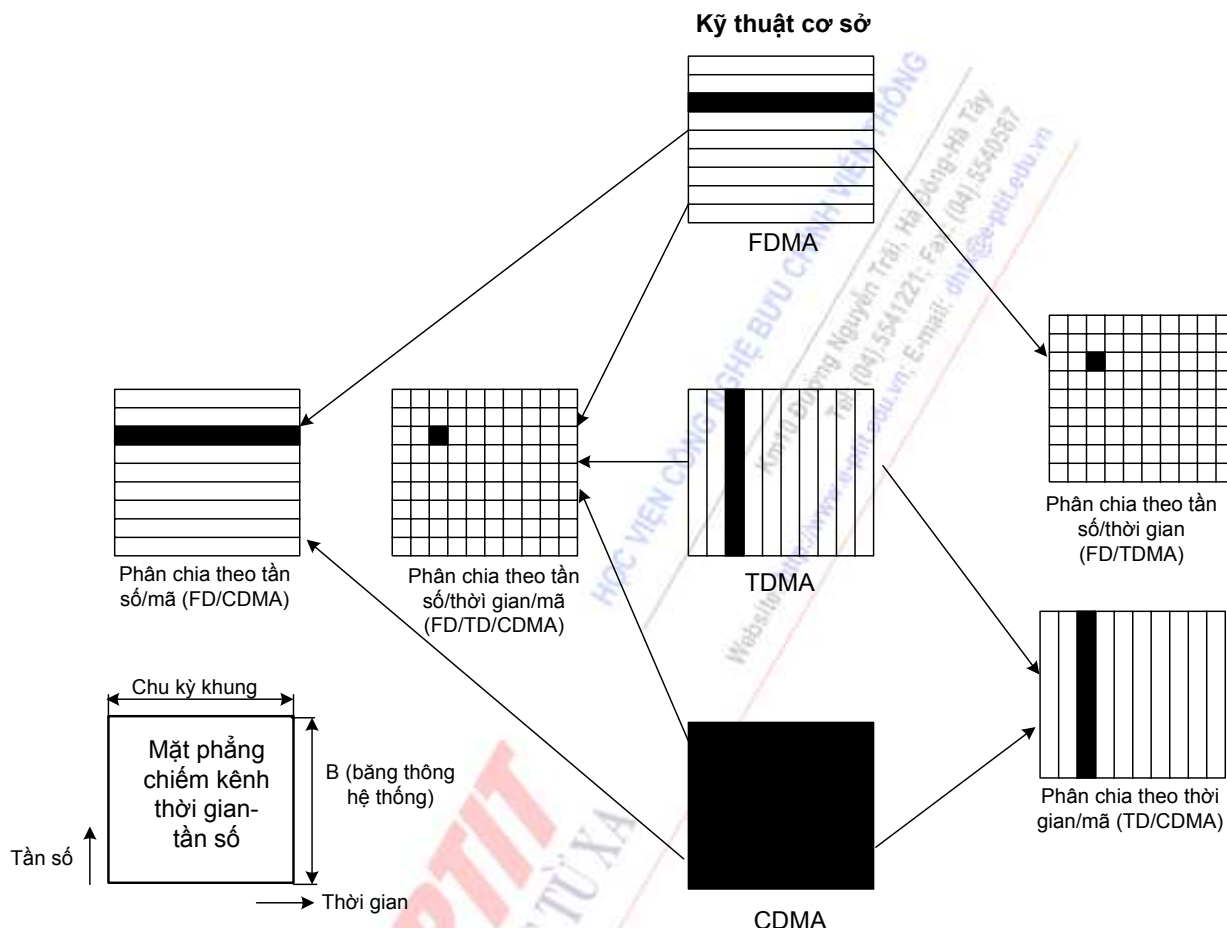


Hình 1.2. Nguyên lý đa truy nhập: a) Đa truy nhập phân chia theo tần số (FDMA); b) Đa truy nhập phân chia theo thời gian (TDMA); c) Đa truy nhập phân chia theo mã (CDMA)

1. Sử dụng lặp tần số cho các nguồn phát tại các khoảng cách đủ lớn trong không gian để chúng không gây nhiễu cho nhau. Phương pháp này thường được gọi là phương pháp tái sử dụng tần số và khoảng cách cần thiết để các nguồn phát cùng tần số không gây nhiễu cho nhau được gọi là khoảng cách tái sử dụng tần số. Cần lưu ý rằng thuật ngữ tái sử dụng tần số cũng được sử dụng cho trường hợp hai nguồn phát hay hai kênh truyền dẫn sử dụng chung tần số nhưng được phát đi ở hai phân cực khác nhau.

2. Sử dụng các anten thông minh (Smart Anten). Các anten này cho phép tập trung năng lượng sóng mang của nguồn phát vào hướng có lợi nhất cho máy thu chủ định và tránh gây nhiễu cho các máy thu khác.

Các phương pháp đa truy nhập nói trên có thể kết hợp với nhau. Hình 1.3 cho thấy các cách kết hợp của ba phương pháp đa truy nhập đầu tiên.



