

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC DÂN LẬP HẢI PHÒNG**

-----



ISO 9001:2008

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP**

**NGÀNH: ĐIỆN TỬ VIỄN THÔNG**

**Người hướng dẫn:** KS. Nguyễn Thị Hương  
**Sinh viên** : Nguyễn Thành Hưng

**HẢI PHÒNG – 2013**

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC DÂN LẬP HẢI PHÒNG**

-----

**NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ MC-CDMA**

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC HỆ CHÍNH QUY  
NGÀNH: ĐIỆN TỬ VIỄN THÔNG**

**Người hướng dẫn:** KS. Nguyễn Thị Hương  
**Sinh viên** : Nguyễn Thành Hưng

**HẢI PHÒNG – 2013**

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC DÂN LẬP HẢI PHÒNG**

---

**NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP**

Sinh viên : Nguyễn Thành Hưng. Mã SV: 1351030002.

Lớp : ĐT 1301. Ngành: Điện tử viễn thông.

Tên đề tài: Nghiên cứu công nghệ MC-CDMA

# NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI

1. Nội dung và các yêu cầu cần giải quyết trong nhiệm vụ đề tài tốt nghiệp

( về lý luận, thực tiễn, các số liệu cần tính toán và các bản vẽ).

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Các số liệu cần thiết để thiết kế, tính toán.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Địa điểm thực tập tốt nghiệp.

.....

.....

**CÁN BỘ HƯỚNG DẪN ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP**

**Người hướng dẫn thứ nhất:**

Họ và tên: Nguyễn Thị Hương

Học hàm, học vị: Kỹ sư

Cơ quan công tác: Trường Đại học Dân lập Hải Phòng.

Nội dung hướng dẫn: .....

.....

.....

.....

**Người hướng dẫn thứ hai:**

Họ và tên: .....

Học hàm, học vị: .....

Cơ quan công tác:.....

Nội dung hướng dẫn: .....

.....

.....

.....

Đề tài tốt nghiệp được giao ngày.....tháng.....năm 2013

Yêu cầu phải hoàn thành xong trước ngày.....tháng.....năm 2013

Đã nhận nhiệm vụ ĐTTN

Đã giao nhiệm vụ ĐTTN

*Sinh viên*

*Người hướng dẫn*

*Hải Phòng, ngày ..... tháng.....năm 2013*

**Hiệu trưởng**

**GS.TS.NGƯT Trần Hữu Nghị**

**PHẦN NHẬN XÉT CỦA CÁN BỘ HƯỚNG DẪN**

**1. Tinh thần thái độ của sinh viên trong quá trình làm đề tài tốt nghiệp:**

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**2. Đánh giá chất lượng của khóa luận (so với nội dung yêu cầu đã đề ra trong nhiệm vụ Đ.T. T.N trên các mặt lý luận, thực tiễn, tính toán số liệu...):**

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**3. Cho điểm của cán bộ hướng dẫn (ghi bằng cả số và chữ):**

.....  
.....  
.....

*Hải Phòng, ngày.....tháng.....năm 2013*

**Cán bộ hướng dẫn**

**PHẦN NHẬN XÉT TÓM TẮT CỦA NGƯỜI CHĂM PHẢN BIỆN**

**1. Đánh giá chất lượng đề tài tốt nghiệp về các mặt thu thập và phân tích số liệu ban đầu, cơ sở lý luận chọn phương án tối ưu, cách tính toán chất lượng thuyết minh và bản vẽ, giá trị lý luận và thực tiễn đề tài.**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**2. Cho điểm của cán bộ phản biện (Điểm ghi cả số và chữ).**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

*Hải Phòng, ngày.....tháng.....năm 2013*

**Người chăm phản biện**

# MỤC LỤC

Chương 1: Công nghệ CDMA .....	3
1.1 Giới thiệu chương.....	3
1.2 Tổng quan về CDMA.....	3
1.3. Mã trải phổ .....	5
1.3.1 Chuỗi mã giả ngẫu nhiên PN .....	5
1.3.2.Chuỗi mã trải phổ Walsh-Hadamard .....	6
1.4 Kỹ thuật trải phổ.....	7
1.4.1 Kỹ thuật trải phổ dây trực tiếp (DS/SS).....	9
1.4.2 Trải phổ nhảy tần (Frequency Hopping Spread Spectrum) .....	11
1.4.3 Trải phổ nhảy thời gian (Time Hopped Spread Spectrum).....	15
1.5 Chuyển giao.....	15
1.5.1 Mục đích của chuyển giao.....	16
1.5.2 Các loại chuyển giao .....	17
1.5.2.1 Chuyển giao mềm và mềm hơn .....	17
1.5.2.2 Chuyển giao cứng .....	18
1.6 Điều khiển công suất trong CDMA .....	18
1.6.1. Điều khiển công suất vòng hở (OLPC).....	19
1.6.2 Điều khiển công suất vòng kín (CLPC).....	20
1.7 Kết luận chương .....	21
Chương 2: Kỹ thuật OFDM .....	23
2.1 Giới thiệu chương.....	23
2.2 Hệ thống OFDM .....	23
2.2.1 Sơ đồ khối .....	23
2.3 Kỹ thuật xử lý tín hiệu OFDM.....	28
2.3.1 Mã hóa sửa sai trước FEC.....	28
2.3.2 Phân tán kí tự.....	28
2.3.3 Sắp xếp .....	28
2.3.4 Sử dụng IFFT/FFT trong OFDM.....	29
2.3.4.1 Phép biến đổi.....	30



2.3.4.2 Ứng dụng FFT/IFFT trong OFDM .....	31
2.4 Các vấn đề kỹ thuật trong OFDM.....	32
2.4.1 Ước lượng tham số kênh.....	33
2.4.2 Đồng bộ trong OFDM.....	34
2.4.2.1 Đồng bộ ký tự.....	34
2.4.2.2 Đồng bộ tần số sóng mang .....	35
2.4.2.3 Đồng bộ tần số lấy mẫu.....	36
2.5 Đặc tính kênh truyền trong kỹ thuật OFDM.....	36
2.5.1 Sự suy hao .....	36
2.5.2 Tạp âm trắng Gaussian.....	36
2.5.3 Fading Rayleigh .....	37
2.5.4 Fading lựa chọn tần số .....	38
2.5.5 Trải trễ.....	38
2.5.6 Dịch Doppler.....	38
2.6 Đặc điểm và ứng dụng của kỹ thuật OFDM .....	39
2.6.1 Ưu điểm của kỹ thuật OFDM .....	39
2.6.2 Nhược điểm của kỹ thuật OFDM.....	39
2.6.3 Ứng dụng của kỹ thuật OFDM .....	40
2.7 Kết luận chương .....	40
Chương 3: Hệ thống MC-CDMA .....	41
3.1 Giới thiệu chương.....	41
3.2 Hệ thống MC-CDM .....	41
3.2.1 Khái niệm MC-CDMA .....	41
3.2.2 Sơ đồ khối .....	41
3.3 Máy phát.....	42
3.3.1 Quá trình tạo ra tín hiệu MC-CDMA theo thứ tự sau.....	42
3.4 Máy thu .....	44
3.5 Kênh truyền.....	45
3.6 Các kỹ thuật dò tín hiệu ( Detection algorithm) .....	47
3.6.1 Phương pháp kết hợp khôi phục tính trực giao ORC.....	48
3.6.2 Phương pháp kết hợp khôi phục tính trực giao ORC đỉnh (TORC).....	48

3.6.3 Phương pháp kết hợp độ lợi bằng nhau (EGC).....	49
3.6.4 Phương pháp kết hợp tỷ số cực đại (MRC) .....	49
3.6.5 Phương pháp kết hợp sai số trung bình bình phương tối thiểu (MMSE) .....	50
3.7 Nhiễu MAI và nhiễu ICI .....	50
3.7.1 Nhiễu MAI .....	51
3.7.2 Nhiễu ICI.....	51
3.8 Các phương pháp triệt nhiễu .....	51
3.8.1 Phương pháp triệt nhiễu nối tiếp (SIC) .....	51
3.8.2 Phương pháp triệt nhiễu song song (PIC) .....	53
3.9 Vấn đề dịch của tần số sóng mang trong hệ thống MC-CDMA.....	53
3.10 Giới hạn BER của hệ thống MC-CDMA.....	58
3.10.1 Phân loại.....	59
3.11 Ưu điểm của kỹ thuật MC-CDMA .....	61
3.12 Nhược điểm của hệ thống MC-CDMA.....	62
3.13 Kết luận chương .....	62
KẾT LUẬN .....	63



# LỜI NÓI ĐẦU

Trong xã hội hiện đại ngày nay, nhu cầu trao đổi thông tin là một nhu cầu thiết yếu. Các hệ thống thông tin di động ra đời tạo cho con người khả năng thông tin mọi lúc, mọi nơi. Nhu cầu này ngày càng lớn nên số lượng khách hàng sử dụng thông tin di động ngày càng tăng, các mạng thông tin di động vì thế được mở rộng ngày càng nhanh. Chính vì vậy, cần phải có các biện pháp tăng dung lượng cho các hệ thống thông tin di động hiện có. Hệ thống CDMA ra đời và đã chứng tỏ được khả năng hỗ trợ nhiều user hơn so với các hệ thống trước đó. Hơn nữa, so với hai phương pháp đa truy nhập truyền thống là phân chia theo tần số FDMA và phân chia theo thời gian TDMA thì phương pháp truy nhập phân chia theo mã CDMA có những đặc điểm nổi trội: chống nhiễu đa đường, có tính bảo mật cao, hỗ trợ truyền dữ liệu với tốc độ khác nhau. Tuy nhiên, trong tương lai, nhu cầu về các dịch vụ số liệu sẽ ngày càng tăng, mạng thông tin di động không chỉ đáp ứng nhu cầu vừa đi vừa nói chuyện mà còn phải cung cấp cho người sử dụng các dịch vụ đa dạng khác như truyền dữ liệu, hình ảnh và video. Chính vì vậy, vấn đề dung lượng và tốc độ cần phải được quan tâm. Trong những năm gần đây, kỹ thuật ghép kênh theo tần số trực giao OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), một kỹ thuật điều chế đa sóng mang, được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng vô tuyến cũng như hữu tuyến. Ưu điểm của OFDM là khả năng truyền dữ liệu tốc độ cao qua kênh truyền chọn lọc tần số, tiết kiệm băng thông, hệ thống ít phức tạp do việc điều chế và giải điều chế đa sóng mang bằng giải thuật IFFT và FFT. Để đáp ứng nhu cầu ngày càng cao của người sử dụng, ý tưởng về kỹ thuật MC-CDMA đã ra đời, dựa trên sự kết hợp của CDMA và OFDM. MC-CDMA kế thừa tất cả những ưu điểm của CDMA và OFDM: tốc độ truyền cao, tính bền vững với fading chọn lọc tần số, sử dụng băng thông hiệu quả, tính bảo mật cao và giảm độ phức tạp của hệ

thông. Chính vì vậy, MC-CDMA là một ứng cử viên sáng giá cho hệ thống thông tin di động trong tương lai. Đồ án gồm 3 chương :

- Chương 1: Công nghệ CDMA
- Chương 2: Kỹ thuật OFDM
- Chương 3: Công nghệ MC-CDMA

Em xin gửi lời cảm ơn chân thành nhất đến toàn thể Quý thầy cô Trường Đại Học Dân Lập Hải Phòng. Quý thầy cô khoa Điện tử - Viễn thông đã dạy dỗ, truyền đạt những kiến thức quý báu cho em trong suốt 4 năm học tập và rèn luyện tại trường. Với vốn kiến thức được tiếp thu trong quá trình học không chỉ là nền tảng cho quá trình nghiên cứu đồ án mà còn là hành trang quý báu để em bước vào đời một cách vững chắc và tự tin. Đặc biệt, em xin cảm ơn cô Nguyễn Thị Hương, người đã tận tình chỉ bảo, hướng dẫn, giúp đỡ em hoàn thành đồ án này.

# **Chương 1: Công nghệ CDMA**

## **1.1 Giới thiệu chương**

Công nghệ CDMA sử dụng kỹ thuật trải phổ tín hiệu để phát dữ liệu cùng một phổ tần. Tất cả công suất của tín hiệu trong đường truyền CDMA được đồng thời trên cùng một băng tần rộng, phát trên cùng một tần số và tín hiệu nguyên thủy sẽ được khôi phục tại đầu thu. Đồng thời tín hiệu trải phổ xuất hiện trải rộng đều trên toàn bộ băng tần với công suất phát thấp, do đó loại bỏ được nhiễu, giao thoa. Trong chương này chúng ta sẽ đi vào nghiên cứu khả năng đa truy nhập, phân tích ưu nhược điểm và điều khiển công suất của quá trình thu phát tín hiệu trong hệ thống CDMA.

## **1.2 Tổng quan về CDMA**

CDMA được đưa ra thị trường lần đầu tiên vào năm 1995 với chuẩn IS-95. Ở thế hệ di động thứ 3 sẽ sử dụng công nghệ đa truy cập phân chia theo mã (CDMA) thay vì công nghệ đa truy cập phân chia theo thời gian (TDMA) theo chuẩn IMT-2000.

Trong hệ thống CDMA, mỗi người dùng được cấp phát một chuỗi mã (chuỗi trải phổ) dùng để mã hoá tín hiệu mang thông tin. Tại máy thu, tín hiệu thu sẽ được đồng bộ giải mã để khôi phục tín hiệu gốc và dĩ nhiên máy thu phải biết được chuỗi mã đó để mã hoá tín hiệu. Kỹ thuật trải phổ tín hiệu giúp các người dùng không gây nhiễu lẫn nhau trong điều kiện có thể cùng một lúc dùng chung dải tần số. Điều này dễ dàng thực hiện được vì tương quan chéo giữa mã của người dùng mong muốn và mã của các người dùng khác thấp. Băng thông của tín hiệu mã được chọn lớn hơn rất nhiều so với băng thông của tín hiệu mang thông tin; do đó, quá trình mã hoá sẽ làm trải rộng phổ của tín hiệu, kết quả cho ta tín hiệu trải phổ.

Ở các hệ thống thông tin trải phổ, độ rộng băng tần của tín hiệu được mở rộng hàng trăm lần trước khi phát. Trải phổ không mang lại hiệu quả

về mặt sử dụng băng thông đối với hệ thống đơn người dùng. Tuy nhiên nó có ưu điểm trong môi trường đa người dùng vì các người dùng này có thể dùng chung một băng tần trải phổ với can nhiễu lẫn nhau không đáng kể.

***Khả năng đa truy cập:***

Nếu các người dùng phát tín hiệu trải phổ tại cùng một thời điểm, máy thu có khả năng phân biệt giữa các người dùng, do đó các mã trải phổ có các tương quan chéo thấp. Vì vậy, băng thông của tín hiệu công suất của người dùng mong muốn sẽ lớn hơn công suất gây ra bởi nhiễu và các tín hiệu trải phổ khác (nghĩa là lúc này tín hiệu của những người dùng khác vẫn là những tín hiệu trải phổ trên băng thông rộng).

***Bảo vệ chống nhiễu đa đường:***

Trong kênh truyền vô tuyến không chỉ có một đường truyền giữa máy thu và máy phát. Vì tín hiệu bị phản xạ, khúc xạ, nhiễu xạ nên tín hiệu thu được tại đầu thu bao gồm các tín hiệu trên các đường khác nhau. Tín hiệu trên các đường khác nhau đều là bản sao của cùng một tín hiệu nhưng khác biên độ, pha, độ trễ và góc tới. Khi cộng tất cả các tín hiệu này lại sẽ tạo nên những tần số mới và cũng làm mất đi một số tần số mong muốn. Trong miền thời gian điều này làm phân tán tín hiệu. Điều chế trải phổ chống lại nhiễu đa đường, việc giải trải phổ sẽ coi phiên bản của trễ là tín hiệu nhiễu và giữ lại một phần nhỏ của tín hiệu này trong băng thông tín hiệu mong muốn, tuy nhiên nó phụ thuộc nhiều vào phương pháp điều chế được sử dụng.

***Bảo mật:***

Vì tín hiệu trải phổ sử dụng toàn băng thông tại mọi thời điểm nên nó có công suất rất thấp trên một đơn vị băng thông, và việc khôi phục chỉ được thực hiện khi biết được mã trải phổ. Điều này gây khó khăn cho việc phát hiện tín hiệu đã trải phổ tức là tính bảo mật rất cao.

### ***Khử nhiễu băng hẹp:***

Tách sóng đồng bộ tại máy thu liên quan tới việc nhân tín hiệu nhận được với chuỗi mã được tạo ra bên trong máy thu. Tuy nhiên như chúng ta thấy ở máy phát, nhiễu băng hẹp sẽ bị trải phổ sau khi nhân nó với mã trải phổ. Do đó, công suất của nhiễu này trong băng thông tín hiệu mong muốn giảm đi một lượng bằng độ lợi xử lý.

### **1.3. Mã trải phổ**

Mã dùng để trải phổ là một chuỗi tín hiệu giả ngẫu nhiên. Tín hiệu ngẫu nhiên là tín hiệu mà ta không thể dự đoán trước sự thay đổi của nó theo thời gian và để biểu diễn tín hiệu người ta dựa vào lý thuyết xác suất thống kê. Với tín hiệu giả ngẫu nhiên thì không hoàn toàn ngẫu nhiên. Có nghĩa, với thuê bao này nó không ngẫu nhiên, là tín hiệu có thể dự đoán trước cả phía phát và phía thu nhưng với các thuê bao khác thì nó là ngẫu nhiên. Nó hoàn toàn độc lập với tín hiệu, không phải là tín hiệu và có tính chất thống kê của một tín hiệu nhiễu trắng. Các mã trải phổ có thể là các mã giả tạp âm PN hoặc các mã được tạo ra từ các hàm trực giao.

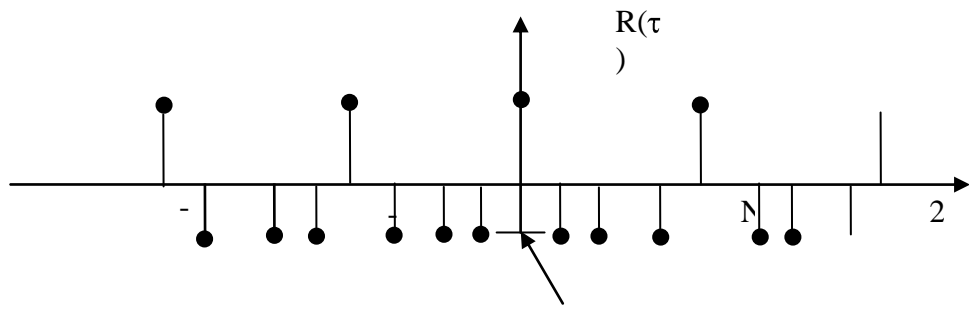
#### **1.3.1 Chuỗi mã giả ngẫu nhiên PN**

Chuỗi PN là một chuỗi nhị phân có hàm tương quan giống như hàm tương quan của một chuỗi nhị phân ngẫu nhiên qua một chu kỳ. Mặc dù quy luật biến đổi của các chuỗi này là hoàn toàn xác định nhưng chuỗi PN có nhiều đặc tính giống với chuỗi nhị phân ngẫu nhiên, chẳng hạn: số bit 0 và bit 1 gần bằng nhau, tương quan chéo giữa mã PN và phiên bản bị dịch theo thời gian của nó là rất nhỏ. Chuỗi PN được tạo ra bằng cách sử dụng các mạch logic tuần tự. Loại quan trọng nhất trong số các chuỗi PN là chuỗi thanh ghi dịch cơ số 2 có chiều dài cực đại hay còn gọi là chuỗi m. Một chuỗi m trong một chu kỳ là ‘-1/N’ đối với tương quan chéo và ‘1’ đối với tự tương quan.



Hàm tự tương quan được định nghĩa như sau :

$$R(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N p_n(k)p_n(k-\tau) \quad (1.1)$$



Hình 1.1 Hàm tương quan của chuỗi PN

Trong đó:

$p_n(k)$  là chuỗi m

$p_n(k-\tau)$  là phiên bản trễ theo thời gian của mã  $p_n(k)$  một khoảng  $\tau$ .

### 1.3.2. Chuỗi mã trái phổ Walsh-Hadamard

Các hàm Walsh được tạo ra từ các ma trận vuông đặc biệt  $N \times N$  gọi là các ma trận Hadamard. Các ma trận này chứa một hàng toàn số 0 và các hàng còn lại có số số 1 và số số 0 bằng nhau. Hàm Walsh được cấu trúc cho độ dài khối  $N=2^j$  trong đó  $j$  là một số nguyên dương. Các tổ hợp mã ở các hàng của ma trận là các hàm trực giao được xác định theo ma trận Hadamard như sau:

$$H_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad H_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad H_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad H_{2N} = \begin{bmatrix} H_N & H_N \\ H_N & H_N \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

Trong đó  $\overline{H_N}$  là đảo cơ số hai của  $H_N$

Trong thông tin di động CDMA, mỗi thuê bao sử dụng một phần tử trong tập các hàm trực giao để trái phổ. Khi đó, hiệu suất sử dụng băng

tần trong hệ thống sẽ lớn hơn so với khi trải phổ bằng các mã được tạo ra bởi các thanh ghi dịch.

