

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**

**LÊ THUẬN MƯỜI**

**PHÂN TẬP ĐA NGƯỜI DÙNG TRONG HỆ OFDM**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ CÔNG NGHỆ ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG**

**HÀ NỘI-2014**

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**

**LÊ THUẬN MƯỜI**

**PHÂN TẬP ĐA NGƯỜI DÙNG TRONG HỆ OFDM**

Ngành: Công nghệ Điện tử - viễn thông

Chuyên ngành: Kỹ thuật điện tử

Mã số: 60 52 02 03

**LUẬN VĂN THẠC SĨ CÔNG NGHỆ ĐIỆN TỬ-VIỄN THÔNG**

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: PGS.TS NGUYỄN VIỆT KÍNH**

**HÀ NỘI-2014**

## LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan nội dung của luận văn “*Phân tập đa người dùng trong hệ OFDM*” là sản phẩm do tôi thực hiện dưới sự hướng dẫn của PGS.TS Nguyễn Việt Kính. Trong toàn bộ nội dung của luận văn, những điều được trình bày hoặc là của cá nhân hoặc là được tổng hợp từ nhiều nguồn tài liệu. Tất cả các tài liệu tham khảo đều có xuất xứ rõ ràng và được trích dẫn hợp pháp.

Tôi xin hoàn toàn chịu trách nhiệm và chịu mọi hình thức kỷ luật theo quy định cho lời cam đoan của mình.

*Hà Nội, ngày tháng năm 2014*

**TÁC GIẢ**

**Lê Thuận Mười**

## LỜI CẢM ƠN

Trước tiên tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành tới tập thể các thầy cô giáo trong Khoa Điện tử - Viễn thông, Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội đã giúp đỡ tận tình và chu đáo để tôi có môi trường tốt học tập và nghiên cứu.

Đặc biệt, tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới thầy giáo **PGS.TS. Nguyễn Việt Kính** người trực tiếp đã hướng dẫn, chỉ bảo tôi tận tình trong suốt quá trình nghiên cứu và hoàn thiện luận văn này.

Một lần nữa tôi xin được gửi lời cảm ơn đến tất cả các thầy cô giáo, bạn bè, đồng nghiệp đã giúp đỡ tôi trong thời gian vừa qua. Tôi xin kính chúc các thầy cô giáo, các anh chị và các bạn mạnh khỏe và hạnh phúc.

*Hà Nội, ngày tháng năm 2014*

**TÁC GIẢ**

**Lê Thuận Mười**

## MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN.....	1
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT.....	8
DANH MỤC CÁC BẢNG.....	9
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ.....	10
LỜI MỞ ĐẦU.....	12
Chương 1. KHÁI NIỆM PHÂN TẬP VÀ KỸ THUẬT PHÂN TẬP ĐA NGƯỜI DÙNG.....	13
1.1. Hiện tượng fading đa đường.....	13
1.1.1. Kênh truyền fading phẳng.....	13
1.1.2. Kênh fading chọn lọc tần số.....	14
1.1.3. Kênh fading nhanh.....	15
1.1.4. Kênh fading chậm.....	15
1.1.5. Kênh truyền Rayleigh.....	15
1.1.6. Kênh truyền Rice.....	16
1.2. Khái niệm phân tập.....	17
1.2.1. Phân tập thời gian.....	17
1.2.2. Phân tập tần số.....	18
1.2.3. Phân tập không gian.....	19
1.2.4. Phân tập đa người dùng.....	20
1.3. Kỹ thuật phân tập đa người dùng.....	21
1.3.1. Mô hình kênh fading đa người dùng.....	21
1.3.2. Độ lợi phân tập đa người dùng.....	23
1.3.3. Đặc điểm của phân tập đa người dùng.....	25
1.3.4. Kỹ thuật tạo chùm theo cơ hội.....	26
1.3.5. Phân tập đa người dùng trong môi trường đa ô.....	31
1.3.6. Kết luận.....	31
1.4 Kết luận chương.....	32
Chương 2. KỸ THUẬT OFDM.....	33

2.1. Giới thiệu chung.....	33
2.2. Tính hiệu trực giao về toán học .....	34
2.3. Sơ đồ hệ thống OFDM.....	35
2.4. Các kỹ thuật cơ bản trong OFDM.....	35
2.4.1. Các kỹ thuật điều chế trong OFDM.....	35
2.4.2. Tạo sóng mang con sử dụng IFFT .....	37
2.4.3. Khoảng bảo vệ và tiến tố lặp .....	38
2.4.4. Đồng bộ và ước đoán kênh .....	39
2.4.5. Ghép xen .....	39
2.4.6. Mã hóa kênh.....	40
2.4.7. Chọn các thông số OFDM .....	41
2.5. Đặc tính của OFDM .....	41
2.6. Ứng dụng thực tế .....	42
2.7. Kết luận chương.....	42
Chương 3. MỘT SỐ THUẬT TOÁN LẬP LỊCH DÙNG TRONG HỆ OFDM, ĐA NGƯỜI DÙNG .....	43
3.1. Giới thiệu.....	43
3.2. Thuật toán Round Robin.....	44
3.3. Thuật toán Max Rate.....	44
3.4. Thuật toán lập lịch công bằng tỷ lệ.....	45
3.4.1. Thuật toán PFS cho trường hợp đa sóng mang, đa người dùng .....	45
3.4.2. Thông số $t_c$ .....	49
3.5. Thuật toán Rate-Craving Greedy .....	50
3.5.1. Thuật toán cấp tài nguyên (BABS).....	51
3.5.2. RCG .....	51
3.6. Kết luận chương.....	52
Chương 4. MÔ PHÒNG.....	53
4.1. Mục đích mô phỏng .....	53
4.2. Kịch bản mô phỏng .....	53

4.3. Độ công bằng .....	53
4.3.1. Thông số mô phỏng .....	53
4.3.2. Kết quả mô phỏng.....	54
4.3. Độ trễ.....	55
4.3.1. Thông số mô phỏng .....	56
4.3.2. Kết quả mô phỏng.....	56
4.4. Thông lượng.....	59
4.4.1. Thông số mô phỏng .....	59
4.4.2. Kết quả mô phỏng.....	59
4.5. Kết luận chương.....	60
KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO.....	61
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	62

## DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

ADC	Analog to digital converter	Bộ chuyển đổi tương tự sang số
AWGN	Additive white gaussian Noise	Tạp âm gauss trắng cộng tính
BER	Bit Error Ratio	Tỷ lệ lỗi bit
BPSK	Binary Phase Shift Keying	Khóa dịch pha nhị phân
BTS	Base Transceiver Station	Trạm thu phát di động
CP	Cyclic Prefix	Tiền tố lặp
CQI	Channel Quality Indicator	Chỉ thị chất lượng kênh
CSI	Channel State Information	Thông tin trạng thái kênh
FDMA	Frequency Division Multiple Access	Đa truy cập phân chia theo tần số
FEC	Forward Error Correction	Sửa lỗi hướng thuận
FFT	Fast Fourier Transform	Biến đổi Fourier nhanh
ICI	Interchannel Interference	Nhiều xuyên kênh
ISI	Intersymbol Interference	Nhiều xuyên ký tự
LOS	Line Of Sight	Đường nhìn thẳng
MIMO	Multiple Input Multiple Output	Nhiều đầu vào và nhiều đầu ra
MS	Mobile Station	Trạm thu di động
OBF	Opportunistic Beamforming	Tạo chùm tia theo cơ hội
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	Ghép kênh phân chia theo tần số trực giao
P/S	Parallel/Serial	Song song/ nối tiếp
PAPR	Peak to Average Power Ratio	Tỷ số công suất đỉnh trên công suất trung bình
PFS	Proportional Fair Scheduling	Lập lịch công bằng tỷ lệ
PSK	Phase Shift Keying	Khóa dịch pha
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	Điều chế biên độ vuông pha
QoS	Quality of Service	Chất lượng dịch vụ
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying	Khóa dịch vuông pha
RF	Radio Frequency	Tần số vô tuyến
RMS	Root Mean Square	Căn quân phương
SIMO	Single Input, Multiple Output	Một đầu vào và nhiều đầu ra
SNR	Signal-to-Noise Ratio	Tỷ số tín hiệu trên tạp âm
TDMA	Time Division Multiple Access	Đa truy cập phân chia theo thời gian



## DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 1.1 Bảng so sánh các loại phân tập.....	24
Bảng 2.1 Thông số các dạng điều chế.....	37
Bảng 4.1 Các thông số mô phỏng độ công bằng.....	54
Bảng 4.2 Các thông số mô phỏng độ trễ.....	56
Bảng 4.3 Các thông số mô phỏng dung năng hệ thống .....	59

## DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ

Hình 1.1 Đặc tính kênh fading phẳng .....	13
Hình 1.2 Đặc tính kênh fading lựa chọn tần số.....	14
Hình 1.3 Hàm mật độ xác suất của phân bố Rice .....	17
Hình 1.4 Từ mã được phát có và không có ghép xen .....	18
Hình 1.5 Các loại phân tập không gian.....	19
Hình 1.6 Ảnh hưởng của phân tập lên $P_e$ tại đầu thu .....	20
Hình 1.7 Sơ đồ hệ thống đa người dùng đường xuống.....	22
Hình 1.8 Dung năng tổng của kênh fading Rayleigh đường xuống .....	22
Hình 1.9 Dung năng kênh theo SNR nhưng là $C_{sum}/C_{AWGN}$ của kênh fading Rayleigh đường xuống .....	23
Hình 1.10 Độ lợi phân tập đa người dùng giữa kênh Rice và kênh Rayleigh .....	24
Hình 1.11 Kênh có dải động lớn hơn và trong môi trường di động.....	26
Hình 1.12 Sơ đồ hệ thống OBF .....	27
Hình 1.13 Thể hiện kênh fading chậm của hai người dùng trước và sau khi áp dụng chùm tia theo cơ hội. ....	28
Hình 1.14 Hiệu suất phổ.....	29
Hình 1.15 Sự phụ thuộc giữa thông lượng tổng và số người dùng trong môi trường fading rice.....	30
Hình 1.16 Phân bố độ lợi kênh khi có và không có OBF. ....	30
Hình 2.1 (a) Kỹ thuật đa sóng mang truyền thống và (b) kỹ thuật điều chế đa sóng mang trực giao.....	33
Hình 2.2 Phổ tín hiệu ứng với sóng mang con (a) và phổ của tín hiệu OFDM (b) .	34
Hình 2.3 Sơ đồ khối hệ thống OFDM.....	35
Hình 2.4 Chòm sao tín hiệu M_QAM.....	36
Hình 2.5 Bộ điều chế OFDM .....	38
Hình 2.6 Sự trễ của sóng mang 2 gây ra ICI trên sóng mang 1 .....	38
Hình 3.1 Hệ thống truyền đa sóng mang với đa người dùng.....	44

Hình 3.2 Đáp ứng kênh tần số (a) người dùng thống kê như nhau (b) người dùng thống kê không nhau .....	47
Hình 3.3 Thông lượng tổng cộng đa người dùng trong môi trường cố định và di động .....	48
Hình 3.4 So sánh độ công bằng và thông lượng giữa các thuật toán[3] .....	50
Hình 4.1 Độ công bằng hệ thống theo số người dùng .....	54
Hình 4.2 Xác suất dùng kênh theo độ trễ yêu cầu với số người dùng là 10 .....	56
Hình 4.3 Xác suất dùng kênh theo độ trễ yêu cầu với số người dùng là 30 .....	57
Hình 4.4 Xác suất dùng kênh theo độ trễ yêu cầu với số người dùng là 50 .....	57
Hình 4.5 Xác suất dùng kênh theo số người dùng .....	58
Hình 4.6 Dung năng hệ thống tương ứng với số người dùng .....	59

## LỜI MỞ ĐẦU

Ngày nay, nhu cầu truyền thông không dây càng ngày càng tăng. Các hệ thống thông tin tương lai đòi hỏi phải có dung lượng cao hơn, tin cậy hơn, sử dụng băng thông hiệu quả hơn, khả năng chống nhiễu tốt hơn. Hệ thống thông tin truyền thống và các phương pháp ghép kênh cũ không còn khả năng đáp ứng được các yêu cầu của hệ thống thông tin tương lai.

Trong hệ thống thông tin di động, kỹ thuật phân tập được sử dụng để hạn chế ảnh hưởng của fading đa đường, tăng độ tin cậy truyền tin mà không phải tăng công suất phát hay băng thông. Thực tế các kỹ thuật phân tập cho phép lợi dụng những nhược điểm do kênh truyền gây nên trong hệ thống thông tin vô tuyến đã được nghiên cứu nhiều. Trong những năm gần đây, kỹ thuật phân tập đa người dùng cũng đã và đang được nghiên cứu trong những hệ thống tin cho thế hệ 4G nhằm nâng cao chất lượng hệ thống này. Hiện nay đa sóng mang đã được ứng dụng trong hệ thống tin LTE, WIMAX... Vậy phân tập đa người dùng được áp dụng như thế nào trong hệ đa sóng mang. Xuất phát từ ý tưởng trên tôi đã lựa chọn đề tài luận văn tốt nghiệp của mình là "**Phân tập đa người dùng trong hệ OFDM**", một trường hợp riêng của đa sóng mang.

Mục đích của luận văn này là để tiến hành tìm hiểu kỹ thuật phân tập đa người dùng trong việc chia sẻ tài nguyên vô tuyến giữa các người dùng với các yêu cầu dịch vụ khác nhau. Thông qua các thuật toán lập lịch và mô phỏng MATLAB, các tính năng của các thuật toán được phân tích và so sánh, đánh giá khi triển khai ý tưởng phân tập đa người dùng kết hợp với hệ đa sóng mang OFDM. Từ đó đưa ra các nhận xét và chọn ra phương pháp lập lịch tối ưu ứng với từng điều kiện cụ thể.

**Nội dung luận văn gồm 4 chương:**

**Chương 1: Khái niệm phân tập và kỹ thuật phân tập đa người dùng**

**Chương 2: Kỹ thuật OFDM**

**Chương 3: Một số thuật toán lập lịch dùng trong hệ OFDM, đa người dùng**

**Chương 4: Mô phỏng**

Trong quá trình thực hiện luận văn không tránh khỏi những thiếu sót, tôi rất mong nhận được nhiều ý kiến đóng góp của các thầy cô giáo, các anh chị và các bạn để luận văn được hoàn thiện hơn. Tôi xin chân thành cảm ơn!

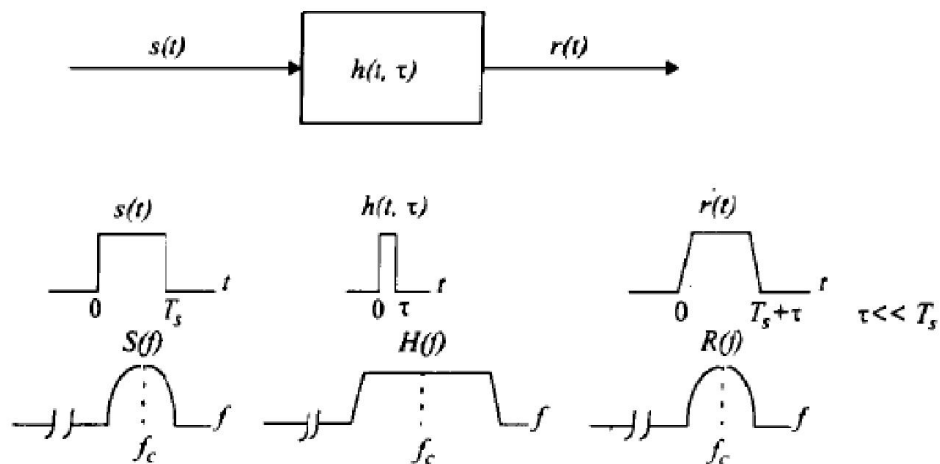
# Chương 1. KHÁI NIỆM PHÂN TẬP VÀ KỸ THUẬT PHÂN TẬP ĐA NGƯỜI DÙNG

## 1.1. Hiện tượng fading đa đường

Do tính chất của môi trường vô tuyến, tín hiệu RF truyền qua kênh truyền vô tuyến sẽ lan tỏa trong không gian đập vào các vật cản phân tán rải rác trên đường truyền như xe cộ, nhà cửa... gây ra các hiện tượng phản xạ, tán xạ, nhiễu xạ. Các bản sao này sẽ theo các đường dài ngắn khác nhau truyền tới máy thu do đó tín hiệu thu là tổng của tất cả các bản sao này nên tín hiệu thu được sẽ bị tăng cường hay suy giảm, hiện tượng này gọi là hiện tượng fading đa đường. Điều đó dẫn đến tín hiệu nhận được tại máy thu sẽ thay đổi nhiều so với tín hiệu tại máy phát, làm giảm đáng kể chất lượng truyền thông. Tùy theo đáp ứng tần số của mỗi kênh truyền mà ta có kênh truyền chọn lọc tần số hay kênh truyền phẳng, kênh truyền biến đổi nhanh hay biến đổi chậm. Tùy theo đường bao của tín hiệu sau khi qua kênh truyền có phân bố xác suất theo hàm phân bố Rayleigh hay Rice mà ta có kênh truyền Rayleigh hay Rice.

### 1.1.1. Kênh truyền fading phẳng

Nếu kênh có độ lợi kênh không đổi và đáp ứng pha tuyến tính trong một khoảng băng thông lớn hơn băng thông của tín hiệu phát thì gọi là kênh fading phẳng. Trong fading phẳng, khi có đa đường các đặc tính phổ của tín hiệu phát được bảo toàn tại máy thu. Tuy nhiên cường độ của tín hiệu thu thay đổi theo thời gian do sự thăng giáng về độ lợi của kênh do đa đường[10].

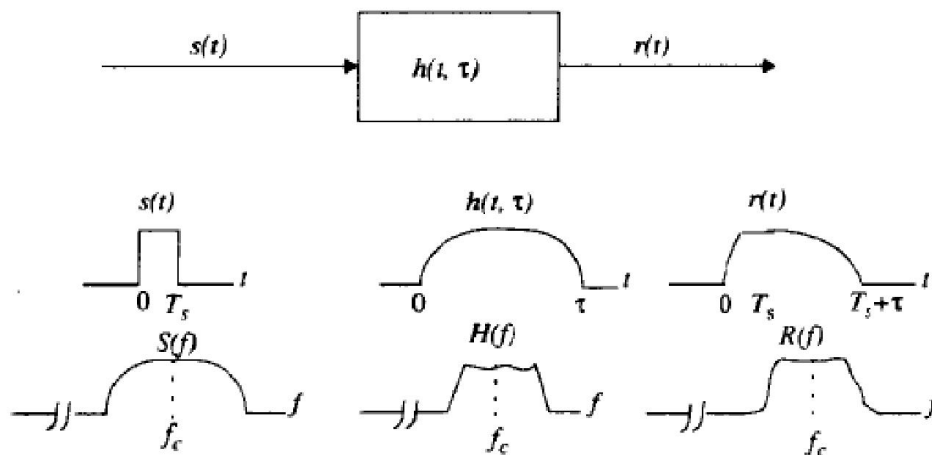


Hình 1.1 Đặc tính kênh fading phẳng

Trong kênh fading phẳng, chu kỳ ký hiệu của tín hiệu phát phải lớn hơn nhiều so với thời gian trải trễ đa đường của kênh. Hình 1.1 cho thấy tính chất của kênh fading phẳng về mặt thời gian và tần số. Tóm lại, tín hiệu qua kênh fading phẳng nếu  $B_s \ll B_C$  và  $T_s \gg \sigma_\tau$ . Trong đó  $T_s$  là độ kéo dài tín hiệu và  $B_s$  là băng thông của điều chế phát,  $\sigma_\tau$  là trải trễ rms và  $B_C$  là băng thông kết hợp của kênh.

### 1.1.2. Kênh fading chọn lọc tần số

Nếu kênh có độ lợi không đổi và đáp ứng pha tuyến tính trong một khoảng băng thông nhỏ hơn băng thông của tín hiệu phát thì kênh đó tạo ra fading lựa chọn tần số. Trong điều kiện như vậy đáp ứng xung của kênh có trải trễ đa đường lớn hơn chu kỳ ký hiệu của tín hiệu phát. Khi đó, tín hiệu thu được bao gồm cả dạng sóng tín hiệu phát bị suy hao và trễ theo thời gian và do vậy tín hiệu thu sẽ bị nhiễu. Mọi kênh truyền vô tuyến đều không thể có đáp ứng bằng phẳng trong cả dải tần vô tuyến, tuy nhiên kênh truyền có thể xem là phẳng trong một khoảng nhỏ tần số nào đó.



Hình 1.2 Đặc tính kênh fading lựa chọn tần số

Hình 1.2 minh họa tính chất của kênh fading lựa chọn tần số về mặt thời gian và tần số. Trong fading lựa chọn tần số, phổ  $S(f)$  của tín hiệu phát có băng thông lớn hơn băng thông kết hợp  $B_C$  của kênh. Khi thời gian thay đổi, kênh thay đổi độ lợi và pha làm phổ của  $s(t)$  biến đổi, kết quả là nhiễu thay đổi theo thời gian tại tín hiệu thu  $r(t)$ .

