

BỘ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG  
HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



**BÀI GIẢNG**

**CÁC MẠNG THÔNG TIN VÔ TUYẾN**

(Lưu hành nội bộ)

**Biên soạn:** TS. Nguyễn Phạm Anh Dũng

**Hiệu chỉnh:** PGS.TS. Đặng Thê Ngọc

*Hà nội, 12/2016*

## MỤC LỤC

MỤC LỤC .....	i
DANH MỤC HÌNH VẼ .....	ix
DANH MỤC BẢNG BIỂU.....	xvi
LỜI NÓI ĐẦU .....	xviii
CHƯƠNG 1.....	1
TỔNG QUAN WIMAX.....	1
1.1 Tổng quan họ tiêu chuẩn 802.16.....	1
1.2. Các tính năng tiên tiến của WiMAX .....	5
1.3 WiMAX di động .....	7
1.4. Các tùy chọn phổ cho mạng không dây băng rộng.....	10
1.5. Kiến trúc mạng WiMAX .....	13
1.6 Cấu trúc giao thức IEEE 802.16m .....	17
1.6.1 Ngăn xếp giao thức tổng quan của 802.16m.....	17
1.6.2 Cấu trúc giao thức hỗ trợ đa sóng mang .....	21
1.6.3 Cấu trúc giao thức hỗ trợ đồng tồn tại đa vô tuyến.....	21
1.6.4 Cấu trúc giao thức chuyển tiếp .....	22
1.6.5 Luồng xử lý của mặt phẳng số liệu AMS/ABS .....	22
1.6.6. Luồng xử lý mặt phẳng điều khiển AMS/ABS.....	23
1.6.7 Xử lý gói IP tại máy phát BS và máy thu MS.....	24
1.6.8. Các chức năng mặt phẳng số liệu và mặt phẳng điều khiển trong các trạm chuyển tiếp.....	25
1.6.9. Cấu trúc giao thức đê hỗ trợ khai thác đa sóng mang .....	29
1.6.10. Cấu trúc giao thức đê hỗ trợ các dịch vụ đa phương và quảng bá .....	30
1.7 Biểu đồ trạng thái AMS.....	32
1.7.1. Biểu đồ trạng thái AMS tổng quát .....	32
1.7.2. Trạng thái khởi đầu .....	33
1.7.3. Trạng thái truy nhập .....	34
1.7.4. Trạng thái kết nối .....	34
1.7.5. Trạng thái rỗi.....	35
1.8 Tổng kết .....	36

---

1.9 Câu hỏi.....	36
CHƯƠNG 2.....	38
LỚP MAC CỦA WIMAX DI ĐỘNG.....	38
2.1 Tổng quan về lớp MAC .....	38
2.2. Cấu trúc lớp MAC .....	38
2.3. Lớp con hội tụ MAC CS.....	40
2.4 Lớp con phần chung MAC CPS .....	43
2.5. Các dịch vụ MAC .....	47
2.5.1. Hỗ trợ chất lượng dịch vụ (QOS).....	47
2.5.2. Dịch vụ lập biểu MAC .....	50
2.5.3. Yêu cầu và án định băng thông.....	51
2.6. Nhập mạng và khởi đầu .....	53
2.6.1. Quét và đồng bộ kênh đường xuống .....	54
2.6.2. Nhận các thông số đường lên.....	54
2.6.3. Định cự ly.....	54
2.6.4. Đàm phán các khả năng cơ sở.....	55
2.6.5. Đăng ký và thiết lập kết nối IP.....	56
2.7. Thiết lập luồng dịch vụ .....	56
2.8. Quản lý công suất .....	57
2.8.1. Chế độ ngủ .....	57
2.8.2. Chế độ rỗi.....	59
2.9. Quản lý di động .....	60
2.9.1. Quản lý vị trí .....	60
2.9.2. Quản lý chuyển giao .....	60
2.9.3. Các chiến lược chuyển giao .....	62
2.9.4. Ưu tiên chuyển giao .....	65
2.9.5. Các vấn đề thực tế nảy sinh đối với chuyển giao.....	65
2.9.6. Quét và đo .....	67
2.9.7. Quá trình chuyển giao và chọn lại ô .....	68
2.9.8. Chuyển giao phân tập vĩ mô và chuyển mạch BS nhanh .....	70
2.10. Tổng kết.....	72
Câu hỏi.....	72

---

---

CHƯƠNG 3.....	74
LỚP VẬT LÝ CỦA WIMAX DI ĐỘNG .....	74
3.1 Mở đầu.....	74
3.2. Cấu trúc lớp vật lý của WIMAX di động .....	76
3.2.1.Tuyến phát.....	76
3.2.2. Tuyến thu .....	76
3.3. OFDMA khâ định cỡ và cấu trúc tín hiệu OFDMA của IEEE 802.16e-2005.....	76
3.3.1. OFDMA khâ định cỡ .....	76
3.3.2. Cấu trúc ký hiệu OFDM.....	78
3.3.4. Sắp xếp kênh con .....	78
3.3.5. Khe và cấu trúc khung TDD .....	85
3.4. Các thông số OFDM VÀ CẤU TRÚC KHUNG CỦA IEEE 802.16m .....	89
3.4.1. Các thông số OFDM .....	89
3.4.2. Cấu trúc khung .....	90
3.3. Cấu trúc vật lý đường xuống trong IEEE 802.16m .....	93
3.3.1. Mở đầu .....	93
3.5.2. PRU và LRU .....	94
3.5.3. Phân định kênh con và sắp xếp tài nguyên .....	95
3.5.4. Phân định kênh con cho ấn định định tài nguyên phân bố đường xuống .....	96
3.5.5. Phân định kênh cho cho tài nguyên chia lô đường xuống .....	97
3.5.6. Cấu trúc hoa tiêu .....	97
3.6. Cấu trúc vật lý đường lên trong IEEE 802.16m .....	98
3.6.1. Mở đầu .....	98
3.6.2. PRU và LRU .....	99
3.6.3. Phân định kênh con và sắp xếp tài nguyên .....	100
3.6.4. Phân định kênh con đối với ấn định tài nguyên phân bố đường lên .....	101
3.6.5. Phân định kênh con đối với tài nguyên chia lô đường lên .....	101
3.6.6. Cấu trúc hoa tiêu .....	101
3.7. Điều chế và mã hóa.....	102
3.8. Các công nghệ đa anten trong IEEE 802.16e .....	103
3.8.1. Sơ đồ phân tách phát sử dụng hai anten .....	104
3.8.2. Sơ đồ đa anten phát cho đường xuống .....	106