#### 1.4 Kỹ thuật trải phổ

Trải phổ làm cho tín hiệu được phát giống như tạp âm đối với các máy thu không mong muốn, làm cho các máy thu này khó khăn trong việc tách và lấy ra được bản tin. Để biến đổi bản tin thành tín hiệu tựa tạp âm, ta sử dụng mã ngẫu nhiên để mã hoá bản tin. Tuy nhiên, máy thu chủ định phải biết mã này để có thể tạo ra bản sao mã này một cách chính xác, đồng bộ với mã được phát và lấy ra bản tin.

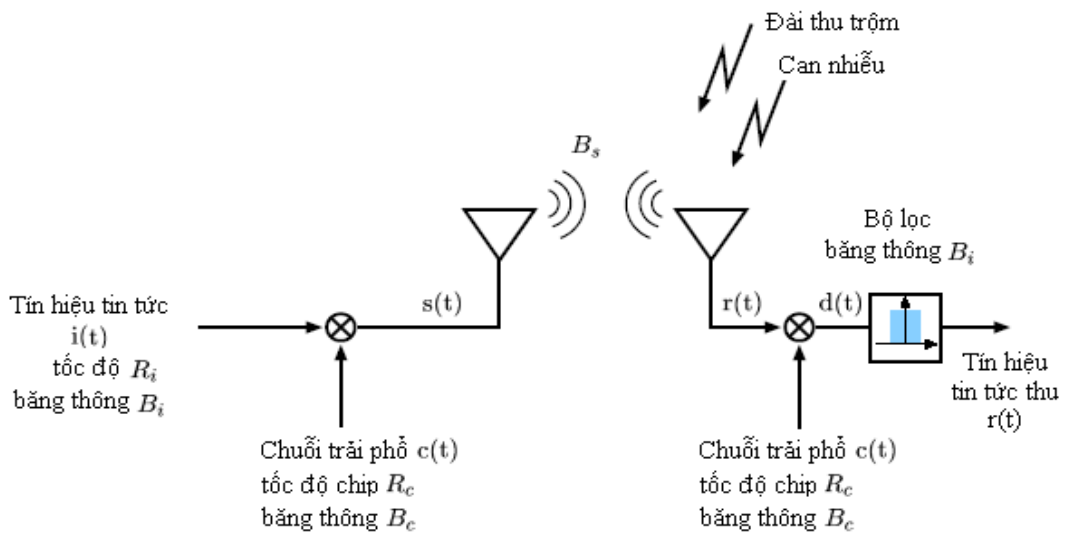
Vì vậy ta phải sử dụng mã “giả” ngẫu nhiên. Mã này phải được thiết kế để có độ rộng băng tần lớn hơn nhiều so với độ rộng băng tần của bản tin. Bản tin được mã hóa sao cho tín hiệu sau khi mã hoá có độ rộng phổ gần bằng độ rộng phổ của tín hiệu giả ngẫu nhiên. Quá trình này được gọi là “quá trình trải phổ”. Ở máy thu thực hiện quá trình nén phổ tín hiệu thu được để trả lại độ rộng phổ bằng độ rộng phổ ban đầu của bản tin.

Một hệ thống thông tin được xem là trải phổ khi thỏa 2 điều kiện:

- Băng thông tín hiệu đã trải phổ lớn hơn rất nhiều so với băng thông tín hiệu thông tin.
- Mã dùng để trải phổ độc lập với tín hiệu thông tin.

Hình vẽ 1.2 minh họa một hệ thống thông tin trải phổ, trong đó  $i(t)$  là tín hiệu tin tức có tốc độ dữ liệu là  $R_i$  và băng thông  $B_i$ ,  $c(t)$  là chuỗi trải phổ có tốc độ ký hiệu là  $R_c$ , còn gọi là tốc độ chip. Tỷ số băng thông  $B_S$  của tín hiệu trải phổ so với băng thông tin tức  $B_i$  được định nghĩa là độ lợi xử lý:

$$G_S = \frac{B_S}{B_i} \quad (1.3)$$



Hình 1.2 Hệ thống thông tin trải phổ

Ưu điểm của kỹ thuật thông tin trải phổ

- Khả năng đa truy cập: Cho phép nhiều user cùng hoạt động trên một dải tần, trong cùng một khoảng thời gian mà máy thu vẫn tách riêng được tín hiệu cần thu. Đó là do mỗi user đã được cấp một mã trải phổ riêng biệt, khi máy thu nhận được tín hiệu từ nhiều user, nó tiến hành giải mã và tách ra tín hiệu mong muốn.
- Tính bảo mật thông tin cao: Mật độ phổ công suất của tín hiệu trải phổ rất thấp, gần như mức nhiễu nền. Do đó, các máy thu không mong muốn khó phát hiện được sự tồn tại của tín tức đang được truyền đi trên nền nhiễu. Chỉ máy thu biết được chính xác quy luật của chuỗi giả ngẫu nhiên mà máy phát sử dụng mới có thể thu nhận được tín tức.
- Bảo vệ chống nhiễu đa đường: Nhiễu đa đường là kết quả của sự phản xạ, tán xạ, nhiễu xạ... của tín hiệu trên kênh truyền vô tuyến. Các tín hiệu được truyền theo các đường khác nhau này đều là bản sao của tín hiệu phát đi nhưng đã bị suy hao về biên độ và bị trễ so với tín hiệu được truyền thẳng (Line of Sight). Vì vậy tín hiệu thu được ở máy thu đã bị sai lệch, không giống tín hiệu phát đi. Sử dụng kỹ thuật trải phổ có thể tránh

được nhiều đa đường khi tín hiệu trải phổ sử dụng tốt tính chất tự tương quan của nó.

#### 1.4.1 Kỹ thuật trải phổ dãy trực tiếp (DS/SS)

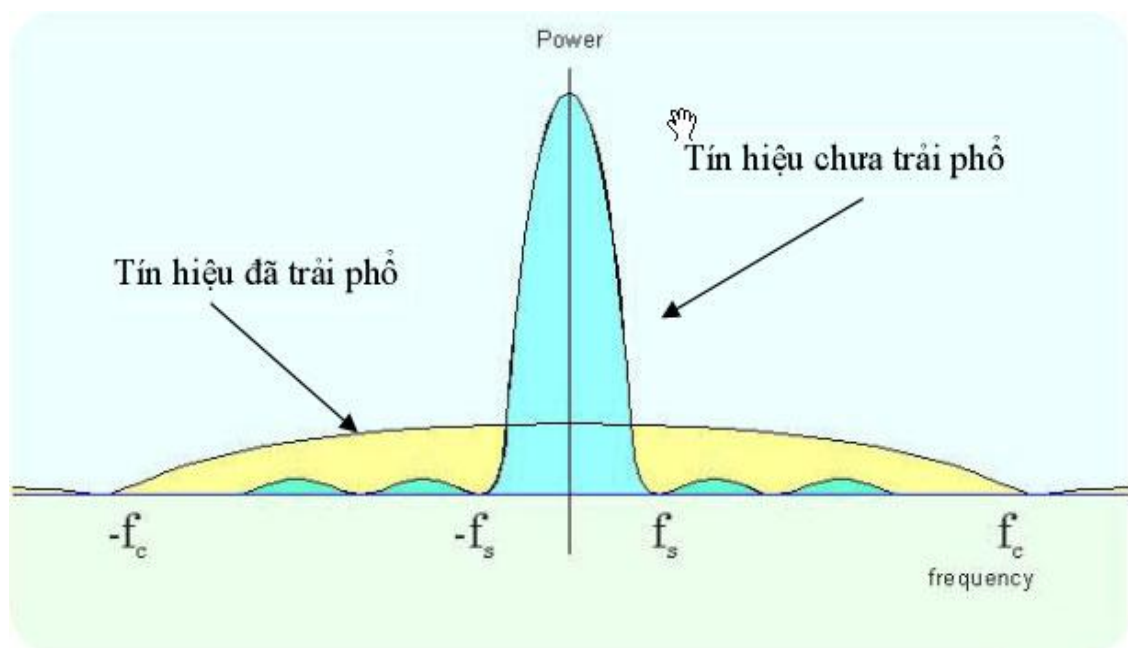
Mỗi bit dữ liệu được biểu diễn bằng chuỗi nhiều chip (tốc độ chip lớn hơn nhiều lần so với tốc độ bit).

Mã trải phổ làm phổ tín hiệu rộng ra tỷ lệ so với số chip được dùng.

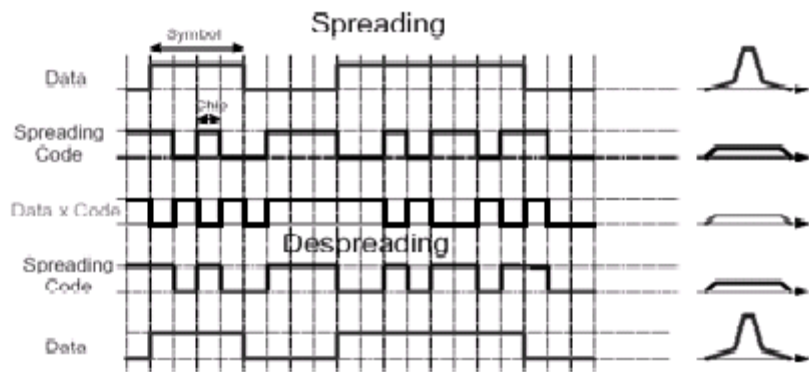
Một phương pháp cụ thể dùng để trải phổ chuỗi trực tiếp:

- Kết hợp dữ liệu với mã trải phổ bằng mạch XOR
- Bit 1 sẽ làm đảo cực tính mã trải phổ.
- Bit 0 không làm thay đổi.

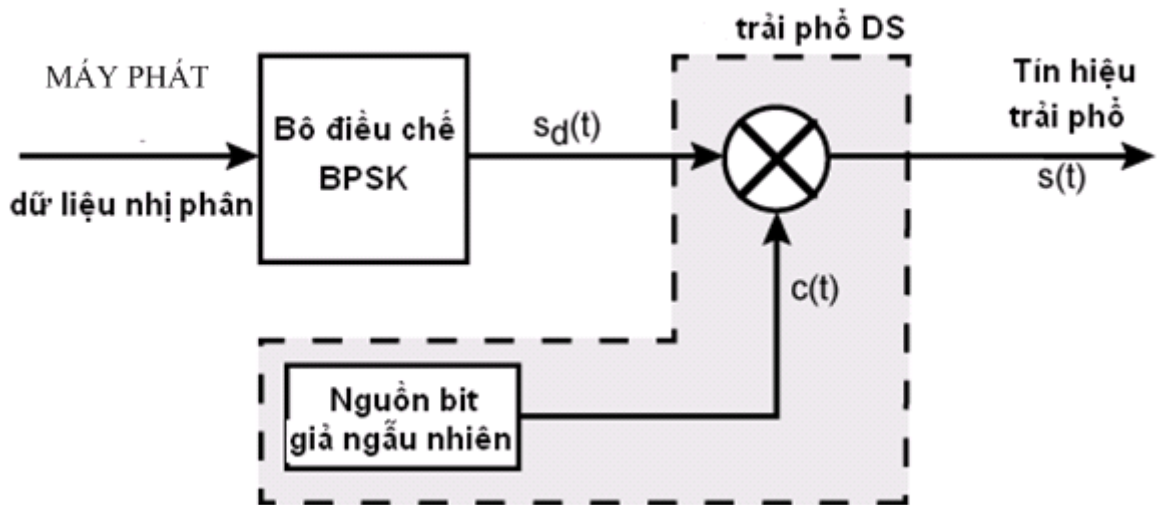
Mỗi user sử dụng một mã trải phổ riêng các mã trải phổ có sự tương quan chéo rất thấp.



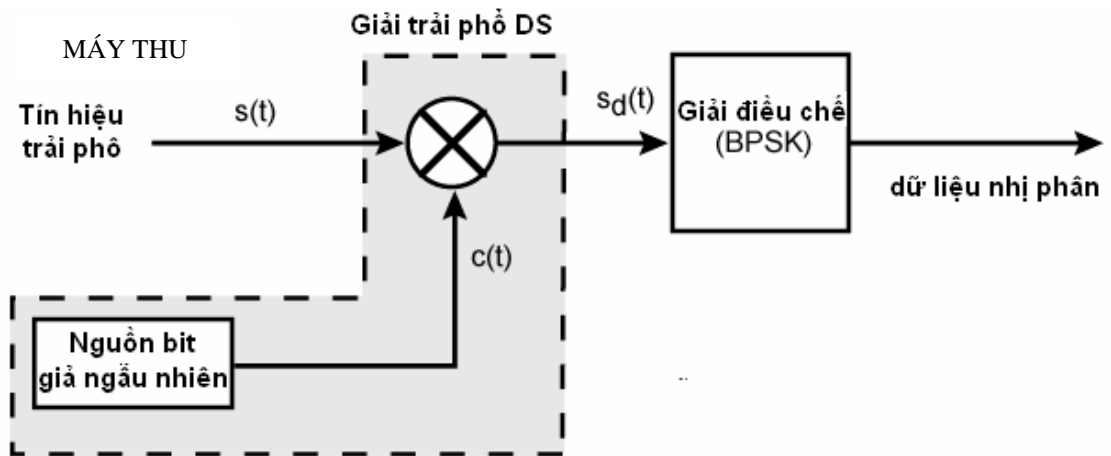
Hình 1.3 Tín hiệu trải phổ



Hình 1.4 Quá trình trải phổ



Hình 1.5 Máy phát DS-SS



Hình 1.6 Máy thu DS-SS

### Ưu điểm

- Có thể thực hiện đa cập mà không cần đồng bộ giữa các máy phát.
- Việc tạo ra các tín hiệu mã hóa tương đối đơn giản do chỉ cần sử dụng các bộ nhân.

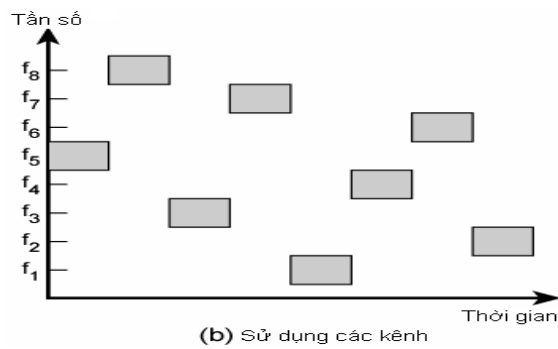
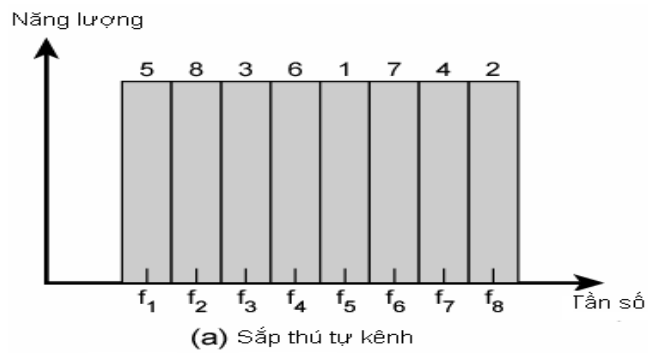
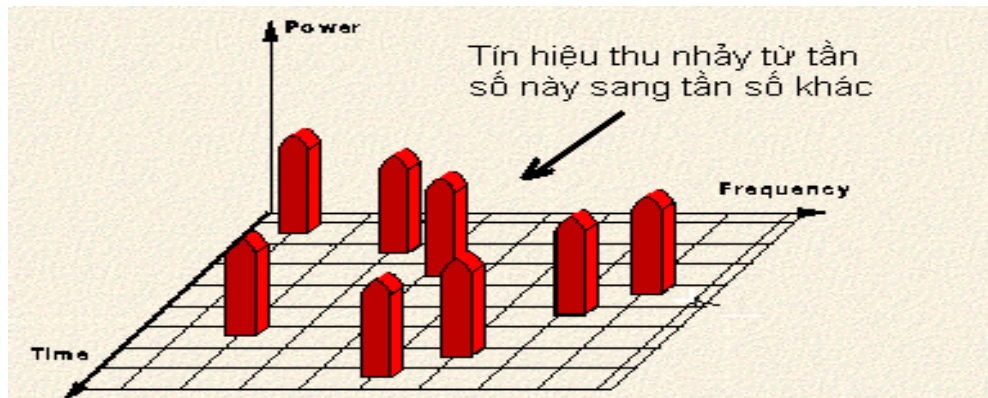
### Nhược điểm

- Cặp máy phát-thu phải được đồng bộ chip, sai số đồng bộ phải nhỏ hơn chu kỳ chip ( $T_{\text{chip}}$ )
- Các máy phát gần máy thu có thể gây nhiễu và làm sai lệch tín hiệu từ máy phát ở xa (hiệu ứng gần-xa).

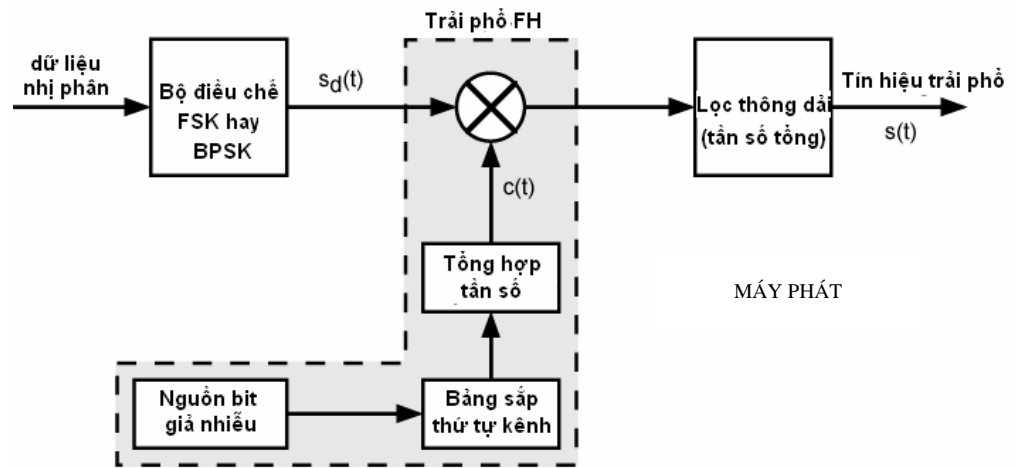
### 1.4.2 Trải phổ nhảy tần (Frequency Hopping Spread Spectrum)

Tín hiệu được phát đi trên một dãy các tần số đường như là thay đổi ngẫu nhiên. Và phía máy thu cũng thay đổi liên tục giữa các tần số theo thứ tự như phía máy phát. Những máy thu trộm khó có thể thu được đúng thông tin, việc thu trộm ở tần số nào đó chỉ ảnh hưởng đến vài bit dữ liệu. Thường dùng  $L$  trạng thái nhảy tần số ( $L = 2^N - 1$  với  $N$  là chiều dài

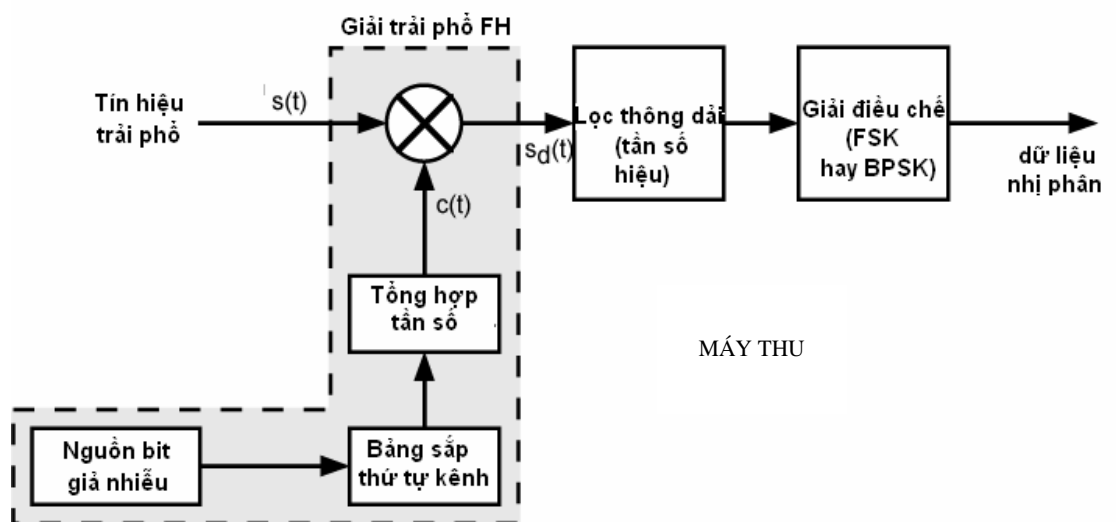
chuỗi mã). Mỗi kênh phát trong một khoảng thời gian xác định. Theo IEEE 802.11 là 300mS. Chuỗi tần số được qui định bởi một mã trải phổ



Hình 1.7 Kỹ thuật trải phổ nhảy tần



Hình 1.8 Máy phát FH-SS

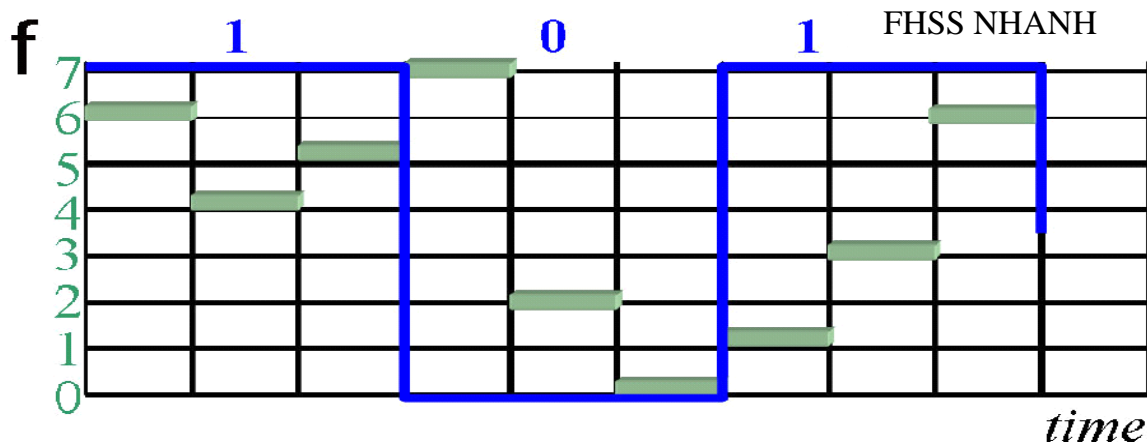


Hình 1.9 Máy thu FH-SS

Trong hệ thống trải phổ nhảy tần, cứ sau khoảng thời gian  $T_H$  tần số sóng mang lại nhảy sang một tần số khác. Tốc độ nhảy tần có thể nhanh hoặc chậm hơn so với tốc độ bit  $T_b$  của tín hiệu thông tin.