Tóm lại, tín hiệu qua kênh fading lựa chọn tần số nếu  $B_s > B_C$  và  $T_s < \sigma_\tau$ . Trong đó  $T_s$  là độ kéo dài tín hiệu và  $B_s$  là băng thông của điều chế phát,  $\sigma_\tau$  là trải trễ rms và  $B_C$  là băng thông kết hợp của kênh.

### 1.1.3. Kênh fading nhanh

Dựa vào sự thay đổi của tín hiệu băng cơ bản được phát khi so sánh với tốc độ thay đổi của kênh mà ta một kênh có thể phân loại thành kênh fading chậm hoặc fading nhanh. Trong một kênh fading nhanh, đáp ứng xung của kênh thay đổi nhanh trong khoảng thời gian ký hiệu. Thời gian kết hợp của kênh sẽ nhỏ hơn chu kỳ ký hiệu của tín hiệu phát. Điều này gây ra sự phân tán tần số do trải Doppler, dẫn đến méo tín hiệu. Quan sát trong miền tần số, méo tín hiệu do fading nhanh sẽ tăng lên với việc tăng trải Doppler liên quan đến tín hiệu phát. Do đó, tín hiệu qua kênh fading nhanh nếu  $T_S > T_C$  và  $B_S < B_D$ .

### 1.1.4. Kênh fading chậm

Trong kênh fading chậm, đáp ứng xung kênh thay đổi với tốc độ thấp hơn nhiều so với tín hiệu phát băng cơ sở  $s(t)$ . Trong trường hợp này, giả định rằng kênh có thể ổn định qua một vài khoảng chu kỳ ký hiệu. Ta biết, tín hiệu kênh truyền vô tuyến sẽ có đáp ứng tần số không đổi theo thời gian nếu cấu trúc của kênh truyền không đổi theo thời gian. Tuy nhiên mọi kênh truyền đều biến đổi theo thời gian, do các vật thể tạo nên kênh truyền luôn luôn biến đổi, luôn có vật thể mới xuất hiện và vật thể cũ mất đi, xe cộ luôn thay đổi vận tốc, nhà cửa, công viên, có thể được xây dựng thêm hay bị phá hủy đi. Khái niệm kênh fading nhanh, chậm chỉ mang tính tương đối, thí dụ nếu kênh truyền không thay đổi trong khoảng thời gian truyền một ký tự  $T_{\text{symbol}}$ , thì kênh truyền đó được gọi là kênh truyền biến đổi chậm, ngược lại nếu kênh truyền biến đổi trong khoảng thời gian  $T_{\text{symbol}}$ , thì kênh truyền biến đổi nhanh. Môi trường trong nhà ít thay đổi nên có thể xem là fading chậm, môi trường ngoài trời thường xuyên thay đổi nên được xem là fading nhanh.

### 1.1.5. Kênh truyền Rayleigh

Trong fading Rayleigh sẽ có các thành tín hiệu đến máy thu bị phản xạ, tán xạ, nhiễu xạ mà không có thành phần tín hiệu đến trực tiếp máy thu với công suất vượt trội. Trong kênh vô tuyến di động, phân bố Rayleigh thường được dùng để thống kê sự thay đổi theo thời gian của đường bao thu được của tín hiệu fading phẳng hoặc đường bao của một thành phần đa đường riêng lẻ. Ta biết đường bao của tổng hai tín hiệu tạp âm Gauss trực giao tuân theo phân bố Rayleigh. Phân bố Rayleigh có hàm mật độ xác suất[10]:

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & (0 \leq r \leq \infty) \\ 0 & (r < 0) \end{cases} \quad (1.1)$$

Với  $\sigma$  là giá trị rms của điện thế tín hiệu nhận được trước bộ tách đường bao.  $\sigma^2$  là công suất trung bình theo thời gian.

### 1.1.6. Kênh truyền Rice

Ngược lại trường hợp kênh fading Rayleigh, khi có thành phần tín hiệu trực tiếp đến máy thu thì phân bố sẽ là Rice. Trong trường hợp này, các thành phần đa đường ngẫu nhiên đến bộ thu với những góc khác nhau được xếp chồng lên tín hiệu LOS. Tại ngõ ra của bộ tách đường bao, điều này có ảnh hưởng như là cộng thêm thành phần một chiều vào các thành phần đa đường ngẫu nhiên. Khi thành phần LOS bị suy yếu, tín hiệu tổng hợp trông giống như nhiễu có đường bao theo phân bố Rayleigh. Vì vậy, phân bố trở thành phân bố Rayleigh trong trường hợp thành phần LOS mất đi.

Hàm mật độ phân bố xác suất của phân bố Rice:

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{(r^2+A^2)}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{Ar}{\sigma^2}\right) & (A \geq 0, r \geq 0) \\ 0 & r < 0 \end{cases} \quad (1.2)$$

A: Biên độ đỉnh của thành phần truyền thẳng.

$I_0$ : Là hàm Bessel cải tiến loại 1 bậc 0.

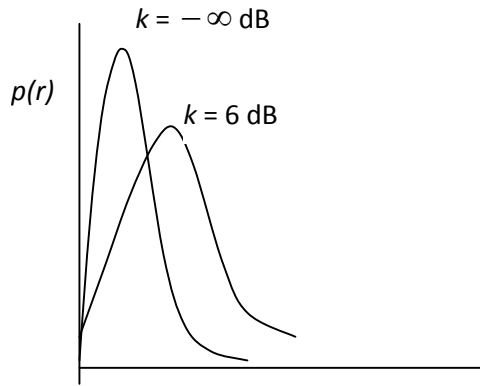
Phân bố Rice thường được mô tả bởi thông số k được định nghĩa như là tỉ số giữa công suất tín hiệu xác định (thành phần LOS) và công suất các thành phần đa đường:

$$k = \frac{A^2}{2\sigma^2} \quad (1.3)$$

k xác định phân bố Rice và được gọi là hệ số Rice.

Khi  $A \rightarrow 0$ ,  $k \rightarrow 0$  ( $-\infty$  dB) thành phần LOS bị suy giảm về biên độ, phân bố Rice trở thành phân bố Rayleigh.





Hình 1.3 Hàm mật độ xác suất của phân bố Rice

Hình 1.3 mô tả hàm mật độ xác suất của phân bố Rice  $k = -\infty$  dB (Rayleigh) và  $k = 6$  dB. Với  $k \gg 1$ , giá trị trung bình của phân bố Rice xấp xỉ với phân bố Gauss.

## 1.2. Khái niệm phân tập

Trong môi trường vô tuyến, kỹ thuật phân tập được sử dụng rộng rãi để làm giảm ảnh hưởng của fading đa đường và cải thiện độ tin cậy của kênh truyền mà không yêu cầu tăng công suất phát hoặc tăng băng thông cần thiết. Kỹ thuật phân tập yêu cầu nhiều bản sao tín hiệu tại nơi thu, tất cả cùng mang một thông tin nhưng có sự tương quan rất nhỏ trong môi trường fading. Vì vậy, sự kết hợp hợp lý của các phiên bản khác nhau sẽ làm giảm ảnh hưởng của fading và cải thiện độ tin cậy của đường truyền.

Có nhiều cách để thu được phân tập như phân tập thời gian, phân tập tần số. Trong một kênh với nhiều anten phát hoặc thu ta có phân tập không gian. Do vậy, phân tập là một kỹ thuật quan trọng, trong một hệ thống vô tuyến có thể sử dụng vài loại phân tập.

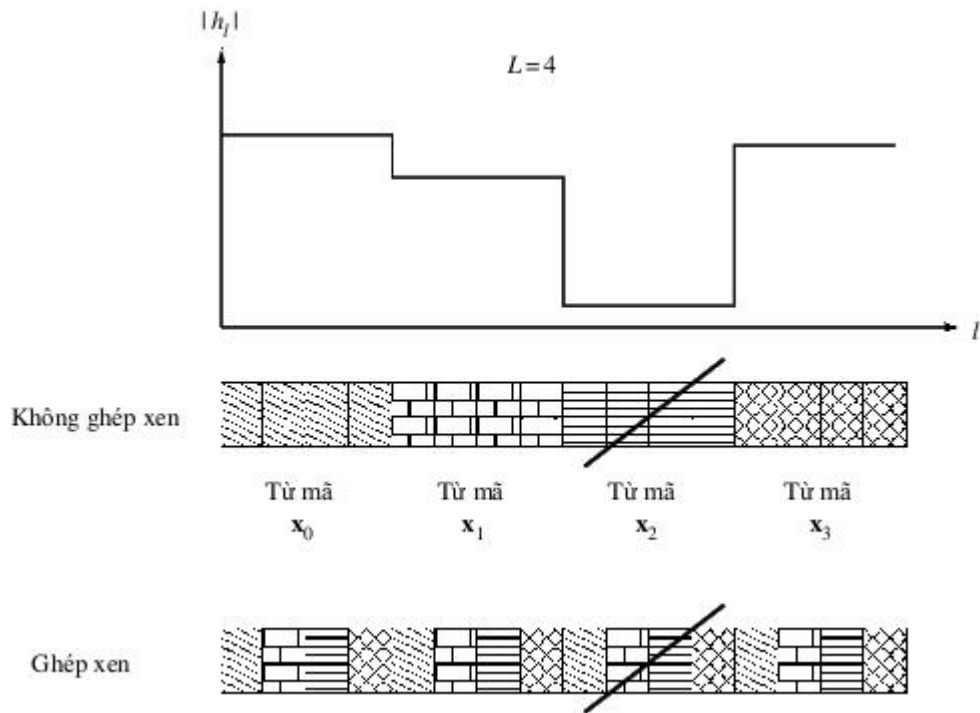
### 1.2.1. Phân tập thời gian

Phân tập qua thời gian có thể thu được khi thực hiện mã hóa và ghép xen: thông tin được mã hóa và các ký hiệu mã hóa được phân tán theo thời gian trong các chu kỳ kết hợp khác nhau để các các phần khác nhau của từ mã có thể độc lập khi xảy ra hiện tượng fading [7].

Giả sử ta phát một từ mã  $x = [x_1, \dots, x_L]$  chiều dài ký hiệu  $L$  và tín hiệu thu là:

$$y_l = h_l x_l + w_l, \quad L = 1, \dots, L \quad (1.4)$$

Giả sử ghép xen lý tưởng để các ký tự liên tiếp  $x_l$  được phát đủ xa theo thời gian, ta có thể giả thiết rằng  $h_l$  là độc lập.



Hình 1.4 Từ mã được phát có và không có ghép xen

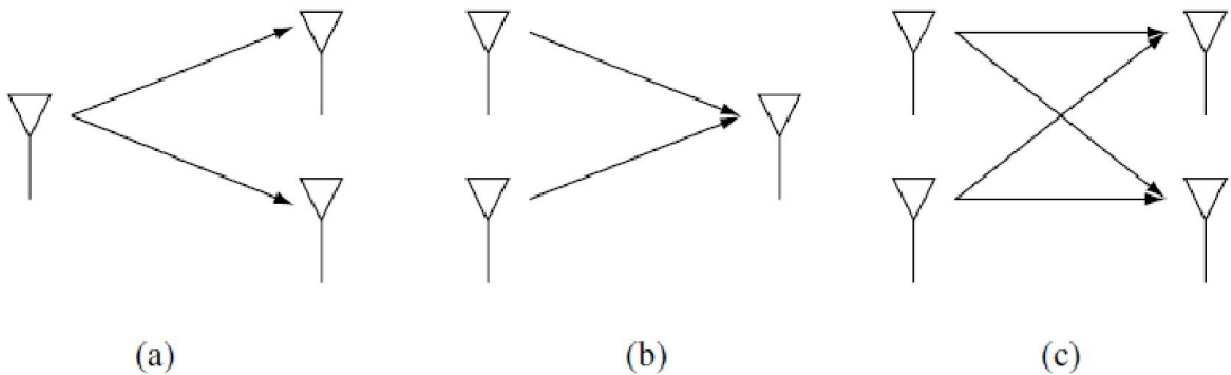
Trong hình 1.4 Các từ mã được truyền các các ký hiệu liên tiếp nhau và được ghép xen, từ mã  $x_2$  bị triệt tiêu bởi fading nếu không dùng bộ ghép xen kênh, nếu dùng bộ xen kênh thì mỗi từ mã chỉ mất một ký tự và ta có thể khôi phục lại từ ba ký tự không bị ảnh hưởng bởi fading.

### 1.2.2. Phân tập tần số

Trong phân tập tần số, sử dụng các thành phần tần số khác nhau để phát cùng một lượng thông tin. Các tần số cần được phân chia để đảm bảo bị ảnh hưởng của fading một cách độc lập. Khoảng cách giữa các tần số phải lớn hơn vài lần băng thông kết hợp để đảm bảo rằng fading trên các tần số khác nhau là không tương quan. Kỹ thuật trải phổ rất hiệu quả khi băng thông kết hợp của kênh nhỏ. Tuy nhiên, khi băng thông kết hợp của kênh truyền lớn hơn băng thông trải phổ, trải trễ đa đường sẽ nhỏ hơn chu kỳ tín hiệu. Trong trường hợp này, trải phổ là không hiệu quả để cung cấp phân tập tần số. Phân tập tần số gây ra sự tổn hao hiệu suất băng thông tùy thuộc vào sự dư thừa thông tin trong cùng băng tần số.

### 1.2.3. Phân tập không gian

Để khai thác phân tập thời gian cần phải ghép xen và mã hóa qua các chu kỳ thời gian kết hợp. Khi có các ràng buộc về độ trễ, thì phân tập này có thể không sử dụng được. Lúc này có thể sử dụng một loại phân tập khác gọi là phân tập anten hay phân tập không gian. Phân tập không gian có thể thu được bằng cách đặt nhiều anten tại đầu phát hoặc đầu thu. Nếu các anten đặt với khoảng cách đủ xa, độ lợi kênh giữa các anten độc lập nhau. Khoảng cách giữa các anten phụ thuộc vào môi trường tán xạ cũng như tần số sóng mang. Với thiết bị di động ở gần mặt đất với nhiều tán xạ xung quanh, khoảng cách giữa các anten bằng nửa chiều dài sóng mang là đủ. Đối với các trạm gốc với chiều cao cột anten cao, anten lớn hơn thì khoảng cách có thể vài đến vài chục bước sóng.



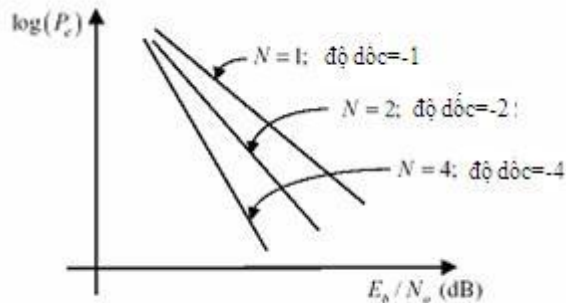
Hình 1.5 Các loại phân tập không gian

Hình 1.5 chỉ ra các loại phân tập không gian với hình a: Phân tập thu sử dụng nhiều anten thu (SIMO) và hình b: phân tập phát sử dụng nhiều anten phát(MISO) và hình c là kênh với nhiều anten phát và nhiều anten thu (MIMO).

#### 1.2.3.1. Phân tập thu

Tín hiệu từ đầu phát sẽ theo nhiều đường để tới đầu thu do phản xạ, tán xạ từ môi trường. Phân tập thu là kỹ thuật sử dụng nhiều anten khác nhau ở phía thu. Các anten thu sẽ thu được nhiều bản sao của cùng một tín hiệu truyền. Tín hiệu thu được có thể thay đổi lớn qua một vài chiều dài bước sóng trong môi trường nhiều tín hiệu đa đường. Xác suất lỗi bit ( $P_e$ ) của QPSK trong các kênh fading Rayleigh là xấu. Nếu bộ thu thu được vài kênh fading độc lập, mỗi sóng mang cùng tín hiệu, nó có thể kết hợp thông tin mỗi đường dẫn để giảm  $P_e$  tại máy thu như ta nhìn thấy ở hình 1.6. Ngoài ra, các kỹ thuật phân tập thu có độ phức tạp thấp hơn như phân

tập chuyển mạch tức là lựa chọn thay đổi anten nếu cường độ tín hiệu anten thu hiện tại bị rơi xuống dưới một ngưỡng xác định.



Hình 1.6 Ảnh hưởng của phân tập lên  $P_e$  tại đầu thu

### 1.2.3.2. Phân tập phát

Phân tập phát là kỹ thuật sử dụng hai hay nhiều anten ở phía phát để phát tín hiệu, công suất phát được chia cho các anten phát. Phân tập thu khó để thực hiện tại máy thu di động do thiếu không gian, công suất, chi phí tăng và phụ thuộc vào loại hình dạng. Phân tập phát có yêu cầu phần cứng và độ phức tạp xử lý tín hiệu đáng kể đối với BTS. Nó có sự bất lợi về công suất do năng lượng từ BTS được phân chia giữa nhiều thành phần anten. Phân tập phát có thể hoặc không thể phụ thuộc vào sự phản hồi từ bộ thu. Nó thường triển khai sử dụng mã không gian thời gian mà không yêu cầu phản hồi. Để thực thi phân tập phát có khá nhiều cách khác nhau như: lưu đồ phân tập-trễ (truyền lặp lại qua các anten theo thời gian), mã lưới không gian-thời gian, mã khối không gian – thời gian, nhảy anten....

### 1.2.4. Phân tập đa người dùng

Phân tập đa người dùng là một kỹ thuật phân tập sử dụng lập lịch người dùng trong kênh vô tuyến đa người dùng trong đó lập lịch người dùng cho phép trạm gốc chọn các người dùng kênh chất lượng cao hơn để phát thông tin dựa trên thông tin chất lượng kênh phản hồi từ tất cả các thiết bị người dùng. Khi có nhiều người dùng sử dụng mạng vô tuyến, chất lượng kênh của các người dùng khác nhau là khác nhau. Nếu trạm gốc phát thông tin tới người dùng được chọn ngẫu nhiên, kênh của người dùng được chọn rõ ràng có thể thấp hơn người dùng có chất lượng kênh tốt hơn. Phân tập đa người dùng có thể thực hiện nếu trạm gốc có thể biết được

thông tin chất lượng kênh trước khi truyền. Ta sẽ xét chi tiết đến loại phân tập đa người dùng trong phần tiếp theo.

### 1.3. Kỹ thuật phân tập đa người dùng

Khi truyền thông tin qua kênh vô tuyến, xét về mặt thời gian khi khoảng thời gian để truyền thông tin lớn hơn sự thăng giáng của kênh thì kênh fading trở thành một lợi thế mà ta có thể khai thác. Đó là nhờ khả năng theo dõi kênh và có khả năng làm tăng dung năng- ta gọi là thông tin theo cơ hội. Điều này dẫn đến một kịch bản đa người dùng trong đó sử dụng một hiệu ứng được gọi là phân tập đa người dùng. Với khái niệm này, ngoài việc lựa chọn khi nào phát, ta có thêm một lựa chọn khác là phát cho người dùng nào[7].

#### 1.3.1. Mô hình kênh fading đa người dùng

Xét trường hợp đường xuống (downlink) kênh fading phẳng cho trường hợp đơn anten[2].

$$y_k[m] = h_k[m]x[m] + w_k[m], \quad k = 1, \dots, K, \quad (1.5)$$

Trong đó: K là số người dùng

$h_k[m]$ : độ lợi kênh của người dùng k theo thời gian m (iid: phân bố, độc lập đồng nhất)

$w_k[m]$  là nhiễu gauss trắng cộng tính AWGN

công suất phát trung bình của tín hiệu có ràng buộc P

Khi máy phát theo dõi sự thăng giáng kênh của các người dùng, dung năng tổng đường xuống được thực hiện bởi cách phát chỉ với người dùng có kênh tốt nhất. Khi kênh thay đổi, ta chỉ nhặt ra người có kênh tốt nhất tại mỗi thời điểm và phân bố năng lượng cho các sóng mang theo thuật toán rót nước với điều kiện ràng buộc công suất trung bình là P.