---

---

3.8.3. Mã phân tập nhảy tần .....	108
3.8.4. MIMO vòng kín .....	108
3.8.5. Sơ đồ thích ứng mã không gian/thời gian và tao búp .....	111
3.9. Sơ đồ truyền dẫn MIMO trong IEEE 802.16m .....	113
3.9.1. Kiến trúc MIMO và xử lý số liệu đường xuống .....	113
3.9.2. Sơ đồ truyền dẫn MIMO đường lên .....	118
3.10. Các tính năng tăng cường của lớp vật lý WIMAX di động .....	119
3.10.1. Mã hóa kênh thích ứng và CQICH .....	120
3.10.2. Mã hóa turbo, LDPC và đan xen .....	120
3.10.3. HARQ .....	122
3.11. Các tính năng tiên tiến của WIMAX di động .....	123
3.11.1. Tái sử dụng tần số một phần .....	123
3.11.2. Dịch vụ đa phương và quảng bá (MBS) .....	124
3.12. Định cự ly, điều khiển công suất và đo chất lượng kênh .....	125
3.12.1. Định cự ly .....	125
3.12.2. Điều khiển công suất .....	127
3.12.3. Đo chất lượng kênh .....	128
3.13. Tổng kết .....	129
Câu hỏi chương 3 .....	129
CHƯƠNG 4 .....	131
WLAN và WIFI .....	131
4.1 Mở đầu .....	131
4.2. Kiến trúc một mạng WLAN .....	132
4.2.1. Mô hình tham chuẩn OSI .....	133
4.2.2. Các thành phần logic của hệ thống không dây .....	134
4.2.3. Các thành phần vật lý của hệ thống vô tuyến .....	136
4.3. Cấu hình topo của WLAN .....	137
4.3.1. Cấu hình WLAN .....	137
4.3.2. Kiến trúc sở và chế độ khai thác mạng đối với hệ thống 802.11 .....	139
4.4. Các băng tần của WLAN .....	141
4.5. Các tiêu chuẩn WLAN .....	142
4.5.1. Viện công nghệ điện và điện tử (IEEE) .....	142

---

---

4.5.2. Chuẩn 802.11 .....	143
4.5.3. Chuẩn 802.11b .....	144
4.5.4. Chuẩn 802.11a .....	148
4.5.5. Chuẩn 802.11g .....	150
4.5.6. Chuẩn 802.11n .....	151
4.5.5. Các nhóm công tác có liên quan khác .....	154
4.6. Các dịch vụ và các cơ chế hỗ trợ cho 802.11 .....	155
4.6.1. Các dịch vụ hỗ trợ cho 802.11 .....	155
4.6.2. Cơ chế CSMA-CA .....	156
4.6.3. DCF/PCF 802.11 và các cơ chế RTC/CTS .....	157
4.6.4. Thông báo đã nhận số liệu 802.11 .....	157
4.6.5. Phân đoạn 802.11 .....	158
4.6.6. Quản lý công suất 802.11 .....	158
4.6.7. Chuyển vùng đa ô 802.11 .....	158
4.6.8. An ninh 802.11 .....	159
4.7. Lớp vật lý của 802.11 .....	160
4.8. Chuẩn 802.11 MAC .....	161
4.8.1. Mở đầu .....	161
4.8.2. Chức năng điều phối phân bổ của 802.11 .....	161
4.8.3. Chức năng điều phối điểm .....	164
4.9. Dung lượng và hiệu năng của hệ thống 802.11 .....	165
4.9.1. Vùng phủ và hiệu năng thông lượng .....	165
4.9.2. Ảnh hưởng của nhiều đồng kênh lên dung lượng hệ thống .....	168
4.10. Kết luận .....	170
Câu hỏi chương 4 .....	171
CHƯƠNG 5 .....	172
CÁC MẠNG ADHOC KHÔNG DÂY .....	172
5.1 Mở đầu .....	172
5.2. Ứng dụng của các mạng Ad HOC không dây .....	173
5.2.1. Các mạng số liệu .....	174
5.2.2. Các mạng nhà .....	174
5.2.3. Các mạng thiết bị .....	175

---

5.2.4. Các mạng cảm biến .....	175
5.2.5. Hệ thống điều khiển phân tán .....	176
5.3. Các nguyên lý và các thách thức thiết kế .....	177
5.4. Các lớp giao thức .....	178
5.4.1. Thiết kế lớp vật lý .....	180
5.4.2. Thiết kế lớp truy nhập .....	181
5.4.3. Thiết kế lớp mạng .....	183
5.4.4. Thiết kế lớp truyền tải .....	188
5.4.5. Thiết kế lớp ứng dụng .....	189
5.5. Thiết kế lớp chéo .....	190
5.6. Các giới hạn dung lượng mạng .....	192
5.7. Các mạng bị hạn chế bởi năng lượng .....	193
5.7.1. Điều chế và mã hóa .....	194
5.7.2. MIMO và MIMO hợp tác .....	195
5.7.3. Truy nhập, định tuyến và ngủ .....	196
5.7.4. Thiết kế lớp chéo trong điều kiện hạn chế năng lượng .....	197
5.7.5. Dung lượng trên năng lượng đơn vị .....	197
5.8. Tổng kết .....	198
Câu hỏi chương 5 .....	199
<b>CHƯƠNG 6 .....</b>	<b>200</b>
<b>HỆ THỐNG THÔNG TIN VỆ TINH .....</b>	<b>200</b>
6.1. Các quỹ đạo vệ tinh và phân bố tàn số cho các hệ thống thông tin vệ tinh .....	200
6.1.1. Các quỹ đạo vệ tinh cho các hệ thống thông tin vệ tinh .....	200
6.1.2. Phân bố tàn số cho các hệ thống thông tin vệ tinh .....	200
6.2. Các hệ thống thông tin vệ tinh .....	202
6.2.1. Intelsat .....	202
6.2.2. Vệ tinh nội địa, DOMSAT .....	202
6.2.3. Các hệ thống thông tin di động vệ tinh .....	203
6.3. Các định luật KEPLER và quỹ đạo vệ tinh .....	210
6.3.1. Các định luật Kepler .....	210
6.3.2. Quỹ đạo vệ tinh .....	213
6.3.3 Các quỹ đạo nghiêng .....	217

6.3.4 Quỹ đạo địa tĩnh.....	217
<b>6.4 CÁC CÔNG NGHỆ ĐA TRUY NHẬP CHO THÔNG TIN VỆ TINH .....</b>	<b>223</b>
6.4.1 Đa truy nhập phân chia theo tần số, FDMA .....	223
6.4.2 Đa truy nhập phân chia theo thời gian, TDMA .....	228
6.4.3. CDMA.....	243
6.5. Tổng kết.....	245
Câu hỏi chương 6.....	246
<b>CHƯƠNG 7.....</b>	<b>249</b>
<b>THIẾT KẾ ĐƯỜNG TRUYỀN THÔNG TIN VỆ TINH.....</b>	<b>249</b>
7.1. Tốn hao đường truyền và công suất tín hiệu thu .....	249
7.1.1. Truyền dẫn trong không gian tự do.....	249
7.1.2. Tốn hao do mất đồng chỉnh anten.....	250
7.1.3. Tốn hao khí quyển và điện ly.....	250
7.2. Phương trình quỹ đường truyền.....	250
7.3. Công suất tạp âm nhiệt .....	251
7.3.1. Tạp âm anten.....	251
7.3.2. Hệ số tạp âm và nhiệt độ tạp âm .....	253
7.4. Tỉ số tín hiệu trên tạp âm .....	257
7.5. Tỉ số tín hiệu trên tạp âm đường lên .....	257
7.5.1. Công thức tổng quát .....	257
7.5.2. Mật độ thông lượng bão hòa .....	258
7.5.3. Độ lùi đầu vào .....	259
7.5.4. Bộ khuếch đại công suất lớn .....	259
7.6. Tỉ số tín hiệu trên tạp âm đường xuống.....	260
7.6.1. Công thức tổng quát.....	260
7.6.2 Độ lùi đầu ra.....	260
7.6.3. Công suất ra của đèn sóng chạy .....	261
7.7. Ảnh hưởng của mưa.....	261
7.7.1. Dự trữ pha định mưa đường lên.....	262
7.7.2. Dự trữ pha định mưa đường xuống.....	263
7.8. Dự trữ đường truyền .....	265
7.9. Tỉ số tín hiệu trên tạp âm kết hợp đường lên và đường xuống .....	266