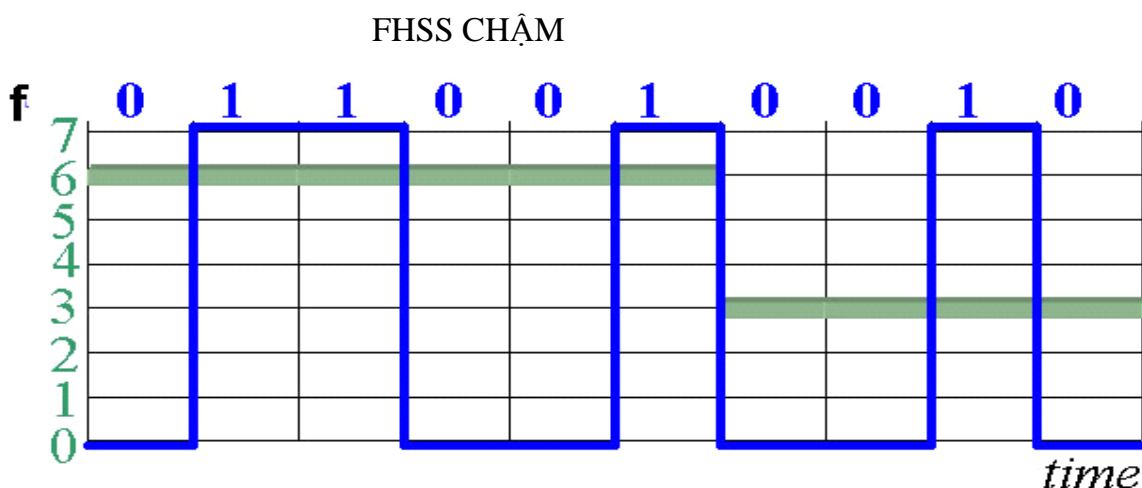
Nếu  $f_H \geq f_b$  : Trong khi máy phát phát một bit dữ liệu, có ít nhất một lần nhảy tần số. Và hệ thống được gọi là nhảy tần nhanh





Hình 1.10 Nhảy tần nhanh

Nếu  $f_H < f_b$  : Sau mỗi lần nhảy tần, máy phát phát liên tiếp một số bit trước khi nhảy sang một tần số khác. Và hệ thống được gọi là nhảy tần chậm.



Hình 1.11 Nhảy tần chậm

**Ưu điểm :**

- Dễ đồng bộ hơn hệ thống dùng kỹ thuật DS – SS do hệ thống FH – SS chấp nhận sai số đồng bộ trong khoảng thời gian  $T_H \gg T_{chip}$  trong hệ thống DS – SS.
- Xác suất nhiều user cùng truyền trên một tần số tại một thời điểm là rất

nhỏ. Vì vậy có thể tránh được hiệu ứng gần – xa do các user ở gần trạm gốc và xa trạm gốc có thể đang phát ở các tần số khác nhau.

- Hệ thống FH – SS có thể sử dụng băng thông rộng hơn nên khả năng triệt

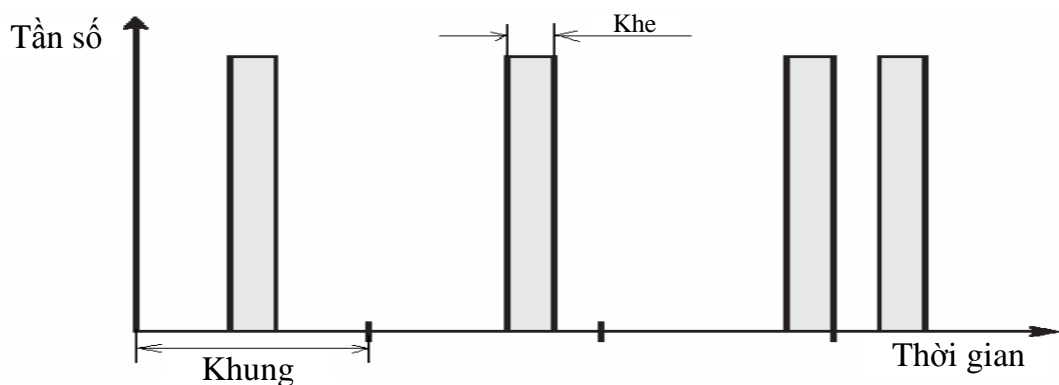
những băng hẹp tốt hơn hệ thống DS – SS.

#### **Nhược điểm :**

- Để đạt được số tần số nhiều (độ lợi xử lý cao) là vấn đề hết sức khó khăn. Đó là vấn đề thiết kế bộ tổng hợp tần số.
- Sự thay đổi đột ngột tần số của tín hiệu khi nhảy tần dẫn đến việc tăng băng tần sử dụng.

### **1.4.3 Trải phổ nhảy thời gian (Time Hopped Spread Spectrum)**

Trục thời gian được chia thành các khung (frame). Mỗi khung lại được chia thành  $k$  khe thời gian (slot). Trong một khung, tùy theo mã của từng user mà nó sẽ sử dụng một trong  $k$  khe thời gian của khung. Tín hiệu được truyền trong mỗi khe có tốc độ gấp  $k$  lần so với trường hợp tín hiệu truyền trong toàn bộ khung nhưng tần số cần thiết để truyền tăng gấp  $k$  lần.



*Hình 1.12 Trải phổ nhảy thời gian*

## **1.5 Chuyển giao**

Chuyển giao là thủ tục cần thiết đảm bảo thông tin được liên tục trong thời gian kết nối. Khi thuê bao chuyển động từ một cell này sang một cell

khác thì kết nối với cell mới phải được thiết lập và kết nối với cell cũ phải được hủy bỏ.

### **1.5.1 Mục đích của chuyển giao**

Lý do cơ bản của việc chuyển giao là kết nối vô tuyến không thỏa mãn một bộ tiêu chuẩn nhất định và do đó UE hoặc UTRAN sẽ thực hiện các công việc để cải thiện kết nối đó. Khi thực hiện các kết nối chuyển mạch gói, chuyển giao được thực hiện khi cả UE và mạng đều thực hiện truyền gói không thành công. Các điều kiện chuyển giao thường gặp là: điều kiện chất lượng tín hiệu, tính chất di chuyển của thuê bao, sự phân bố lưu lượng, băng tần...

Điều kiện chất lượng tín hiệu là điều kiện khi chất lượng hay cường độ tín hiệu vô tuyến bị suy giảm dưới một ngưỡng nhất định. Chuyển giao phụ thuộc vào chất lượng tín hiệu được thực hiện cho cả hướng lên lẫn hướng xuống của đường truyền dẫn vô tuyến.

Chuyển giao do nguyên nhân lưu lượng xảy ra khi dung lượng lưu lượng của cell đạt tới một giới hạn tối đa cho phép hoặc vượt quá ngưỡng giới hạn đó. Khi đó các thuê bao ở ngoài rìa của cell (có mật độ tải cao) sẽ được chuyển giao sang cell bên cạnh (có mật độ tải thấp).

Số lượng chuyển giao phụ thuộc vào tốc độ di chuyển của thuê bao. Khi UE di chuyển theo một hướng nhất định không thay đổi, tốc độ di chuyển của UE càng cao thì càng có nhiều chuyển giao thực hiện trong UTRAN.

Quyết định thực hiện chuyển giao thông thường được thực hiện bởi RNC đang phục vụ thuê bao đó, loại trừ trường hợp chuyển giao vì lý do lưu lượng. Chuyển giao do nguyên nhân lưu lượng được thực hiện bởi trung tâm chuyển mạch di động (MSC).

## 1.5.2 Các loại chuyển giao

Tùy theo hình thức sử dụng trong các cơ chế chuyển giao, có thể phân chia chuyển giao thành các nhóm như: chuyển giao cứng, chuyển giao mềm và chuyển giao mềm hơn. Chuyển giao đảm bảo thông tin được duy trì liên tục khi các MS di động từ cell này sang cell khác hay giữa các dải quạt trong cùng một cell. Chuyển giao phải đúng và nhanh để thông tin không bị ngắt quãng, không bị mất tín hiệu khi đang di chuyển.

### 1.5.2.1 Chuyển giao mềm và mềm hơn

Chuyển giao mềm và mềm hơn dựa nguyên tắc kết nối “nổi trước khi cắt”.

**Chuyển giao mềm hay chuyển giao giữa các cell:** Là chuyển giao được thực hiện giữa các cell khác nhau, trong đó trạm di động bắt đầu thông tin với một trạm gốc mới mà vẫn chưa cắt thông tin với trạm gốc cũ. Chuyển giao mềm chỉ có thể được thực hiện khi cả trạm gốc cũ lẫn trạm gốc mới đều làm việc ở cùng một tần số. MS thông tin với 2 sector của 2 cell khác nhau (chuyển giao 2 đường) hoặc với 3 sector của 3 cell khác nhau (chuyển giao 3 đường).

**Chuyển giao mềm hơn:** Là chuyển giao được thực hiện khi UE chuyển giao giữa 2 sector của cùng một cell hoặc chuyển giao giữa 2 cell do cùng một BTS quản lý. Đây là loại chuyển giao trong đó tín hiệu mới được thêm vào hoặc xóa khỏi tập tích cực, hoặc thay thế bởi tín hiệu mạnh hơn ở trong các sector khác nhau của cùng BTS.

Trong trường hợp chuyển giao mềm hơn, BTS phát trong một sector nhưng thu từ nhiều sector khác nhau. Khi cả chuyển giao mềm và chuyển giao mềm hơn được thực hiện đồng thời, trường hợp này gọi là chuyển giao mềm - mềm hơn.

**Chuyển giao mềm - mềm hơn:** MS thông tin với hai sector của cùng một cell và một sector của cell khác. Các tài nguyên mạng cần cho kiểu

chuyển giao này gồm tài nguyên cho chuyển giao mềm hai đường giữa cell A và B cộng với tài nguyên cho chuyển giao mềm hơn tại cell B.

### **1.5.2.2 Chuyển giao cứng**

Chuyển giao cứng được thực hiện khi cần chuyển kênh lưu lượng sang một kênh tần số mới. Các hệ thống thông tin di động tổ ong FDMA và TDMA đều chỉ sử dụng phương thức chuyển giao này.

Chuyển giao cứng dựa trên nguyên tắc “cắt trước khi nối” (Break Before Make) có thể được chia thành: chuyển giao cứng cùng tần số và chuyển giao cứng khác tần số. Trong quá trình chuyển giao cứng, kết nối cũ được giải phóng trước khi thực hiện kết nối mới. Do vậy, tín hiệu bị ngắt trong khoảng thời gian chuyển giao. Tuy nhiên, thuê bao không có khả năng nhận biết được khoảng ngừng đó. Trong trường hợp chuyển giao cứng khác tần số, tần số sóng mang của kênh truy cập vô tuyến mới khác so với tần số sóng mang hiện tại.

Nhược điểm của chuyển giao cứng là có thể xảy ra rớt cuộc gọi do chất lượng của kênh mới chuyển đến trở nên quá xấu trong khi kênh cũ đã bị cắt.

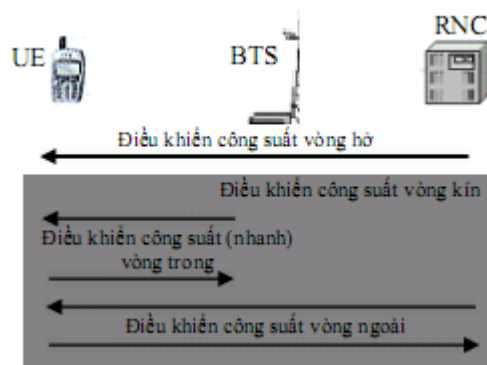
## **1.6 Điều khiển công suất trong CDMA**

Trong CDMA, điều khiển công suất được thực hiện cho cả đường lên lẫn đường xuống. Về cơ bản, điều khiển công suất đường xuống có mục đích nhằm tối thiểu nhiễu đến các cell khác và bù nhiễu do các cell khác gây ra cũng như nhằm đạt được mức SNR yêu cầu. Tuy nhiên, điều khiển công suất cho đường xuống không thực sự cần thiết như điều khiển công suất cho đường lên. Hệ thống CDMA sử dụng công suất đường xuống nhằm cải thiện tính năng hệ thống bằng cách kiểm soát nhiễu từ các cell khác.

Điều khiển công suất đường lên tác động lên các kênh truy nhập và lưu lượng. Nó được sử dụng để thiết lập đường truyền khi khởi tạo cuộc gọi

và phản ứng lên các thăng giáng tổn hao đường truyền lớn. Mục đích chính của điều khiển công suất đường lên nhằm khắc phục hiệu ứng xa-gần bằng cách duy trì mức công suất truyền dẫn của các máy di động trong cell như nhau tại máy thu trạm gốc với cùng một QoS. Do vậy việc điều khiển công suất đường lên là thực hiện tinh chỉnh công suất truyền dẫn của máy di động. Hệ thống CDMA sử dụng hai phương pháp điều khiển công suất khác nhau :

- Điều khiển công suất vòng hở (OLPC).
- Điều khiển công suất (nhạy) vòng kín (CLPC).
  - Điều khiển công suất vòng trong.
  - Điều khiển công suất vòng ngoài.



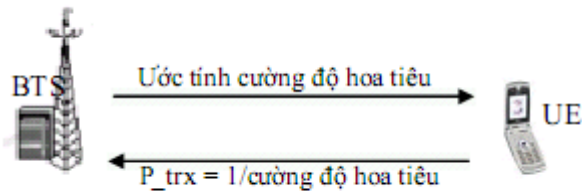
Hình 1.13 Các cơ chế điều khiển công suất của CDMA

### 1.6.1. Điều khiển công suất vòng hở (OLPC)

Một phương pháp điều khiển công suất là đo sự điều khuếch (AGC - Automatic Gain Control) ở máy thu di động. Trước khi phát, trạm di động giám sát tổng công suất thu được từ trạm gốc. Công suất đo được cho thấy tổn hao đường truyền đối với từng người sử dụng. Trạm di động điều chỉnh công suất phát của mình tỷ lệ nghịch với tổng công suất mà nó thu được. Có thể phải điều chỉnh công suất ở một dải động lên tới 80 dB. Phương pháp này được gọi là điều chỉnh công suất vòng hở, ở phương pháp này trạm gốc không tham gia vào các thủ tục điều khiển công suất.

OLPC sử dụng chủ yếu để điều khiển công suất cho đường lên. Trong quá trình điều khiển công suất, UE xác định cường độ tín hiệu truyền dẫn bằng cách đo đặc mức công suất thu của tín hiệu hoa tiêu từ BTS ở đường xuống. Sau đó, UE điều chỉnh mức công suất truyền dẫn theo hướng tỷ lệ nghịch với mức công suất tín hiệu hoa tiêu thu được. Do vậy, nếu mức công suất tín hiệu hoa tiêu càng lớn thì mức công suất phát của UE ( $P_{\text{trx}}$ ) càng nhỏ.

Việc điều khiển công suất vòng hở là cần thiết để xác định mức công suất phát ban đầu (khi khởi tạo kết nối).

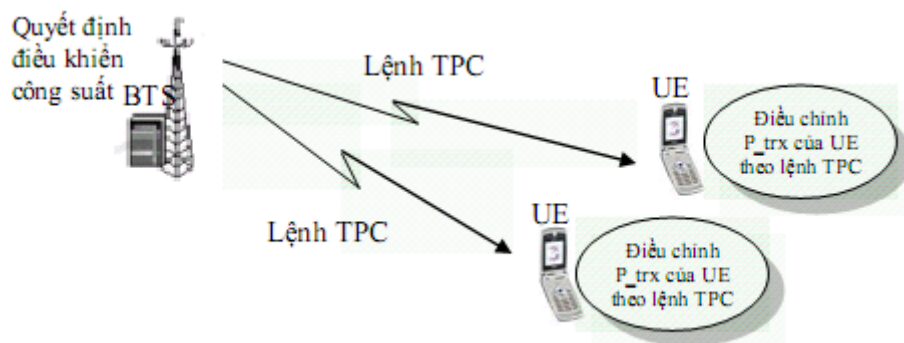


Hình 1.14 OLPC đường lên

### 1.6.2 Điều khiển công suất vòng kín (CLPC)

CLPC được sử dụng để điều khiển công suất khi kết nối đã được thiết lập. Mục đích chính là để bù những ảnh hưởng của sự biến đổi nhanh của mức tín hiệu vô tuyến. Do đó, chu kỳ điều khiển phải đủ nhanh để phản ứng lại sự thay đổi nhanh của mức tín hiệu vô tuyến.

Trong CLPC, BTS điều khiển UE tăng hoặc giảm công suất phát. Quyết định tăng hoặc giảm công suất phụ thuộc vào mức tín hiệu thu SNR tại BTS. Khi BTS thu tín hiệu từ UE, nó so sánh mức tín hiệu thu với một mức ngưỡng cho trước. Nếu mức tín hiệu thu được vượt quá mức ngưỡng cho phép, BTS sẽ gửi lệnh điều khiển công suất phát (TPC) tới UE để giảm mức công suất phát của UE. Nếu mức tín hiệu thu được nhỏ hơn mức ngưỡng, BTS sẽ gửi lệnh điều khiển đến UE để tăng mức công suất phát.



TPC: *Transmit Power Control*: Điều khiển công suất truyền dẫn.

### Hình 1.15 Cơ chế điều khiển công suất CLPC

Các tham số được sử dụng để đánh giá chất lượng công suất thu nhằm thực hiện quyết định điều khiển công suất như: SIR, tỷ lệ lỗi khung-FER, tỷ lệ lỗi bit BER. Cơ chế CLPC nói trên là cơ chế điều khiển công suất vòng trong và đó cơ chế điều khiển công suất nhanh nhất trong hệ thống CDMA.