Với chiến thuật như trên thì đường xuống trở thành kênh điểm - điểm với độ lợi kênh phân bố sao cho:

$$\max_{k=1 \dots K} |h_k|^2 \quad (1.6)$$

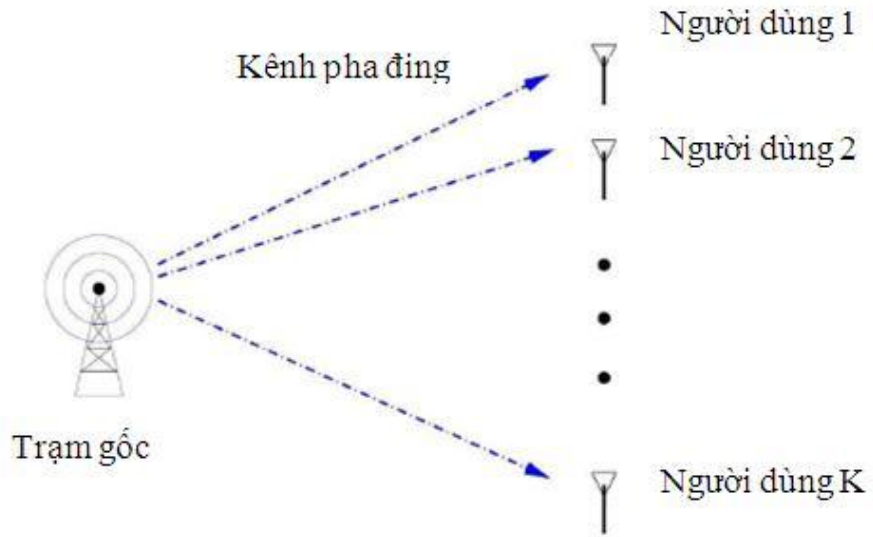
Sự phân bố công suất chính là bài toán rót đầy nước:

$$P^*(h) = \left( \frac{1}{\lambda} - \frac{N_0}{\max_{k=1 \dots K} |h_k|^2} \right) \quad (1.7)$$

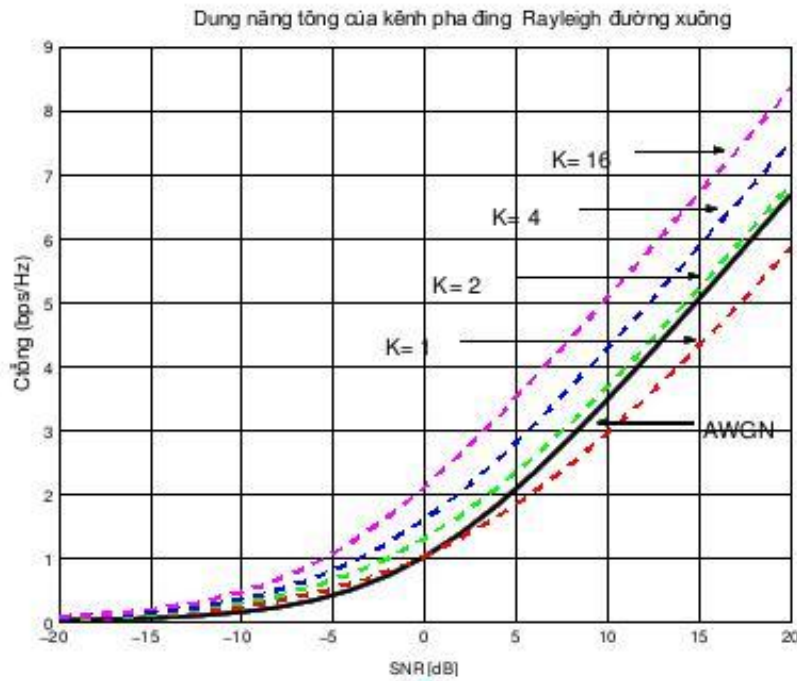
Trong đó  $h = (h_1, \dots, h_K)$  là trạng thái fading liên kết và  $\lambda > 0$  được chọn sao cho thỏa mãn điều kiện về ràng buộc công suất[1].

Dung năng tổng của đường xuống là:

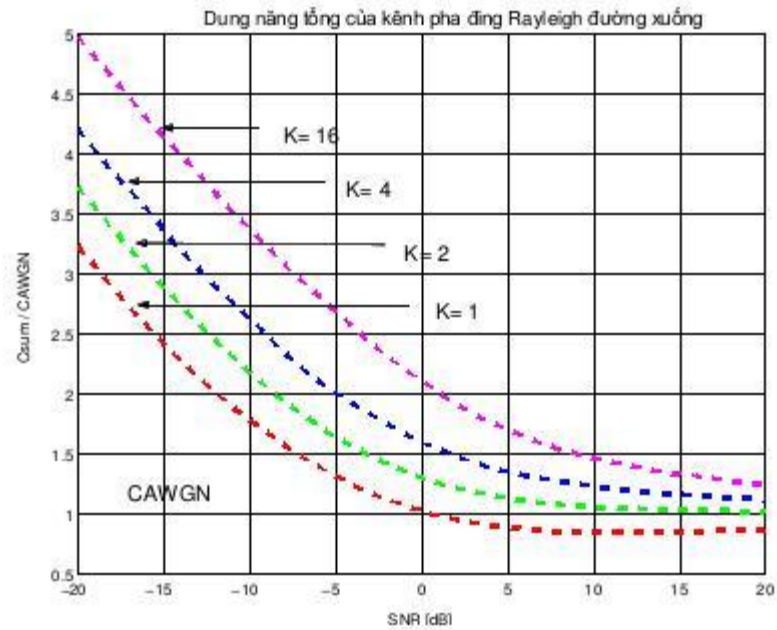
$$C_{sum} = E[\log(1 + \frac{P^*(h)(\max_{k=1...K}|h_k|^2)}{N_0})] \quad (1.8)$$



Hình 1.7 Sơ đồ hệ thống đa người dùng đường xuống



Hình 1.8 Dung năng tổng của kênh fading Rayleigh đường xuống



Hình 1.9 Dung năng kênh theo SNR nhưng là  $C_{\text{sum}}/C_{\text{AWGN}}$  của kênh fading Rayleigh đường xuống

Từ (1.8), khi biết đầy đủ thông tin trạng thái kênh, ta có đồ thị dung năng tổng đa người dùng kênh fading Rayleigh đường xuống theo SNR - theo số người dùng  $k$ :

Theo hình 1.8 ta có nhận xét:

$C$  tăng theo SNR với số người dùng không đổi

$C$  tăng theo số người dùng với SNR không đổi.

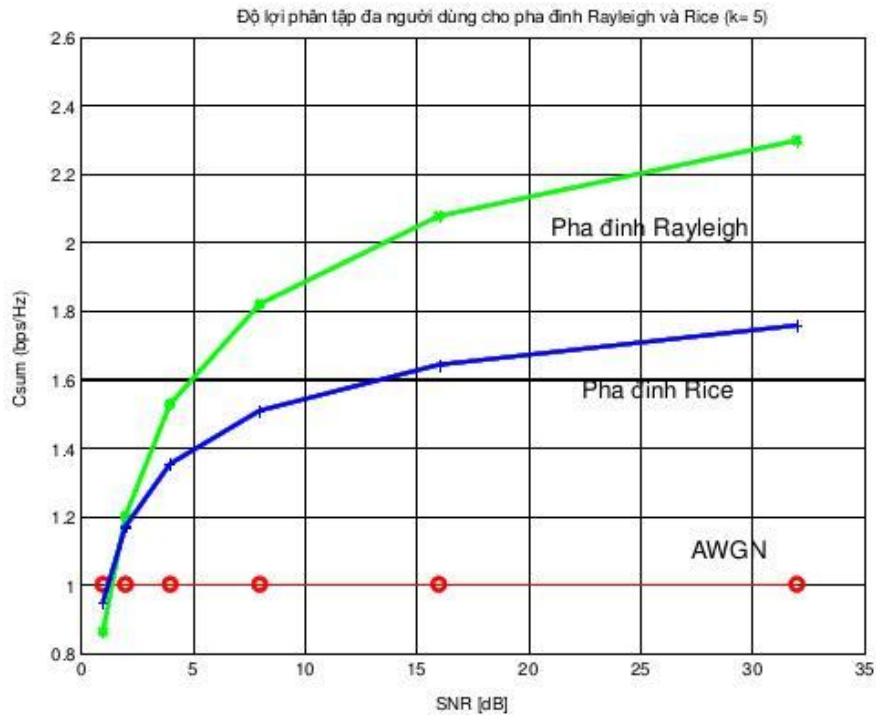
Dung năng kênh theo SNR nhưng là  $C_{\text{sum}}/C_{\text{AWGN}}$  của kênh fading Rayleigh đường xuống. Theo hình 1.9 ta có nhận xét:

Vùng SNR âm thì  $C_{\text{sum}}/C_{\text{AWGN}}$  luôn luôn lớn hơn 1.

Vùng SNR dương thì  $C_{\text{sum}}/C_{\text{AWGN}}$  bé hơn 1 với  $K=1$ , lớn hơn 1 rất ít với  $K=16$ .

### 1.3.2. Độ lợi phân tập đa người dùng

Độ lợi phân tập đa người dùng phụ thuộc vào của sự phân bố fading  $|h_k|^2$ . Đại lượng này càng lớn, càng có khả năng có một người dùng với kênh mạnh do đó độ lợi phân tập càng lớn. Như đã biết, mô hình kênh fading Rice là mô hình nếu kênh truyền có tồn tại đường truyền thẳng là thành phần chính cộng thêm rất nhiều đường phản xạ nhỏ. Thông số  $k$  được định nghĩa là tỷ số năng lượng của phần truyền thẳng trên phần năng lượng phân tán. Do có thành phần đường truyền thẳng làm cho phân bố Rice ít ngẫu nhiên hơn. Kết quả cho thấy độ lợi phân tập đa người dùng là nhỏ hơn đáng kể nếu so kênh Rice với kênh Rayleigh.



Hình 1.10 Độ lợi phân tập đa người dùng giữa kênh Rice và kênh Rayleigh  
 Hình 1.6 là đồ thị  $C_{\text{sum}}$  SNR cho 3 trường hợp kênh Rayleigh fading, Rice và kênh AWGN

Ngoài ra, độ lợi phân tập có liên quan đến tốc độ di chuyển, khi vận tốc người dùng tăng lên, đặc tính suy hao sẽ có đột biến. Khi có trải Doppler,  $f_d = v/\lambda$  tăng, thời gian kết hợp của kênh sẽ trở nên ngắn hơn và yêu cầu tốc độ sẽ ít tin cậy hơn. Nếu so sánh kỹ thuật phân tập cổ điển với kỹ thuật phân tập đa người dùng đều là do sự xuất hiện của các đường truyền tín hiệu fading độc lập. Tuy nhiên, cũng có vài điểm khác biệt sau:

Bảng 1.1 Bảng so sánh các loại phân tập

	<b>Phân tập cổ điển</b>	<b>Phân tập đa người dùng</b>
<b>Đối tượng</b>	Cải thiện độ tin cậy của truyền thông trong kênh fading chậm	Tăng thông lượng qua kênh fading nhanh
<b>Chiến thuật</b>	Làm giảm hiệu ứng fading	Tăng hiệu năng nhờ khai thác fading của kênh
<b>Kịch bản</b>	Điểm-điểm	Điểm-đa điểm



### 1.3.3. Đặc điểm của phân tập đa người dùng

Phân tập đa người dùng có thể dùng ở đâu trong hệ thống. Hay nói cách khác, yêu cầu hệ thống cần có để lợi dụng phân tập đa người dùng:

- + Trạm gốc phải có đa truy cập để đo chất lượng kênh (hệ TDD/FDD): Trong đường xuống, mỗi máy thu sẽ theo dõi SNR kênh của nó, thông qua kênh hoa tiêu và đưa phản hồi về chất lượng kênh đồng thời tới trạm gốc.
- + Trạm gốc phải có khả năng lập lịch giữa các người dùng cũng như thích nghi tốc độ theo chất lượng kênh tức thời.

Trong phần này, ta sẽ tập trung các vấn đề hệ thống gặp phải khi áp dụng phân tập đa người dùng.

#### Tính công bằng và độ trễ

Để triển khai ý tưởng phân tập đa người dùng trong hệ thống thực, ta sẽ gặp phải một trong hai vấn đề sau: công bằng và độ trễ. Trong trường hợp lý tưởng, thống kê của các người dùng là như nhau, chiến thuật liên lạc với người dùng có kênh tốt nhất để cực đại dung lượng tổng cộng của hệ thống và của từng người. Trong thực tế, thống kê của người dùng là không cân xứng, có người dùng gần trạm gốc hơn với SNR trung bình tốt hơn, có người dùng di chuyển, đứng yên, nằm trong môi trường tán xạ lớn. Ngoài ra, chiến lược chỉ tập trung tối đa hóa thông lượng trung bình thời gian dài và do đó một số yêu cầu trễ cần phải thỏa mãn. Thách thức của người lập lịch là khai thác phân tập đa người dùng đồng thời phải chú ý đến tính công bằng của thực tế và độ trễ yêu cầu.

#### Đo kênh và phản hồi

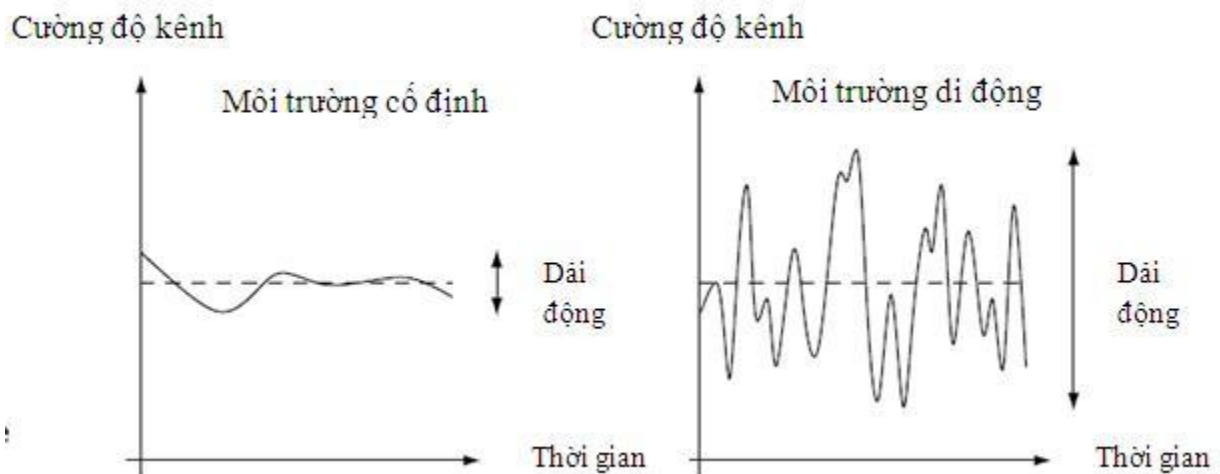
Một trong các yêu cầu then chốt của hệ thống khai thác phân tập đa người dùng là phải có các quyết định lập lịch được thực hiện bởi trạm gốc là một hàm trạng thái kênh của các người dùng. Các người dùng ước lượng trạng thái kênh của họ và phản hồi giá trị đó tới trạm gốc. Nếu đo kênh bị lỗi và trễ khi phản hồi đã góp phần đáng kể tạo nút thắt cổ chai trong việc thu độ lợi phân tập đa người dùng.

Lỗi do ước đoán kênh là do hai ảnh hưởng sau: Lỗi khi đo kênh từ kênh hoa tiêu và độ trễ trong phản hồi thông tin tới trạm gốc. Trong đường xuống, xác suất dò kênh được chia sẻ giữa các người dùng và thường lớn do đó trễ do phản hồi là lỗi chính khi ước đoán kênh. Việc tiên đoán gặp khó khăn trong kịch bản khi thời gian kết hợp của kênh có thể so sánh được so với trễ phản hồi. Độ trễ phản hồi có thể giảm bằng cách rút ngắn kích thước của khe thời gian lập lịch (yêu cầu tốc độ phản hồi cao hơn). Có nhiều cách để giảm thời gian phản hồi như người dùng chỉ

yêu cầu phản hồi chỉ khi  $R_k[m]/T_k[m]$  vượt qua một ngưỡng nào đó. Trong đó  $R_k[m]$ : tốc độ dữ liệu yêu cầu người dùng thứ  $k$  tại thời điểm  $m$ .  $T_k[m]$ : thông lượng trung bình tại thời điểm  $m$ , ta sẽ xét chi tiết tại chương 3.

### Thăng giáng kênh chậm và giới hạn

Ta thấy rằng độ lợi phân tập đa người dùng phụ thuộc vào thăng giáng của kênh. Sự thăng giáng càng lớn thì độ lợi phân tập càng lớn. Ví dụ, nếu kênh thay đổi quá chậm so với ràng buộc độ trễ của ứng dụng, bộ lập lịch không thể đợi đủ lâu để kênh đạt đỉnh của nó. Tuy nhiên, khi sự chuyển động tăng lên, độ lợi phân tập sẽ bị giảm bởi các lỗi trong ước đoán kênh cung cấp tới bộ lập lịch qua kênh phản hồi, do đó kéo theo sự thay đổi về độ lợi phân tập đa người dùng. Do vậy, các biến thiên lớn và nhanh trong kênh tốt hơn là chậm và nhỏ. Tuy nhiên, nếu có đường nhìn thẳng và môi trường ít tán xạ thì dải động của sự thăng giáng kênh là nhỏ. Hơn nữa, kênh có fading rất chậm so với các ứng dụng có ràng buộc về độ trễ thì không thể đợi cho đến khi kênh đạt đỉnh của nó. Nếu kênh có fading chậm và thăng giáng trong phạm vi hẹp, thì các sơ đồ thực tế và đơn giản là tạo ra thăng giáng nhanh và lớn thường được khuyến nghị sử dụng.

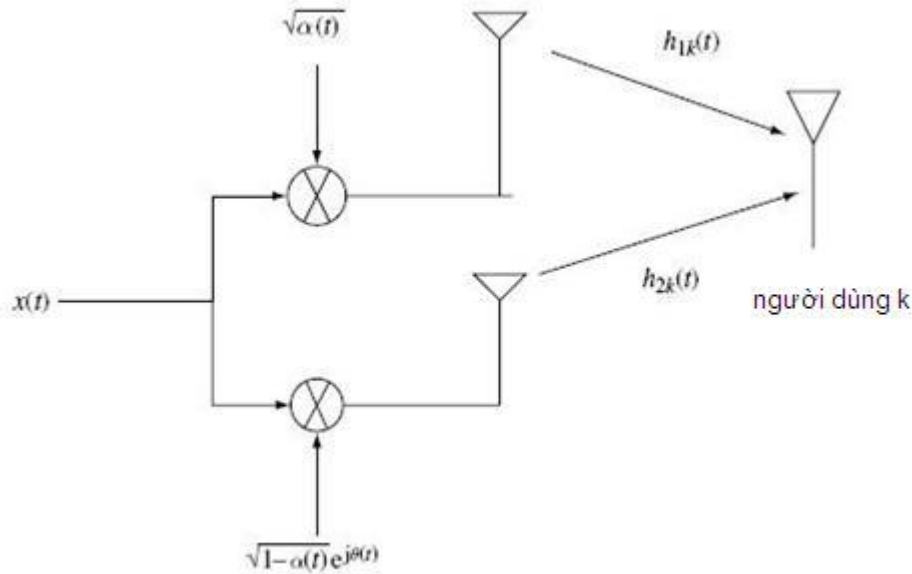


Hình 1.11 Kênh có dải động lớn hơn và trong môi trường di động

#### 1.3.4. Kỹ thuật tạo chùm theo cơ hội

Phân tập đa người dùng phụ thuộc vào tốc độ và dải động của sự thăng giáng kênh. Trong các môi trường với sự thăng giáng kênh nhỏ, ý nghĩ tự nhiên đến với ta là: "tăng độ lợi phân tập đa người dùng bằng cách đưa vào các thăng giáng

nhau và mạnh hơn”. Thông tin tạo chùm theo cơ hội (OBF) chính là một kỹ thuật làm được điều đó bằng cách dùng nhiều anten phát tại trạm gốc.  
Sơ đồ hệ thống OBF:



Hình 1.12 Sơ đồ hệ thống OBF

Giả thiết một hệ thống với:

- +  $n_t$  anten phát tại trạm gốc.
- + tạo ra các vector tạo chùm phát một cách ngẫu nhiên để quét chùm tia xuống 1 điểm một cách ngẫu nhiên.
- + Lập lịch (theo tỷ lệ) cho người dùng kênh tốt hơn.
- + Càng nhiều người dùng thì càng dễ tìm một nguồn có kênh tốt

Nguyên tắc OBF:

Tín hiệu thu được tới người dùng k là:

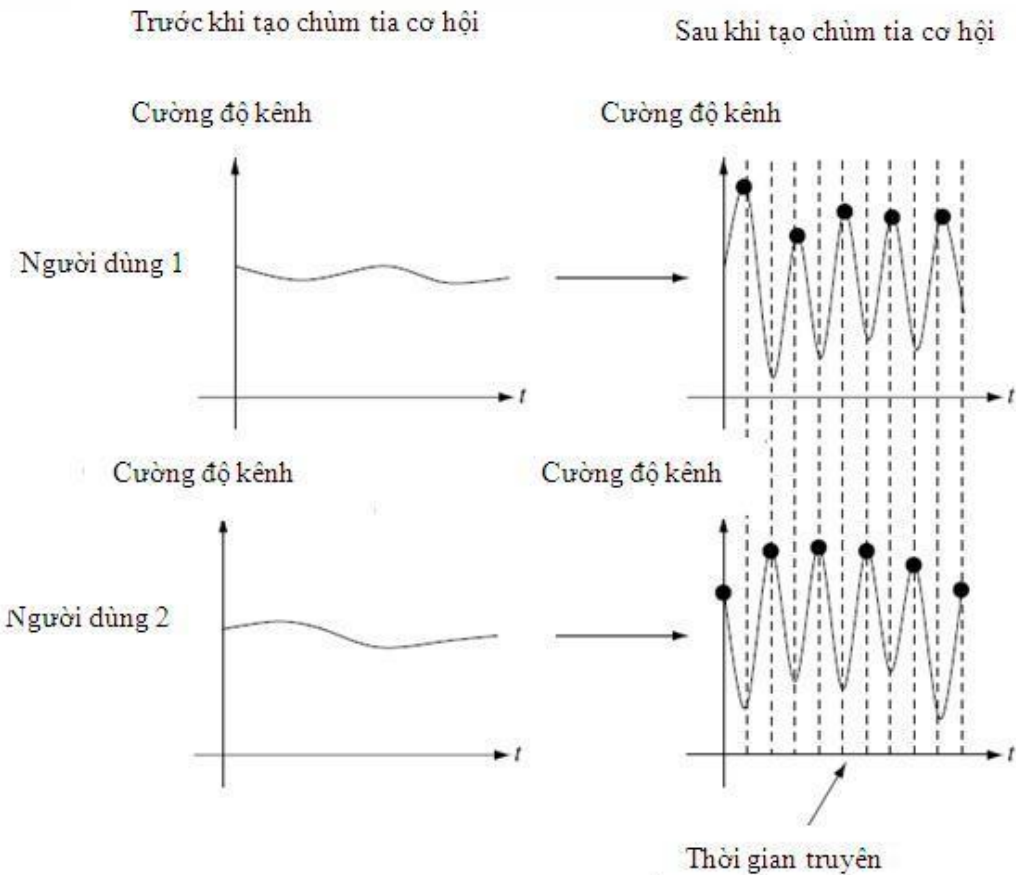
$$y_k[m] = (\sum_{l=1}^{n_t} \sqrt{a_l[m]} e^{j\theta_l[m]} h_{lk}[m] x[m] + w_k[m] \quad (1.10)$$

Trong đó  $h_k[m]$  là độ lợi kênh phức từ anten l đến người dùng k ở thời gian m  
 $x[m]$  là ký hiệu phát.