7.10. Tỉ số tín hiệu trên tạp âm kết hợp tạp âm điêu ché giao thoa .....	267
7.11. Tổng kết .....	268
Câu hỏi chương 7 .....	269
<b>CHƯƠNG 8.....</b>	<b>273</b>
<b>MẠNG VÔ TUYẾN KHẢ TRI .....</b>	<b>273</b>
8.1 Mở đầu .....	273
8.2. Ý tưởng và khái niệm vô tuyến khả tri .....	273
8.3. Kiến trúc mạng vô tuyến khả tri .....	275
8.3.1. Khái quát mạng vô tuyến khả tri .....	275
8.3.2. Mô hình kiến trúc hệ thống vô tuyến khả tri .....	277
8.3.3. Các yêu cầu khi thực hiện hệ thống vô tuyến khả tri .....	280
8.3.4. Chức năng và hoạt động của hệ thống vô tuyến khả tri .....	280
8.4. Kiến trúc vật lý của hệ thống vô tuyến khả tri.....	284
8.5. Đặc điểm và khả năng ứng dụng cho vô tuyến khả tri .....	286
8.6. Tổng kết .....	287
Câu hỏi chương 8 .....	288
<b>CHƯƠNG 9.....</b>	<b>289</b>
<b>CẢM NHẬN PHỔ TẦN TRONG MẠNG VÔ TUYẾN KHẢ TRI.....</b>	<b>289</b>
9.1. Mở đầu .....	289
9.2 Cảm nhận phổ tần đơn băng .....	289
9.2.1. Các kỹ thuật cảm nhận phổ tần cơ bản. ....	289
9.2.2. Hợp tác cảm nhận phổ tần.....	292
9.3 Cảm nhận phổ tần đa băng.....	293
9.3.1 Vấn đề phát hiện phổ tần đa băng .....	293
9.3.2. Kỹ thuật cảm nhận phổ đa băng.....	294
9.4. Hiệu năng các kỹ thuật cảm nhận phổ tần .....	300
9.4.1. Hiệu năng của các kỹ thuật cảm nhận phổ tần cơ bản .....	300
9.4.2. Hiệu năng hợp tác cảm nhận phổ tần .....	302
9.4.3. Hiệu năng cảm nhận phổ tần đa băng .....	303
9.5 Tổng kết .....	305

## DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1. Cấu hình topo của WMAN.....	1
Hình 1.2. Mô hình tham chuẩn WiMAX di động: IEEE 802.16e và IEEE 802.16m .....	13
Hình 1.3a. WiMAX A Profile cho thực hiện ASN .....	15
Hình 1.3b. WiMAX B Profile cho thực hiện ASN .....	15
Hình 1.3c. WiMAX C Profile cho thực hiện ASN.....	15
Hình 1.4. Mô hình CSN.....	16
Hình 1.5. Các kết nối liên quan đến chuyển tiếp.....	17
Hình 1.6. Cấu trúc ngăn xếp giao thức 802.16m.....	18
Hình 1.7. Cấu trúc giao thức tổng quát hỗ trợ đa sóng mang của IEEE 802.16m .....	21
Hình 1.8. Thí dụ về thiết bị đa vô tuyến với IEEE 802.16m AMS, IEEE 802.11 STA và IEEE 802.15.1.....	21
Hình 1.9. Các chức năng giao thức đối với một ARS .....	22
Hình 1.10. Luồng xử lý mặt phẳng số liệu của IEEE 802.16m AMS/ABS .....	23
Hình 1.11. Luồng xử lý mặt phẳng điều khiển của IEEE 802.16m ABS/AMS .....	24
Hình 1.12.Xử lý gói IP tại máy phát BS và máy thu MS trong IEEE 802.16m.....	25
Hình 1.13. Ngăn xếp giao thức của trạm chuyển tiếp IEEE 802.16m. ....	27
Hình 1.14. Kết cuối giao thức trong mạng được phép chuyển tiếp.....	29
Hình 1.15. Kiến trúc giao thức chung để hỗ trợ khai thác đa sóng mang. ....	30
Hình 1.16. Phân chia chức năng E-MBS thành các thành phần.....	31
Hình 1.17. Biểu đồ chuyển đổi trạng thái trạm di động IEEE 802.16m .....	32
Hình 1.18. Hành vi trạng thái ổn định của IEEE 802.16.....	33
Hình 1.19. Các thủ tục của trạng thái khởi đầu .....	33
Hình 1.20. Các thủ tục của trạng thái truy nhập.....	34
Hình 1.21. Các thủ tục của trạng thái kết nối .....	35
Hình 1.22. Các thủ tục của trạng thái rời.....	36
Hình 2.1. Cấu trúc lớp MAC của WiMAX .....	39
Hình 2.2. Các nhiệm vụ cơ bản được thực hiện tại lớp MA .....	40
Hình 2.3. Nén tiêu đề trongWiMAX .....	42
Hình 2.4. Các bước nén và giải nén tiêu đề trong WiMAX .....	43