## 1.7 Kết luận chương

Chương này giới thiệu về phương pháp đa truy cập phân chia theo mã CDMA, phương pháp này cũng được xem như kỹ thuật đa truy cập phổ trải rộng. Các kỹ thuật trải phổ được sử dụng trong công nghệ CDMA như là :

- Trải phổ trực tiếp nhận tín hiệu bằng cách điều chế tín tức bằng tín hiệu giả ngẫu nhiên băng rộng.
- Trải phổ nhảy tần là nhảy hoặc chuyển tần số sóng mang trên một tập tần số theo một mẫu xác định bởi dãy PN.
- Trải phổ nhảy thời gian thì dữ liệu được phát đi thành từng cụm gồm k bit dữ liệu và thời điểm chính xác để phát mỗi cụm được xác định bởi dãy PN.



Mỗi loại hệ thống trải phổ có ưu và nhược điểm của mình. Việc lựa chọn hệ thống nào để sử dụng phụ thuộc vào ứng dụng cụ thể.

**Bảng 2.1 So sánh các kỹ thuật trải phổ trong CDMA**

Trải phổ trực tiếp	Trải phổ nhảy tần	Trải phổ nhảy thời gian
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Làm giảm công suất nhiễu bằng cách trải nó trên phổ tần rộng.</li> <li>- Có thể thiết kế với giải điều chế kết hợp hoặc không kết hợp.</li> <li>- Có khả năng chịu đựng tốt các tín hiệu đa tia và các can nhiễu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tại thời điểm bất kỳ đã cho các người dùng khác nhau các tần số khác nhau vì thế tránh được nhiễu</li> <li>- Dùng giải điều chế không kết hợp vì khó duy trì đồng bộ pha sóng mang do sự thay đổi nhanh của tần số phát.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tránh nhiễu bằng cách phòng ngừa nhiễu hơn một người dùng phát cùng thời điểm.</li> </ul>

Một mô hình CDMA được trình bày ngắn gọn trong chương này nhằm nắm bắt được những lý thuyết cơ bản về hệ thống CDMA. Để ứng dụng cho việc truyền dữ liệu đi được kiểm soát cũng như được bảo mật thì công việc trải phổ lại là rất quan trọng. Do hệ thống MC-CDMA tổng hợp từ các kỹ thuật OFDM và CDMA nên ở chương tiếp theo chúng ta sẽ bàn về kỹ thuật OFDM.

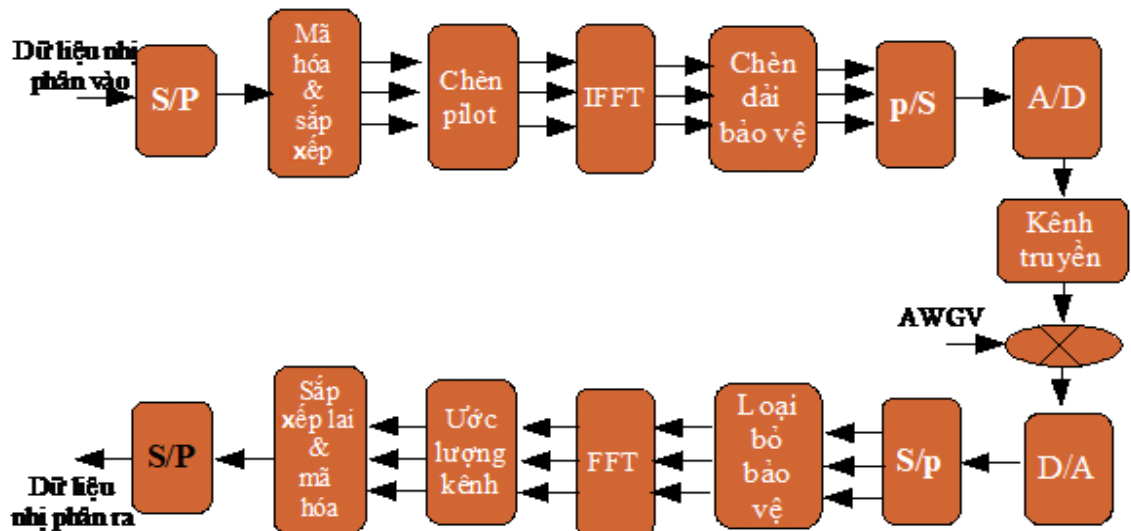
## Chương 2: Kỹ thuật OFDM

### 2.1 Giới thiệu chương

Ghép kênh phân chia theo tần số trực giao OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) là kỹ thuật điều chế đa sóng mang được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng vô tuyến lẫn hữu tuyến. OFDM được chọn làm chuẩn cho hệ thống phát âm thanh số DAB, hệ thống phát hình số DVB và mạng LAN không dây... Ưu điểm của OFDM là khả năng truyền dữ liệu tốc độ cao qua kênh truyền fading có tính chọn lọc tần số và sử dụng băng thông hiệu quả. Ngoài ra, quá trình điều chế và giải điều chế đa sóng mang có thể được thực hiện dễ dàng nhờ phép biến đổi Fourier thuận và nghịch. Trong chương này chúng ta sẽ đi sâu vào tìm hiểu từng đặc điểm của OFDM: khái niệm, điều chế đa sóng mang, hệ thống OFDM băng cơ sở, kỹ thuật xử lý tín hiệu OFDM, chèn Pilot, tiền tố lặp CP...

### 2.2 Hệ thống OFDM

#### 2.2.1 Sơ đồ khối



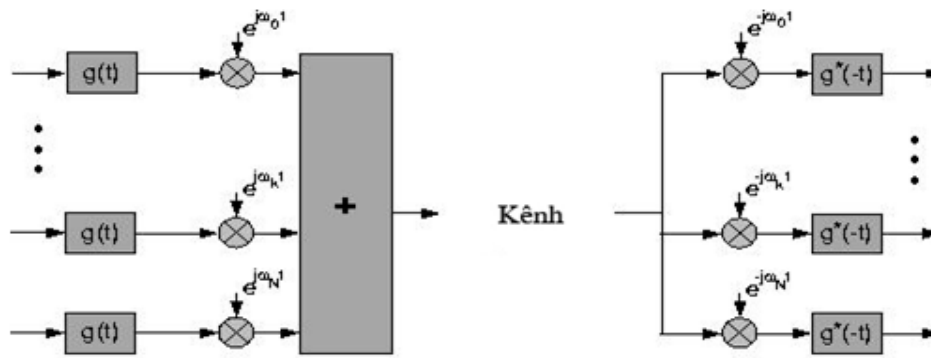
Hình 2.1 Sơ đồ khối hệ thống OFDM

### **Nguyên lý làm việc:**

- Đầu tiên, dòng dữ liệu vào tốc độ cao được chia thành nhiều dòng dữ liệu song song tốc độ thấp hơn nhờ bộ chuyển đổi S/P(Serial/Parallel). Mỗi dòng dữ liệu song song sau đó được mã hóa sử dụng thuật toán FEC(Forward Error Correcting) và được sắp xếp theo một trình tự hỗn hợp. Những ký tự hỗn hợp được đưa đến đầu vào của khối IFFT. Khối này sẽ tính toán các mẫu thời gian tương ứng với các kênh nhánh trong miền tần số
- Sau đó, khoảng bảo vệ được chèn vào để giảm nhiễu xuyên ký tự ISI do truyền trên các kênh vô tuyến di động đa đường. Cuối cùng bộ lọc phía phát định dạng tín hiệu thời gian liên tục sẽ chuyển đổi lên tần số cao để truyền trên các kênh.
- Trong quá trình truyền, trên các kênh sẽ có các nhiễu gây ảnh hưởng như nhiễu Gaussian trắng cộng AWGN.
- Ở phía thu, tín hiệu thu được chuyển xuống tần số thấp và tín hiệu rời rạc đạt được tại bộ lọc thu. Khoảng bảo vệ được loại bỏ và các mẫu được chuyển đổi từ miền thời gian sang miền tần số bằng phép biến đổi DFT dùng thuật toán FFT. Sau đó, tùy vào sơ đồ điều chế được sử dụng, sự dịch chuyển về biên độ và pha của sóng mang nhánh sẽ được cân bằng bằng bộ cân bằng kênh(Channel Equalization). Các ký tự hỗn hợp thu được sẽ được sắp xếp ngược trở lại và được giải mã. Cuối cùng, chúng ta nhận được dòng dữ liệu nối tiếp ban đầu.

### **Đa sóng mang (Multi-Carrier)**

Nếu truyền tín hiệu không phải bằng một sóng mang mà bằng nhiều sóng mang, mỗi sóng mang tải một phần dữ liệu có ích và được trải đều trên cả băng thông thì khi chịu ảnh hưởng xấu của đáp tuyến kênh sẽ chỉ có một phần dữ liệu có ích bị mất, trên cơ sở dữ liệu mà các sóng mang khác mang tải có thể khôi phục dữ liệu có ích.



Hình 2.2: Cấu trúc hệ thống truyền dẫn đa sóng mang.

Do vậy, khi sử dụng nhiều sóng mang có tốc độ bit thấp, các dữ liệu gốc sẽ thu được chính xác. Để khôi phục dữ liệu đã mất, người ta sử dụng phương pháp sửa lỗi tiến FFC. Ở máy thu, mỗi sóng mang được tách ra khi dùng bộ lọc thông thường và giải điều chế. Tuy nhiên, để không có can nhiễu giữa các sóng mang (ICI) phải có khoảng bảo vệ khi hiệu quả phổ kém.

OFDM là một kỹ thuật điều chế đa sóng mang, trong đó dữ liệu được truyền song song nhờ vô số sóng mang phụ mang các bit thông tin. Bằng cách này ta có thể tận dụng băng thông tín hiệu, chống lại nhiễu giữa các ký tự,... Để làm được điều này, một sóng mang phụ cần một máy phát sóng sin, một bộ điều chế và giải điều chế của riêng nó. Trong trường hợp số sóng mang phụ là khá lớn, điều này là không thể chấp nhận được. Nhằm giải quyết vấn đề này, khối thực hiện chức năng biến đổi IDFT/DFT được dùng để thay thế hàng loạt các bộ dao động tạo sóng sin, bộ điều chế, giải điều chế. Hơn nữa, IFFT/FFT được xem là một thuật toán giúp cho việc biến đổi IDFT/DFT nhanh và gọn hơn bằng cách giảm số phép nhân phức khi thực hiện phép biến đổi IDFT/DFT và giúp tiết kiệm bộ nhớ bằng cách tính tại chỗ.

Với hệ thống đa sóng mang OFDM ta có thể biểu diễn tín hiệu ở dạng sau:

$$S(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_l \sum_{k=0}^{N-1} a_{l,k} e^{j2\pi k(t-lT_s(N+L))} \quad (2.1)$$

Trong đó:

$a_{l,k}$  là dữ liệu đầu vào được điều chế trên sóng mang nhánh thứ  $k$  trong symbol OFDM thứ  $l$

$N$ : số sóng mang nhánh

$L$ : chiều dài tiền tố lặp (CP)

Khoảng cách sóng mang nhánh là  $\frac{1}{T} = \frac{1}{NT_s}$

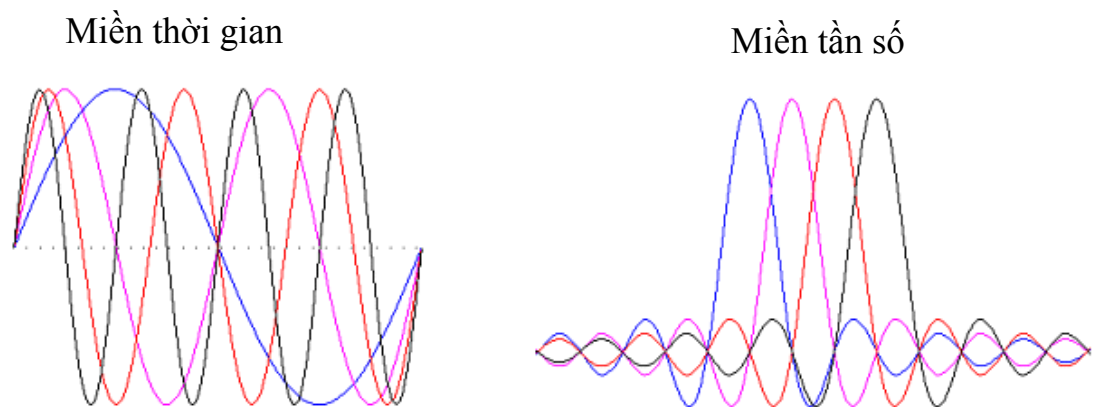
Giải pháp khắc phục hiệu quả phổ kém khi có khoảng bảo vệ (Guard Period) là giảm khoảng cách các sóng mang và cho phép phổ của các sóng mang cạnh nhau trùng lặp nhau. Sự trùng lặp này được phép nếu khoảng cách giữa các sóng mang được chọn chính xác. Khoảng cách này được chọn ứng với trường hợp sóng mang trực giao với nhau. Đó chính là phương pháp ghép kênh theo tần số trực giao. Từ giữa những năm 1980, người ta đã có những ý tưởng về phương pháp này nhưng còn hạn chế về mặt công nghệ, vì khó tạo ra các bộ điều chế đa sóng mang giá thành thấp theo biến đổi nhanh Fourier IFFT. Hiện nay, nhờ ứng dụng công nghệ mạch tích hợp nên phương pháp này đã được đưa vào ứng dụng trong thực tiễn.

### **Sự trực giao (Orthogonal)**

Orthogonal chỉ ra rằng có một mối quan hệ chính xác giữa các tần số của các sóng mang trong hệ thống OFDM. Trong hệ thống FDM thông thường, các sóng mang được cách nhau trong một khoảng phù hợp để tín hiệu thu có thể nhận lại bằng cách sử dụng các bộ lọc và các bộ giải điều chế thông thường. Trong các máy như vậy, các khoảng bảo vệ cần được dự liệu trước giữa các sóng mang khác nhau. Việc đưa vào các khoảng bảo vệ này làm giảm hiệu quả sử dụng phổ của hệ

thống.

Đối với hệ thống đa sóng mang, tính trực giao trong khía cạnh khoảng cách giữa các tín hiệu là không hoàn toàn phụ thuộc, đảm bảo cho các sóng mang được định vị chính xác tại điểm gốc trong phổ điều chế của mỗi sóng mang. Tuy nhiên, có thể sắp xếp các sóng mang trong OFDM sao cho các dải biên của chúng che phủ lên nhau mà các tín hiệu vẫn có thể thu được chính xác mà không có sự can nhiễu giữa các sóng mang. Để có được kết quả như vậy, các sóng mang phải trực giao về mặt toán học. Máy thu hoạt động gồm các bộ giải điều chế, dịch tần mỗi sóng mang xuống mức DC, tín hiệu nhận được lấy tích phân trên một chu kỳ của symbol để phục hồi dữ liệu gốc. Nếu mọi sóng mang đều dịch xuống tần số tích phân của sóng mang này (trong một chu kỳ  $\tau$ , kết quả tích phân các sóng mang khác sẽ là zero. Do đó, các sóng mang độc lập tuyến tính với nhau (trực giao) nếu khoảng cách giữa các sóng là bội của  $1/\tau$ . Bất kỳ sự phi tuyến nào gây ra bởi sự can nhiễu của các sóng mang ICI cũng làm mất đi tính trực giao.



Hình 2.3: *Trực giao của sóng mang con trong miền thời gian và miền tần số*

Phần đầu của tín hiệu để nhận biết tính tuần hoàn của dạng sóng, nhưng lại dễ bị ảnh hưởng bởi nhiễu xuyên ký tự (ISI). Do đó, phần này có thể được lặp lại, gọi là tiền tố lặp (CP: Cycle Prefix).

Do tính trực giao, các sóng mang con không bị xuyên nhiễu bởi

các sóng mang con khác. Thêm vào đó, nhờ kỹ thuật đa sóng mang dựa trên FFT và IFFT nên hệ thống OFDM đạt được hiệu quả không phải bằng việc lọc dải thông mà bằng việc xử lý băng tần gốc.

## **2.3 Kỹ thuật xử lý tín hiệu OFDM**

### **2.3.1 Mã hóa sửa sai trước FEC**

Trong hệ thống thông tin số nói chung, mã hóa sửa sai trước FEC (Forward Error Correcting) được sử dụng để nâng cao chất lượng thông tin, cụ thể là đảm bảo tỷ số lỗi trong giới hạn cho phép mà không phải nâng cao giá trị của tỷ số Eb/No (hoặc SNR), điều này càng thể hiện rõ ở kênh truyền bị tác động của AWGN. Mã hóa FEC được chia thành 2 loại mã chính:

- Mã khối (Block coding)
- Mã chập (Convolutional coding).

Ngoài ra, người ta còn dùng mã hóa Trellis: là một dạng của mã chập nhưng có thêm phần mã hóa. Bên thu có thể sử dụng thuật toán Viterbi.

### **2.3.2 Phân tán kí tự**

Do fading lựa chọn tần số của các kênh vô tuyến điển hình làm cho những nhóm sóng mang phụ ít tin cậy hơn những sóng mang khác. Vì vậy tạo ra các chùm lỗi bit lớn hơn được phân tán một cách ngẫu nhiên. Hầu hết các mã sửa lỗi không được thiết kế để sửa lỗi chùm. Do đó, bộ phân tán kí tự được tạo ra nhằm ngẫu nhiên hoá sự xuất hiện của những bit lỗi trước khi giải mã. Tại bộ phát, bằng cách nào đó người ta hoán vị những bit đã mã hoá sao cho những bit kề nhau bị cách nhau nhiều bit. Tại bộ thu, việc hoán vị ngược lại được thực hiện trước khi giải mã.

### **2.3.3 Sắp xếp**

Về nguyên tắc, có thể áp dụng bất kỳ phương pháp điều chế nào cho mỗi sóng mang. Dạng điều chế được quy định bởi số bit ở ngõ vào và cặp giá trị (I, Q) ở ngõ ra. Tức là dòng bit trên mỗi nhánh được sắp xếp thành

các nhóm có  $N_{bs}$  (1, 2, 4, 8) bit khác nhau tương ứng với các phương pháp điều chế BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM.

$N_{bs}$	Dạng điều chế	$a_n, b_n$
1	BPSK	$[\pm 1]$
2	QPSK (4-QAM)	$[\pm 1]$
4	16_QAM	$[\pm 1][\pm 3]$
8	64_QAM	$[\pm 1][\pm 3][\pm 5][\pm 7]$

*Hình 2.4 Bảng các giá trị  $a_n, b_n$  theo dạng điều chế*

Nói chung, mô hình điều chế tùy thuộc vào việc dung hoà giữa yêu cầu tốc độ truyền dẫn và chất lượng truyền dẫn. Một ưu điểm đặc biệt hứa hẹn cho các ứng dụng đa phương tiện sau này là mô hình điều chế khác nhau có thể được áp dụng cho các kênh (sóng mang phụ) khác nhau, chẳng hạn cho các lớp dịch vụ khác nhau.

### 2.3.4 Sử dụng IFFT/FFT trong OFDM

OFDM là kỹ thuật điều chế đa sóng mang, trong đó dữ liệu được truyền song song nhờ rất nhiều sóng mang phụ. Để làm được điều này, cứ mỗi kênh phụ, ta cần một máy phát sóng sin, một bộ điều chế và một bộ giải điều chế. Trong trường hợp số kênh phụ là khá lớn thì cách làm trên không hiệu quả, nhiều khi là không thể thực hiện được. Nhằm giải quyết vấn đề này, khối thực hiện chức năng biến đổi DFT/IDFT được dùng để thay thế toàn bộ các bộ tạo dao động sóng sin, bộ điều chế, giải điều chế dùng trong mỗi kênh phụ.

FFT/IFFT được xem là một thuật toán giúp cho việc thực hiện phép biến đổi DFT/IDFT nhanh và gọn hơn.



### 2.3.4.1 Phép biến đổi

DFT là phép biến đổi Fourier rời rạc (Discrete Fourier Transform), thực hiện chuyển đổi tín hiệu  $x(n)$  trong miền thời gian sang tín hiệu trong miền tần số  $X(k)$ . Phép biến đổi IDFT là quá trình ngược lại, thực hiện chuyển đổi phổ tín hiệu  $X(k)$  thành tín hiệu  $x(n)$  trong miền thời gian.

Giả sử tín hiệu  $x(n)$  có chiều dài là  $N$  ( $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$ ). Công thức của phép biến đổi DFT là

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{nk} \quad , k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.2)$$

Trong đó  $W_N$  được xác định là  $W_N = e^{-j\frac{2\pi}{N}}$  (2.3)

Do vậy,  $W_N^{nk}$  có giá trị là

$$W_N^{nk} = e^{-j\frac{2\pi kn}{N}} \quad (2.4)$$

▪ Công thức của phép biến đổi IDFT là

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) W_N^{-nk} \quad , n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.5)$$

▪ Chuyển đổi Fourier nhanh(FFT) là thuật toán giúp cho việc tính toán DFT nhanh và gọn hơn. Từ công thức (2.2), (2.5) ta thấy thời gian tính DFT bao gồm :

- Thời gian thực hiện phép nhân phức.
- Thời gian thực hiện phép cộng phức.
- Thời gian đọc các hệ số  $W_N$ .
- Thời gian truyền số liệu.