$\sqrt{a_l[m]} e^{j\theta_l[m]}$  là trọng số phức của anten l  $\sum_{l=1}^{n_t} a_l[m] = 1$

$a_l[m]$  là ký hiệu phân công suất cấp cho mỗi anten phát ( $\alpha \in [0,1]$ )

$\theta_l[m]$  là ký hiệu sự dịch pha áp dụng cho mỗi anten lên tín hiệu ( $\theta_l[m] \in [0,2\pi]$ )



Hình 1.13 Thể hiện kênh fading chậm của hai người dùng trước và sau khi áp dụng chùm tia theo cơ hội.

Ta có thể giải thích kỹ thuật tạo chùm tia theo cơ hội: Đối với hệ thống anten phát đơn lẻ, mỗi người dùng sẽ cung cấp toàn bộ SNR của kênh mình cho trạm gốc. Trạm gốc sẽ lập lịch truyền tới người dùng dựa trên thông tin phản hồi này mà không cần đo độ lợi từng kênh riêng lẻ. Tốc độ biến thiên của  $\{\alpha_i[m]\}$  và  $\{\theta_i[m]\}$  theo thời gian là các thông số thiết kế của hệ thống. Có giới hạn thực tế cho việc thay đổi tốc độ để cho phép ước đoán SNR và phản hồi một cách tin cậy.

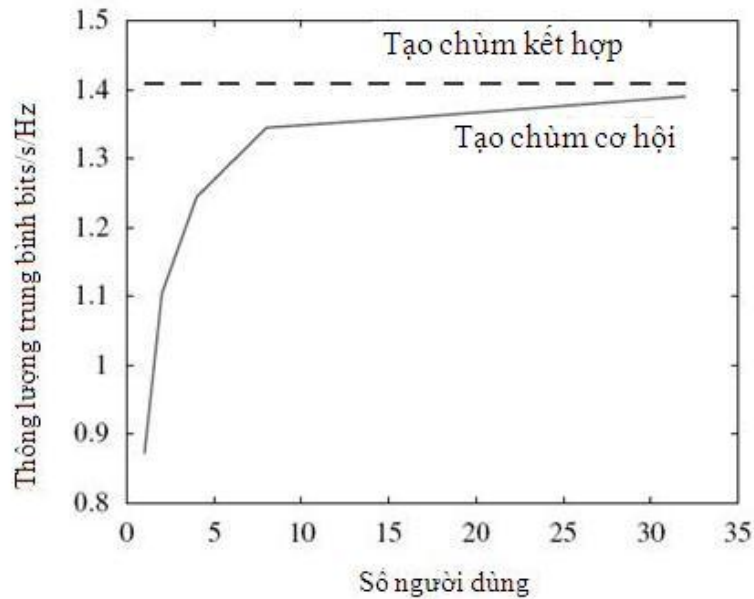
### Kỹ thuật OBF trong môi trường fading chậm

Như ta biết, với fading chậm vector độ lợi kênh mỗi người dùng  $k$  sẽ là hằng số ( $h_k[m]=h_k$ ). Khi đó SNR thu được của tất cả các người dùng sẽ là hằng số và không thể khai thác độ lợi phân tập đa người dùng. Ngược lại, trong OBF, độ lợi kênh nhìn chung cho mỗi người dùng thay đổi theo thời gian, do đó ta có cơ hội để khai thác phân tập đa người dùng. Chất lượng kênh lúc ở đỉnh xảy ra khi công suất và pha trong cấu hình tạo chùm:

$$a_l = \frac{|h_{lk}|^2}{\|h_k\|^2}, l = 1, \dots, n_t \quad (1.11)$$

$$\theta_l = -\arg(h_{lk}) \quad l = 1, \dots, n_t \quad (1.12)$$

Trong môi trường fading chậm, OBF tiến sát tới chất lượng của tạo chùm kết hợp có phản hồi SNR.



Hình 1.14 Hiệu suất phổ

#### Nhận xét:

Trong khoảng từ 0-10 người dùng thì khi số người dùng tăng, thông lượng trung bình tăng nhanh. Còn về sau thì sự tăng thông lượng trung bình theo số người dùng chậm.

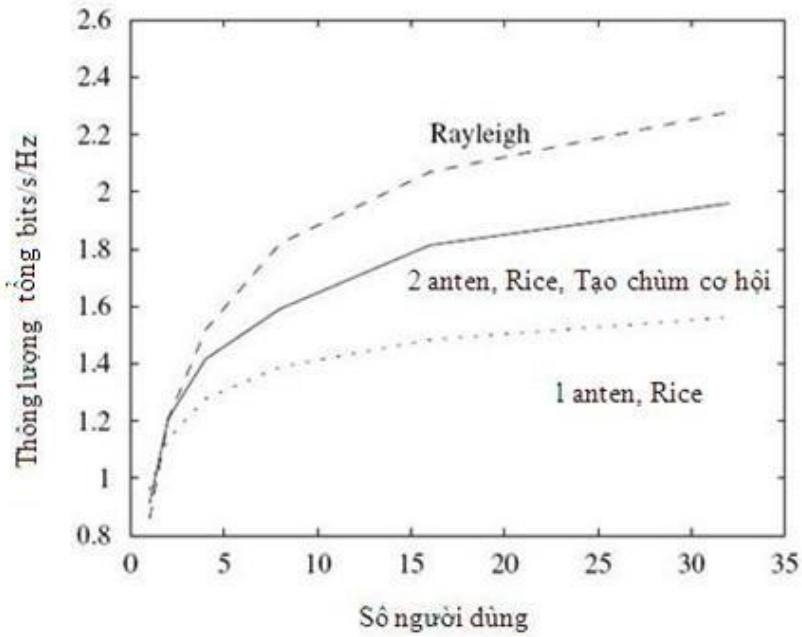
#### Kỹ thuật OBF trong môi trường fading nhanh.

Trong trường hợp này, thông lượng xét trong thời gian dài chỉ phụ thuộc vào phân bố dừng của độ lợi kênh. Do vậy mà tác động của OBF chỉ phụ thuộc vào phân bố dừng như thế nào của độ lợi kênh tổng thể.

Có hai loại mô hình fading chung:

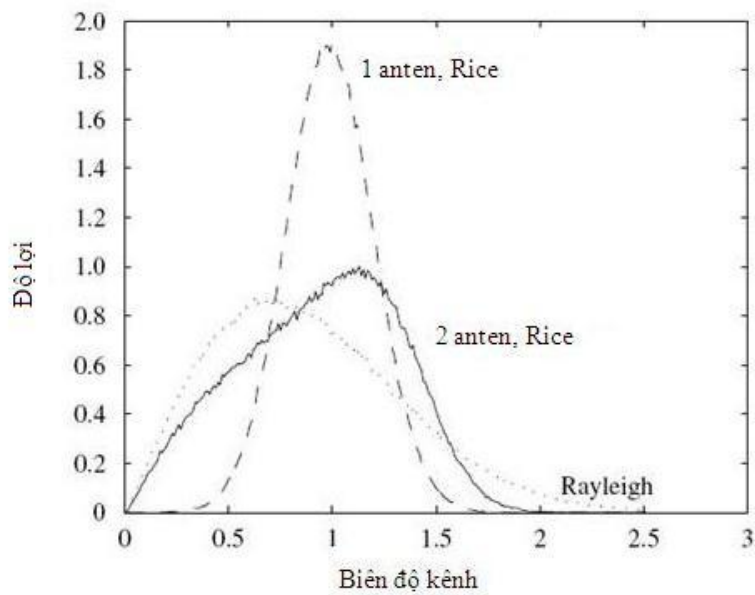
- + Fading Rayleigh độc lập: thích hợp cho môi trường bị tán xạ mạnh và các anten phát cách nhau đủ xa. Lúc này OBF không cung cấp bất kỳ độ lợi nào về chất lượng.
- + Fading Rice độc lập: OBF có tác động đáng kể trong môi trường này, đặc biệt khi số người dùng k lớn. Sự tăng lên dải động của sự thăng giáng có tác dụng làm ngẫu nhiên hóa các thành phần phản xạ gương.

Sự phụ thuộc thông lượng tổng cộng với fading Rice nhanh, phụ thuộc vào số người dùng cho 3 trường hợp Rayleigh, Rice và 2 anten phát, Rice, PBF.



Hình 1.15 Sự phụ thuộc giữa thông lượng tổng và số người dùng trong môi trường fading rice.

Ta có thể thấy sự phân bố của độ lợi kênh toàn thể khi có và không có OBF với hai anten phát



Hình 1.16 Phân bố độ lợi kênh khi có và không có OBF.

### 1.3.5. Phân tập đa người dùng trong môi trường đa ô

Kịch bản trong môi trường đơn ô, nhiễu luôn coi là Gauss trắng, nhưng trong hệ thống tổ ong băng rộng, việc can nhiễu giữa các ô rất quan trọng. Hiện nay trong các hệ thống tổ ong can nhiễu có thể biết được bằng cách đo chất lượng kênh của người dùng theo đại lượng SINR. Trong một môi trường fading thì năng lượng tín hiệu có ích thu được và tín hiệu nhiễu thu được đều tăng giảm theo thời gian. Do thuật toán lập lịch phân tập đa người dùng phân bổ tài nguyên dựa trên sự thay đổi SINR (phụ thuộc vào biên độ tín hiệu và biên độ của can nhiễu), tự động khai thác cả hai loại thăng giáng này là tín hiệu nhận và nhiễu: thuật toán lập lịch người dùng khi kênh tức thời của họ tốt và khi can nhiễu yếu. Do đó khi ngẫu nhiên hóa biên độ và pha của anten phát, không những chỉ làm tăng thăng giáng của tín hiệu thu được bên trong một ô mà còn tăng thăng giáng của nhiễu gây nên bởi các ô liền kề. Vì vậy OBF có lợi kếp trong việc giảm can nhiễu trong hệ thống tế bào. Thứ nhất, cho phép gần như tạo chùm kết hợp tới một người dùng nào đó bên trong ô. Thứ hai, tạo nên gần bằng 0 tại một số nguồn khác trong ô liền kề (điều này cho phép tránh can nhiễu cho các người dùng nếu họ đang được lập lịch). Đồng thời cho phép OBF thực hiện tạo không theo cơ hội tại cùng một thời gian.

### 1.3.6. Kết luận

Thông thường, nhiễu hệ khi xét kết nối điểm- điểm đơn người dùng tập trung vào làm cho kiểu kết nối này càng gần kênh AWGN càng tốt với chất lượng kênh tin cậy không đổi theo thời gian- có thể thực hiện bằng cách lấy trung bình kênh và sử dụng các kỹ thuật phân tập như kết hợp đa đường, ghép xen thời gian và phân tập anten để cố gắng giữ cho fading kênh không thay đổi theo thời gian. Nếu ta xét hệ thống có đa người dùng cùng chia sẻ một tài nguyên khi đó ta sẽ phải khai thác sự thăng giáng kênh chứ không phải chống lại chúng. Điều này được thực hiện thông qua việc lập lịch thích hợp trong đó người dùng được chọn khi kênh tốt vẫn chú ý đến các ràng buộc thông lượng như độ trễ và tính công bằng. Kỹ thuật OBF tiến một bước tiếp nữa bằng cách tạo ra sự thăng giáng.

Vậy sơ đồ theo cơ hội phụ thuộc vào gì?

Điều khá rõ là sơ đồ thông tin theo cơ hội phụ thuộc vào dung sai của thông lượng với trễ lập lịch. Cho nên hệ này cần có yêu cầu về trễ ít, ưa thích với kênh không bị fading. Xuất phát này gợi ý việc tách băng thông của hệ thống thành hai phần khác nhau. Một phần phải được làm càng phẳng càng tốt để truyền các lưu lượng với các yêu cầu về độ trễ rất ít (làm cho kênh càng tin cậy càng tốt). Phần thứ

hai dùng OFDM để tạo ra băng kênh nhanh và mạnh và bộ lập lịch có thể thu hoạch phân tập đa người dùng.

#### **1.4 Kết luận chương**

Chương một luận văn đã trình bày về fading và phân tập: khái niệm, phân loại fading, phân tập trong đó nhấn mạnh vào phân tập đa người dùng trong môi trường fading điểm- đa điểm nhằm tăng độ tin cậy (BER). Khác với phân tập thời gian, không gian, tần số cho phép ta làm giảm ảnh hưởng fading, phân tập đa người dùng lợi dụng fading để tăng hiệu suất phổ thông qua dung lượng C cũng như chất lượng kênh thông qua BER và những vấn đề cần quan tâm (trễ, công bằng và ước đoán kênh), xét trong trường hợp đơn sóng mang làm tăng thông lượng. Hiện nay đa sóng mang đã được ứng dụng trong hệ thống tin LTE, WIMAX... Và phân tập đa người dùng được áp dụng như thế nào trong hệ đa sóng mang, sau đây tôi sẽ tìm hiểu về hệ thống đa sóng mang OFDM trong chương tiếp theo.

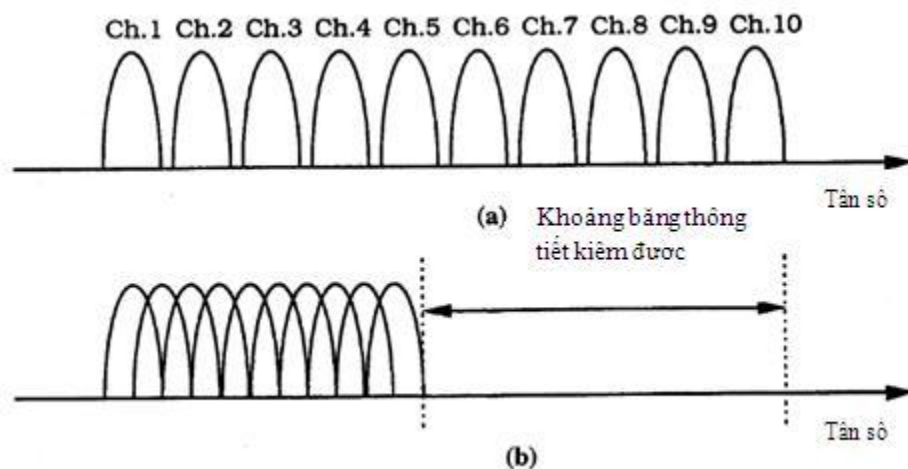


## Chương 2. KỸ THUẬT OFDM

### 2.1. Giới thiệu chung

OFDM là một trường hợp đặc biệt của việc truyền đa sóng mang trong đó một luồng dữ liệu đơn sẽ được phát qua một số các sóng mang con có tốc độ thấp hơn. OFDM có thể coi là một kỹ thuật điều chế hoặc kỹ thuật ghép kênh. Một trong những lý do chính để dùng OFDM là tăng việc chống hiện tượng nhiễu băng hẹp và fading lựa chọn tần số. Trong một hệ thống dữ liệu song song cổ điển, toàn bộ dải tần số tín hiệu sẽ được phân chia thành N kênh con tần số không chồng lặp. Mỗi kênh con sẽ được điều chế và sau đó N kênh con được phân kênh tần số. Tránh lặp phổ trong các kênh là để tránh nhiễu xuyên kênh. Tuy nhiên, điều này dẫn đến tính không hiệu quả trong việc sử dụng phổ có sẵn. Để giải quyết sự không hiệu quả này, có ý tưởng đã đề xuất từ giữa những năm 1960 để sử dụng dữ liệu song song và FDM với các kênh con chồng lặp nhằm sử dụng hoàn toàn băng thông có sẵn[9].

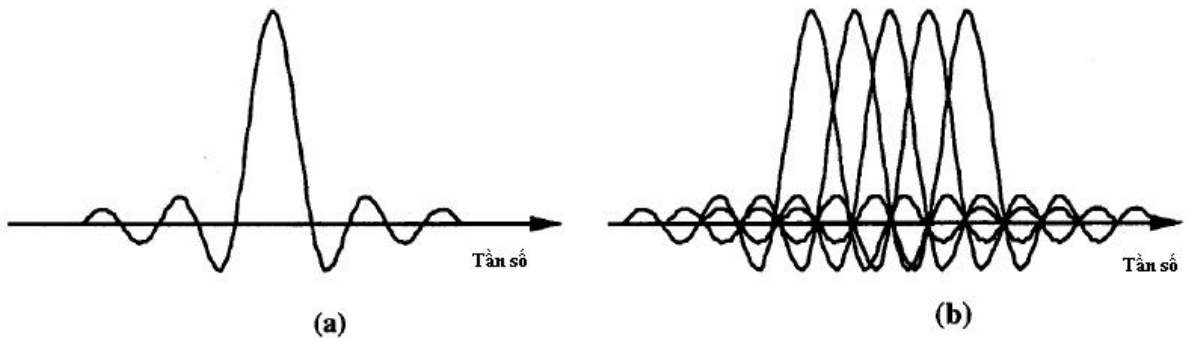
Hình 2.1 chứng minh sự khác nhau giữa kỹ thuật đa sóng mang không chồng lặp truyền thống và kỹ thuật điều chế đa sóng mang chồng lặp. Như chỉ ra ở hình 2.1, bằng việc sử dụng kỹ thuật điều chế đa sóng mang chồng lặp, ta tiết kiệm được khoảng 50% băng thông.



Hình 2.1 (a) Kỹ thuật đa sóng mang truyền thống và (b) kỹ thuật điều chế đa sóng mang trực giao

Tuy nhiên cần sắp xếp các sóng mang trong tín hiệu OFDM để dải biên của các sóng mang đơn lẻ chồng lên nhau và các tín hiệu vẫn nhận được mà không bị nhiễu sóng mang liền kề. Để làm được điều này các sóng mang phải trực giao về mặt toán học. Máy thu hoạt động như một dải các bộ giải điều chế dịch tần mỗi sóng mang

xuống một chiều. Do đó, các sóng mang độc lập tuyến tính với nhau (trực giao) nếu khoảng cách giữa các sóng mang là bội số của  $1/T$ .



Hình 2.2 Phổ tín hiệu ứng với sóng mang con (a) và phổ của tín hiệu OFDM (b)

Nguyên lý cơ bản của OFDM là chia luồng dữ liệu tốc độ cao thành thành các luồng có tốc độ thấp hơn để truyền đồng thời qua các sóng mang con. Do khoảng thời gian ký hiệu tăng lên cho các sóng mang con song song tốc độ thấp hơn nên nhiễu gây ra do độ trải trễ đa đường được giảm xuống.