Hình 2.5. Kết cấu MAC PDU.....	44
Hình 2.6. Cấu trúc MAC PDU và tiêu đề WiMAX. a) Cấu trúc MAC PDU, b) tiêu đề chung, c) tiêu đề yêu cầu băng thông và báo cáo công suất đường lên. ....	46
Hình 2.7. Hỗ trợ QoS của WiMAX.....	48
Hình 2.8. Các bước của quá trình nhập mạng .....	53
Hình 2.9. Thủ tục định cự ly và điều chỉnh thông số tự động trong WiMAX .....	55
Hình 2.10. Tạo lập luồng dịch vụ mới khởi xướng bởi MS. ....	56
Hình 2.11. Tạo lập luồng dịch vụ mới khởi xướng bởi BS. ....	57
Hình 2.12. Khai thác chế độ ngủ trong WIMAX .....	58
Hình 2.13. Thí dụ chia vùng tìm gọi .....	59
Hình 2.14. Phát hiện chuyển giao trên cơ sở cường độ trường .....	61
Hình 2.15. Minh họa kịch bản chuyển giao .....	63
Hình 2.16. Phương pháp ô dù.....	66
Hình 2.17. Quá trình chuyển giao. ....	68
Hình 2.18. Kết hợp trong MDHO đường xuống.....	70
Hình 2.19. Chọn gói trong MDHO đường lên .....	71
Hình 3.1. Cấu trúc lớp vật lý của WiMAX di động .....	77
Hình 3.2. Cấu trúc sóng mang con OFDMA.....	78
Hình 3.3 Cấu hình sóng mang con cho 1024-FFT OFDMA DL FUSC .....	79
Hình 3.4. Sơ đồ hoán vị sóng mang con của FUSC .....	80
Hình 3.5. Sơ đồ hoán vị sóng mang con DL PUSC (đối với trường hợp FFT 2048) .....	81
Hình 3.6. Các cấu trúc DL PUSC và UL PUSC.....	83
Hình 3.7. Sơ đồ hoán vị cho UL PUSC 4x3 .....	83
Hình 3.8. Sơ đồ hoán vị cho UL OPUSC 3x3 (tùy chọn) .....	84
Hình 3.9. Các cấu hình kênh con được tổ chức theo BIN trong AMC .....	86
Hình 3.10. Cấu trúc khung OFDMA TDD (chỉ cho vùng bắt buộc).....	87
Hình 3.11. Cấu trúc khung cơ sở cho các băng thông 5, 10, 20 MHz.....	90
Hình 3.12. Cấu trúc khung TDD và FDD với CP bằng $1/8T_u$ (Tỷ lệ DL trên UL bằng 5:3) .....	91
Hình 3.13. Cấu trúc khung cho TDD và FDD với CP= $1/16T_u$ (tỷ lệ DL trên UL là 5:3)92	
Hình 3.14. Thí dụ về các miền thời gian trong chế độ FDD .....	93
Hình 3.15. Thí dụ về cấu trúc vật lý đường xuống.....	93

Hình 3.16. Khai thác đa ô với FFR (Fractional Frequency Reuse: tái sử dụng tần số một phần) trong đó FRF=3.....	94
Hình 3.17. UL PRU và DL PRU cho khung con kiểu 1, kiểu 2 và kiểu 3.....	95
Hình 3.18. Sắp xếp đơn vị tài nguyên đường xuống.....	96
Hình 3.19. Mẫu hoa tiêu đường xuống : a) cho một luồng số liệu, b) cho hai luồng số liệu .....	98
Hình 3.20. Thí dụ về cấu trúc vật lý đường lên.....	99
Hình 3.21. Minh họa sắp xếp đơn vị tài nguyên đường lên .....	100
Hình 3.22. Các mẫu hoa tiêu đường lên cho một và hai luồng .....	102
Hình 3.23. Sơ đồ phân tập phát sử dụng mã không gian (nửa trên hình vẽ) và không gian thời gian (tất cả hình vẽ).....	105
Hình 3.24. Sơ đồ mã hóa ngang (a) và đứng (b) cho hai anten phát .....	105
Hình 3.25. Cấu trúc PUSC cho hai anten phát đường xuống theo mã STC mẫu A.....	106
Hình 3.26. Cấu trúc lát của UL PUSC cho hai anten phát đường lên theo STC mẫu A. ....	106
Hình 3.27. Mã phân tập nhảy tần, FHDC.....	108
Hình 3.28. Sơ đồ khối chung cho MIMO vòng kín của WiMAX.....	109
Hình 3.29. Chuyển mạch thích ứng cho các chế độ MIMO .....	112
Hình 3.30. Kiến trúc MIMO đường xuống .....	113
Hình 3.31. Kiến trúc MIMO đường lên .....	118
Hình 3.32. Bộ mã hóa turbo trong hệ thống WiMAX.....	121
Hình 3.33. Đan xen và tạo ra các khối con.....	122
Hình 3.34. HARQ kiểu II với phần dư tăng .....	123
Hình 3.35. Tái sử dụng tần số một phần .....	124
Hình 3.36. Hỗ trợ MBS nhúng bằng các vùng MBS.....	125
Hình 3.37. Cấu trúc ký hiệu định cự ly .....	127
Hình 4.1. WLAN và LAN .....	131
Hình 4.2. Hệ thống WLAN .....	133
Hình 4.3. Mô hình OSI và các giao thức cho mạng WLAN .....	134
Hình 4.4. Mạng BSS .....	137
Hình 4.5. Mạng IBSS .....	138
Hình 4.6. Mạng ESS .....	138
Hình 4.7. Chế độ cơ sở hạ tầng của WLAN.....	140

Hình 4.8. Chế độ Ad-Hoc của WLAN .....	140
Hình 4.9. Các băng tầnISM không cần cấp phép .....	141
Hình 4.10. Khuôn dạng khung của 802.11.....	144
Hình 4.11. Các kỹ thuật điều chế .....	146
Hình 4.12. 14 kênh băng thông 22 MHz (11 kênh theo FCC) với ba kênh không chòng lấn: 1, 6, 11.....	147
Hình 4.13. So sánh ốc độ số liệu và phủ sóng.....	149
Hình 4.14. Nhận thực, liên kết, liên kết lại của 802.11.....	156
Hình 4.15. Phương pháp truy nhập cơ sở.....	162
Hình 4.16. Biểu đồ thời gian cho trường hợp truyền dẫn các đoạn thành công.....	163
Hình 4.17. Biểu đồ thời gian cho trường hợp truyền đoạn thất bại và phát lại .....	163
Hình 4.18. Biểu đồ thời gian cho siêu khung vao gồm CFP và CP .....	164
Hình 4.19. Biểu đồ thời gian của các cuộc truyền thành công trong hoạt động PCF. ....	164
Hình 4.20. Biểu đồ thời gian của một cuộc truyền đường lên thành công và không thành công trong hoạt động PCF. .....	165
Hình 4.21. Biểu đồ thời gian phát lại CF-Poll.....	165
Hình 4.22. Cấu trúc khung được đơn giản hóa của một gói số liệu 802.11 .....	167
Hình 4.23. Các ô gây nhiễu đồng kênh trong 802.11a và 802.11b .....	169
Hình 4.24. Truy nhập kênh gói của 801.11 .....	170
Hình 5.1. Mạng ad hoc .....	172
Hình 5.2. Mô hình năm lớp để thiết kế giao thức mạng.....	179
Hình 5.3. Mạng không kết nối.....	184
Hình 5.4. Lát cắt vùng dung lượng của mạng 5 nút dọc theo mặt phẳng $R_{ij}$ , $\{i, j\} \neq \{12\}$ , $\{34\}$ , $i \neq j$ . a) định tuyến một chặng không tái sử dụng không gian, b) định tuyến đa chặng, không tái sử dụng không gian, c) định tuyến đa chặng có tái sử dụng không gian, d) bổ sung điều khiển công suất hai mức cho c).....	193
Hình 5.5. MIMO cộng tác. ....	195
Hình 6.1. Các quỹ đạo vệ tinh trong các hệ thống thông tin vệ tinh .....	200
Hình 6.2. Vệ tinh hai băng tần AMSC .....	205
Hình 6.3. a) các quỹ đạo vệ tinh Molnya; b) cấu hình hệ thống thông tin di động vệ tinh ASMC và Archimedes. ....	206
Hình 6.4. Cấu trúc chung của một hệ thống thông tin LEO/MEO.....	207
Hình 6.5. Cấu trúc vệ tinh Globalstar.....	208