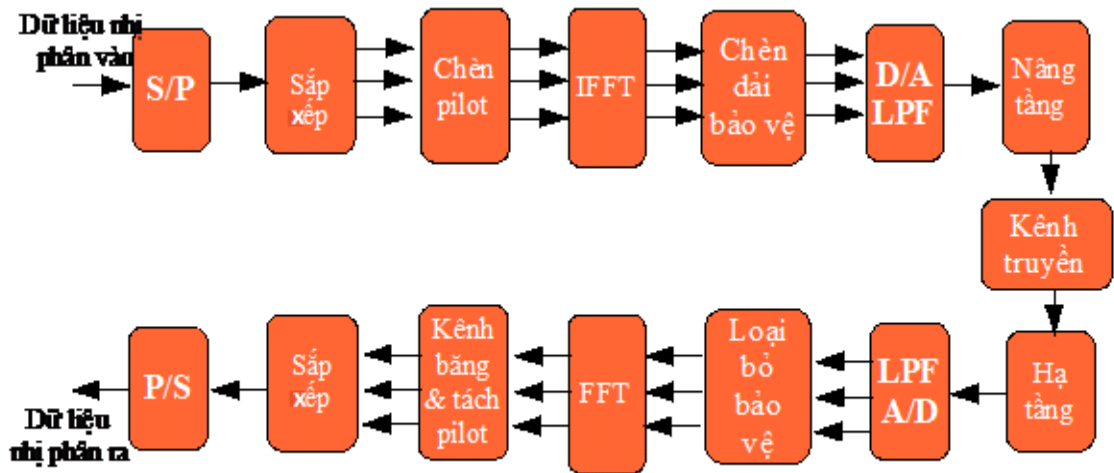
Trong đó chủ yếu là thời gian thực hiện phép nhân phức. Vì vậy, muốn giảm thời gian tính toán DFT thì người ta tập trung chủ yếu vào việc giảm thời gian thực hiện phép nhân phức. Mà thời gian thực hiện phép nhân phức tỉ lệ với số phép nhân. Do đó để giảm thời gian tính DFT thì người ta phải giảm được số lượng phép tính nhân bằng cách sử dụng thuật toán FFT. Để tính trực tiếp cần  $N^2$  phép nhân. Khi tính bằng FFT số phép

nhân chỉ còn  $\frac{N}{2} \log_2 N$ . Vì vậy tốc độ tính bằng FFT nhanh hơn tính trực tiếp là  $\frac{2N}{\log_2 N}$ .

Ngoài ra FFT còn có ưu điểm giúp tiết kiệm bộ nhớ bằng cách tính tại chỗ.

### 2.3.4.2 Ứng dụng FFT/IFFT trong OFDM

- Sơ đồ khối của hệ thống OFDM sử dụng FFT hình 2.5



Hình 2.5 Sơ đồ khối của hệ thống OFDM dùng FFT

Tại máy phát, tín hiệu được định nghĩa trong miền tần số, là tín hiệu số đã được lấy mẫu, và được định nghĩa như phổ Fourier rời rạc tồn tại chỉ tại tần số rời rạc. Mỗi sóng mang OFDM tương ứng với một phân tử của phổ Fourier rời rạc. Biên độ và pha của các sóng mang phụ thuộc data được truyền. Sự chuyển tiếp data được đồng bộ tại các sóng mang, và có thể xử lý cùng nhau, symbol by symbol.

Xét một chuỗi data  $(d_0, d_1, d_2, \dots, d_{N-1})$ , trong đó  $d_n = a_n + jb_n$  ( $a_n, b_n = \pm 1$  với QPSK,  $a_n, b_n = \pm 1, \pm 3$  với 16QAM, ...)

$$D_m = \sum_{n=0}^{N-1} d_n e^{-j(2\pi mn/N)} = \sum_{n=0}^{N-1} d_n e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \quad \text{với } k=0,1,2,\dots,N-1 \quad (2.6)$$

trong đó  $f_n = n/(\Delta T)$ ,  $t_k = k\Delta t$  và  $\Delta t$  là khoảng thời gian ký tự được lựa chọn một cách tùy ý của chuỗi  $d_n$ . Phần thực của vector  $D$  có thành phần

$$Y_m = \text{Re} \left[ \sum_{n=0}^{N-1} [a_n \cos(2\pi f_n t_m) + b_n \sin(2\pi f_n t_m)] \right] \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.7)$$

Nếu thành phần này qua bộ lọc thông thấp trong khoảng thời gian  $\Delta t$ , tín hiệu đạt được gần đúng với tín hiệu FDM

$$y(t) = \sum_{n=0}^{N-1} a_n \cos(2\pi f_n t_m) + b_n \sin(2\pi f_n t_m) \quad 0 \leq t \leq N\Delta t \quad (2.8)$$

- Hình (2.45) minh họa quá trình FFT của hệ thống OFDM cơ sở. Đầu tiên, data vào được chuyển từ nối tiếp sang song song và được nhóm thành  $x$  bits dưới dạng một số phức. Số  $x$  xác định chòm sao tín hiệu của sóng mang tương ứng, như 16QAM hoặc 32QAM. Số phức được điều chế trong băng gốc bằng thuật toán IFFT và được chuyển trở lại thành data nối tiếp trên đường truyền. Khoảng bảo vệ được chèn giữa các ký tự để tránh ISI. Các ký tự rời rạc được chuyển thành analog và LPF đối với trên tần số RF.

Máy thu thực hiện quá trình ngược lại của máy phát. Một bộ tap-equalizer được sử dụng. Hệ số tap (tap-coefficients) của bộ lọc được tính toán dựa trên thông tin kênh.

## 2.4 Các vấn đề kỹ thuật trong OFDM

OFDM là giải pháp kỹ thuật rất thích hợp cho truyền dẫn vô tuyến tốc độ cao. Tuy nhiên, để có thể đem áp dụng vào các hệ thống, có ba vấn đề cần phải giải quyết khi thực hiện hệ thống sử dụng OFDM:

- Ước lượng tham số kênh.
- Đồng bộ sóng mang

Vấn đề thứ nhất liên quan trực tiếp đến chỉ tiêu chất lượng hệ thống OFDM nếu dùng phương pháp giải điều chế liên kết, còn hai vấn đề sau liên quan đến việc xử lý các nhược điểm của OFDM. Ngoài ra, để nâng

cao chỉ tiêu chất lượng hệ thống, người ta sử dụng mã hóa tín hiệu OFDM.

#### 2.4.1 Ước lượng tham số kênh

Ước lượng kênh (Channel estimation) trong hệ thống OFDM là xác định hàm truyền đạt của các kênh con và thời gian để thực hiện giải điều chế bên thu khi bên phát sử dụng kiểu điều chế kết hợp (coherent modulation). Để ước lượng kênh, phương pháp phổ biến hiện nay là dùng tín hiệu dẫn đường (PSAM-Pilot signal assisted Modulation). Trong phương pháp này, tín hiệu pilot bên phát sử dụng là tín hiệu đã được bên thu biết trước về pha và biên độ. Tại bên thu, so sánh tín hiệu thu được với tín hiệu pilot nguyên thủy sẽ cho biết ảnh hưởng của các kênh truyền dẫn đến tín hiệu phát. Ước lượng kênh có thể được phân tích trong miền thời gian và trong miền tần số. Trong miền thời gian thì các đáp ứng xung  $h(n)$  của các kênh con được ước lượng. Trong miền tần số thì các đáp ứng tần số  $H(k)$  của các kênh con được ước lượng. Có hai vấn đề chính được quan tâm khi sử dụng PSAM :

- Vấn đề thứ nhất là lựa chọn tín hiệu pilot : phải đảm bảo yêu cầu chống nhiễu, hạn chế tổn hao về năng lượng và băng thông khi sử dụng tín hiệu này. Với hệ thống OFDM, việc lựa chọn tín hiệu pilot có thể được thực hiện trên giản đồ thời gian-tần số, vì vậy kỹ thuật OFDM cho khả năng lựa chọn cao hơn so với hệ thống đơn sóng mang. Việc lựa chọn tín hiệu pilot ảnh hưởng rất lớn đến các chỉ tiêu hệ thống.
- Vấn đề thứ hai là việc thiết kế bộ ước lượng kênh: phải giảm được độ phức tạp của thiết bị trong khi vẫn đảm bảo được độ chính xác yêu cầu. Yêu cầu về tốc độ thông tin cao (tức là thời gian xử lý giảm) và các chỉ tiêu hệ thống là hai yêu cầu ngược nhau. Chẳng hạn, bộ ước lượng kênh tuyến tính tối ưu (theo nguyên lý bình phương lỗi nhỏ nhất-MSE) là bộ lọc Wiener hai chiều (2D-Wiener filter) có chỉ tiêu kỹ thuật rất cao nhưng cũng rất phức tạp. Vì vậy, khi thiết kế cần phải dung hòa hai yêu cầu trên.

## 2.4.2 Đồng bộ trong OFDM

Đồng bộ là một trong những vấn đề đang rất được quan tâm trong kỹ thuật OFDM bởi nó có ý nghĩa quyết định đến khả năng cải thiện các nhược điểm của OFDM. Chẳng hạn, nếu không đảm bảo sự đồng bộ về tần số sóng mang thì sẽ dẫn đến nguy cơ mất tính trực giao giữa các sóng mang nhánh, khiến hệ thống OFDM mất đi các ưu điểm đặc trưng nhờ sự trực giao này. Trong hệ thống OFDM, người ta xét đến ba loại đồng bộ khác nhau là : đồng bộ ký tự (symbol synchronization), đồng bộ tần số sóng mang (carrier frequency synchronization), và đồng bộ tần số lấy mẫu (sampling frequency synchronization).

### 2.4.2.1 Đồng bộ ký tự

Đồng bộ ký tự nhằm xác định chính xác thời điểm bắt đầu một ký tự OFDM. Hiện nay, với kỹ thuật sử dụng tiền tố lặp (CP) thì đồng bộ ký tự đã được thực hiện một cách dễ dàng hơn. Hai yếu tố cần được chú ý khi thực hiện đồng bộ ký tự là lỗi thời gian (timing error) và nhiễu pha sóng mang (carrier phase noise).

#### ▪ Lỗi thời gian

Lỗi thời gian gây ra sự sai lệch thời điểm bắt đầu một ký tự OFDM. Nếu lỗi thời gian đủ nhỏ sao cho đáp ứng xung của kênh vẫn còn nằm trong chiều dài khoảng tiền tố lặp (CP) thì hệ thống vẫn đảm bảo sự trực giao giữa các sóng mang. Trong trường hợp này thì thời gian trễ của một ký tự được xem như là độ dịch pha của kênh truyền và độ dịch pha này được xác định nhờ kỹ thuật ước lượng kênh. Trong trường hợp ngược lại, nếu chiều dài của CP nhỏ hơn lỗi thời gian thì hệ thống sẽ xuất hiện lỗi ISI. Có hai phương pháp để thực hiện đồng bộ thời gian, đó là : đồng bộ thời gian dựa vào tín hiệu pilot và đồng bộ thời gian dựa vào tiền tố lặp.

- **Nhiều pha sóng mang**

Nhiều pha sóng mang là hiện tượng không ổn định về pha của các sóng mang do sự không ổn định của bộ tạo dao động bên phát và bên thu.

#### 2.4.2.2 Đồng bộ tần số sóng mang

Trong đồng bộ tần số sóng mang, hai vấn đề chính được quan tâm đến là : lỗi tần số (frequency error) và thực hiện ước lượng tần số.

- **Lỗi tần số**

Lỗi tần số được tạo ra do sự khác biệt về tần số giữa hai bộ tạo dao động bên phát và bên thu, do độ dịch tần Doppler, hoặc do nhiều pha xuất hiện khi kênh truyền không tuyến tính. Hai ảnh hưởng do lỗi tần số gây ra là : suy giảm biên độ tín hiệu thu được (vì tín hiệu không được lấy mẫu tại đỉnh của mỗi sóng mang hình sin) và tạo ra nhiễu xuyên kênh ICI (vì các sóng mang bị mất tính trực giao).

- **Ước lượng tần số**

Tương tự như kỹ thuật đồng bộ ký tự, để thực hiện đồng bộ tần số, có thể sử dụng tín hiệu pilot hoặc sử dụng tiền tố lặp. Trong kỹ thuật sử dụng tín hiệu pilot, một số sóng mang được sử dụng để truyền những tín hiệu pilot (thường là các chuỗi giả nhiễu). Sử dụng những ký tự đã biết trước về pha và biên độ sẽ giúp ta ước lượng được độ quay pha do lỗi tần số gây ra. Để tăng độ chính xác cho bộ ước lượng, người ta sử dụng thêm các vòng khóa pha (Phase Lock Loop-PLL).

**Nhận xét :** Một vấn đề cần được quan tâm đến là mối quan hệ giữa đồng bộ ký tự và đồng bộ tần số sóng mang. Để giảm ảnh hưởng của sự mất đồng bộ tần số sóng mang thì có thể giảm số lượng sóng mang, tăng khoảng cách giữa hai sóng mang cạnh nhau. Nhưng khi giảm số sóng mang thì phải giảm chu kỳ của mỗi ký tự trên mỗi sóng mang, dẫn đến việc đồng bộ ký tự rất khó khăn và phải chặt chẽ hơn. Điều đó chứng tỏ hai vấn đề đồng bộ trên có quan hệ chặt chẽ lẫn nhau, cần phải có sự dung hòa hợp lý để hệ thống đạt được các chỉ tiêu kỹ thuật đề ra.

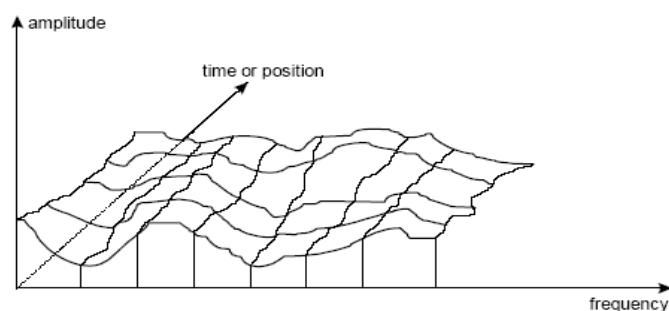
### 2.4.2.3 Đồng bộ tần số lấy mẫu

Tại bên thu, tín hiệu liên tục theo thời gian thu được lấy mẫu theo đồng hồ bên thu, vì vậy sẽ xuất hiện sự bất đồng bộ giữa đồng hồ bên phát và bên thu. Người ta đưa ra hai phương pháp để khắc phục sự bất đồng bộ này. Phương pháp thứ nhất là sử dụng bộ dao động điều khiển bằng điện áp (Voltage Controlled Oscillator-VCO). Phương pháp thứ hai được gọi là : lấy mẫu không đồng bộ; trong phương pháp này, các tần số lấy mẫu vẫn được giữ nguyên nhưng tín hiệu được xử lý số sau khi lấy mẫu để đảm bảo sự đồng bộ.

## 2.5 Đặc tính kênh truyền trong kỹ thuật OFDM

### 2.5.1 Sự suy hao

Suy hao là sự suy giảm công suất tín hiệu khi truyền từ điểm này đến điểm khác. Nó là kết quả của chiều dài đường truyền, chướng ngại vật và hiệu ứng đa đường. Để giải quyết vấn đề này, phía phát thường được đưa lên càng cao càng tốt để tối thiểu số lượng vật cản. Các vùng tạo bóng thường rất rộng, tốc độ thay đổi công suất tín hiệu chậm. Vì thế, nó còn được gọi là *fading chậm*.



Hình 2.6 Đáp ứng tần số của kênh truyền đa đường

### 2.5.2 Tạp âm trắng Gaussian

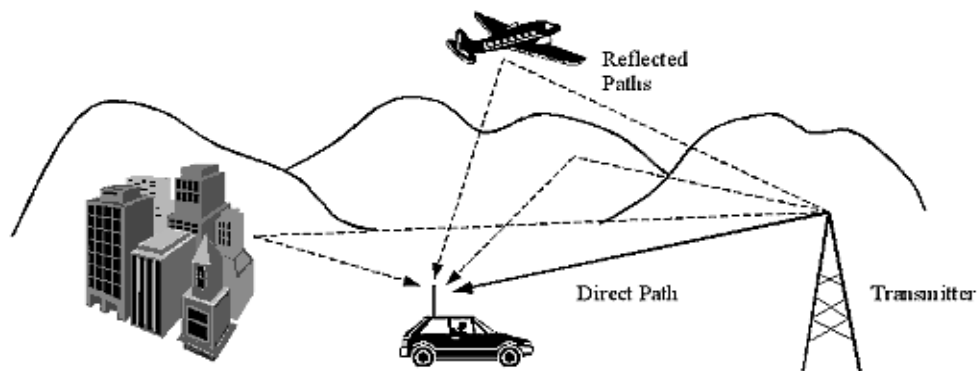
Tạp âm trắng Gaussian có mật độ phổ công suất là đồng đều trong cả băng thông và tuân theo phân bố Gaussian. Theo phương thức tác động thì nhiễu Gaussian là nhiễu cộng. Nhiễu nhiệt-sinh ra do sự chuyển động nhiệt của các hạt mang điện gây ra-là loại nhiễu tiêu biểu cho nhiễu Gaussian trắng cộng tác động đến kênh truyền dẫn. Đặc biệt, trong hệ

thống OFDM, khi số sóng mang phụ là rất lớn thì hầu hết các thành phần nhiễu khác cũng có thể được coi là nhiễu Gaussian trắng cộng tác động trên từng kênh con vì xét trên từng kênh con riêng lẻ thì đặc điểm của các loại nhiễu này thỏa mãn các điều kiện của nhiễu Gaussian trắng cộng.

### 2.5.3 Fading Rayleigh

Fading Rayleigh là loại Fading (Fading phẳng) sinh ra do hiện tượng đa đường (Multipath Signal) và xác suất mức tín hiệu thu được suy giảm so với mức tín hiệu phát đi tuân theo phân bố Rayleigh. Loại fading này còn được gọi là *fading nhanh* vì sự suy giảm công suất tín hiệu rõ rệt trên khoảng cách ngắn (tại các nửa bước sóng) từ 10-30dB.

Trong môi trường đa đường tín hiệu thu được suy giảm theo khoảng cách do sự thay đổi pha của các thành phần đa đường (thay đổi pha là do các thành phần tín hiệu đến máy thu vào các thời điểm khác nhau đến trễ lan truyền. Trễ lan truyền sẽ gây ra sự xoay pha của tín hiệu).



Hình 2.7 Các tín hiệu đa đường

Fading Rayleigh gây ra do sự giao thoa (tăng hoặc giảm) bởi sự kết hợp của các sóng thu được. Khi bộ thu di chuyển trong không gian pha giữa các thành phần đa đường khác nhau thay đổi gây ra giao thoa cũng thay đổi, từ đó dẫn đến sự suy hao công suất tín hiệu thu được. Phân bố Rayleigh thường được sử dụng để mô tả trạng thái thay đổi theo thời gian của công suất tín hiệu nhận được.

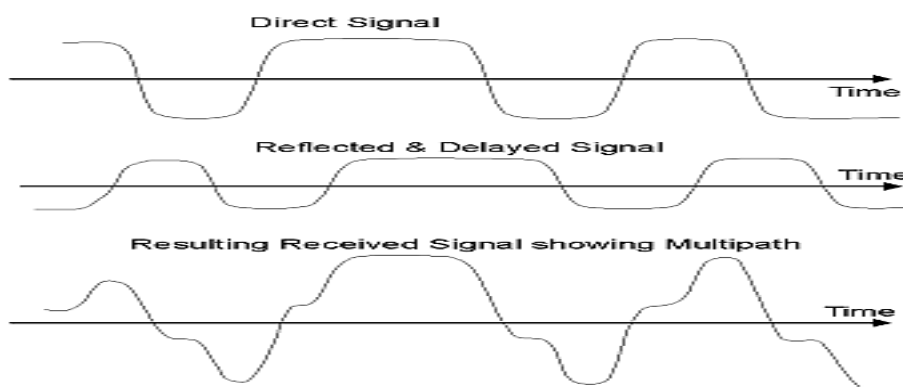


### 2.5.4 Fading lựa chọn tần số

Trong truyền dẫn vô tuyến đáp ứng phổ của kênh là không bằng phẳng, nó bị dốc và suy giảm do phản xạ dẫn đến tình trạng có một vài tần số bị triệt tiêu tại đầu thu. Phản xạ từ các vật gần như mặt đất, công trình xây dựng, cây cối có thể dẫn đến các tín hiệu đa đường có công suất tương tự như tín hiệu nhìn thẳng. Điều này sẽ tạo ra các điểm “0”(nulls) trong công suất tín hiệu nhận được do giao thoa.