Trong thiết kế hệ thống OFDM, các thông số được xem xét bao gồm: số lượng các sóng mang con, thời gian bảo vệ, khoảng thời gian ký hiệu, khoảng cách sóng mang con, loại điều chế trên mỗi sóng mang con, và loại mã sửa lỗi (FEC). Việc lựa chọn các thông số liên quan đến các yêu cầu của hệ thống như băng thông có sẵn, tốc độ bit được yêu cầu, dung sai trải trễ, và giá trị Doppler. Một số yêu cầu có sự ngược nhau. Ví dụ, để có dung sai trải trễ tốt, số lượng lớn các sóng mang con với khoảng cách giữa các sóng mang nhỏ, nhưng dung sai luôn ngược với trải Doppler và nhiễu pha.

## 2.2. Tính hiệu trực giao về toán học

Xét tập hợp  $N$  sóng mang con  $f_n(t)$ , trong đó  $n = 0, 1, \dots, N-1$ .  $t_1 \leq t \leq t_2$ .

Tập hợp sóng mang này sẽ trực giao khi :

$$\int_{t_1}^{t_2} f_n(t) f_m^*(t) dt = \begin{cases} 0; n \neq m \\ K; n = m \end{cases} \quad (2.1)$$

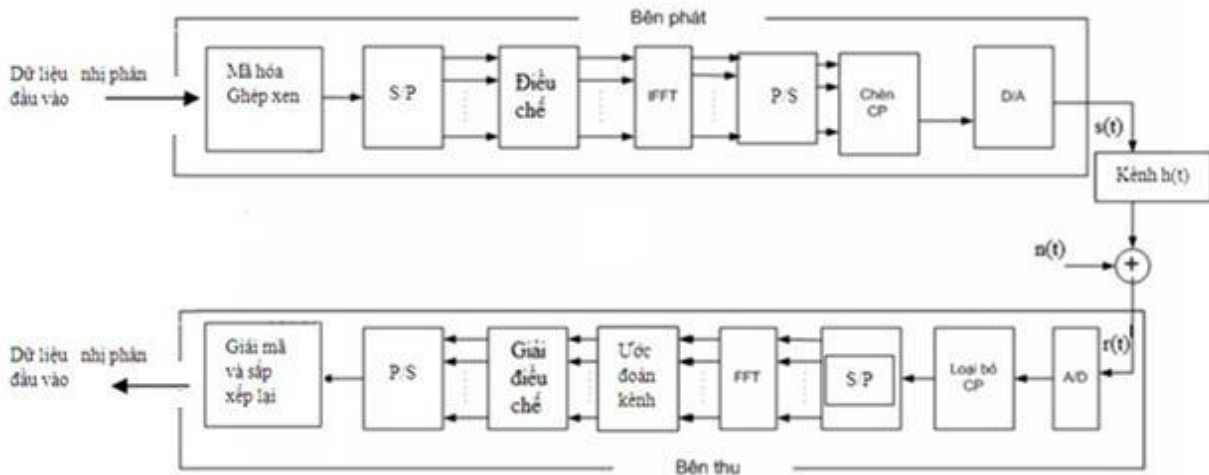
$K$ : hằng số ;

Tín hiệu trực giao có tính chất cho phép truyền và thu tốt nhiều tín hiệu trên cùng một kênh truyền mà không gây ra nhiễu xuyên ký tự giữa các tín hiệu này. Tính trực giao của tín hiệu được thể hiện ở dạng phổ của nó trong miền tần số. Trong miền tần số, mỗi tín hiệu sóng mang con của tín hiệu trực giao có đáp ứng tần số là

$\text{sinc}(x)$  hay  $\sin(x)/x$ . Biên độ hàm sinc có dạng búp chính hẹp và nhiều búp phụ có biên độ giảm dần khi càng xa tần số trung tâm như hình 2.2 (a). Mỗi sóng mang của tín hiệu có biên độ đỉnh tại tần số trung tâm của nó và bằng 0 tại tần số trung tâm của sóng mang khác. Do đó ta gọi các tín hiệu trực giao nhau.

### 2.3. Sơ đồ hệ thống OFDM

Hình 2.3 chỉ ra sơ đồ khối hệ thống OFDM. Tại đầu phát, tín hiệu số dạng nhị phân được mã hóa và ghép xen để chống lỗi cụm. Sau đó được biến đổi nối tiếp thành song song để tăng hiệu suất phổ, chuỗi dữ liệu nhị phân sẽ được điều chế (PSK hoặc QAM) để thay đổi tốc độ truyền thích nghi khi cần. Tín hiệu được đưa vào bộ biến đổi IFFT, sau khi được chuyển thành dạng nối tiếp tín hiệu được thêm tiền tố lặp để chống nhiễu do hiệu ứng đa đường gây ra (ISI và ICI) bộ DA tạo tín hiệu OFDM theo thời gian.



Hình 2.3 Sơ đồ khối hệ thống OFDM

Tại đầu thu, máy thu thực hiện ngược lại quá trình của máy phát, sau khi loại bỏ tiền tố lặp tín hiệu được đưa vào bộ biến đổi FFT. Tín hiệu QAM sau đó được chuyển về dạng nhị phân, sau cùng bộ giải mã tiến hành giải mã để thu được tín hiệu ban đầu.

### 2.4. Các kỹ thuật cơ bản trong OFDM

#### 2.4.1. Các kỹ thuật điều chế trong OFDM

Trong hệ thống OFDM tín hiệu vào là luồng bit ở dạng nhị phân. Nên trong hệ thống OFDM là các quá trình điều chế số, có thể được chọn các loại điều chế

BPSK, QPSK, 16-QAM, hoặc 64-QAM... dựa trên yêu cầu công suất và hiệu suất sử dụng băng thông kênh.

### Điều chế biên độ vuông góc (QAM).

Trong hệ thống PSK, các thành phần đồng pha và vuông pha được kết hợp với nhau sao cho tạo thành một tín hiệu đường bao không đổi. Tuy nhiên, nếu loại bỏ điều này và để các thành phần đồng pha và vuông pha có thể độc lập với nhau thì ta được một sơ đồ điều chế mới gọi là điều chế cầu phương QAM. Ở sơ đồ điều chế này, sóng mang bị điều chế cả biên độ và pha. Điều chế QAM có ưu điểm là tăng dung lượng đường truyền dẫn số.

Dạng tổng quát của điều chế QAM M trạng thái ( M\_QAM ) được xác định như sau:

$$S_1(t) = \sqrt{\frac{2E_0}{T}} a_i \cos(2\pi f_c t) + \sqrt{\frac{2E_0}{T}} b_i \sin(2\pi f_c t) \quad (0 \leq t \leq T) \quad (2.2)$$

Trong đó:

$E_0$  là năng lượng của tín hiệu có biên độ thấp nhất.

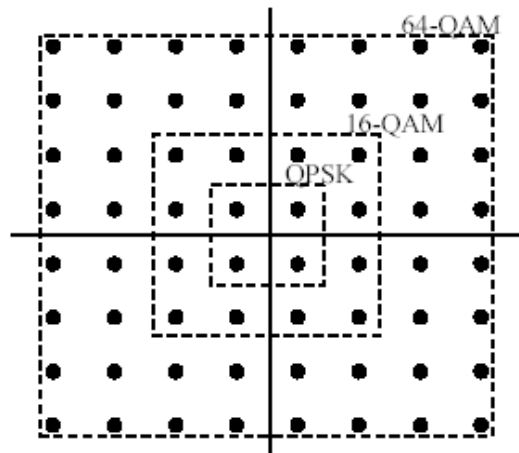
$a_i, b_i$  là cặp số nguyên độc lập được chọn tùy theo vị trí ký tự trong chòm sao.

Tín hiệu sóng mang gồm 2 thành phần vuông góc được điều chế bởi một tập hợp tín hiệu rời rạc vì thế có tên là “điều chế biên độ vuông góc”.

Có thể phân tích  $S_i(t)$  thành cặp hàm cơ sở:

$$\phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} b_i \sin(2\pi f_c t) \quad (0 \leq t \leq T) \quad (2.3)$$

$$\phi_2(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} a_i \cos(2\pi f_c t) \quad (0 \leq t \leq T) \quad (2.4)$$



Hình 2.4 Chòm sao tín hiệu M\_QAM.

Dạng điều chế có thể được qui định bởi số trạng thái ngõ vào M và số phức ở ngõ ra.

$$d_n = a_n + jb_n ; (\sqrt{-1}=j); \quad (2.5)$$

$a_n$  và  $b_n$  có thể được chọn như sau:

Bảng 2.1 Thông số các dạng điều chế

M	Dạng điều chế	$a_n, b_n$
2	BPSK	$\pm 1$
4	QPSK	$\pm 1$
16	16-QAM	$\pm 1, \pm 3$
64	64-QAM	$\pm 1, \pm 3, \pm 5, \pm 7$

#### 2.4.2. Tạo sóng mang con sử dụng IFFT

Tín hiệu OFDM bao gồm các sóng mang con được điều chế bằng cách sử dụng khóa dịch pha (PSK) hoặc điều chế biên độ vuông góc (QAM). Nếu  $d_i$  là ký hiệu QAM phức,  $N_s$  là số sóng mang con, T khoảng thời gian ký hiệu và  $f_c$  là tần số sóng mang, thì một ký hiệu OFDM bắt đầu tại thời gian  $t=t_s$  có thể được viết như sau[4]:

$$S(t) = R_e \left\{ \sum_{i=-\frac{N_s}{2}}^{\frac{N_s}{2}-1} d_{i+\frac{N_s}{2}} \exp \left( j2\pi \left( f_c - \frac{i+0.5}{T} \right) (t - t_s) \right) \right\} \quad t_s \leq t \leq t_s + T$$

$$s(t) = 0 \quad t < t_s \text{ và } t > t_s + T \quad (2.6)$$

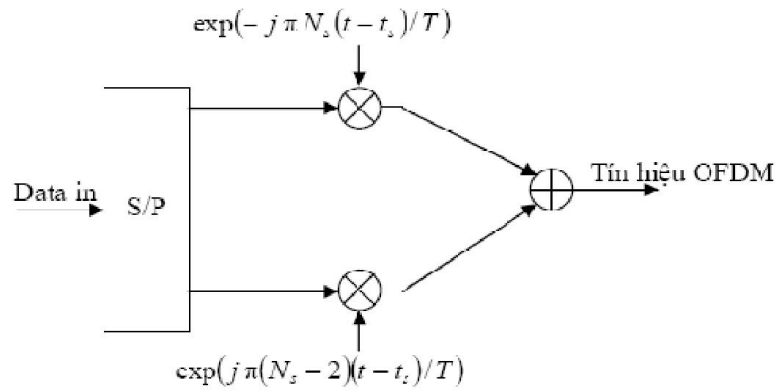
Biểu diễn bằng góc phức tương đương:

$$S(t) = \left\{ \sum_{i=-\frac{N_s}{2}}^{\frac{N_s}{2}-1} d_{i+\frac{N_s}{2}} \exp (j2\pi(t - t_s)) \right\} \quad t_s \leq t \leq t_s + T$$

$$s(t) = 0 \quad t < t_s \text{ và } t > t_s + T \quad (2.7)$$

Trong trường hợp này phần thực và phần ảo tương đương với thành phần đồng pha và thành phần vuông pha trong tín hiệu OFDM. Hình 2.5 chỉ ra sơ đồ khối của điều chế OFDM.

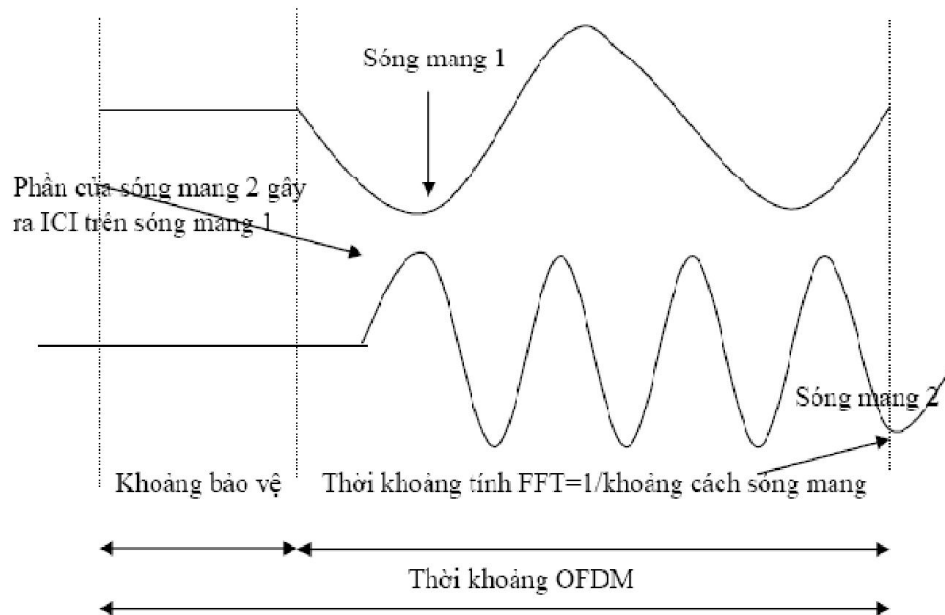
Tín hiệu OFDM phức trong phương trình (2.6) là biến đổi Fourier ngược của ký hiệu QAM (hay PSK) lối vào. Trong hệ rời rạc thì đó là phép biến đổi Fourier rời rạc. Thực tế phép biến đổi này có thể được thực hiện rất hiệu quả nhờ phép biến đổi ngược Fourier nhanh (IFFT).



Hình 2.5 Bộ điều chế OFDM

### 2.4.3. Khoảng bảo vệ và tiền tố lặp

Để thực hiện OFDM hiệu quả cần để ý đến trải trễ đa đường. Bằng việc phân chia luồng dữ liệu đầu vào thành  $N_s$  sóng mang con, khoảng thời gian ký hiệu được chia thành  $N_s$  thời gian nhỏ hơn sẽ làm giảm trải đa đường. Để loại bỏ nhiễu xuyên ký hiệu ISI hầu như hoàn toàn, khoảng bảo vệ được đưa vào trong mỗi ký hiệu OFDM. Khoảng bảo vệ được lựa chọn lớn hơn trải trễ mong đợi, như thế các thành phần đa đường từ một ký hiệu không thể làm nhiễu tới ký hiệu bên cạnh. Tuy nhiên, lúc đó lại xuất hiện nhiễu xuyên kênh ICI.



Hình 2.6 Sự trễ của sóng mang 2 gây ra ICI trên sóng mang 1

Hình 2.6 chỉ ra ví dụ về sóng mang con 1 và sóng mang 2 trễ như hình vẽ. Khi bộ thu OFDM giải điều chế sóng mang con đầu tiên, nó sẽ gặp phải một số nhiễu từ

sóng mang con thứ hai, vì trong khoảng thời gian FFT không có tích phân số chu kỳ khác nhau giữa sóng mang 1 và 2, đồng thời cũng gây ra nhiễu xuyên âm từ sóng mang con thứ nhất sang sóng mang con thứ 2. Để loại bỏ nhiễu ICI, ký hiệu OFDM được mở rộng một cách đều đặn vào thời gian bảo vệ gọi là tiền tố lặp. Việc chèn tiền tố lặp được thực hiện bằng cách sao chép phần đầu của chính mỗi ký hiệu OFDM vào phần cuối của ký hiệu đó. Điều này đảm bảo rằng ký hiệu OFDM luôn có số chu kỳ trong khoảng FFT với điều kiện độ trễ nhỏ hơn thời gian bảo vệ. Kết quả, các tín hiệu đa đường với độ trễ nhỏ hơn thời gian bảo vệ không thể gây ra ICI.

Nếu trễ đa đường vượt quá khoảng bảo vệ một phần nhỏ của khoảng tính FFT (khoảng 3%) các sóng mang không còn trực giao nữa nhưng nhiễu vẫn còn đủ nhỏ để có giản đồ chòm sao chấp nhận được. Nếu trễ đa đường vượt quá khoảng bảo vệ 10% của khoảng FFT thì giản đồ chòm sao bị ảnh hưởng nghiêm trọng, do vậy tỉ lệ lỗi là không chấp nhận được.

#### **2.4.4. Đồng bộ và ước đoán kênh**

Một máy thu OFDM hoạt động trong chế độ thu phải thực hiện đồng bộ thời gian, ước đoán và sửa lỗi tần số trôi đồng hồ mẫu và RF, và khởi tạo ước đoán kênh. Trong các hệ thống mà việc truyền thông tin được đóng gói hoặc chế độ cụm thì quá trình đồng bộ thường được trợ giúp bởi tín hiệu đồng bộ mào đầu gồm một hoặc vài chuỗi huấn luyện. Các chuỗi huấn luyện trong tín hiệu đồng bộ mào đầu có chiều dài  $N_p = N/I$ , trong đó  $N$  là chiều dài khối OFDM và  $I$  là số nguyên. Mỗi chuỗi huấn luyện phải có khoảng chu kỳ bảo vệ thích hợp. Trong mào đầu đồng bộ được chèn có chu kỳ vào luồng các ký hiệu OFDM trong dữ liệu được phát. Thuật toán đồng bộ cũng có thể khai thác khoảng chu kỳ bảo vệ của ký hiệu OFDM, do khoảng bảo vệ chứa các ký hiệu lặp được phân chia theo thời gian. Khoảng bảo vệ có thể được sử dụng để ước đoán sự thay đổi pha do kênh và bộ giao động tần số offset. Sau khi thu được, máy thu nhập chế độ dữ liệu và theo dõi độ trôi về tần số RF và lấy mẫu của bộ dao động và sự thay đổi của kênh. Với các ứng dụng độ trải trễ Doppler lớn như vô tuyến di động mặt đất, các hệ số kênh thường theo dõi bằng cách chèn thêm các ký hiệu hoa tiêu OFDM hoặc sử dụng các sóng mang con hoa tiêu.

#### **2.4.5. Ghép xen**

Do fading lựa chọn tần số là đặc trưng của kênh vô tuyến, các sóng mang con OFDM nói chung có các biên độ khác nhau. Fading sâu trong phổ tần số có thể

gây ra nhóm các sóng mang con có độ tin cậy kém hơn các sóng mang khác, do đó làm cho lỗi bit xuất hiện trong các cụm hơn là sự tán xạ ngẫu nhiên. Hầu hết các mã sửa lỗi FEC không được thiết kế để giải quyết lỗi các cụm. Do đó, ghép xen được áp dụng để ngẫu nhiên hóa sự xuất hiện các lỗi bit trước khi giải mã. Tại bộ phát, các bit được mã hóa được hoán vị theo một cách xác định để đảm bảo rằng các bit kề sẽ được tách ra bởi vài bit sau khi ghép xen. Tại đầu thu, sự hoán vị ngược lại sẽ được thực hiện trước khi giải mã. Sơ đồ ghép xen thường được dùng là bộ ghép xen khối, trong đó các bit đầu vào được ghi thành từng cột và đọc ra theo từng hàng.

#### **2.4.6. Mã hóa kênh**

OFDM tránh được các vấn đề về nhiễu xuyên ký hiệu bởi việc phát nhiều sóng mang con băng hẹp cùng nhau sử dụng thời gian bảo vệ. Tuy nhiên, điều này lại nảy sinh ra vấn đề khác, trong kênh fading đa đường, tất cả các sóng mang sẽ đến máy thu với biên độ khác nhau. Thực tế, một số sóng mang có thể mất hoàn toàn do fading sâu. Do đó, thậm chí hầu hết các sóng mang có thể được phát hiện mà không bị lỗi, tỷ số BER cao do có vài tín hiệu có biên độ rất bé. Để tránh lỗi do các sóng mang yếu nhất, mã sửa lỗi FEC được sử dụng. Bằng việc sử dụng mã hóa chéo các sóng mang, lỗi của các sóng mang yếu có thể được sửa tới một giới hạn nhất định phụ thuộc vào mã và kênh. Thường có hai loại mã hóa là mã khối và mã chập. Sau khi mã hóa thì phần ghép xen là cách để ngẫu nhiên hóa các cụm lỗi thường xuất hiện khi các kênh con kề bị mất khi fading sâu. Mã hóa FEC được chia thành 2 loại mã chính: mã khối và mã chập.

##### **Mã khối:**

Một mã khối mã hóa một khối  $k$  ký hiệu đầu vào thành  $n$  ký hiệu được mã hóa với  $n$  lớn hơn  $k$ . Mục đích của việc thêm  $n-k$  ký hiệu thừa là để tăng khoảng cách Hamming tối thiểu, là số tối thiểu các ký hiệu khác nhau giữa bất kỳ cặp từ mã nào. Một số loại mã khối như: mã khối tuyến tính, mã Hamming, mã Reed Solomon.

##### **Mã chập:**

Một mã chập ánh xạ mỗi  $k$  bit của một luồng đầu vào liên tục thành  $n$  bit đầu ra trong đó việc ánh xạ được thực hiện bởi việc chập các bit đầu vào với một đáp ứng xung nhị phân. Mã hóa chập có thể được thực hiện đơn giản bằng cách dịch các thanh ghi và cộng module 2.