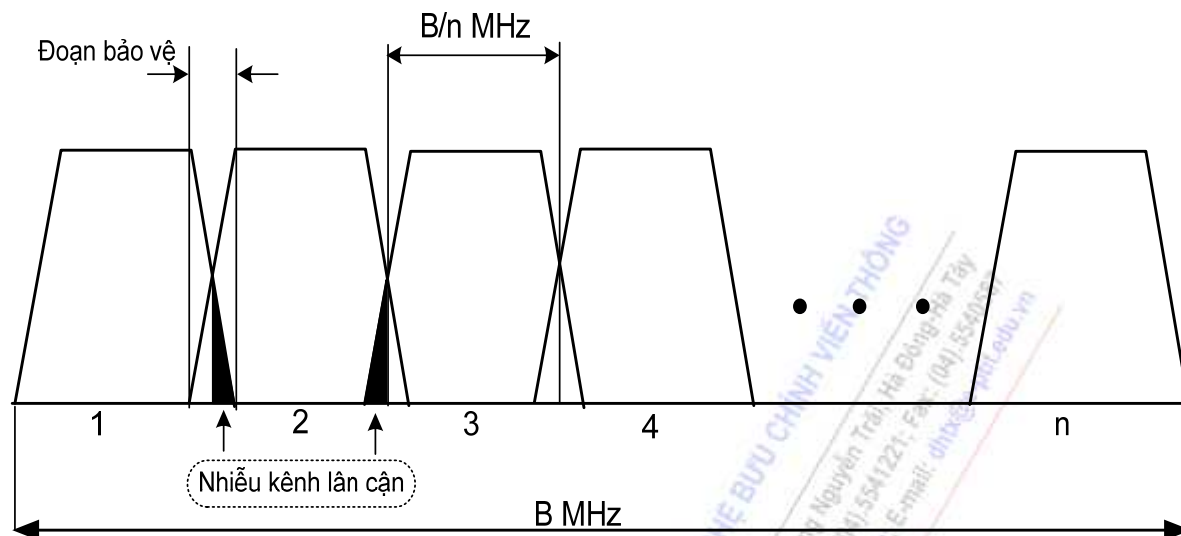
Hình 1.3. Kết hợp ba dạng đa truy nhập cơ sở thành các dạng đa truy nhập lai ghép

1.3. ĐA TRUY NHẬP PHÂN CHIA THEO TẦN SỐ, FDMA

1.3.1. Nguyên lý FDMA

Trong phương pháp đa truy nhập này độ rộng băng tần cấp phát cho hệ thống B MHz được chia thành n băng tần con, mỗi băng tần con được ấn định cho một kênh riêng có độ rộng băng tần là B/n MHz (hình 1.4). Trong dạng đa truy nhập này các máy vô tuyến đầu cuối phát liên tục một số sóng mang đồng thời trên các tần số khác nhau. Cần đảm bảo các khoảng bảo vệ giữa từng kênh bị sóng mang chiếm để phòng ngừa sự không hoàn thiện của các bộ lọc và các bộ dao động. Máy thu đường xuống hoặc đường lên chọn sóng mang cần thiết theo tần số phù hợp.

Như vậy FDMA là phương thức đa truy nhập mà trong đó mỗi kênh được cấp phát một tần số cố định. Để đảm bảo FDMA tốt tần số phải được phân chia và quy hoạch thống nhất trên toàn thế giới.



Hình 1.4. FDMA và nhiều giao thoa kênh lân cận

Để đảm bảo thông tin song công tín hiệu phát thu của một máy thuê bao phải hoặc được phát ở hai tần số khác nhau hay ở một tần số nhưng khoảng thời gian phát thu khác nhau. Phương pháp thứ nhất được gọi là ghép song công theo tần số (FDMA/FDD, FDD: Frequency Division Duplex) còn phương pháp thứ hai được gọi là ghép song công theo thời gian (FDMA/TDD, TDD: Time Division Duplex).

Phương pháp thứ nhất được mô tả ở hình 1.5. Trong phương pháp này băng tần dành cho hệ thống được chia thành hai nửa: một nửa thấp (Lower Half Band) và một nửa cao (Upper Half Band). Trong mỗi nửa băng tần người ta bố trí các tần số cho các kênh (xem hình 1.5a). Trong hình 1.5a các cặp tần số ở nửa băng thấp và nửa băng cao có cùng chỉ số được gọi là cặp tần số thu phát hay song công, một tần số sẽ được sử dụng cho máy phát còn một tần số được sử dụng cho máy thu của cùng một kênh, khoảng cách giữa hai tần số này được gọi là khoảng cách thu phát hay song công. Khoảng cách gần nhất giữa hai tần số trong cùng một nửa băng được gọi là khoảng cách giữa hai kênh lân cận (Δx), khoảng cách này phải được chọn đủ lớn để đối với một tỷ số tín hiệu trên tạp âm cho trước (SNR: Signal to Noise Ratio) hai kênh cạnh nhau không thể gây nhiễu cho nhau. Như vậy mỗi kênh bao gồm một cặp tần số: một tần số ở băng tần thấp và một tần số ở băng tần cao để đảm bảo thu phát song công. Thông thường ở đường phát đi từ trạm gốc (hay bộ phát đáp) xuống trạm đầu cuối (thu ở trạm đầu cuối) được gọi là đường xuống, còn đường phát đi từ trạm đầu cuối đến trạm gốc (hay trạm phát đáp) được gọi là đường lên. Khoảng cách giữa hai tần số đường xuống và đường lên là ΔY như thấy trên hình vẽ. Trong thông tin di động tần số đường xuống bao giờ cũng cao hơn tần số đường lên để suy hao ở đường lên thấp hơn đường xuống do công suất phát từ máy cầm tay không thể lớn. Trong thông tin vệ tinh thì tùy thuộc vào hệ thống, tần số đường xuống có thể thấp hoặc cao hơn tần số đường lên, chẳng hạn ở các hệ thống sử dụng các trạm thông tin vệ tinh mặt đất lớn người ta thường sử dụng tần số đường lên cao hơn đường xuống, ngược lại ở các hệ thống thông tin vệ tinh (như di động chẳng hạn) do trạm mặt đất nhỏ nên tần số đường lên được sử dụng thấp hơn tần số đường xuống.