### 2.5.5 Trải trễ

Trải trễ (Delay spread) là khoảng chênh lệch thời gian giữa tín hiệu thu trực tiếp và tín hiệu phản xạ thu được cuối cùng tại bộ thu do hiệu ứng đa đường. Trong thông tin vô tuyến, trải trễ có thể gây nên nhiễu xuyên ký tự ISI. Điều này là do tín hiệu sau khi trải trễ có thể chồng lấn đến các ký tự lân cận. Nhiễu xuyên ký tự sẽ tăng khi tốc độ tín hiệu tăng. Điểm bắt đầu của hiệu ứng tăng đáng kể khi trải trễ lớn hơn khoảng 50% chu kỳ bit. Trong kỹ thuật OFDM, tốc độ tín hiệu giảm sau khi qua bộ S/P làm cho chu kỳ tín hiệu tăng. Từ đó làm giảm nhiễu ISI do trải trễ.



Hình 2.8 Trải trễ đa đường

### 2.5.6 Dịch Doppler

Khi bộ phát và bộ thu chuyển động tương đối với nhau thì tần số của tín hiệu tại bộ thu không giống với tần số tín hiệu tại bộ phát. Cụ thể là : khi nguồn phát và nguồn thu chuyển động hướng vào nhau thì tần số thu được sẽ lớn hơn tần số phát đi, khi nguồn phát và nguồn thu chuyển động

ra xa nhau thì tần số thu được sẽ giảm đi. Hiệu ứng này được gọi là hiệu ứng Doppler.

## 2.6 Đặc điểm và ứng dụng của kỹ thuật OFDM

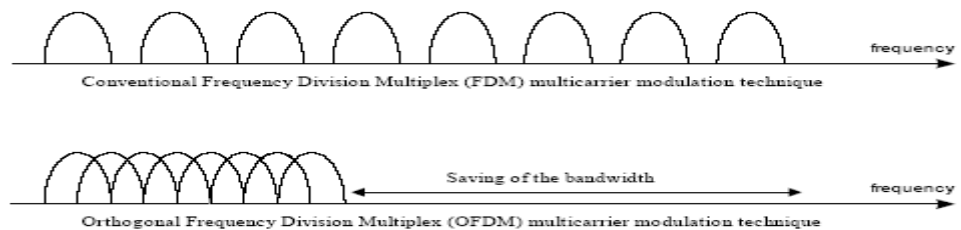
### 2.6.1 Ưu điểm của kỹ thuật OFDM

Dưới đây là các ưu điểm chính của kỹ thuật OFDM:

- Khả năng chống nhiễu ISI, ICI nhờ kỹ thuật giảm tốc độ tín hiệu bằng bộ

S/P, sử dụng tiền tố lặp CP, các sóng mang phụ trực giao với nhau.

- Hiệu suất sử dụng phổ cao hơn so với FDM do phổ của các sóng mang phụ có thể chồng phủ lên nhau mà vẫn đảm bảo chất lượng tín hiệu sau khi tách sóng.



Hình 2.9 So sánh việc sử dụng băng tần của FDM và OFDM

- Các kênh con có thể coi là các kênh fading phẳng nên có thể dùng các bộ cân bằng đơn giản trong suốt quá trình nhận thông tin, giảm độ phức tạp của máy thu.
- Điều chế tín hiệu đơn giản, hiệu quả nhờ sử dụng thuật toán FFT và các bộ ADC, DAC đơn giản.

### 2.6.2 Nhược điểm của kỹ thuật OFDM

Bên cạnh những ưu điểm thì hệ thống OFDM còn tồn tại nhiều nhược điểm:

- Hệ thống OFDM tạo ra tín hiệu trên nhiều sóng mang, dải động của tín

hiệu lớn nên công suất tương đối cực đại PAPR lớn, hạn chế hoạt động của bộ khuếch đại công suất.

- Dễ bị ảnh hưởng của dịch tần và pha hơn so với hệ thống một sóng mang. Vì vậy phải thực hiện tốt đồng bộ tần số trong hệ thống.

Cùng với các nhược điểm trên, ít có nhu cầu OFDM trong thông tin cố định do các hệ thống hiện tại vẫn đang hoạt động tốt và hiệu quả, là nguyên nhân việc triển khai sản phẩm mới đạt mức khiêm tốn trong khi ưu điểm của hệ thống sử dụng kỹ thuật này rất rõ ràng.

### **2.6.3 Ứng dụng của kỹ thuật OFDM**

Hiện nay, OFDM đã được khuyến nghị sử dụng trong các hệ thống thông tin số tốc độ cao như phát thanh và truyền hình số và sẽ được ứng dụng trong hệ thống thông tin di động tương lai như hệ thống LAN vô tuyến, các công nghệ truyền dẫn số tốc độ cao: ADSL, VDSL... OFDM cũng là một giải pháp đầy hứa hẹn để thực hiện hệ thống thông tin di động đa phương tiện (4G).

## **2.7 Kết luận chương**

Trong chương này, chúng ta đã tìm hiểu tổng quát về hệ thống OFDM. Nó cho thấy rằng đây là một giải pháp công nghệ đầy hứa hẹn. Kỹ thuật OFDM không phải là một kỹ thuật đa truy nhập vì tất cả các sóng mang được điều chế bằng dữ liệu của cùng một thuê bao. Để hỗ trợ nhiều thuê bao, OFDM phải được kết hợp với một kỹ thuật đa truy nhập. Công nghệ MC-CDMA là sự kết hợp giữa OFDM và CDMA. Vì thế, ở chương tiếp theo chúng ta sẽ cùng tìm hiểu về công nghệ MC-CDMA.

## Chương 3: Hệ thống MC-CDMA

### 3.1 Giới thiệu chương

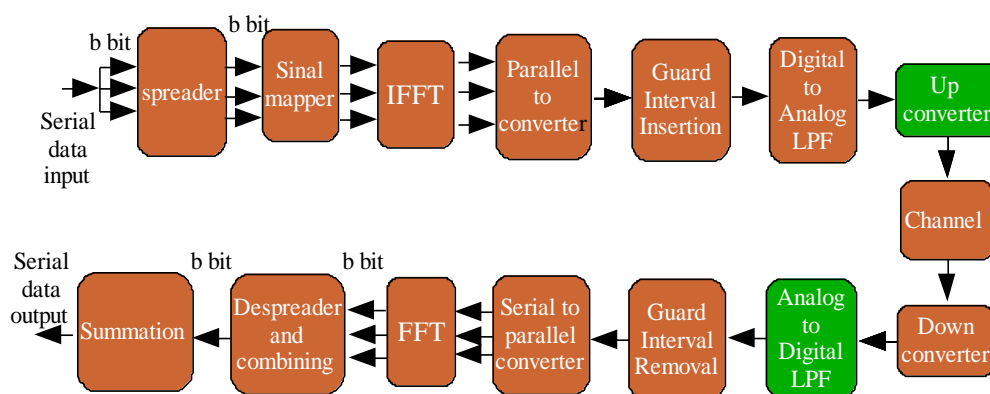
Bên cạnh việc cung cấp các dịch vụ và ứng dụng mới, thành công của 4G sẽ phụ thuộc nhiều vào sự lựa chọn các khái niệm và sự đổi mới công nghệ trong kiến trúc, phân phối phổ, sử dụng và khai thác phổ. Vì vậy các kỹ thuật đa truy nhập mới rất cần thiết để cung cấp tốc độ dữ liệu cao với sự phân phối dải tần linh hoạt. Năm 1993, ý tưởng về sự kết hợp giữa CDMA và OFDM dẫn đến việc ra đời của mô hình đa truy cập mới. Một trong những mô hình hệ thống này là MC-CDMA (MultiCarrier CDMA). Do vậy mà trong chương này chúng ta sẽ tìm hiểu nguyên lý MC-CDMA, các vấn đề về máy phát, máy thu và kênh truyền trong hệ thống. Bên cạnh đó chúng ta tìm hiểu các loại nhiễu tồn tại trong hệ thống và các phương pháp khắc phục.

### 3.2 Hệ thống MC-CDM

#### 3.2.1 Khái niệm MC-CDMA

MC-CDMA (MultiCarrier CDMA) là một hệ thống đa truy nhập mới dựa trên việc kết hợp giữa CDMA và OFDM. Khác với CDMA trải phổ trong miền thời gian thì MC-CDMA trải phổ trong miền tần số. Công nghệ này sử dụng kỹ thuật ghép kênh phân chia theo tần số trực giao OFDM để phát tín hiệu trên tập sóng mang phụ trực giao.

#### 3.2.2 Sơ đồ khối



Hình 3.1 Sơ đồ khối của hệ thống MC-CDMA

### 3.3 Máy phát

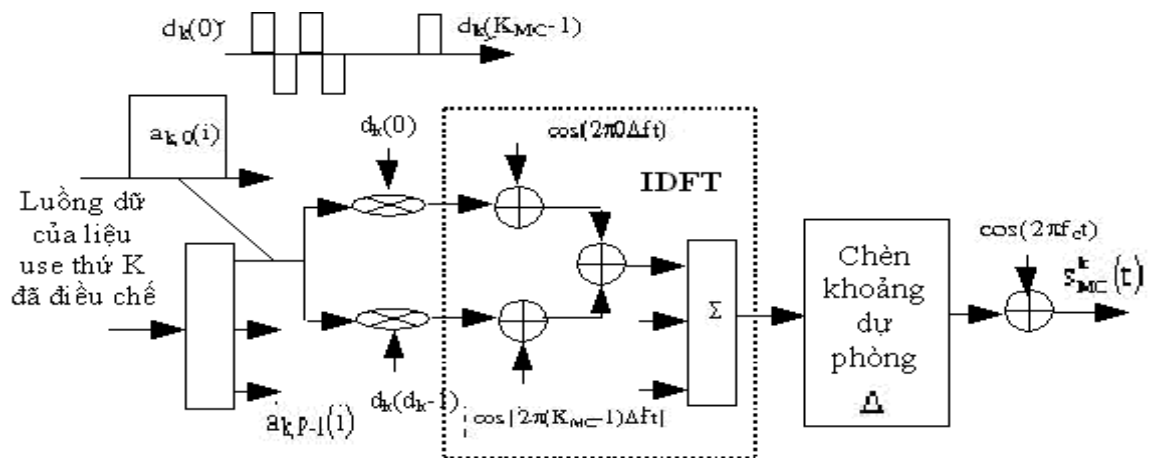
Máy phát MC-CDMA trải tín hiệu băng gốc trong miền tần số bằng một mã trải cho trước. Ngoài ra, mỗi phần của ký tự tương ứng với một chip của mã trải được điều chế bằng một sóng mang phụ khác nhau. Đối với truyền đa sóng mang, chúng ta cần đạt được fading không chọn lọc tần số trên mỗi sóng mang. Vì thế, nếu tốc độ truyền của tín hiệu gốc đủ cao để trở thành đối tượng của fading chọn lọc tần số thì tín hiệu cần chuyển từ nối tiếp sang song song trước khi được trải trong miền tần số.

#### 3.3.1 Quá trình tạo ra tín hiệu MC-CDMA theo thứ tự sau

Chuỗi dữ liệu ngõ vào có tốc độ bit là  $1/T_s$ , được điều chế BPSK, tạo ra các ký tự phức  $a_k$ .

Luồng thông tin này  $a_k$  được chuyển thành P chuỗi dữ liệu song song ( $a_{k,0}(i), a_{k,1}(i), \dots, a_{k,P-1}(i)$ ), trong đó I ký hiệu cho chuỗi ký tự thứ I (mỗi khối gồm P ký tự).

Mỗi ngõ ra của bộ biến đổi nối tiếp/song song được nhân với mã trải phổ của người dùng thứ k ( $d_k(0), d_k(1), \dots, d_k(K_{MC}-1)$ ) có chiều dài  $K_{MC}$  để tạo ra tất cả  $N=P \cdot K_{MC}$  (tương ứng với tổng số sóng mang phụ) ký tự mới. Mỗi ký hiệu (ký tự) mới này có dạng tương tự như một ký tự trong hệ thống OFDM (chương 2). Ví dụ xét nhánh song song thứ 0, mỗi ký tự OFDM bây giờ là  $S_{i,k} = a_{k,0}(i) \cdot d_k(k)$  với  $k=0, 1, \dots, K_{MC}-1$ .



Hình 3.2 Máy phát MC-CDMA

Do sự tương tự giữa các ký tự trên mỗi nhánh con của hệ thống MC-CDMA và hệ thống OFDM nên việc điều chế sóng đa mang tại băng tần gốc có thể được thực hiện bằng phép biến đổi nghịch Fourier rời rạc (IDFT). Sau đó, tín hiệu OFDM từ P nhánh được tổng hợp với lại nhau.

Khoảng dự phòng  $\Delta$  (guard interval) được chèn vào dưới dạng tiền tố vòng (CP) giữa các ký tự để tránh ISI do fading đa đường và cuối cùng tín hiệu được phát trên kênh truyền sau khi đổi tần lên RF.

Tín hiệu phát băng gốc dạng phức như sau:

$$S_{MC}^k = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{p=0}^{P-1} \sum_{m=0}^{K_{MC}-1} a_{k,p}(i) d_k(m) p_s(t - iT'_s) e^{j2\pi(Pm+p)\Delta f'(t - iT'_s)} \quad (3.1)$$

$$T'_s = PT_s \quad (3.2)$$

$$\Delta f' = \frac{1}{T'_s - \Delta} \quad (3.3)$$

Trong đó:

$d_k(0), d_k(1), \dots, d_k(K_{MC}-1)$  là mã trải phổ với chiều dài  $K_{MC}$ .

$T'_s$  là khoảng kí hiệu trên mỗi sóng mang phụ.

$\Delta f'$  là khoảng cách tần số nhỏ nhất giữa hai sóng mang phụ.

$\beta$  là hệ số mở băng thông kết hợp với chèn khoảng dự phòng ( $0 \leq \beta \leq 1$ ):

$$\beta = \Delta / PT_s \quad (3.4)$$

$p_s(t)$  là dạng xung vuông được định nghĩa:

$$p_s(t) = \begin{cases} 1, & -\Delta \leq t \leq T'_s - \Delta \\ 0, & t \neq \end{cases} \quad (3.5)$$

$$(P \cdot K_{MC} - 1) / (T'_s - \Delta) + 2 / T'_s = (1 + \beta) K_{MC} / T_s$$

Băng thông của tín hiệu phát được tính như sau:

$$B_{MC} = (P \cdot K_{MC} - 1) / (T'_s - \Delta) + 2 / T'_s \quad (3.6)$$

### **Nhận xét:**

Không có thao tác trải phổ trong miền thời gian (từ (3.1))

Công thức (3.2) cho thấy rằng khoảng ký tự tại mỗi mức sóng mang phụ gấp P lần khoảng ký tự gốc do việc chuyển đổi từ nối tiếp/song song.

Mặc dù khoảng cách giữa các sóng mang phụ tối thiểu được cho bởi (3.3) nhưng khoảng cách giữa các sóng mang phụ cho mỗi  $a_{k,p}(i)$  lại là  $P/(T'_s - \Delta)$ )

### 3.4 Máy thu

Bộ thu là bộ OFDM thêm vào một công việc kết hợp để tách dữ liệu được phát đối với mỗi người sử dụng mong muốn.

Giả sử hệ thống MC-CDMA có K người dùng đang truy cập, tín hiệu bùng gốc nhận được có dạng:

$$\begin{aligned} r_{MC}(t) &= \sum_{k=0}^{K-1} \int_{-\infty}^{+\infty} s_{MC}^k(t-\tau) h^k \\ &= \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{p=0}^{P-1} \sum_{m=0}^{K_{MC}-1} \sum_{k=0}^{K-1} h_{m,p}^k a_{k,p}(i) d_m^k p_s(t - iT'_s) e^{j2\pi(Pm+p)\Delta f'(t-iT'_s)} + n(t) \end{aligned} \quad (3.7)$$

Trong đó:

$h_{m,p}^k(t)$ : đường bao phức thu được tại sóng mang phụ thứ  $(mP+p)$  của người sử dụng thứ k.

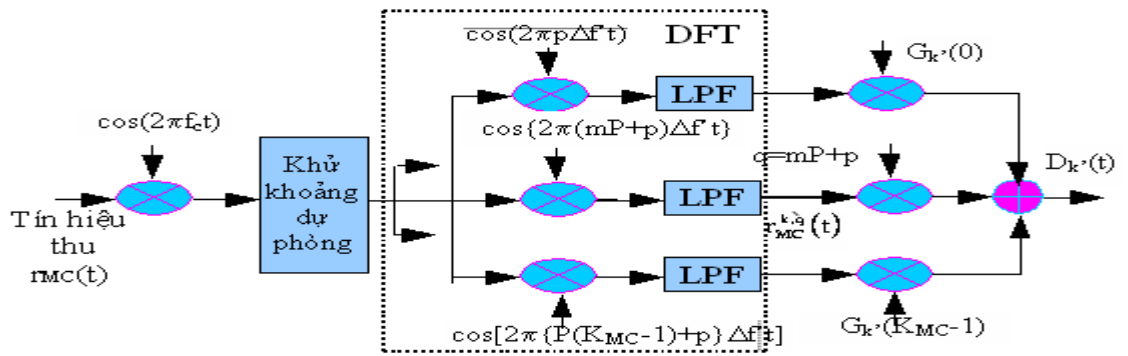
$h_k(t)$  là đáp ứng xung của kênh truyền ứng với người dùng thứ k có dạng:

$$h_k(t) = \sum_{i=0}^{N-1} a_i(t, \tau) \exp \left[ j\pi f_c \tau_i(t) + \phi_i(t, \tau) \right] \delta \left[ -\tau_i(t) \right] \quad (3.8)$$

với t và  $\tau$  là thời gian và độ trễ,  $a_i(t)$  và  $\phi_i(t)$  tương ứng là biên độ thực và biên độ trễ quá của thành phần đa đường thứ i ở thời điểm t, pha 2 biểu diễn độ lệch pha do sự lan truyền trong không gian tự do của thành phần đa đường thứ i cộng với bất kì độ dịch pha bất gặp trên đường truyền.

$n(t)$  là nhiễu Gauss có giá trị trung bình bằng 0 và mật độ phổ công suất hai phía  $N_0/2$ .

Bộ thu MC-CDMA yêu cầu việc tách sóng được thực hiện đồng bộ để thao tác giải trải phổ (despreading) thành công.



Hình 3.3 Máy thu MC-CDMA

Hình (3.3) biểu diễn bộ thu MC-CDMA cho người sử dụng thứ k. Quá trình tách sóng tại máy thu theo thứ tự sau:

Sau khi đổi tần xuống và khử khoảng dự phòng, các sóng mang phụ thứ m ( $m=0,1, \dots, K_{MC}-1$ ) tương ứng với dữ liệu thu là  $a_{k,p}(i)$ , đầu tiên được tách đồng bộ với DFT, ta thu được giá trị trên mỗi nhánh là  $y_p(m)$ .

Tiếp theo nhân  $y_p(m)$  với độ lợi  $G_k(m)$  để kết hợp năng lượng tín hiệu rời rạc trong miền tần số, và biến quyết định là tổng của các thành phần bằng gốc có trọng số:

$$D_k(t = iT_s) = \sum_{m=0}^{K_{MC}-1} G_k(m) y(m) \quad (3.9)$$

$$y(m) = \sum_{k=1}^K z_m^k(iT_s) a_j d_m^k + n(iT_s) \quad (3.10)$$

Trong đó:

$y(m)$  là thành phần dải nền của tín hiệu nhận được sau khi đã chuyển đổi xuống.

$n_m(iT_s)$  là nhiễu Gauss phức của sóng mang phụ thứ i tại thời điểm  $t=iT_s$ .

### 3.5 Kênh truyền

Kênh truyền fading Rayleigh chọn tần số biến đổi chậm là kênh truyền điển hình trong hệ thống MC-CDMA băng rộng. Kênh truyền của hệ thống có băng thông rộng được chia thành N kênh băng hẹp mà mỗi kênh như vậy chỉ chịu tác động của fading phẳng (fading không có tính chọn



lọc tần số), nghĩa là chỉ có một hệ số độ lợi trên mỗi kênh phụ (hình 3.4). Vì mỗi kênh truyền phụ có độ lợi khác nhau nên khi xét đến kênh truyền của hệ thống thì nó là kênh truyền có tính chọn lọc tần số.