### 2.4.7. Chọn các thông số OFDM

Lựa chọn các thông số OFDM là sự thỏa hiệp giữa sự thay đổi thường là các yêu cầu đối lập nhau. Thường có ba yêu cầu chính để bắt đầu với: băng thông, tốc độ bit và trải trễ. Trải trễ trực tiếp điều khiển thời gian bảo vệ. Khoảng bảo vệ có từ hai đến bốn lần giá trị căn quân phương (rms) của trải trễ. Giá trị này phụ thuộc vào loại mã hóa và điều chế QAM. QAM càng cao (như 64-QAM) thì ICI và ISI càng nhạy hơn so với QPSK. Trong khi mã hóa càng phức tạp thì rõ ràng giảm độ nhạy như nhiều.

Bây giờ khoảng bảo vệ được đặt, khoảng thời gian ký hiệu có thể được cố định. Để tối thiểu hóa tỷ số SNR suy hao gây ra bởi thời gian bảo vệ. Ta mong muốn có khoảng thời gian ký hiệu lớn hơn nhiều so với thời gian bảo vệ. Tuy nhiên không thể lớn tùy ý được do khoảng thời gian ký hiệu càng lớn nghĩa là các sóng mang con nhiều hơn với khoảng cách sóng mang con nhỏ hơn, độ phức tạp thực thi lớn hơn, và nhạy hơn về nhiễu pha và tần số trôi (offset), cũng làm tăng PAPR. Do vậy, lựa chọn thiết kế thực tế là làm cho khoảng thời gian ký hiệu ít nhất năm lần thời gian bảo vệ, thực thi suy hao 1 dB SNR do khoảng bảo vệ.

Khi khoảng thời gian ký hiệu và thời gian bảo vệ cố định, số lượng sóng mang con theo băng thông 3dB được yêu cầu dành cho khoảng cách sóng mang con, là nghịch đảo của khoảng thời gian ký hiệu. Hoặc số lượng sóng mang con có thể được xác định bằng tốc độ bit yêu cầu chia cho tốc độ bit trên mỗi sóng mang con. Tốc độ bit trên mỗi sóng mang con được định nghĩa bởi loại điều chế, tỷ lệ mã hóa và tốc độ ký hiệu.

### 2.5. Đặc tính của OFDM

*Ưu điểm:*

- Nâng cao hiệu suất sử dụng phổ nhờ sự chồng lấn phổ.
- Loại trừ được ISI và ICI nhờ sử dụng tiền tố lặp (CP).
- OFDM chống lại được fading lựa chọn tần số tốt hơn so với hệ đơn sóng mang.
- OFDM là cách hiệu quả để giải quyết đa đường, cho việc trải trễ, độ phức tạp thực thi là thấp đáng kể so với hệ thống đơn sóng mang với bộ làm bằng.
- Các kênh thay đổi theo thời gian tương đối chậm, có thể làm tăng đáng kể dung lượng bằng cách thích nghi tốc độ dữ liệu trên mỗi sóng mang con theo tỷ số tín hiệu trên nhiễu của từng sóng mang con cụ thể.
- OFDM chống lại được nhiễu băng hẹp do nhiễu chỉ ảnh hưởng đến phần nhỏ các sóng mang con.

*Nhược điểm:*

OFDM cũng có vài nhược điểm khi so sánh với hệ đơn sóng mang:

- OFDM nhạy với tần số trôi (offset) và nhiễu pha.
- OFDM có PAPR cao, kéo theo giảm hiệu quả công suất của bộ khuếch đại RF.

## **2.6. Ứng dụng thực tế**

Kỹ thuật OFDM là kỹ thuật có ứng dụng rất rộng rãi[8]. Một số các ứng dụng như sau:

- DAB: DAB-OFDM là dạng cơ bản cho tiêu chuẩn phát thanh số quảng bá ở thị trường Châu Âu.
- HDTV
- IEEE 802.16 hệ thống truy cập không dây băng rộng
- Hệ thống truyền ATM không dây.
- Hệ thống thông tin di động 4G...

## **2.7. Kết luận chương**

Sơ đồ khối, nguyên lý hoạt động của hệ thống OFDM, chức năng của từng khối dựa trên các kỹ thuật thực hiện trong từng khối như IFFT và FFT, dùng CP... cũng như các ưu điểm nhược điểm chính và những ứng dụng đã được trình bày trong chương hai này.

Với hệ đa người dùng, đa sóng mang, khi đó kỹ thuật lập lịch sẽ được áp dụng như thế nào để nâng cao hiệu năng hệ thống, đồng thời thỏa mãn một số yêu cầu khác sẽ được trình bày trong chương tiếp theo.

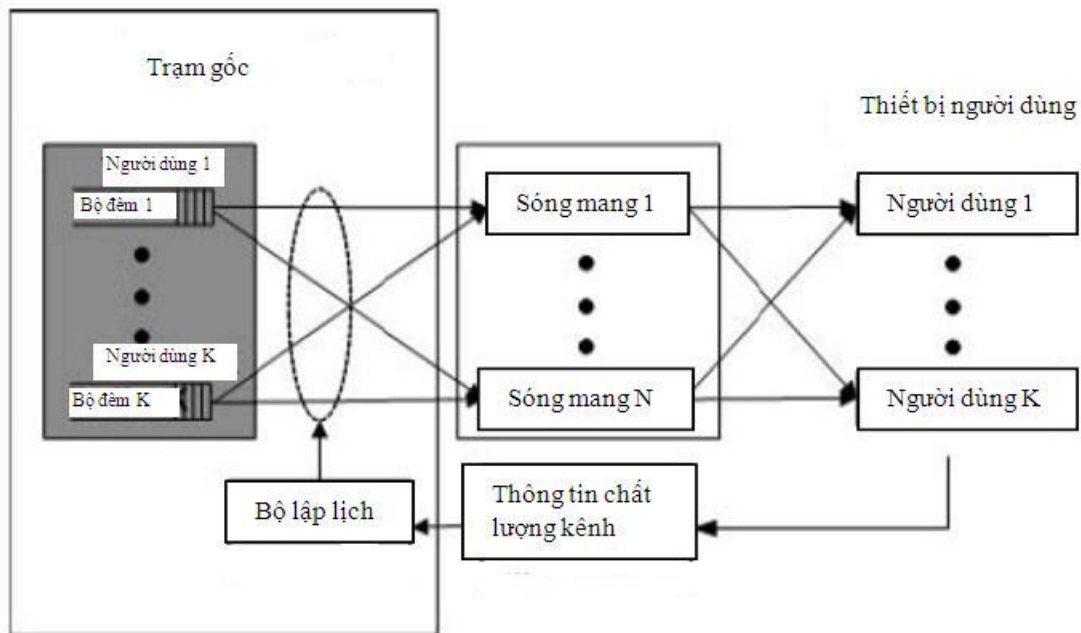
## **Chương 3. MỘT SỐ THUẬT TOÁN LẬP LỊCH DÙNG TRONG HỆ OFDM, ĐA NGƯỜI DÙNG**

### **3.1. Giới thiệu**

Trong chương này, các thuật toán lập lịch khác nhau được trình bày để làm việc trong các kịch bản khác nhau. Mục đích để cải thiện tài nguyên như thông lượng của những người dùng có dữ liệu gói khác nhau được chia sẻ qua kênh vô tuyến đường xuống trong khi vẫn giữ được độ công bằng. Các thuật toán lập lịch cho mạng dữ liệu gói vô tuyến khai thác các kênh truyền giữa trạm gốc (BS) và người dùng độc lập (MS) cho việc lập lịch để truyền tới các MS khi các kênh của nó là tốt, xuất hiện khi có phân tập đa người dùng.

Hệ thống được xem xét là hệ thống OFDM với đa truy cập phân chia theo tần số (FDMA) hoặc đa truy cập phân chia thời gian (TDMA). Thông tin trạng thái kênh hoàn hảo được giả thiết cho cả hai MS và BS, ví dụ giả thiết đã biết về độ lợi kênh trên mỗi sóng mang con do suy hao đường truyền dẫn, che chắn và fading đa đường.

Mỗi sóng mang con chỉ được sử dụng bởi một người dùng tại bất cứ thời điểm nào cho trước. Cấp sóng mang con được thực hiện tại trạm gốc và các người dùng sẽ được thông báo các sóng mang con đã chọn lựa cho họ. Ta xét một hệ thống với  $K$  người dùng,  $N$  các sóng mang con và thời gian được phân chia thành các khe thời gian. Tại mỗi khe thời gian, mỗi người dùng  $k$  được lập lịch sẽ phát trên sóng mang con được cấp. Các thuật toán cấp năng lượng bằng nhau cũng đã được xem xét, đơn giản là phân bổ công suất phát như nhau cho các sóng mang con. Mục đích là để tìm và cấp sóng mang con, cho phép mỗi người dùng thoả mãn các yêu cầu về tốc độ, tối đa hóa thông lượng mà không vi phạm độ công bằng. Hệ thống được chỉ ra hình 3.1[6].



Hình 3.1 Hệ thống truyền đa sóng mang với đa người dùng

### 3.2. Thuật toán Round Robin

Round Robin (RR) là một trong những thuật toán lập lịch đơn giản nhất, ấn định các phần thời gian tới mỗi người dùng các phần chia bằng nhau và để điều khiển tất cả các người dùng với độ ưu tiên như nhau. Lập lịch RR rất đơn giản và dễ thực thi.

Trong mạng vô tuyến, nhiều MS chia sẻ một kênh, thuật toán này cấp cho mọi MS để truyền và nhận kênh được chia sẻ với khoảng thời gian như nhau. Điều này làm cho thuật toán RR đảm bảo là thuật toán thực hiện công bằng. Tuy nhiên, do nó quá ít hiệu quả hơn so với các thuật toán khác như PFS và RCG vì hiếm khi cung cấp các dịch vụ tốt tới MS. Trạm gốc do đó cũng sẽ làm giảm dung lượng của mạng. Lý do chính cho điều đó là thuật toán này không quan tâm đến sự thay đổi các điều kiện thu tại các máy thu khác nhau hoặc như đã nói trước đó thuật toán RR không quan tâm đến phân tập đa người dùng và do đó sẽ lập lịch phát tới/từ thuê bao thường với một nửa thời gian khi các điều kiện kênh thu được xấu hơn mức bình thường.

### 3.3. Thuật toán Max Rate

Bộ lập lịch Max Rate luôn phát tới người dùng có SNR lớn nhất, vì thế các người dùng tại một đỉnh fading có khả năng được lập lịch trong mọi lúc, trong khi các người dùng khác có fading sâu sẽ không được lập lịch. Như đã biết, SNR thu

được của sóng mang con thứ  $n$  của người dùng thứ  $k$  tại khe thời gian  $t$  được thể hiện như sau[5]:

$$SNR_{k,n}(t) = S_{k,n}(t)H_{k,n}(t) / \frac{N_0 B}{N} \quad (3.1)$$

Trong đó  $S_{k,n}(t)$ ,  $H_{k,n}(t)$  lần lượt là công suất phát được cấp và độ lợi kênh trên sóng mang con thứ  $n$  tại khe thời gian  $t$ ,  $N_0$  là mật độ phổ công suất của AWGN,  $B$  là băng thông và  $N$  là số sóng mang con.

Bộ lập lịch Max Rate tạo ra thông lượng cao hơn so với các nguyên tắc lập lịch khác nhưng tổng thể nó bỏ qua sự công bằng. Trong môi trường vô tuyến, kênh người dùng mạnh yếu có thể rất khác nhau, do khoảng cách khác nhau tới trạm gốc, hoặc kênh thăng giáng do fading đa đường. Vì thế, lấy người dùng khỏe nhất sẽ có sự không công bằng cao hơn.

### 3.4. Thuật toán lập lịch công bằng tỷ lệ

Để thực hiện ý tưởng của phân tập đa người dùng trong hệ thống thực sẽ gặp trở ngại bởi hai vấn đề sau: công bằng và độ trễ. Trong trường hợp lý tưởng, khi thống kê fading của các người dùng như nhau, thông lượng cực đại hệ thống, cũng là thông lượng của từng cá nhân cực đại, khi đó thỏa mãn sự công bằng. Thực tế thống kê fading là không như nhau. Có người dùng ở gần trạm gốc (có SNR cao hơn), có người ở xa trạm gốc, có người đứng yên, có người di chuyển, có người môi trường xung quanh không có vật tán xạ, có người có vật tán xạ mạnh... Việc đảm bảo thông lượng công bằng cho mỗi người dùng là cần thiết, thể hiện chất lượng của hệ. Trường hợp hệ không những chỉ chú ý đến thông lượng trung bình tổng cộng trong khe thời gian dài mà còn yêu cầu về thời gian trễ nữa, chất lượng hệ khi đó sẽ được đánh giá thông qua thông lượng trung bình liên quan đến trễ.

#### 3.4.1. Thuật toán PFS cho trường hợp đa sóng mang, đa người dùng

##### a) Nội dung của thuật toán

Một thuật toán lập lịch đơn giản được thiết kế để phù hợp với thách thức trên là thuật toán lập lịch công bằng tỷ lệ (PFS) trong hệ thống OFDM. Trong hệ thống này, phản hồi chất lượng kênh của người dùng  $k$  trên sóng mang  $n$  trong khe thời gian  $t$  tới trạm gốc dưới dạng tốc độ dữ liệu yêu cầu  $R_{k,n}(t)$ . Trong các hệ thống OFDM đa người dùng, thuật toán cấp tài nguyên quyết định người dùng phục vụ với công suất nào cho mỗi sóng mang con. Giả thiết rằng công suất phát tổng bị ràng buộc  $S$ . Một khi các tài nguyên được cấp tới người dùng, tốc độ dữ liệu hiện thời của mỗi người dùng được xác định và BS phục vụ mỗi người dùng tại tốc độ

này. Theo lý thuyết thông tin, tốc độ dịch vụ hiện thời trên sóng mang con thứ n tại khe thời gian thứ t được đưa ra là:

$$R_{k,n}(t) = B/N \log_2(1 + SNR) \quad (3.2)$$

Trong đó  $R_{k,n}(t)$  là tốc độ truyền người dùng thứ k tại khe thời gian t, B là băng thông tổng và N là số sóng mang con.

Thuật toán lập lịch PFS làm việc như sau:

Theo dõi thông lượng trung bình  $T_{k,n}(t)$  của mỗi người dùng trên mỗi sóng mang con trong cửa sổ có chiều dài  $t_c$  trong đó  $t_c$  là cửa sổ thời gian để lấy trung bình động. Trong khe thời gian t, đơn giản thuật toán lập lịch phát tại mỗi sóng mang con tới người dùng  $k^*$  với tỷ số:

$$\frac{R_{k,n}(t)}{T_{k,n}(t)} \quad (3.3)$$

lớn nhất trong số tất cả các người dùng đang kích hoạt trong hệ thống. Trong đó  $R_{k,n}(t)$  là tốc độ dữ liệu mà sóng mang con n của người dùng thứ k được hỗ trợ hiện thời. Thông lượng trung bình  $T_{k,n}(t)$  có thể cập nhật sử dụng bộ lọc thông thấp có trọng số hàm mũ

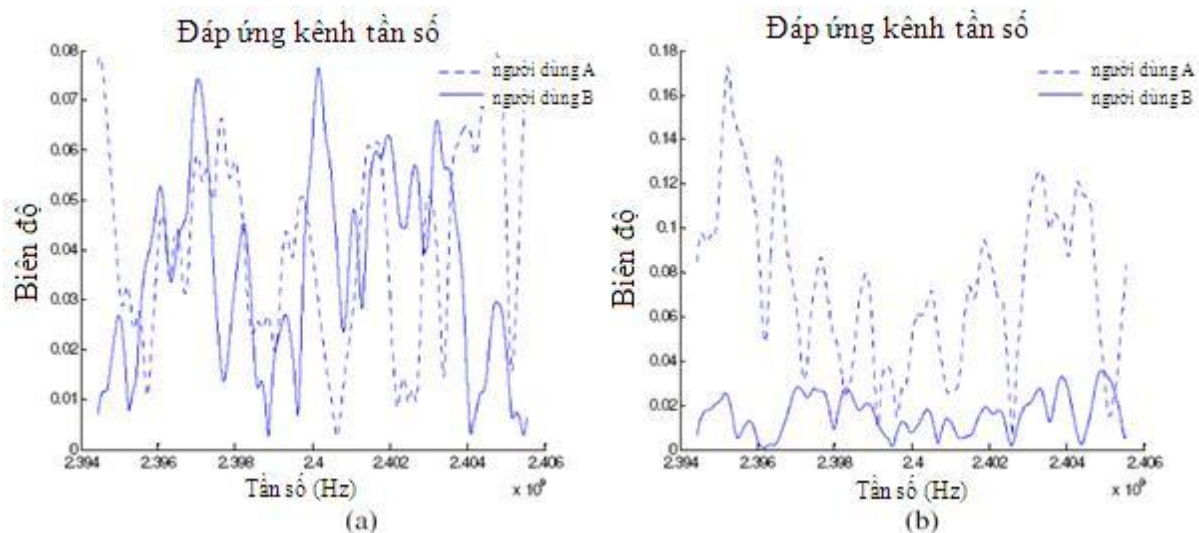
$$T_{k,n}(t+1) = \begin{cases} \left(1 - \frac{1}{t_c}\right) T_{k,n}(t) + \frac{1}{t_c} R_{k,n}(t) & k = k^*(t) \\ \left(1 - \frac{1}{t_c}\right) T_{k,n}(t) & k \neq k^*(t) \end{cases} \quad (3.4)$$

Trong luận văn này, thuật toán PFS trong hệ thống OFDM được sử dụng khi coi các sóng mang con độc lập với nhau. Vì thế, ta phải tính toán người dùng có giá trị lớn nhất được tính theo (3.3) tại mỗi sóng mang con và khe thời gian để cấp sóng mang con này tới người dùng. Ta cũng phải cập nhật thông lượng trung bình bằng phương trình (3.4) tại mỗi sóng mang và khe thời gian. Vì thế, thuật toán PFS xét đến các sóng mang con độc lập với nhau và ta phải cập nhật hệ thống mỗi khe thời gian. Thuật toán này cũng không chú ý đến các yêu cầu tốc độ người dùng và cấp công suất thường không được xem xét, do có vài điểm yếu làm giảm tính năng của hệ thống khi triển khai trong môi trường kênh người dùng không đồng nhất. Thuật toán cấp năng lượng như nhau tức là chỉ phân bố công suất truyền tương đương trong các sóng mang con.

## b) Giải thích thuật toán qua ví dụ

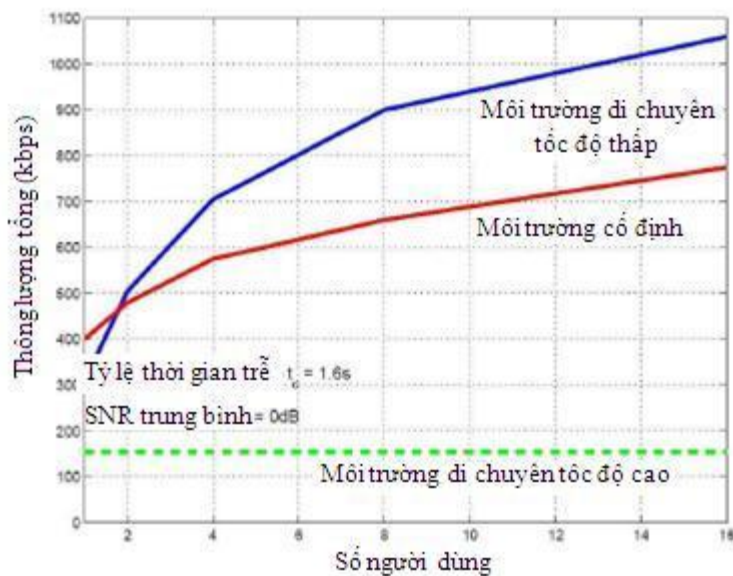
Thí dụ 1: Ta có thể quan sát thuật toán làm việc trong hình 3.2. Ta vẽ đáp ứng kênh tần số của hai người dùng như là một hàm số trong hai kịch bản khác nhau là

các thông kê fading như nhau và không như nhau. Trong hình 3.2.a hai người dùng có thông kê fading như nhau, thông lượng trung bình trong thời gian dài của hai người dùng là như nhau. Thuật toán lập lịch sẽ rút gọn lại là chọn người dùng với tốc độ yêu cầu cao nhất. Do đó, mỗi người dùng được lập lịch khi kênh của nó là tốt và đồng thời thuật toán lập lịch là công bằng hoàn toàn trong thời gian dài. Trong hình 3.2 (b), có lẽ do khoảng cách khác nhau từ trạm gốc, kênh của một người dùng khỏe hơn nhiều so với trung bình kênh khác, mặc dù hai kênh dao động do fading đa đường. Luôn chọn người dùng với tốc độ yêu cầu cao nhất nghĩa là đưa ra các tài nguyên của toàn hệ thống cho người dùng khỏe về mặt thống kê và sẽ có tính không công bằng cao hơn. Ngược lại, với thuật toán lập lịch nêu trên, người dùng tính toán các tài nguyên không phải tức thì dựa trên tốc độ dữ liệu yêu cầu của họ mà chỉ sau khi chuẩn hóa với thông lượng trung bình tương ứng của mình. Người dùng với thống kê kênh tốt hơn sẽ có thông lượng trung bình cao hơn. Do đó, thuật toán lập lịch người dùng khi chất lượng kênh tức thời của nó cao hơn liên quan tới điều kiện kênh trung bình của nó qua thang thời gian lập lịch  $t_c$ . Tóm lại, dữ liệu được phát tới người dùng khi kênh gần đỉnh của nó. Thuận lợi phân tập đa người dùng có thể có được do các kênh của các người dùng khác nhau thăng giáng độc lập để nếu có đủ số người dùng trong hệ thống, có khả năng người dùng gần với đỉnh của nó tại bất cứ thời gian nào[3].