Hình 6.6. Các tiêu điểm $F_1, F_2$ , bán trục chính $a$ và bán trục phụ $b$ đối với một elip.....	211
Hình 6.7. Định luật Kepler thứ hai.....	211
Hình 6.8. Độ cao viễn điểm $h_a$ , cận điểm $h_p$ , góc nghiêng $i$ và $L_a$ , đường nối các điểm cực.....	213
Hình 6.9. Các quỹ đạo đồng hướng và ngược hướng.....	214
Hình 6.10. Agumen của cận điểm $\omega$ và góc lên đúng của nút lên $\Omega$ .....	214
Hình 6.11. Hình học sử dụng để xác định góc nhìn vệ tinh địa tĩnh .....	219
Hình 6.12. a) Hình cầu liên quan đến hình 6.12; b) tam giác phẳng nhận được từ hình 6.12.....	220
Hình 6.13. Các góc phương vị liên quan đến góc $A$ (xem bảng 6.4).....	221
Hình 6.14. Minh họa giới hạn tầm nhìn .....	222
Hình 6.15. Các cấu hình truyền dẫn FDMA. a) FDM/FM/FDMA; b)TDM/PSK/FDMA; c) SCPC/FDMA .....	223
Hình 6.16. Thí dụ về một hệ thống FDMA ba trạm sử dụng định tuyến "một sóng mang trên một trạm" .....	224
Hình 6.17. Phổ của bộ phát đáp FDMA và nhiễu kênh lân cận .....	225
Hình 6.18. Sản phẩm điều chế giao thoa bởi hai tín hiệu (các sóng mang không bị điều chế). a) có biên độ bằng nhau; b) và c) có biên độ khác nhau. ....	226
Hình 6.19. Đặc tính truyền đạt của bộ khuếch đại phi tuyến ở chế độ đa sóng mang ( $n > 1$ ) .....	227
Hình 6.20. TDMA sử dụng một trạm chuẩn để đồng bộ thời gian .....	229
Hình 6.21. Nguyên lý truyền dẫn cụm cho một kênh.....	230
Hình 6.22 Các khối cơ bản trong hệ thống TDMA (chẳng hạn trạm mặt đất A).....	231
Hình 6.23. Cấu trúc khung và cụm trong hệ thống TDMA.....	232
Hình 6.24. SORF trong kế hoạch định thời cụm .....	233
Hình 6.25. Quan hệ định thời trong hệ thống TDMA. SORF: khởi đầu khung thu; SOTF: khởi đầu khung phát.....	235
Hình 6.26. Khuôn dạng khung của kênh báo hiệu chung (CSC) .....	237
Hình 6.27. Khung TDMA được ấn định trước trong hệ thống Intelsat.....	238
Hình 6.28. Cấu trúc cụm lưu lượng Intelsat .....	239
Hình 6.29. Nội suy tiếng; DSI= nội suy tiếng số; DNI= không nội suy .....	240
Hình 6.30. a) bộ phát SPEC; b) bộ thu SPEC .....	241
Hình 6.31. Chuyển mạch vệ tinh với ba búp hép .....	242

Hình 6.32. Ma trận chuyển mạch các đường truyền vô tuyến .....	243
Hình 6.33. Hệ thống thông tin vệ tinh CDMA cớ sở .....	243
Hình 6.34. Sơ đồ bắt mã trong hệ thống thông tin vệ tinh CDMA .....	244
Hình 6.35. a) Vòng khóa trễ pha; b) đặc tuyến lỗi .....	244
Hình 7.1. a) Các anten trạm mặt đất và vệ tinh được đồng chỉnh để đạt được khuyếch đại cao nhất; b) trạm mặt đất nằm ở một "vết phủ" của vệ tinh và anten trạm mặt đất không được đồng chỉnh.....	250
Hình 7.2. Nhiệt độ tạp âm không thể giảm được của một anten mặt đất. Anten được coi rằng có búp rất hẹp và không có các búp bên hoặc tồn hao điện. Dưới 1GHz giá trị cực đại xảy ra đối với búp hướng đến các cực thiên hà. Tại các tần số cao hơn các giá trị cực đại xảy ra đối với búp ngay sát đường chân trời và các giá trị cực tiểu xảy ra đối với búp thiên đỉnh. Vùng tạp âm thấp giữa 1 và 10 GHz tốt nhất cho áp dụng các anten tạp âm thấp. ....	252
Hình 7.3. Tạp âm quy đổi đầu vào .....	253
Hình 7.4. Đường tồn hao: trở kháng và nhiệt độ được phối hợp cả hai đầu .....	254
Hình 7.5. Nối phidơ với bộ khuếch đại .....	256
Hình 7.6. Các phần tử chính gây tạp âm tại máy thu .....	256
Hình 7.7. Quan hệ giữa độ lùi đầu ra và độ lùi đầu vào cho bộ khuyếch đại đèn sóng chạy ở vệ tinh .....	261
Hình 7.8. Phụ thuộc BER vào $E_b/N_0$ cho điều chế BPSK và QPSK .....	265
Hình 7.9. a) Kết hợp đường lên và đường xuống; b) lưu đồ dòng công suất cho a).....	266
Hình 7.10. Phụ thuộc các tỷ số tín hiệu trên tạp âm vào độ lùi đầu vào .....	268
Hình 8.1 Minh họa việc chiếm dụng phô. .....	274
Hình 8.2. <i>Minh họa</i> kiến trúc mạng vô tuyến khả tri CRN.....	276
Hình 8.3. Minh họa, so sánh, vô tuyến thông thường, vô tuyến được định nghĩa bằng phần mềm SDR và vô tuyến khả tri CR.....	277
Hình 8.4. Sơ đồ khái thực hiện vô tuyến khả tri CR dựa trên SDR .....	278
Hình 8.5. Kiến trúc phân lớp tổng quát cho vô tuyến khả tri .....	279
Hình 8.7. Các chức năng truyền thông trong mạng vô tuyến khả tri CRN .....	281
Hình 8.8. Các thành phần cơ bản của vô tuyến khả tri để lựa chọn tần số động.....	282
Hình 8.9. Mạng vô tuyến khả tri hoạt động trên băng cấp phép .....	283
Hình 8.10. Mạng vô tuyến khả tri hoạt động trên băng không được cấp phép .....	283
Hình 8.11. Kiến trúc vật lí của vô tuyến khả tri: (a) Máy thu/phát của vô tuyến khả tri; (b) Kiến trúc đầu cuối RF băng rộng.....	285
Hình 8.12. Chu trình nhận thức .....	286