Điều kiện để tính chọn lọc tần số của kênh truyền thể hiện trên toàn băng thông của tín hiệu phát và không thể hiện trên từng sóng mang phụ là:

$$\Delta f \leq B_c \leq BW \quad (3.11)$$

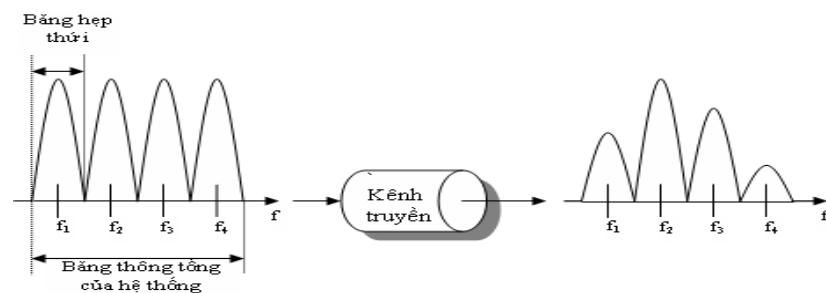
Trong đó  $B_c$  là :

băng thông liên kết của kênh truyền.

$\Delta f$  là tốc độ ký hiệu của dữ liệu phát.

$BW$  là băng thông tổng của hệ thống.

Băng thông liên kết (kết hợp)  $B_c$  là một đơn vị thống kê đo các dải tần số mà trong khoảng tần số này kênh truyền được coi là “phẳng” (kênh truyền cho qua các thành phần phổ có độ lợi xấp xỉ bằng nhau và có fading tuyến tính). Nói một cách khác, băng thông liên kết dải tần số mà trong đó khả năng tương quan biên độ của hai thành phần tần số rất lớn. Hai tín hiệu sin có khoảng phân chia tần số lớn hơn  $B_c$  sẽ bị kênh truyền gây ảnh hưởng khác nhau.



*Hình 3.4 Ảnh hưởng của kênh truyền fading có tính chọn lọc tần số lên từng băng tần hẹp*

Nếu hàm tương quan tần số lớn hơn 0,9 ta có:

$$B_c \approx \frac{1}{50S_\tau} \quad (3.12)$$

Nếu hàm tương quan tần số lớn hơn 0,5 ta có:

$$B_c \approx \frac{1}{5S_\tau} \quad (3.13)$$

Nếu kênh truyền có băng thông liên kết thỏa điều kiện (3.11) thì kênh truyền có đáp ứng xung cho bởi (3.8) có thể được xem như là một tập hợp của nhiều kênh truyền phụ băng hẹp. Mỗi kênh truyền phụ có đáp ứng xung dạng như sau:

$$h_i = \alpha_i e^{j\phi_i} \quad (3.14)$$

trong đó:

$\alpha_i$  và  $\phi_i$  lần lượt là biên độ và pha của kênh truyền fading trên kênh truyền phụ thứ  $i$  hay sóng mang thứ  $i$ ;  $\phi_i$  là biến ngẫu nhiên có phân bố đều trong đoạn  $[0, 2\pi]$

Các hệ số fading  $\alpha_i$  có phân bố Rayleigh tương quan nhau (không độc lập thống kê) và thay đổi qua từng ký hiệu của dữ liệu phát.

Đối với hệ thống MC-CDMA, điều kiện (3.11) để mỗi sóng mang phụ trải qua fading phẳng luôn thỏa vì tốc độ bit cao, nghĩa là  $\Delta f$  lớn, chuỗi bit vào sẽ được chuyển thành  $P$  nhánh song song. Khi đó, tốc độ bit trên mỗi nhánh sẽ giảm đi  $P$  lần. Vì vậy, đáp ứng xung của mỗi kênh truyền phụ tương ứng với mỗi sóng mang phụ có dạng phương trình (3.14).

Hệ số tương quan giữa fading của sóng mang phụ thứ  $i$  và thứ  $j$  được cho bởi:

$$\rho_{i,j} = \frac{1}{1 + \left[ \frac{f_i - f_j}{B_c} \right]^2} \quad (3.15)$$

### 3.6 Các kỹ thuật dò tín hiệu ( Detection algorithm)

Dữ liệu của người dùng sẽ được khôi phục nhờ một số phương pháp kết hợp nhằm tận dụng mô hình phân tập tần số. Mục tiêu chính của các phương pháp kết hợp này (kỹ thuật dò tín hiệu) là lựa chọn các trọng số  $G_k(m)$  sao cho nhiễu Gauss và nhiễu MAI được tối thiểu hoá. Có 4 phương pháp kết hợp:

### 3.6.1 Phương pháp kết hợp khôi phục tính trực giao ORC

Phương pháp ORC khôi phục tính trực giao giữa các người dùng ngay cả khi có fading, nghĩa là cho phép các biến trên mỗi nhánh kết hợp với nhau theo cách loại bỏ nhiễu đa truy cập MAI. Tuy nhiên, nhiễu trên các nhánh có biên độ sóng mang phụ chủ yếu có khuynh hướng được khuếch đại mạnh và các sóng mang phụ này được nhân với độ lợi lớn để biên độ mới bằng 1. Ảnh hưởng của việc khuếch đại nhiễu này làm tăng BER của hệ thống.

Chú ý rằng: ORC chỉ áp dụng cho tuyến xuống của hệ thống thông tin di động MC-CDMA bởi vì đối với tuyến lên (MS đến BS), tín hiệu từ các người dùng đến trạm gốc với độ trễ khác nhau và đáp ứng kênh truyền của mỗi người dùng cũng khác nhau nên cho dù các mã trải phổ có hoàn toàn trực giao thì phương pháp ORC cũng không đạt được mục tiêu như tên gọi của nó.

### 3.6.2 Phương pháp kết hợp khôi phục tính trực giao ORC đỉnh (TORC)

Phương pháp này sẽ loại bỏ ảnh hưởng của việc triệt nhiễu đi kèm với sóng mang phụ có biên độ yếu trên mỗi nhánh được khuếch đại mạnh như trong phương pháp ORC. Quyết định được tính trên tổng của các thành phần băng gốc của các sóng mang phụ có biên độ lớn hơn một ngưỡng tách sóng. Trọng số  $G_k(m)$  được chọn:

$$G_k(m) = d_m^{k'} h_m^* / |h_m|^2 u(|h_m| - \gamma) \quad (3.16)$$

Trong đó  $u(\cdot)$  là hàm bước đơn vị và  $\gamma$  là ngưỡng tách sóng.

Rõ ràng, trong phương pháp ORC đỉnh này, chỉ các giá trị nhiễu lớn hơn một mức ngưỡng tối ưu để đạt được mức ngưỡng  $\gamma$  thì mới được khuếch đại. Với tỷ số SRN cho trước, sẽ tồn tại một giá trị ngưỡng tối ưu để đạt được giá trị BER nhỏ nhất.

### 3.6.3 Phương pháp kết hợp độ lợi bằng nhau (EGC)

Đối với EGC, trọng số  $G_{k'}(m)$  được dùng để sửa sự dịch pha gây ra bởi kênh truyền và được cho bởi:

$$G_{k'}(m) = d_m^{k'} h_m^{k'^*} / |h_m^{k'}| \quad (3.17)$$

Khi tín hiệu được truyền trong kênh truyền nhiễu Gauss trắng cộng thì EGC là một phương pháp kết hợp tối ưu vì phương pháp này khôi phục tính trực giao giữa các người dùng. Do đó, nó loại bỏ can nhiễu đa truy cập trong khi giá trị nhiễu lại được lấy trung bình. Tuy nhiên, đối với kênh truyền fading phẳng qua từng sóng mang phụ, nghĩa là kênh truyền có tính chọn lọc tần số trên toàn băng thông tín hiệu thì EGC vẫn lấy giá trị trung bình của nhiễu nhưng can nhiễu đa truy cập lại khác 0. Do đó, nó ảnh hưởng mạnh đến biên quyết định D.

### 3.6.4 Phương pháp kết hợp tỷ số cực đại (MRC)

MRC sẽ kết hợp đồng bộ các tín hiệu của các sóng mang phụ khác bằng cách lấy trung bình có trọng số các sóng mang phụ này. Trọng số là liên hợp phức hệ số kênh truyền tương ứng của các sóng mang phụ, nghĩa là trọng số  $G_{k'}(m)$  được chọn bằng:

$$G_{k'}(m) = d_m^{k'} h_m^{k'^*} \quad (3.18)$$

Với việc chọn giá trị trọng số như vậy, phương pháp MRC đã bù sự dịch pha của kênh truyền và lấy giá trị trung bình có trọng số các tín hiệu sau mỗi bộ lọc đối sánh bằng các hệ số tỷ lệ thuận với biên độ của sóng mang phụ. Trong trường hợp hệ thống chỉ có một người dùng, MRC khai thác phân tập tần số sẵn có và đạt được BER thấp nhất. Tuy nhiên, trong hệ thống đa người dùng, do tính trực giao của các mã trải bị méo dạng nghiêm trọng bởi fading kênh truyền nên dung lượng của bộ tách sóng bị giới hạn bởi MAI.

### 3.6.5 Phương pháp kết hợp sai số trung bình bình phương tối thiểu (MMSE)

Điều kiện MMSE cho rằng sai số của các ký tự dữ liệu được dự đoán phải trực giao với các thành phần băng gốc của các sóng mang phụ thu được, nghĩa là:

$$E \left[ (a_k - \overline{a_k}) y(m')^* \right] = 0, \quad m' = 0, 1, \dots, K_{MC}-1 \quad (3.19)$$

Trong đó  $E[\cdot]$  là toán tử kỳ vọng và  $\overline{a_k} = \sum_{m=0}^{K_{MC}-1} G_{k'}(m) y(m)$  là ước lượng

của  $a_k$

Nghiệm của phương trình (3.19) là  $G_{k'}(m)$  xác định bởi:

$$G_{k'}(m) = d_m^{k'} h_m^{k'*} / \left( \sum_{k=0}^{K-1} |h_m^k|^2 + \sigma_n^2 \right) \quad (3.20)$$

Trong đó  $\sigma_n^2 = N_0 / 2$  là phương sai của nhiễu Gauss.

Đối với giá trị  $|h_m^k|$  nhỏ, độ lợi  $G_{k'}(m)$  cũng nhỏ để tránh khuếch đại quá lớn lượng nhiễu đi kèm với sóng mang phụ có biên độ nhỏ. Khi  $|h_m^k|$  lớn độ lợi này tỷ lệ với nghịch đảo đường bao sóng mang phụ  $h_m^{k*} / |h_m^k|^2$  để khôi phục tính trực giao giữa các người dùng. Như vậy, phương pháp MMSE sẽ kết hợp giá trị  $y(m)$  trên các nhánh theo cách tối thiểu nhiễu đa truy cập và nhiễu Gauss.

Nhược điểm của phương pháp này là phải biết chính xác số người dùng đang truy cập hệ thống và công suất nhiễu.

### 3.7 Nhiễu MAI và nhiễu ICI

Công nghệ MC - CDMA là sự kết hợp của công nghệ CDMA và OFDM nên nó còn tồn tại những khuyết điểm của hai công nghệ trên: Yêu cầu chặt chẽ về tính trực giao của bộ mã và tính trực giao giữa các sóng mang phụ. Trong thực tế, không có sự trực giao hoàn toàn mà chỉ có “cận trực giao”. Vì thế, trong hệ thống MC-CDMA chịu ảnh hưởng bởi các loại nhiễu chính: Đa truy nhập MAI, nhiễu xuyên kênh ICI.

### 3.7.1 Nhiễu MAI

Là loại nhiễu đa truy nhập do tín hiệu của các thuê bao khác đang cùng tham gia hoạt động trong hệ thống tác động lên tín hiệu của thuê bao đang xét. Nhiễu này sinh ra khi thực hiện tương quan chéo giữa mã trải phổ đang xét và các mã khác thì giá trị này không triệt tiêu. Có hai phương pháp giảm nhiễu MAI:

- Trải phổ bằng các mã trực giao có tương quan chéo bằng 0. Để đạt được

hiệu quả của các bộ mã trực giao này cần phải có sự đồng bộ giữa các tín hiệu của các thuê bao. Điều này dễ dàng đạt được trong MC-CDMA đường xuống.

- Dùng các bộ triệt nhiễu MAI. Các bộ triệt nhiễu rất hiệu quả cho đường lên. Việc áp dụng cho đường xuống khó khăn hơn do mỗi thuê bao chỉ có thể biết một mã tích cực mà nó sử dụng.

### 3.7.2 Nhiễu ICI

Là một trong các loại nhiễu chính của hệ thống MC-CDMA. Khi các sóng mang phụ không hoàn toàn trực giao thì thành phần tín hiệu trên kênh con này sẽ gây nhiễu lên thành phần tín hiệu trên kênh con khác hay xuất hiện nhiễu ICI. Hiện tượng Doppler tác động đến tính trực giao của các sóng mang phụ là nguyên nhân chính gây ra nhiễu ICI. Vì thế, nhiễu ICI chỉ được giảm khi vấn đề đồng bộ tần số được bảo đảm.

## 3.8 Các phương pháp triệt nhiễu

Để cải thiện thêm nữa độ hiệu quả của máy thu, kỹ thuật tách sóng đa người dùng được sử dụng. Có các phương pháp triệt nhiễu như sau:

### 3.8.1 Phương pháp triệt nhiễu nối tiếp (SIC)

Phương pháp triệt nhiễu nối tiếp SIC được thực hiện như sau: Giải điều chế cho một người dùng, tái tạo lại phần nhiễu đa truy cập của người dùng đó và loại trừ khỏi dạng sóng thu được. Sau đó dạng sóng đã triệt bớt

nhiều này sẽ được dùng tách sóng cho người dùng kế tiếp. Lặp lại quá trình xử lý trên cho đến khi tách sóng cho tất cả các người dùng.

Nếu quyết định sai (có nghĩa là tách sóng cho người dùng không chính xác) thì sẽ tăng gấp đôi phần nhiễu đa truy cập của người dùng đó khi tách sóng cho người dùng kế tiếp. Vì vậy thứ tự được giải điều chế có ảnh hưởng đến hiệu suất của phương pháp triệt nhiễu nối tiếp. Thông thường, việc giải điều chế được sắp xếp theo thứ tự giảm dần công suất thu được và theo các bước sau:

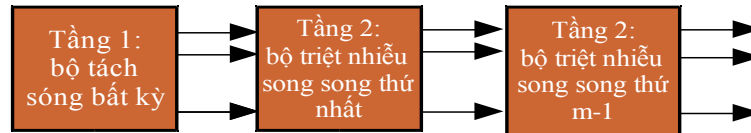
- Tính độ tin cậy (dùng EGC hoặc MMSE) cho tất cả các người dùng còn lại.
- Chọn một người dùng có độ tin cậy cao nhất và trừ khỏi thành phần tín hiệu của người dùng mong muốn.
- Lặp lại 2 bước trên cho đến khi chọn được người dùng mong muốn. Ra quyết định cuối cùng cho người dùng mong muốn.

Khi thực hiện thực tế bộ triệt nhiễu nối tiếp ta quan tâm đến các đặc điểm sau:

- Yêu cầu phải biết đến biên độ thu được. Bất kỳ sai sót nào trong việc ước lượng biên độ thu được sẽ chuyển đổi trực tiếp thành nhiễu cho các quyết định tiếp theo.
- Các người dùng yếu hơn người dùng quan tâm được bỏ đi.
- Bộ triệt nhiễu nối tiếp không yêu cầu các phép tính số học đối với các tương quan chéo ngoài tích của chúng với biên độ thu được.
- Độ phức tạp trên bit là tuyến tính theo số lượng các người dùng.
- Thời gian trễ khi giải điều chế bằng bộ triệt nhiễu nối tiếp tăng tuyến tính theo số lượng người dùng.
- Một khuyết điểm của triệt nhiễu nối tiếp là hiệu suất không đối xứng: các người dùng có cùng công suất được giải điều chế với độ tin cậy khác nhau.

### 3.8.2 Phương pháp triệt nhiễu song song (PIC)

Ngược với bộ triệt nhiễu nối tiếp là lần lượt giải điều chế cho các người dùng, sử dụng các bộ quyết định thử nghiệm thử nghiệm từ tầng trước đó (các ngõ ra của bộ tách sóng bất kỳ) để ước lượng và loại trừ tất cả nhiễu MAI cho mỗi người dùng. Quá trình xử lý có thể lặp lại nhiều lần tạo nên bộ triệt nhiễu song song nhiều tầng, với hi vọng tăng độ tin cậy của các quyết định thử nghiệm khi ước lượng nhiễu đa truy cập.



*Hình 3.5 Sơ đồ triệt nhiễu song song nhiều tầng.*

Đối với hệ thống MC-CDMA, độ hiệu quả của các giải thuật dựa trên PIC phụ thuộc mạnh vào chất lượng của việc ước lượng MAI với can nhiễu đa truy cập được khôi phục từ hệ số kênh truyền và ước lượng dữ liệu cho các người dùng. Vì vậy hiệu quả của tầng đầu tiên (nhờ đó mà việc ước lượng dữ liệu đạt được) có quan hệ gần gũi với độ hiệu quả của máy thu PIC. Do vậy, tín hiệu triệt nhiễu MAI chủ yếu là ở tầng thứ nhất này, một số phương pháp dò tín hiệu người dùng được áp dụng trong tầng này.

Phương pháp triệt can nhiễu song song giả sử máy thu biết tất cả mã trải phổ của các người dùng, trạng thái kênh truyền đối với mỗi sóng mang phụ của mỗi người dùng và biết chính xác số người dùng trong hệ thống.

Tuy nhiên, việc lựa chọn chúng giống nhau sẽ làm giảm độ phức tạp của máy thu. Bởi vì độ hiệu quả của PIC phụ thuộc vào độ hiệu quả của tầng khởi đầu của máy thu nên việc nghiên cứu sự ảnh hưởng của tầng thứ nhất là thật sự rất cần thiết.

### 3.9 Vấn đề dịch của tần số sóng mang trong hệ thống MC-CDMA

Hiệu quả của hệ thống MC-CDMA bị suy giảm nghiêm trọng theo dịch tần số. Có hai nguyên nhân chính gây ra dịch tần số:



- Trải Doppler do thiết bị di động ở tốc độ cao.
- Sai lệch giữa bộ tạo dao động cho các sóng mang ở phía máy phát và ở phía máy thu.

Các dịch tần số do sự đồng bộ không chính xác giữa bộ tạo dao động ở phía máy phát và máy thu như nhau đối với tất cả các sóng mang phụ. Trái lại, các dịch tần số do hiệu ứng Doppler lại khác nhau đối với từng sóng mang phụ bởi vì nó là hàm theo tần số. Tuy nhiên, đối với các hệ thống thông tin di động hoạt động ở tần số sóng mang điển hình 2 Ghz và chiếm một băng thông 1Mhz thì sai lệch tần số tối đa giữa các sóng mang phụ do hiệu ứng Doppler là khoảng 0-5 Mhz. Vì sai lệch này là rất nhỏ (có thể bỏ qua) so với khoảng cách giữa các sóng mang phụ là khoảng 30 Khz nên chúng ta xem xét dịch tần số do trải Doppler là một hiện tượng có đặc tính giống nhau trên tất cả các sóng mang phụ.

Dịch tần số trong hệ thống MC-CDMA gây ra 2 ảnh hưởng nghiêm trọng:

- Thứ nhất, nó làm suy giảm biên độ của tín hiệu mong muốn.
- Thứ hai, nó làm mất tính trực giao giữa các sóng mang phụ. Điều này sẽ dẫn đến nhiễu liên sóng mang ICI.

Để đơn giản cho việc ký hiệu, phần chứng minh sau chỉ tập trung vào một trong P ký tự mà mỗi người dùng phát đi bằng cách cho  $P=1$ . Khi đó,  $N=K_{MC}$  và  $T'_s=T_b$  (tốc độ bit của dữ liệu).

Xét tuyến xuống của hệ thống thông tin di động MC-CDMA có K người dùng đang hoạt động. Đặc điểm của kênh truyền hướng xuống là tất cả các người dùng sẽ trải qua cùng một đặc tính kênh truyền (kênh truyền fading Rayleigh phẳng, nghĩa là kênh truyền có tính chọn lọc tần số trên toàn bộ băng thông của tín hiệu phát nhưng không có tính chọn lọc trên từng sóng mang phụ) và các người dùng này đồng bộ với nhau.

Tín hiệu cao tần  $s(t)$  cho ký tự thứ i phát từ trạm gốc là tổng của K tín hiệu băng gốc của các người dùng (tín hiệu của mỗi người dùng có dạng như phương trình (3.1)) được đổi tần lên. Dạng phức của tín hiệu  $s(t)$  là:

$$s(t) = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{m=0}^{N-1} a_k(i) d_k(m) p(t) e^{j2\pi f_m t} \quad (3.21)$$

trong đó:

$f_m = f_c + m/T_b$  và  $p(t) = p_s(t)$  cho bởi công thức (3.5);

$f_c$ : sóng mang cao tần.