Hình 3.2 Đáp ứng kênh tần số (a) người dùng thống kê như nhau (b) người dùng thống kê không nhau

Thí dụ 2[7]: thuật toán lập lịch công bằng tỷ lệ trong hệ 1.25 Mhz IS-856 đường xuống xét 3 môi trường: trong môi trường cố định thì người dùng cố định, các vật xung quanh di chuyển, trong môi trường di chuyển chậm thì người dùng di chuyển với tốc độ chậm 3km/h, Rayleigh và trong môi trường di chuyển nhanh thì người dùng di chuyển với tốc độ 30km/h, Rayleigh.



Hình 3.3 Thông lượng tổng cộng đa người dùng trong môi trường cố định và di động

Ngoài ra, các điều kiện cần bổ sung thêm là độ lợi kênh trung bình  $E[|h|^2]$  giữa 3 trường hợp là như nhau và tỷ lệ xích thời gian trễ  $t_c = 1.6s$ . Khi kênh thay đổi trong cả hai trường hợp, dải động và tốc độ thay đổi lớn hơn trong môi trường di động so với môi trường cố định (hình 1.11). Một câu hỏi đặt ra, liệu trong môi trường di động, có nhiều đỉnh thăng giáng vậy nhiều cơ hội để sử dụng hiệu năng của thuật toán tức thông lượng tổng cộng của hệ sẽ tốt hơn khi số người dùng tăng so với trường hợp cố định?

Quan sát đồ thị trong hình 3.3 cho ta thấy thông lượng tổng cộng (kbps):

- + Khi môi trường di chuyển nhanh thông lượng là hằng số khi số người dùng tăng.
- + Môi trường di chuyển chậm: thông lượng tăng theo số người dùng nhanh nhất.
- + Môi trường di chuyển nhanh: thông lượng tăng theo số người dùng nhưng chậm hơn.

Như vậy có gì mâu thuẫn? Điều này có thể giải thích là tại tốc độ xét, máy thu khó theo dõi và dự đoán chính xác sự thay đổi kênh vì loại dự đoán kênh là loại mạch



lọc thông thấp tron tru vì vậy dù có thặng giáng kênh, thông tin theo cơ hội không thể thực hiện được vì không biết thực sự lúc nào kênh tốt. Phải chăng điều này có liên quan đến việc chọn thông số  $t_c$  (công thức 3.4) dùng trong thuật toán PFS?

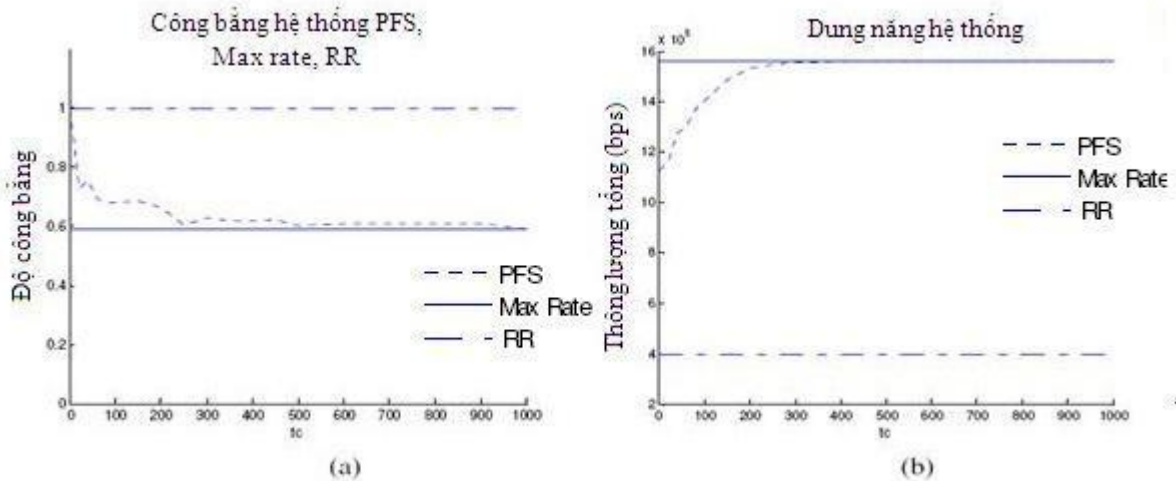
### 3.4.2. Thông số $t_c$

Thông số  $t_c$  liên quan đến thời gian trễ cho phép của ứng dụng. Các đỉnh cũng được định nghĩa đối với thang thời gian này. Nếu thang thời gian trễ lớn thì thông lượng trung bình qua thang thời gian dài hơn và bộ lập lịch có thể đợi lâu hơn trước khi lập lịch cho người dùng khi kênh của người đó chạm đến đỉnh cao thực sự của nó.

Giá trị lớn nhất của  $t_c$  là  $t_c = \infty$ , trong tình huống này các tài nguyên theo thuật toán PFS chỉ quyết định bởi SNR tức thời, dẫn đến tối đa thông lượng hệ thống và đặc tính công bằng kém hơn. Ngược lại, chọn giá trị  $t_c$  thấp, chẳng hạn  $t_c = 1$ , thì lập lịch sẽ là công bằng. Do đó, chọn  $t_c$  cho ta thỏa hiệp giữa sự công bằng và thông lượng[3].

Trong hình 3.4 (a) chỉ ra độ công bằng của hệ thống theo thông số  $t_c$  theo 3 thuật toán khác nhau, PFS, RR và Max rate. Ta biết rằng nếu  $F(\text{sự công bằng}) = 1$  tất cả người dùng chia sẻ chính xác cùng số lượng nguồn tài nguyên, và  $F = 0$  xuất hiện chỉ khi một người dùng sử dụng tất cả các tài nguyên. Các thuật toán RR và Max rate độc lập với thông số  $t_c$ , vì vậy sự công bằng theo các thuật toán này được duy trì không đổi và thể hiện các đường biên công bằng. Thuật toán Max rate thể hiện công bằng nhỏ nhất và thuật toán RR thể hiện sự công bằng lớn nhất. Ta nhìn thấy trong hình 3.4 (a) nếu  $t_c$  tiến tới 1 thì tính công bằng sẽ tăng lên và tính năng của PFS sẽ tiến tới tính năng của RR, nhưng nếu  $t_c$  tiến tới vô cùng thì có sự suy giảm trong tính công bằng và tính năng PFS sẽ hướng tới tính năng của Max rate.

Mặt khác, trong hình 3.4 (b) trình bày mối liên hệ giữa thông lượng và thông số  $t_c$ . Như ta đã nói ở trước, thuật toán Max rate và RR độc lập với thông số  $t_c$  thể hiện ở biên tính năng. Thuật toán Max Rate thể hiện thông lượng lớn nhất và thuật toán RR thể hiện thông lượng bé nhất. Cũng trong hình 3.4 (b) nếu  $t_c$  hướng tới vô cùng thì thông lượng tăng lên và tính năng PFS hướng tới tính năng Max rate, nhưng nếu  $t_c$  hướng tới 1 có sự suy giảm về thông lượng và tính năng PFS sẽ hướng tới tính năng của RR.



Hình 3.4 So sánh độ công bằng và thông lượng giữa các thuật toán[3]

### 3.5. Thuật toán Rate-Craving Greedy

Thuật toán này phân chia việc cấp tài nguyên thành hai bước. Bước đầu tiên, số sóng mang mà mỗi người dùng sẽ nhận, được xác định dựa trên yêu cầu tốc độ người dùng và SNR trung bình. Thuật toán này tìm sắp xếp sóng mang con để tối thiểu hóa công suất tổng đòi hỏi khi mỗi người dùng với kênh fading phẳng. Trong bước thứ hai của thuật toán, nó tìm ấn định tốt nhất sóng mang con cho người dùng dựa trên tốc độ truyền ước đoán.

Xét một hệ thống với  $K$  người dùng và  $N$  sóng mang con. Mỗi người dùng  $k$  phải phát ít nhất  $R_{\min}^k$  bit trên đơn vị thời gian để thỏa mãn các yêu cầu tốc độ dữ liệu. Một người dùng có thể phát  $R_{\max}$  bit trên đơn vị thời gian và sóng mang con, để  $R_{\max}$  là giá trị tối đa mà đáp ứng kênh con của người dùng đạt đến. Đặt  $H_{k,n}(t)$  là độ lợi kênh và  $r_{k,n}(t)$  là tốc độ phát cho người dùng  $k$  trên sóng mang con  $n$  tại khe thời gian  $t$ . Mục đích là tìm cấp sóng mang con mà cho phép mỗi người dùng thỏa mãn yêu cầu tốc độ. Như đã trình bày, vấn đề này có thể giải quyết bởi hai thuật toán sử dụng thông tin về kênh của người dùng và yêu cầu tốc độ để tìm nghiệm gần đúng nhất:

- **Cấp tài nguyên:** quyết định số sóng mang con mỗi người dùng nhận (bằng thông của nó) dựa trên yêu cầu tốc độ và độ lợi kênh trung bình người dùng gọi là thuật toán cấp băng dựa trên SNR (BABS).
- **Cấp sóng mang con:** sử dụng kết quả của cấp tài nguyên và thông tin kênh để cấp các sóng mang con tới các người dùng, thuật toán Rate Craving Greedy (RCG).

### 3.5.1. Thuật toán cấp tài nguyên (BABS)

Phần này mô tả sự ấn định băng thông dựa trên SNR: thuật toán BABS sử dụng tốc độ yêu cầu và SNR trung bình cho mỗi người dùng để quyết định số sóng mang con mà người dùng sẽ được ấn định. Giả thiết rằng mỗi người dùng có độ lợi kênh trên mỗi sóng mang con là:

$$H_{k,m}(t) = \left( \sum_{k=0}^{N-1} \frac{|H_{k,m}(t)|^2}{N} \right) \quad (3.5)$$

Người dùng  $k$  được cấp sóng mang con  $m_k$ . Khi độ lợi mỗi sóng mang con là giống nhau, cấp công suất-tốc độ tối ưu là để phát  $R_{\min}^k/m_k$  bit trên mỗi sóng mang con. Để tìm phân phối sóng mang con tối ưu giữa các người dùng trong kênh phẳng, thuật toán BABS làm việc như sau: đầu tiên mỗi người dùng nhận  $m_k$  sóng mang con theo yêu cầu tốc độ của họ nếu tổng toàn bộ các sóng mang con được cấp không vừa với băng thông có sẵn ta phải:

1. Bỏ các sóng mang con từ các người dùng mà có nhu cầu ít sóng mang con.
2. Thêm các sóng mang con tới các người dùng theo SNR

Thuật toán này chứng tỏ sự hội tụ của phân bố các sóng mang con giữa các người dùng và hàm  $f(R_{\min}^k/m_k)$  được giải thích chính xác hơn. Để so sánh với các thuật toán khác, công suất cố định tại BS được sử dụng. Vì vậy, BS đơn giản phân bố công suất phát tương đương giữa các sóng mang con mà không cần điều khiển công suất[3].

### 3.5.2. RCG

Một khi số sóng mang con được xác định, bước kế tiếp là ấn định các sóng mang con cụ thể tới các người dùng. Vấn đề khó để giải quyết do các người dùng khác nhau sẽ thấy kênh khác nhau. Thuật toán RCG bắt đầu với ước đoán tốc độ truyền người dùng trên mỗi sóng mang con với mục đích tối đa hóa tốc độ truyền. Trong mô hình sử dụng trong mô phỏng  $R_{k,n}(t)$  theo (3.2) được sử dụng theo lý thuyết dung năng Shannon. Thuật toán RCG làm việc như sau:

1. Cấp mỗi sóng mang con  $n$  tại mỗi khe thời gian cho người dùng với tốc độ truyền tối đa  $r_{k,n}(t)$ .
2. Khi có tồn tại một số người dùng  $k$  mà số lượng sóng mang con được cấp theo tốc độ truyền tối đa lớn hơn  $m_k$  (các sóng mang con được cấp theo thuật toán BABS), bỏ sóng mang con từ người dùng  $k$  và thêm một sóng mang con tới người dùng  $l$  để số sóng mang con được cấp theo tốc độ phát tối đa ít hơn  $m_k$

### **3.6. Kết luận chương**

Trong chương này, ta đã tìm hiểu một số thuật toán lập lịch trong hệ đa sóng mang OFDM, đa người dùng. Các thuật toán lập lịch được tìm hiểu theo các tiêu chí chất lượng là độ công bằng, độ trễ. Thuật toán Max rate và RR là để làm tham chiếu do đạt được thông lượng hệ thống tối đa thì lại hoàn toàn không công bằng và hoàn toàn công bằng thì không chú ý đến ý tưởng phân tập đa người dùng vì thế không có được thông lượng hệ thống tốt. Trong khi đó, thuật toán PFS và RCG tối đa hóa thông lượng hệ thống đồng thời duy trì tính công bằng. Các thuật toán sẽ được mô phỏng qua phần mềm MATLAB, với các thông số mô phỏng sẽ được miêu tả chi tiết trong chương 4.

## **Chương 4. MÔ PHỎNG**

### **4.1. Mục đích mô phỏng**

Trong chương 3, luận văn đã trình bày chi tiết một số thuật toán lập lịch như RR, Max Rate, PFS, RCG. Trong phần mô phỏng tôi chỉ so sánh việc thực thi ba thuật toán gồm RR, Max Rate, PFS cho việc cấp tài nguyên hệ thống về độ công bằng, độ trễ và thông lượng tương ứng với số người dùng.

### **4.2. Kịch bản mô phỏng**

Trong luận văn này, ta xem xét đường truyền xuống của một hệ thống phân tập đa người dùng OFDM. Ta giả thiết rằng tổng băng thông  $B$  được phân chia thành  $N$  sóng mang con trực giao băng hẹp. Mỗi MS đo độ lợi kênh mỗi sóng mang con và phản hồi thông tin trạng thái kênh tới BS thông qua một kênh phản hồi riêng. Ta giả thiết rằng ước đoán kênh có thể thực hiện một cách hoàn hảo và kênh phản hồi là không có lỗi. Sau đó luồng dữ liệu của mỗi người dùng được chọn sẽ được điều chế bởi sơ đồ điều chế thích hợp. Nói chung, trong fading lựa chọn tần số các sóng mang con khác nhau thì trải qua độ lợi kênh khác nhau ngay cả cho cùng một người dùng. Ta giả thiết rằng mỗi sóng mang con đủ hẹp để có fading phẳng và độ lợi kênh không đổi trong mỗi khe thời gian nhưng thay đổi trong từng khe thời gian. Cụ thể, ta sẽ xét việc thực thi của ba thuật toán lập lịch RR, PFS và Max Rate về độ công bằng, độ trễ và thông lượng tương ứng số người dùng. Các tính năng của các thuật toán sẽ được phân tích và so sánh qua mô phỏng Matlab.

### **4.3. Độ công bằng**

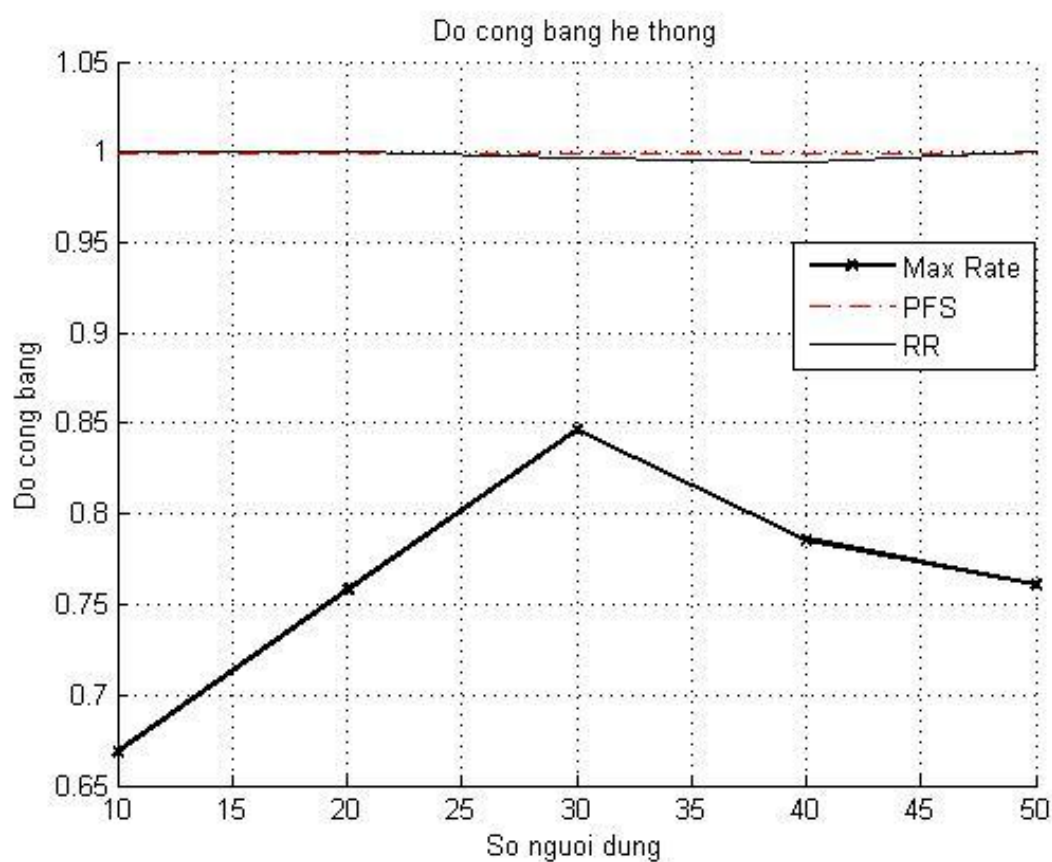
#### **4.3.1. Thông số mô phỏng**

Trong phần này, các thuật toán sẽ được so sánh với nhau dựa trên tiêu chí công bằng. Ta sử dụng thuật toán RR làm tham chiếu do xử lý thuật toán này đạt được các kết quả tốt nhất về chỉ số công bằng. Mô hình hệ thống mô phỏng được miêu tả trong mục 3.2. Để đánh giá chỉ số công bằng, người dùng với đáp ứng kênh khác nhau trong ngữ cảnh tất cả các người dùng đều phát dữ liệu với tốc độ không đổi, 32Kb trên khe thời gian[3].

Bảng 4.1 Các thông số mô phỏng độ công bằng

Số khe thời gian	150
Số sóng mang con	32
$t_c$	20
Số người dùng	10÷50
Tốc độ (Kb trên khe thời gian)	32
Tốc độ di chuyển (km/h)	3

### 4.3.2. Kết quả mô phỏng



Hình 4.1 Độ công bằng hệ thống theo số người dùng

### **Nhận xét:**

- Thuật toán Max rate là thuật toán kém công bằng nhất do nó cấp tài nguyên hệ thống tới người dùng mà có kênh tốt nhất, do đó kết quả thu được với thuật toán này sẽ công bằng luôn luôn kém hơn và thăng giáng ngẫu nhiên tùy theo phân bố kênh ngẫu nhiên cho các người dùng.

- Như ta nhìn thấy trong hình, thuật toán PFS có cách xử lý khá tốt do ta đã thấy trong chương 3, với một thông số  $t_c$  thấp ( $t_c = 20$ ) thì thuật toán duy trì chỉ số công bằng khá tốt hầu như với người dùng như RR.

### **4.3. Độ trễ**

Trong môi trường vô tuyến thời gian thực, mỗi gói tin được tạo ra bởi các ứng dụng cụ thể có liên quan đến thời hạn nhất định (deadline) là độ trễ cho phép. Bất kỳ gói tin có thể bị mất do một số nguyên nhân chính như: không đủ tài nguyên dùng cho các gói tin, chất lượng mạng vô tuyến kém, xung đột gói tin từ các ứng dụng khác nhau. Các ứng dụng khác nhau có yêu cầu chất lượng dịch vụ khác nhau được đảm bảo bởi một xác suất bị mất gói tin nào đó. So sánh với mạng có dây thì mạng không dây gặp thách thức hơn do giới hạn tài nguyên, tính di động và đặc tính kênh nên xác suất mất gói tin lớn hơn.