Hình 9.1. Bộ phát hiện nhất quán.....	290
Hình 9.2. Bộ phát hiện năng lượng.....	291
Hình 9.3. Minh họa hợp tác giữa các SU để giám vấn đề đầu cuối ẩn.....	292
Hình 9.4. Minh họa phân chia phổ băng rộng thành nhiều băng con không chồng lấn. ....	294
Hình 9.5. (a) Bộ lọc thông dài khả chỉnh; (b) Bộ dao động nội; (c) Cảm nhận phổ tần nối tiếp hai tầng.....	295
Hình 9.6. (a) Cấu trúc ngân hàng bộ lọc; (b) Các bộ phát hiện đơn băng SB song song trên mền tần số.....	297
Hình 9.7. Minh họa hiệu năng của cảm nhận sóng con.....	298
Hình 9.8. Các đường đặc tính hoạt động máy thu ROC của ba bộ phát hiện đơn băng khác nhau.....	302
Hình 9.9. Các đường cong đặc tính hoạt động máy thu ROC với số lượng SU hợp tác khác nhau.....	303

## DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1. So sánh các chuẩn IEEE 802.16, 802.16-2004 và 802.16e-2005 .....	2
Bảng 1.2. Các loại ứng dụng cho hệ thống dựa trên 802.16e.....	7
Bảng 1.3. Các yêu cầu cơ bản đối với 802.16m .....	9
Bảng 1.4. Tổng kết các bảng tần có thể sử dụng cho thông tin không dây băng rộng.....	10
Bảng 3.1. Các kiểu gói được xử lý tại lớp con hội tụ.....	40
Bảng 3.2. Các trường trong tiêu đề MAC PDU .....	45
Bảng 2.3. QoS và các ứng dụng của WiMAX .....	48
Bảng 3.4. Các tùy chọn lập biểu dịch vụ.....	51
Bảng 3.5. Các thông số trong tập các khả năng cơ sở của BS và MS .....	55
Bảng 2.6. Cân đối giữa xác suất rót và tỷ lệ chuyển giao .....	62
Bảng 3.1. Các ứng dụng của WiMAX .....	74
Bảng 3.2. Các thông số của S-OFDMA .....	77
Bảng 3.3. Ân định sóng mang con cho một ký hiệu kênh DL FUSC .....	80
Bảng 3.4. Ân định các sóng mang con trên một ký hiệu OFDM trên kênh DL PUSC....	81
Bảng 3.5. Ân định sóng mang con cho một ký hiệu OFDM trên PUSC đường lên .....	84
Bảng 3.6. Ân định sóng mang con cho một ký hiệu OFDM của OPUSC (PUSC đường lên tùy chọn). .....	84
Bảng 3.7. Các thông số OFDM .....	89
Bảng 3.8. Các dạng điều chế và mã hóa được sử dụng ở lớp vật lý.....	102
Bảng 3.9. Tốc độ số liệu vật lý cho các kênh con PUSC .....	103
Bảng 3.11. Các tốc độ số liệu cho các cấu hình SIMO/MIMO khác nhau (cho kênh 10 MHz, khung 5ms, kênh con PUSC, 44 ký hiệu OFDM số liệu).....	107
Bảng 3.12. Các tính năng tùy chọn anten tiên tiến.....	111
Bảng 3.13. Các tốc độ số liệu cho các cấu hình SIMO/MIMO khác nhau (cho kênh 10 MHz, khung 5ms, kênh con PUSC, 44 ký hiệu OFDM số liệu).....	113
Bảng 3.14. Danh sách chế độ MIMO .....	117
Bảng 3.15. Danh sách chế độ MIMO .....	119
Bảng 4.1. Mô hình tham chiếu OSI.....	133
Hình 4.3 cho thấy m hình OSI và các giao thức cho mạng WLAN .....	134

Bảng 4.1. Các băng tần vô tuyến 802.11b theo vùng địa lý .....	141
Bảng 4.1. Tốc độ số liệu và sơ đồ điều chế trong 802.11b. ....	146
Bảng 4.2. Sơ đồ điều chế và mã hóa trong chuẩn 802.11a.....	149
Bảng 4.3. Các MCS thường được hỗ trợ trong 802.11n .....	151
Bảng 4.2. Khe thời gian, CWmin, CWmax cho ba đặc tả PHY .....	162
Bảng 4.3. Tốc độ phụ thuộc khoảng cách cho các hệ thống 802.11 khác nhau .....	167
Bảng 6.1. Các ký hiệu băng tần.....	201
Bảng 6.2. Đặc tính của ba loại DOMSAT tại Mỹ .....	203
Bảng 6.4. Thí dụ về thông số vệ tinh (theo công bố của NASA).....	215
Bảng 6.4. Các góc phương vị $A_z$ từ hình 6.13 .....	221
Bảng 6.5. Các chế độ chuyển mạch.....	242
Bảng 7.1. Suy hao trong các thành phố và các vùng của tỉnh Ontario .....	262

## LỜI NÓI ĐẦU

Để đáp ứng các nhu cầu về thông tin với chất lượng và dịch vụ ngày càng nâng cao, mọi lúc mọi nơi, bên cạnh các thông tin di động, đã có rất nhiều các hệ thống thông tin vô tuyến khác được phát triển. Do kiến thức về Thông tin di động đã được đề cập trong một môn học khác, giáo trình “**Các mạng thông tin vô tuyến**” sẽ cung cấp cấp cho sinh viên các kiến thức về các mạng thông tin vô tuyến khác đang được triển khai bao gồm: WiMAX IEEE 802.16; WLAN trên cơ sở WiFi IEEE 802. 11; Mạng ad-hoc không dây; Mạng thông tin vệ tinh; và Mạng vô tuyến khả tri.

Đây là môn học tự chọn được dành cho sinh viên viễn thông năm cuối của Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông. Bài giảng có cấu trúc 08 chương. Hai chương đầu trình bày về mạng WiMAX, đề cập đến các kiến thức tổng quan về WiMAX, kiến trúc mạng WiMAX và đặc biệt tập trung vào lớp MAC và lớp vật lý của WiMAX. Chương 3 đề cập đến một mạng vô tuyến đang được triển khai rất phổ biến hiện nay là mạng cục bộ vô tuyến WLAN với các nội dung liên quan đến các chuẩn WLAN, lớp vật lý, dung lượng và hiệu năng mạng WLAN. Chương 4 trình bày các kiến thức cơ bản về mạng vô tuyến Adhoc do đã có môn học tự chọn riêng về công nghệ mạng này. Chương 5 và chương 6 tập trung giới thiệu về hệ thống thông tin vệ tinh và thiết kế đường truyền thông tin vệ tinh. Hai chương cuối, chương 7 và 8, giới thiệu hệ thống vô tuyến khả tri, một công nghệ vô tuyến mới được triển khai nhằm tận dụng hiệu quả băng tần vô tuyến và khắc phục vấn đề cạn kiệt băng tần hiện nay.