Khi hệ thống thoả điều kiện (3.11), mỗi sóng mang phụ của tất cả các người dùng sẽ trải qua kênh truyền có đáp ứng xung dạng (3.14). Tín hiệu nhận được tại thuê bao di động  $r(t)$  của ký tự thứ  $i$  có dạng:

$$r(t) = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{m=0}^{N-1} \alpha_m e^{j\phi_m} a_k(i) d_k(m) p(t) e^{j2\pi f_m t} + n(t) \quad (3.22)$$

Phương trình (3.22) thực chất là phương trình (3.7) được viết lại cho ký tự thứ  $i$  bằng cách thay  $P=1$  và  $h_m^k = \alpha_m e^{j\phi_m}$ .

Sau khi giải điều chế (cho sóng mang và cả sóng mang phụ) ta kết hợp tín hiệu trên mỗi nhánh tương ứng với sóng mang phụ, ta có biến quyết định cho bit dữ liệu thứ  $i$  của người dùng thứ 0:

$$D(i) = \frac{1}{T_b} \int_{-T_b/2}^{T_b/2} \sum_{n=0}^{N-1} e^{-j(2\pi f_n t + \phi_n)} G_0(n) r(t) dt \quad (3.23)$$

Trong đó:

$\phi_n, f_n$  là ước lượng pha của tần số sóng mang phụ thứ  $n$ ;  $f_n = f'_n = n/T_b$  với  $f'_n$  là ước lượng tần số sóng mang.

Thế (3.22) vào (3.23), ta có:

$$\begin{aligned} D(i) &= \frac{1}{T_b} \int_{-T_b/2}^{T_b/2} \sum_{n=0}^{N-1} e^{-j(2\pi f_n t + \phi_n)} G_0(n) \left[ \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{m=0}^{N-1} \alpha_m e^{j\phi_m} a_k(i) d_k(m) p(t) e^{j2\pi f_m t} + n(t) \right] dt \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{m=0}^{N-1} \alpha_m G_0(n) a_k(i) d_k(m) e^{j(\phi_m - \phi_n)} \frac{1}{T_b} \int_{-T_b/2}^{T_b/2} e^{j2\pi(f_m - f_n)t} dt + \text{AWGN} \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{m=0}^{N-1} \alpha_m G_0(n) a_k(i) d_k(m) e^{j(\phi_m - \phi_n)} \frac{\sin \pi(f_n - f_m)T_b}{\pi(f_n - f_m)T_b} + \text{AWGN} \end{aligned} \quad (3.24)$$

$$\text{Xét biểu thức: } \pi(f_n - f_m)T_b = \pi[(f'_c + n/T_b) - (f'_c + m/T_b)]T_b \quad (3.25)$$

Gọi  $\Delta$  là dịch tần số chuẩn hoá:

$$\Delta = \frac{\text{offset tần số sóng mang thực sự}}{\text{khoảng cách giữa hai sóng mang liên tiếp}} = \frac{f_c' - f_c}{1/T_b} \quad (3.26)$$

Thì (3.25) được viết lại như sau:

$$(f_n - f_m)T_b = \pi(\Delta + n - m) \quad (3.27)$$

Sử dụng (3.27), ta có thể viết lại biểu thức:

$$e^{j(\phi_m - \phi_n)} \sin \pi(f_n - f_m)T_b = e^{j(\phi_m - \phi_n)} \sin \pi\Delta \quad (3.28)$$

$$\text{Trong đó } \phi_n' = \phi_n - \pi(n - m) \quad (3.29)$$

Thế (3.27) và (3.28) vào (3.24) ta có thu được:

$$\begin{aligned} D(i) &= \frac{1}{\pi} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{m=0}^{N-1} \alpha_m G_0(n) a_k(i) d_k(m) e^{j(\phi_m - \phi_n)} \frac{\sin \pi\Delta}{\Delta + n - m} + \text{AWGN} \\ &= S + \text{MAI} + \text{ICI1} + \text{ICI2} + \text{AWGN} \end{aligned} \quad (3.30)$$

Trong đó:

S là tín hiệu mong muốn

MAI là nhiễu đa truy cập

ICI1 là nhiễu liên sóng mang do các chip trong cùng mã trải phổ của người dùng thứ 0

ICI2 là nhiễu liên sóng mang do các chip trong cùng mã trải phổ của người dùng thứ 0 và của K-1 người dùng khác.

AWGN là nhiễu Gauss trắng cộng.

Các số hạng trong biểu thức (3.30) được xác định như sau:

Các tín hiệu mong muốn S:

Từ (3.30) cho k=0 và n=m, ta có:

$$S = \frac{\sin \pi\Delta}{\pi\Delta} a_0(i) \sum_{m=0}^{N-1} \alpha_m G_0(n) d_0(m) \quad (3.31)$$

Nhiễu đa truy cập MAI:

Với k ≠ 0 và n=m, biểu thức (3.30) được rút gọn thành:

$$\text{MAI} = \frac{\sin \pi\Delta}{\pi\Delta} \sum \sum \alpha_m G_0(m) a_k(i) d_k(m) \quad (3.32)$$

Nhiều liên sóng mang do các chip trong cùng mã trải phổ của người dùng thứ 0 ICI1 được tìm bằng cách thay thế  $k=0$  và  $m \neq n$  vào (3.29):

$$ICI1 = \frac{\sin \pi \Delta}{\pi} a_0(i) \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{k=1}^{N-1} \alpha_m G_0(n) d_0(m) \frac{1}{\Delta + n - m} e^{j(\phi_m - \phi_n)} \quad (3.33)$$

Nhiều liên sóng mang do các chip trong mã trải phổ của người dùng thứ 0 và của  $K-1$  người dùng khác. Nhiều này được rút ra từ (3.30) với  $k \neq 0$  và  $m \neq n$ :

$$ICI2 = \frac{\sin \pi \Delta}{\pi} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{K-1} \sum_{m \neq n}^{N-1} \alpha_m G_0(n) a_k(i) d_0(m) \frac{1}{\Delta + n - m} \quad (3.34)$$

AWGN

$$AWGN = \sum_{m=0}^{N-1} G_0(m) n_m \quad (3.35)$$

Dựa trên các phương trình từ phương trình (3.31) đến (3.35), ta rút ra nhận xét sau:

- Tín hiệu mong muốn bị suy hao bởi một hệ số là hàm theo  $\Delta$ .
- Nhiều đa truy cập cũng bị giảm đi theo  $\Delta$ .
- ICI1 và ICI2 không xuất hiện khi  $\Delta=0$ . Các nhiễu này được xem là nhiễu cộng thêm vào nhiễu đa truy cập.

Từ phương trình (3.32) cho thấy nhiễu đa truy cập trung bình đối với mỗi sóng mang phụ chỉ phụ thuộc vào tỷ số  $K/N$ . Do đó, đối với hai hệ thống có cùng tỷ số  $K/N$ , nhiễu MAI trung bình của chúng đối với mỗi sóng mang là bằng nhau. Tuy nhiên, không giống như nhiễu MAI, nhiễu ICI lại là hàm theo số sóng mang phụ và số người dùng  $K$ . Vì vậy, nếu tổng số sóng mang phụ của hai hệ thống khác nhau thì ICI của mỗi hệ thống sẽ khác nhau ngay cả nếu tỷ số  $K/N$  là giống nhau. Tóm lại, hệ thống MC-CDMA nào có nhiều sóng mang phụ hơn do dịch tần số của sóng mang phụ ngay cả các hệ thống có cùng  $K/N$ .

### 3.10 Giới hạn BER của hệ thống MC-CDMA

Giả sử bit phát là của người dùng thứ 0 là “-1” thì tỷ lệ lỗi BER là xác suất mà  $D(i)$  lớn hơn 0 hoặc tương đương với xác suất mà  $-S$  nhỏ hơn  $MAI+ICI1+ICI2+AWGN$ , nghĩa là:

$$BER = p(-S < MAI+ICI1+ICI2+AWGN) \quad (3.36)$$

Nếu giả sử tất cả các số hạng MAI, ICI1, ICI2, AWGN trong biểu thức (3.29) có phân bố xấp xỉ phân bố Gauss thì BER đối với hệ thống sử dụng MRC là:

$$BER_{MRC} \approx \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{N_{MRC}}{M_{MRC}}} \right) \quad (3.37)$$

Trong đó:

$\operatorname{erfc}(\cdot)$  là hàm sai số bổ phụ.

$$N_{MRC} = \left( \frac{\sin \pi \Delta}{\pi \Delta} \right)^2$$

$$D_{MRC} = \frac{2K}{N} \left( \frac{\sin \pi \Delta}{\pi \Delta} \right)^2 + \frac{K}{N^2} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{i=0, i \neq n}^{N-1} \left( \frac{\sin \pi \Delta}{\pi - \Delta - i + \Delta} \right)^2 + \frac{N_0}{E_b} \quad (3.38)$$

Với  $E_b$  là năng lượng của một bit tin và được định nghĩa như sau:

$$E_b = \left( \sum_{i=0}^{N-1} \frac{1}{2} E(\alpha_m^2) \right) T_b \quad (3.39)$$

Với  $E(\alpha_m^2)$  là toán tử kỳ vọng.

Ngoài định nghĩa  $E_b/N_0$ , một thông số khác cũng rất thường gặp trong việc đánh giá chất lượng của hệ thống là tỷ số tín hiệu trên nhiễu SNR:

$$SNR = \frac{N E \alpha_i^2}{\sigma^2} \quad (3.40)$$

Với  $\sigma^2$  là công suất nhiễu của biến ngẫu nhiên Gauss trên mỗi nhánh của bộ tách sóng.

Như đã biết, BER tối thiểu có thể đạt được với hệ thống đơn người dùng và sử dụng phương pháp MRC. Do đó, giới hạn BER của hệ thống MC-CDMA là:

$$\text{BER}_{\text{LB}} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{1}{\frac{2}{N} + \frac{1}{\text{SNR}}}} \right) \quad (3.41)$$

Biểu thức (3.41) thực ra là biểu thức (3.37) với một số thay đổi nhỏ  $\Delta = 0$ ,  $K=1$ .

### 3.10.1 Phân loại

Công nghệ MC-CDMA được chia thành 2 nhóm:

- Trải phổ trong miền thời gian MC-DS-CDMA và MT-CDMA : Chuỗi tín

hiệu ban đầu sau khi được chuyển từ nối tiếp sang song song được trải phổ bằng mã trải phổ. Sau đó các chip của cùng một kí tự sẽ được điều chế trên một sóng mang. Để phân biệt MC-DS-CDMA và MT-CDMA, người ta dựa vào khoảng cách giữa các sóng mang phụ. Nếu kí hiệu chu kỳ bit dữ liệu là  $T_b$  và chu kỳ chip là  $T_c$  thì khoảng cách giữa các sóng mang phụ trong hệ thống MC-DS-CDMA là  $1/T_c$  còn trong hệ thống MT-CDMA là  $1/T_b$ .

Khoảng cách giữa các sóng mang phụ  $\Delta f$  và băng thông hệ thống  $B$  được tính theo công thức sau:

$$\Delta f = \frac{1}{N_F T} = \frac{N_s}{N_c} R_s \frac{N_F + N_P}{N_F} \cong \frac{N_s}{N_c} R_s \quad \text{Với } \frac{1}{T} = \frac{N_s}{N_c} R_s (N_F + N_P) \quad (3.42)$$

$$B = N_c \Delta f = \frac{N_c}{N_F T} = N_s R_s \frac{N_F + N_P}{N_F} \cong N_s R_s$$

$R_s$  là tốc độ tín hiệu ban đầu,  $N_c$  là hệ số của bộ chuyển đổi S/P,  $N_s$  là chiều dài của mã trải phổ,  $N_F$  là chiều dài bộ chuyển đổi IFFT,  $N_p$  là chiều dài của CP.

- Trải phổ trong miền tần số MC-CDMA: Chuỗi tín hiệu ban đầu được trải

phổ bằng mã trải phổ, sau đó mỗi chip của cùng một kí tự sẽ được điều chế trên mỗi sóng mang khác nhau. MC-CDMA trải phổ trong miền tần

số nên không bị giới hạn về khoảng tần số yêu cầu trực giao. Vì vậy, ở đường xuống, MC-CDMA thể hiện ưu điểm hơn MC-DS-CDMA

Khoảng cách giữa các sóng mang phụ  $\Delta f$  và băng thông hệ thống B được tính theo công thức sau:

$$\Delta f = \frac{1}{N_F T} = R_s \frac{N_F + N_P}{N_F} \cong R_s \quad (3.43)$$

$$B = N_s \Delta f = \frac{N_s}{N_F T} = N_s R_s \frac{N_F + N_P}{N_F} \cong N_s R_s$$

Nhận xét:

So sánh  $\Delta f$  và B của 2 hệ thống, ta nhận thấy:

- B bằng nhau, phụ thuộc vào chiều dài mã trải phổ và tốc độ dữ liệu ban đầu.
- $\Delta f$  khác nhau. Đối với hệ thống MC-CDMA,  $\Delta f$  chính bằng tốc độ dữ liệu

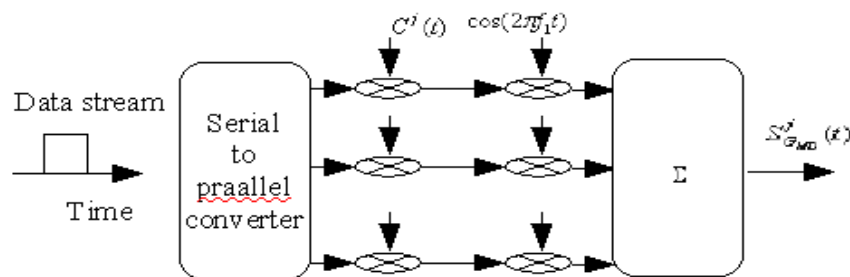
ban đầu. Còn đối với hệ thống MC-DS-CDMA thì khoảng cách  $\Delta f$  phụ thuộc vào tốc độ dữ liệu ban đầu, hệ số của bộ S/P và chiều dài mã trải phổ.

Các sơ đồ MC-CDMA :

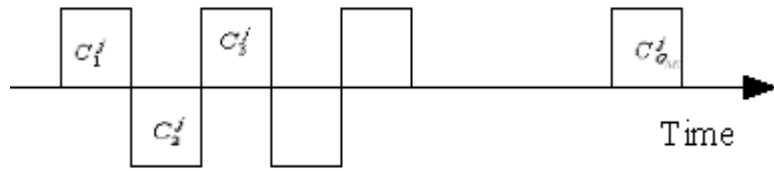
Multicarrier DS-CDMA:

Hệ thống DS-CDMA đa sóng mang trải phổ luồng dữ liệu đã được chuyển đổi từ nối tiếp sang song song trong miền thời gian sử dụng mã trải phổ CDMA.

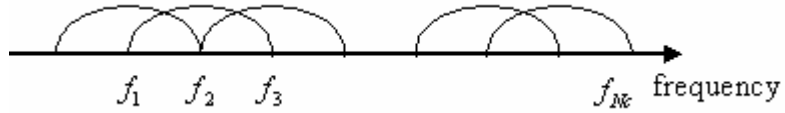
Kết quả dữ liệu trên các sóng mang trực giao nhau với sự tách biệt nhỏ nhất.



Hình 3.6 Bộ phát MC-DS-CDMA



Hình 3.7 Mã trải phổ trong MC-DS-CDMA

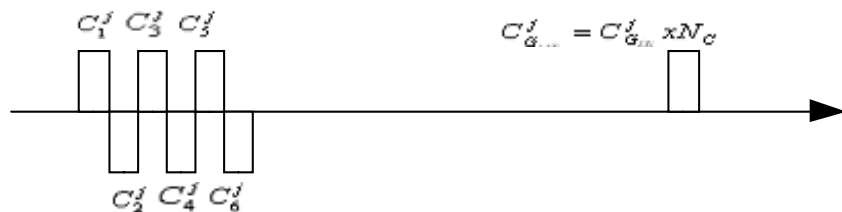


Hình 3.8 Phổ công suất của tín hiệu phát

Hệ thống phát MC DS-CDMA cho user  $j^{\text{th}}$  minh họa trong hình 3.6  $N_c$  là số sóng mang phụ trong hệ thống và mã trải phổ cho user thứ  $j$  là  $C^j(t) = [c_1^j c_2^j \dots c_{G_{MD}}^j]$  trong hình 3.7. Phổ công suất của tín hiệu trải phổ được minh họa trong hình 3.8

Multitone CDMA (MT-CDMA):

Các luồng dữ liệu đã được chuyển đổi từ nối tiếp sang song song được trải phổ bằng chuỗi mã trải phổ CDMA trong miền thời gian để phổ của mỗi sóng mang phụ trước khi trải phổ có thể thỏa mãn điều kiện trực giao với sự tách biệt tần số nhỏ nhất. Do đó phổ của mỗi sóng mang phụ không còn thỏa mãn điều kiện trực giao nữa. Sơ đồ MT-CDMA sử dụng các mã trải phổ dài hơn tỷ lệ với số sóng mang phụ so với sơ đồ DS-CDMA (đơn sóng mang) thông thường, do đó hệ thống có thể đáp ứng được nhiều người sử dụng hơn sơ đồ DS-CDMA. Mã trải phổ cho hệ thống MT-CDMA minh họa trong hình 3.10.



Hình 3.9 Mã trải phổ cho hệ thống MT-CDMA

### 3.11 Ưu điểm của kỹ thuật MC-CDMA

Các ưu điểm của kỹ thuật MC-CDMA:



- Hiệu quả sử dụng băng tần tốt.
- Phân tập tần số hiệu quả.
- Có khả năng chống lại ảnh hưởng của fading lựa chọn tần số.
- Giải quyết vấn đề nhiễu liên ký tự ISI gặp phải ở hệ thống có tốc độ dữ liệu cao trên các kênh đa đường bằng cách chia băng thông tín hiệu thành nhiều băng con có tốc độ thấp trực giao nhau.
- Tín hiệu được truyền và nhận một cách dễ dàng bằng cách sử dụng thiết bị chuyển đổi FFT mà không làm tăng độ phức tạp của máy phát, máy thu.
- Bảo mật.

### **3.12 Nhược điểm của hệ thống MC-CDMA**

Tuy nhiên, MC-CDMA cũng tồn tại những nhược điểm của CDMA và OFDM:

- Khi xét hệ thống MC-CDMA, loại nhiễu đáng quan tâm nhất là nhiễu đa truy nhập MAI (Multiple Access Interference).
- Tỷ số đường bao công suất đỉnh trên công suất trung bình (PAPR) cao nên làm giảm hiệu quả của bộ khuếch đại công suất, dẫn đến hiệu suất không cao.
- Nhạy với dịch tần số sóng mang.
- Nhạy với nhiễu pha.

### **3.13 Kết luận chương**

MC-CDMA là một trong những hệ thống đa sóng mang sử dụng công nghệ đa truy nhập CDMA. Nó mang theo cả những ưu điểm và khuyết điểm của 2 công nghệ truyền dẫn OFDM và đa truy nhập CDMA. Với những ưu điểm nổi trội, MC-CDMA là một trong những công nghệ đa truy nhập chủ yếu của thông tin di động 4G

## KẾT LUẬN

Sau ba tháng nghiên cứu và thực hiện đề tài dưới sự hướng dẫn tận tình của cô Nguyễn Thị Hương cùng với sự cố gắng nỗ lực của bản thân, em đã hoàn thành đồ án tốt nghiệp của mình theo đúng kế hoạch được giao. Trong đề tài này em đã thực hiện được những vấn đề như sau:

- Tìm hiểu về công nghệ CDMA, nguyên lý hoạt động, đặc điểm, ưu nhược điểm, ứng dụng trong thực tế.

- Kỹ thuật OFDM, nguyên lý hoạt động, sự trực giao sóng mang, hoạt động của bộ IFFT, FFT..., ưu nhược điểm của hệ thống.

- Công nghệ MC-CDMA, sự kết hợp của CDMA và OFDM tạo ra một hệ thống với nhiều ưu điểm nổi trội là nền tảng để phát triển thông tin di động trong tương lai.

Đồ án tốt nghiệp được thực hiện dưới sự nỗ lực của bản thân và sự chỉ bảo tận tình của giáo viên hướng dẫn tuy nhiên những thiếu sót và khiếm khuyết là điều không thể tránh khỏi. Em rất mong được những đóng góp ý kiến của thầy cô giáo trong hội đồng cùng toàn thể các bạn để đồ án của em được hoàn thiện hơn.

Em xin chân thành cảm ơn!

*Hải Phòng, ngày...tháng...năm 2013.*

*Sinh viên*

Nguyễn Thành Hưng