Lập lịch đảm bảo băng thông cho các dịch vụ khác nhau là nhiệm vụ quan trọng. Một số ứng dụng như video yêu cầu băng thông lớn và nhạy với độ trễ. Thoại yêu cầu một lượng băng thông nhỏ, nhạy với độ trễ ít hơn. Tất cả những ứng dụng này sẽ được thỏa mãn nếu hệ thống có đủ tài nguyên để hỗ trợ và duy trì QoS cho mỗi ứng dụng riêng lẻ.

Phần mô phỏng đánh giá xác suất dùng kênh và độ trễ, xác suất dùng kênh có liên quan đến dung năng kênh, nếu dung năng kênh thấp hơn dung năng dùng kênh thì QoS không đảm bảo vì bất kể với cách giải mã thế nào cũng không thể không có lỗi. Điều này có nghĩa kênh chỉ truyền khi tốc độ bé hơn một giá trị  $R_{min}$  nào đó vì nếu truyền lớn hơn sẽ mất gói tin mà mất gói tin liên quan đến độ trễ cho phép. Để đảm bảo các khe thời gian có sẵn, có một BS cấp các tài nguyên hệ thống. Có một hàng đợi trong MS để giữ cho các gói tin sẵn sàng gửi. Nếu BS thông tin cho MS số khe thời gian có sẵn, MS sẽ chọn một số gói tin từ hàng đợi để phát. BS sẽ lập lịch theo băng thông có sẵn tới MS khác nhau, theo ba thuật toán: Max rate, PFS và RR.

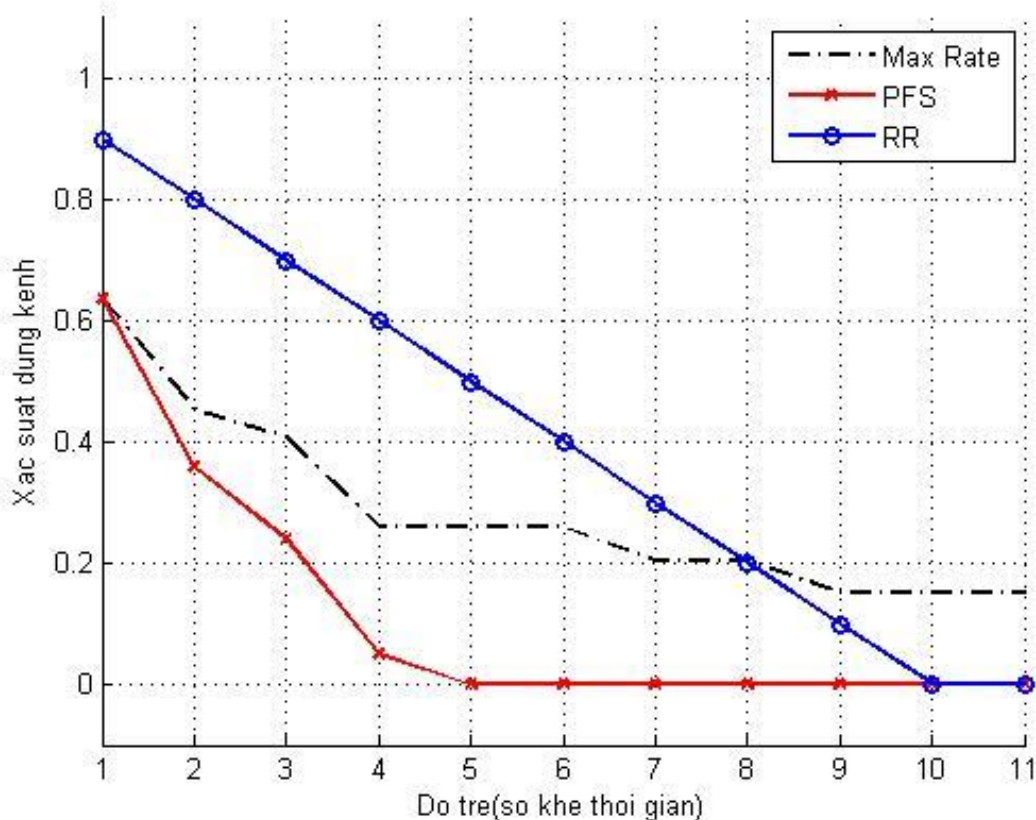
### 4.3.1. Thông số mô phỏng

Để đánh giá chỉ số độ trễ, các người dùng với đáp ứng kênh khác nhau trong ngữ cảnh tất cả các người dùng đều phát dữ liệu tốc độ không đổi, 32Kb trên khe thời gian.

Bảng 4.2 Các thông số mô phỏng độ trễ

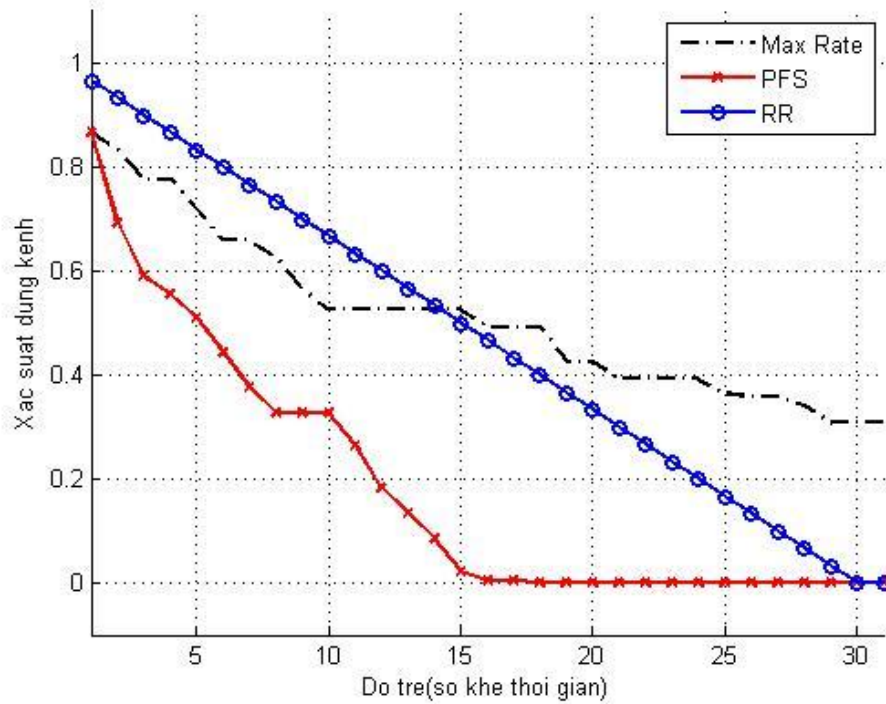
Số khe thời gian	150
Số sóng mang con	32
$t_c$	20
Số người dùng	10÷50
Tốc độ (Kb trên khe thời gian)	32
Tốc độ di chuyển (km/h)	3

### 4.3.2. Kết quả mô phỏng

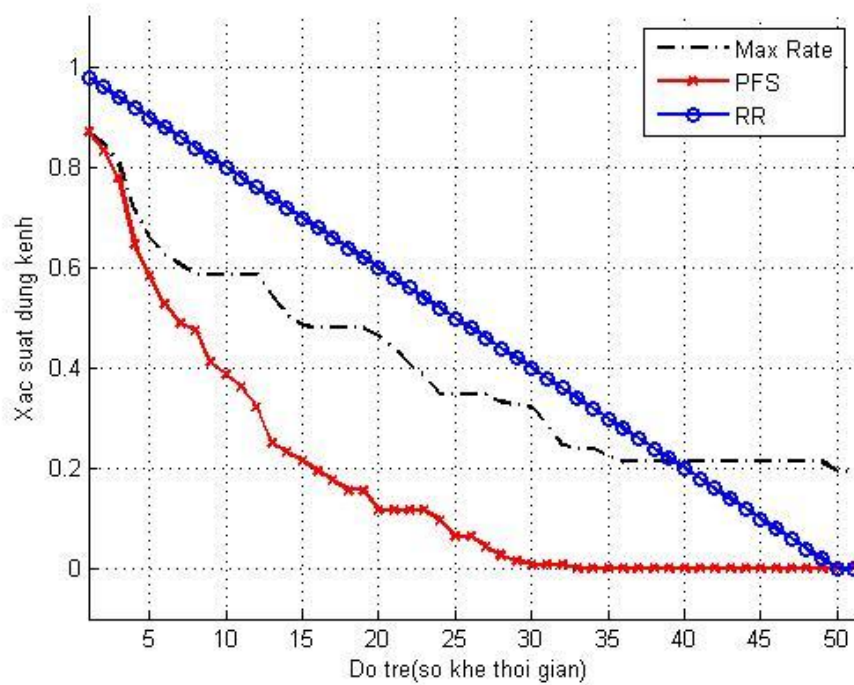


Hình 4.2 Xác suất dùng kênh theo độ trễ yêu cầu với số người dùng là 10

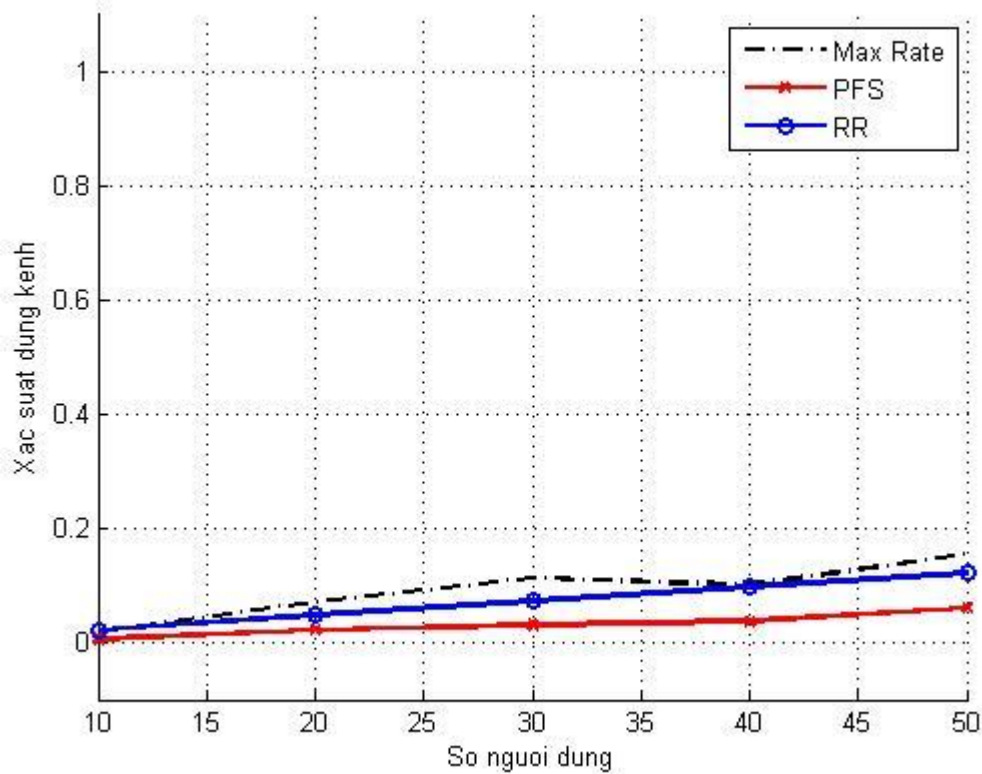




Hình 4.3 Xác suất dùng kênh theo độ trễ yêu cầu với số người dùng là 30



Hình 4.4 Xác suất dùng kênh theo độ trễ yêu cầu với số người dùng là 50



Hình 4.5 Xác suất dùng kênh theo số người dùng

**Nhận xét:**

Các kết quả mô phỏng được chỉ ra trong hình từ 4.2-4.4 cho ta thấy:

- Xác suất dùng kênh giảm khi trễ cho phép tăng với mọi thuật toán.
- Cùng một độ trễ ta thấy xác suất người dùng kênh của thuật toán PFS là thấp nhất. Thuật toán RR cấp tất cả các sóng mang con tới người dùng tại mỗi khe thời gian và lượng dữ liệu đủ để thỏa mãn các yêu cầu dữ liệu vì thế độ trễ theo các khe thời gian theo thuật toán này bằng số lượng người dùng trong hệ thống. Vì vậy nếu ta muốn đạt được QoS, hệ thống chỉ chấp nhận số người dùng như là ràng buộc độ trễ. Thuật toán Max rate cấp sóng mang con tới người dùng mà có SNR khỏe tại mỗi khe thời gian, khi có người dùng với đáp ứng kênh tốt hơn kênh khác thì sẽ có người dùng không nhận được sóng mang con để phát.

- Nếu xét tốc độ về không của xác suất dùng kênh thuật toán PFS có xử lý tốt nhất. Nó đạt được xác suất 0 nhanh hơn các thuật toán khác do không có các người dùng không nhận dịch vụ trong tất cả các khe thời gian được mô phỏng và các sóng mang con được cấp tới người dùng có đủ để thỏa mãn yêu cầu về chất lượng dịch vụ.

Cuối cùng trong hình 4.5, ta thấy rằng số người dùng trong hệ thống tăng với độ trễ cho trước, xác suất dùng kênh tăng và các gói tin bị rơi càng lớn.

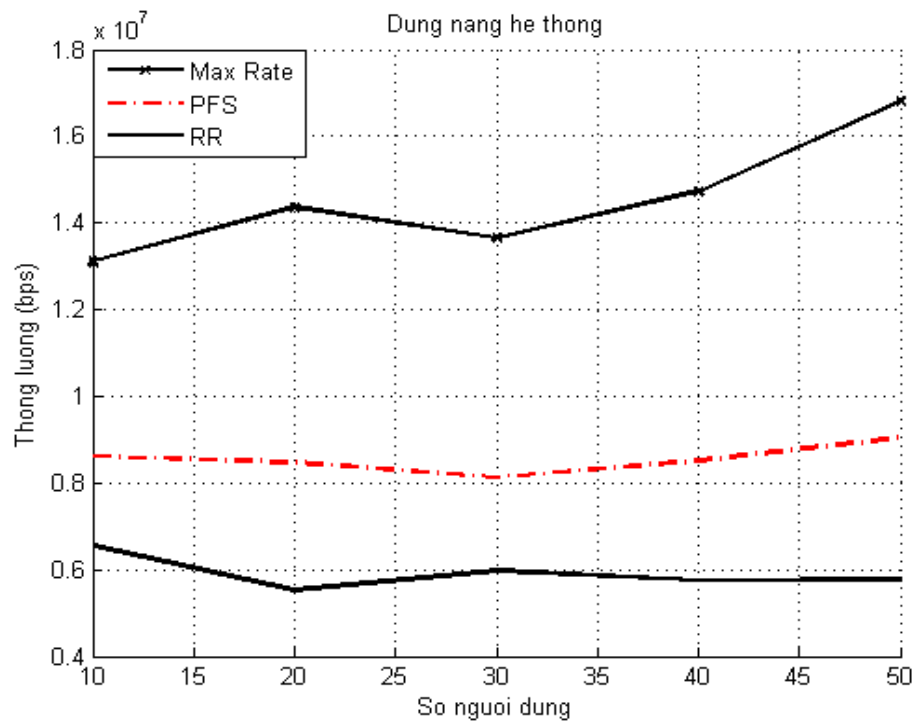
#### 4.4. Thông lượng

##### 4.4.1. Thông số mô phỏng

Bảng 4.3 Các thông số mô phỏng dung năng hệ thống

Số khe thời gian	150
Số sóng mang con	32
$t_c$	20
Số người dùng	10÷50
Tốc độ (Kb trên khe thời gian)	32
Tốc độ di chuyển (km/h)	3

##### 4.4.2. Kết quả mô phỏng



Hình 4.6 Dung năng hệ thống tương ứng với số người dùng

#### Nhận xét:

Kết quả mô phỏng được chỉ ra trong hình từ 4.6 cho ta thấy:

Với thuật toán RR: thông lượng hệ thống đạt được giá trị thấp nhất do thuật toán này không quan tâm đến phân tập đa người dùng và cấp sóng mang con tới một người dùng theo mỗi khe thời gian độc lập với đáp ứng kênh của người dùng và các yêu cầu tốc độ.

Theo thuật toán Max Rate: thông lượng hệ thống đạt được kết quả tốt nhất do thuật toán này cấp các tài nguyên hệ thống tới các người dùng với kênh tốt nhất và nó tối đa hóa thông lượng hệ thống. Số người dùng càng lớn trong hệ thống, thông lượng hệ thống càng lớn do việc tìm được một kênh tốt hơn có xác suất nhiều hơn khi có nhiều người dùng.

Thuật toán PFS có cách xử lý tốt hơn do đạt được thông lượng hệ thống tốt nhưng giá trị đạt được thấp hơn giá trị của thuật toán Max rate do phải duy trì tính công bằng. Trong trường hợp này, các người dùng không trực tiếp cạnh tranh nguồn tài nguyên không hoàn toàn dựa trên SNR của họ mà chỉ sau chuẩn hóa thông lượng trung bình tương ứng.

#### **4.5. Kết luận chương**

Trong chương này, ta đã phân tích các tính năng thông qua các nguyên tắc lập lịch được đề xuất, theo các tiêu chí về QoS là tính công bằng, độ trễ, thông lượng được mô phỏng qua phần mềm MATLAB. Thuật toán Max rate và RR là để làm tham chiếu do đạt được thông lượng hệ thống tối đa thì lại hoàn toàn không công bằng và hoàn toàn công bằng thì không chú ý đến ý tưởng phân tập đa người dùng vì thế không có được thông lượng hệ thống tốt.

Thuật toán PFS không để ý đến yêu cầu về tốc độ, nó làm việc bằng cách theo dõi thông lượng trung bình của mỗi người dùng trong một cửa sổ có chiều dài  $t_c$  và cấp sóng mang con tới người dùng với  $R_{k,n}(t)/T_{k,n}(t)$  lớn nhất.

## **KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO**

### **1. Kết luận**

Mục tiêu của luận văn là khai thác ý tưởng phân tập đa người dùng, có thể đạt được qua việc khai thác các đặc tính kênh của người dùng thay đổi theo thời gian. Để làm điều đó, luận văn trình bày những khái niệm chính về phân tập, trong đó chú ý đến phân tập đa người dùng. Để sử dụng tốt phân tập đa người dùng, tất yếu phải xét đến tính chất kênh truyền mà mỗi người dùng có, đồng thời phải chú ý đến việc lập trình sao cho thỏa mãn yêu cầu chất lượng hệ thống với các ràng buộc như tính công bằng trong việc phân chia tài nguyên, độ trễ cho phép từng loại dịch vụ và ảnh hưởng số người dùng... Vì kỹ thuật OFDM được dùng trong hệ thống nên luận văn cũng nêu khái quát đặc điểm của kỹ thuật này. Để hiểu rõ những phần nêu trên, một vài phép mô phỏng về tính năng các thuật toán thường dùng trong hệ thống này, xét trong ngữ cảnh môi trường thành phố. Kết quả được giải thích và cho thấy nhìn chung là phù hợp với lý thuyết theo ba thuật toán RR, Maxrate, PFS trong trường hợp đơn giản.

### **2. Hướng tới**

Tuy nhiên, những vấn đề nêu trên chỉ là kết quả ban đầu. Nếu điều kiện cho phép, tác giả đi sâu hơn nữa về mô phỏng thông qua Matlab cho các trường hợp phức tạp hơn như các người dùng có tốc độ và yêu cầu khác nhau về trễ, ảnh hưởng của thông số  $t_c$  trong thuật toán PFS và mở rộng với những thuật toán mới.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Adarsh B. Narasimhamurthy (2010), “ Asymptotic Techniques for space and Multi-user Diversity Analysis in wireless communications”, Dphil Thesis, Arizona state university .
2. Alexis A. Dowhuszko (2006), “ Multiuser Diversity: Concepts and system aspects”, Helsinki University of Technology.
3. Alfonso Bahillo Martinez (2006), “Evaluation of multiuser scheduling algorithm in OFDM for different services”, MSc Thesis, NTNU, pp.27-36,45-72.
4. Antonios D. Valkanas (2004), “ Adaptive space-frequency coding for multiple input and multiple output orthogonal frequency division multiplexing systems”, Dphil Thesis, Huntsville, Alabama.
5. Bechir Nsiri, Mallouki Nasreddine, Mahmoud Ammar, Walid Hakimi, Mhatli Sofien (2014), “Modeling and performance evaluation of scheduling algorithms for downlink LTE cellular network”, ENIT Tunis, Tunisia.
6. Chawan-ming Wang (2002), “ Multiuser wireless communications”, Student Projects Fall.
7. David Tse and Pramod Viswanath (2005), “ Fundamentals of wireless communication”, Cambridge University.
8. Manushree Bhardwaj, Arun Gangwar, Devendra Soni (2012), “ A review on OFDM: Concept, Scope & its Applications”.
9. Richard van Nee Ramjee Prasad (2000), ”OFDM for wireless multimedia communications”, AH Boston, London.
10. Theodore S Rappaport (2002), “Wireless Communication – Principles and Practice”, Prentice Hall.