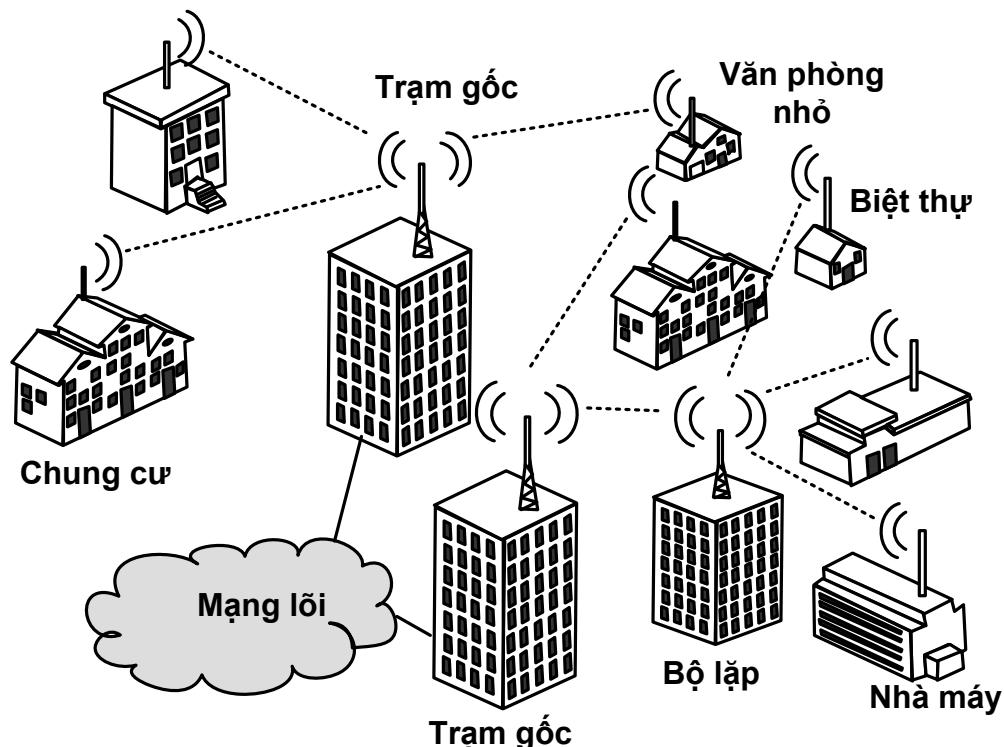
*Hà Nội ngày 22 tháng 12 năm 2016*

# CHƯƠNG 1

## TỔNG QUAN WIMAX

### 1.1 Tổng quan họ tiêu chuẩn 802.16

Họ tiêu chuẩn IEEE 802.16 (giao diện vô tuyến mạng vùng đô thị không dây) cho truy nhập băng rộng (BWA: Broadband Wireless Access) cung cấp công nghệ truy nhập "km cuối cùng" cho các điểm nóng với các dịch vụ số liệu, video và thoại tốc độ cao. Ưu điểm nổi bật nhất của BWA là giá thành lắp đặt và bảo dưỡng thấp so với các truy nhập mạng cáp đồng và cáp quang nhất là đối với các vùng xa xôi và khó lắp đặt các mạng truy nhập hữu tuyến. BWA có thể mở rộng các mạng cáp quang và cung cấp dung lượng cao hơn các mạng cáp đồng hay các đường dây thuê bao số (DSL: Digital Subsscriber Line). Các mạng không dây này có thể được lắp đặt rất nhanh bằng cách sử dụng một số trạm gốc (BS: Base Station) đặt trên các tòa nhà cao tầng hoặc một số cột để tạo nên các hệ thống truy nhập không dây tốc độ cao. Hình 1.1 cho thấy cấu hình của một mạng WMAN.



Hình 1.1. Cấu hình topo của WMAN

Thành viên đầu tiên của họ BWA là chuẩn IEEE 802.16. Chuẩn này được dự thảo đầu tiên vào 12/2001 và phiên bản cuối cùng được công bố 8/4/2002. Băng thông công tác của chuẩn này là 10-66 GHz, với truyền sóng trực xạ. Cấu hình topo của chuẩn này dựa trên mạng điểm đa điểm trong đó lưu lượng được truyền giữa một trạm gốc (BS: Base Station) và nhiều trạm thuê bao (SS: Subscriber Station). Tiêu chuẩn IEEE 802.16 được công bố vào 9/2001, với tiêu đề "Đồng tồn tại với các hệ thống truy nhập băng rộng không dây cố định" cũng bao

phủ 10-66GHz. Tiêu chuẩn 802.16.c "Các hồ sơ chi tiết cho 10-66 GHz" được dự thảo đầu tiên vào 24/5/2002 và phiên bản cuối cùng được phát hành vào 15/1/2003.

Sự sửa đổi bổ sung này đã cập nhật và mở rộng điều khoản 12 của tiêu chuẩn IEEE 802.16 2001 liên quan đến các hồ sơ về các tập tính năng và chức năng áp dụng cho các trường hợp thực hiện khai điển hình. Tuy nhiên BWA ngày càng được sử dụng nhiều cho các vùng dân cư, nên truyền trực xạ không còn thích hợp do địa hình và cây cối. Ngoài ra nhiều đa đường truyền và giá thành sử dụng lắp đặt anten ngoài trời cao. Vì thế cần sửa đổi bổ sung cho chuẩn 802.16 hiện hữu. Đây là lý do ra đời tiêu chuẩn 802.16a được ban hành vào 1/4/2003. Chuẩn này bao hàm các sửa đổi lớp MAC (Media Access Control) và nhiều đặc tả lớp vật lý cho cả băng tần cấp phép và miễn phép. Một sửa đổi đáng kể của lớp MAC là các chế độ lưới tùy chọn. Điểm khác biệt giữa chế độ điểm đa điểm (PMP: Point to Multipoint) và lưới là ở chỗ, trong chế độ PMP lưu lượng chỉ xảy ra giữa BS và các SS, còn trong chế độ lưới lưu lượng có thể định tuyến qua các SS khác và có thể trực tiếp giữa các SS. Ưu điểm của chế độ này là hoạt động vẫn được đảm bảo ngay cả khi có chướng ngại lớn như núi đồi chặn đường truyền trực xạ giữa SS và BS. Các SS bị chặn này có thể kết nối gián tiếp đến BS thông qua các SS khác. Một thay đổi đáng kể khác của lớp MAC là nó hỗ trợ nhiều đặc tả lớp vật lý, trong đó mỗi đặc tả phù hợp cho một môi trường khai thác đặc thù. Trong chuẩn 802.16a ba cấu trúc lớp vật lý (PHY) được định nghĩa: SC (Single Carrier: đơn sóng mang), 256-OFDM và 2048-OFDMA.

Chuẩn IEEE 802.16-2004 được công bố vào năm 2004 đã hợp nhất và sửa đổi các chuẩn 802.16- 2001, 802.16c và 802.16a thành bộ chuẩn chung. Trong đó 802.16- 2001 cho hoạt động trong dải tần từ 10- 66 GHz trực xạ trước đây có tên mới trong chuẩn này là WirelessMAN 802.16-SC, còn 802.16a cho băng tần dưới 11 GHz không trực xạ có ba chế độ lớp vật lý với ba tên mới sau đây: WirelessMAN 802.16-SCa, WirelessMAN 802.16-OFDM và WirelessMAN 802.16-OFDMA.

Cả hai 802.16 và 802.16a đều được sử dụng cho truy nhập không dây băng rộng cố định. Trên cơ sở chuẩn 802.16a, nhóm công tác IEEE 806.16e đã xây dựng chuẩn 802.16e bao gồm "các lớp vật lý và MAC cho khai thác cố định và di động trong băng tần cấp phép". Trong chuẩn này tính di động được bổ sung cho các SS trước đây chỉ hỗ trợ kết nối mạng cố định trong các băng tần từ 2 đến 6GHz. Bảng 1.1 so sánh các tính năng của các chuẩn 802.16, 802.16-2004 và 802.16e-2005.

Bảng 1.1. So sánh các chuẩn IEEE 802.16, 802.16-2004 và 802.16e-2005

	802.16	802.16-2004	802.16e-2005
Ngày hoàn thành	8/2002	6/2004	12/2005
Băng tần	10-66GHz	10-66GHz 2-11GHz	2-11GHz cho cố định 2-6GHz cho di động
Điều kiện kênh	LOS	LOS NLOS	NLOS
Kiến trúc MAC	Điểm đa điểm	Điểm đa điểm, lưới	Điểm đa điểm, Lưới
Sơ đồ truyền dẫn	Đơn sóng mang	Đơn sóng mang OFDM 256 hay 2048	Đơn sóng mang, 256-OFDM,

		sóng mang	S-OFDMA
Điều chế	QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64QAM
Tốc độ tổng	32-134,4Mbps	1-75Mbps	1-75Mbps
Ghép kênh	Cụm: TDM/TDMA	Cụm: TDM/TDMA/OFDMA	Cụm: TDM/TDMA/OFDMA
Tính di động	Cố định	Cố định	Cố định, di rời, sách tay, di động
Băng thông kênh	20, 25, 28MHz	1,75 MHz; 3,5MHz; 7 MHz; 14 MHz; 1,25 MHz; 5 MHz; 10 MHz; 15 MHz; 8,75 MHz	1,75 MHz; 3,5MHz; 7 MHz; 14 MHz; 1,25 MHz; 5 MHz; 10 MHz; 15 MHz; 8,75 MHz
Ký hiệu giao diện vô tuyến	WirelessMAN-SC	WirelessMAN-SCa, WirelessMAN-OFDM WirelessMAN-OFDMA WirelessHUMAN	WirelessMAN-SCa, WirelessMAN-OFDM WirelessMAN-OFDMA WirelessHUMAN
Bán kính ô điển hình	2-5 km	7-40 km	2-5 km
Ứng dụng cho WiMAX	Không	256 OFDM cho WiMAX cố định	S-OFDMA cho WiMAX di động

Chuẩn IEEE cho các mạng LAN và MAN, phần 16: “Giao diện vô tuyến cho các hệ thống truy nhập không dây băng rộng cố định và di động” đã đưa ra các sửa đổi bổ sung cho IEEE 802.16-2004 và IEEE 802.16e.2005. Chuẩn này được gọi là IEEE 802.16 -2009 hay chuẩn IEEE 802.16 kế thừa.

Chuẩn IEEE 802.16m được nghiên cứu cho hệ thống WiMAX di động đáp ứng tiêu chuẩn của IMT-2000 Advanced. Chuẩn IEEE 802.16m có các tính năng tiên tiến sau:

- IEEE 802.16m đưa thêm một số tính năng tiên tiến so với IEEE 802.16-20009 như: cấu trúc khung dựa trên khung con cho phép phát/ phát lại nhanh hơn trên đường truyền vô tuyến để đạt được trễ mặt phẳng điều khiển và mặt phẳng số liệu nhỏ hơn
- Các sô đồ phân định kênh con mới và các cấu trúc hoa tiêu hiệu quả hơn trên đường xuống và đường lên để giảm chi phí bổ sung lớp 1 và tăng hiệu suất phô
- Các cấu trúc kênh điều khiển mới và cải tiến trên đường xuống và đường lên để tăng hiệu suất và giảm trễ ổn định tài nguyên và truyền dẫn cũng như nhập và nhập lại hệ thống
- Khai thác đa sóng mang sử dụng một thực thể MAC cho phép hoạt động trong các băng liên tục và không liên tục
- Các chế độ MIMO được mở rộng và cải thiện trên đường xuống và đường lên

- Các dịch vụ đa phương và quảng bá nâng cao (E-MBS: Enhanced Multicast Broadcast Service) sử dụng các kênh điều khiển E-MBS và phân định kênh con
- Các dịch vụ dựa trên vị trí được xây dựng trên cơ sở không GPS và có GPS nâng cao
- Hỗ trợ cá ô Femto và các tính năng tự quản lý và tối ưu hóa
- Tăng dung lượng VoIP bằng cách sử dụng cấu trúc điều khiển, cấu trúc khung mới, phát lại HARQ nhanh hơn lập biếu cố định, lập biếu nhóm và giảm chí phí MAC bổ sung
- Cải thiện và tăng vùng phủ sóng kênh số liệu và kênh điều khiển cũng như quỹ đường truyền bằng cách sử dụng các sơ đồ phân tập phát cũng như các khuôn dạng truyền dẫn bền vững và thích ứng đường truyền
- Hỗ trợ kỹ thuật loại nhiễu tiên tiến bao gồm các sơ đồ MIMO đa BS, tái sử dụng tần số một phần, điều khiển công suất vòng kín và vòng hở
- Cải thiện các sơ đồ chuyển giao nội RAT (Radio Access Technology: công nghệ truy nhập vô tuyến) và chuyển giao giữa các RAT với thời gian ngắn cho chuyển giao ngắn hơn
- Các thiện các hoạt động của chế độ ngủ và chế độ rỗi
- Cải thiện hỗ trợ QoS

Chuẩn IEEE 802.16 đã được phát triển nhiều năm với sự tham gia của nhiều nhà công nghiệp. Tuy nhiên chuẩn này quá rộng và việc hợp chuẩn IEEE 802.16 chưa đảm bảo rằng thiết bị của một nhà cung cấp sẽ tương hợp với thiết bị của nhà cung cấp khác. WiMAX Forum (WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access), một tổ chức phi lợi nhuận bao gồm trên 350 thành viên, tiếp nhận công việc mà IEEE để lại. Trong số các thành viên của WiMAX Forum có các nhà cung cấp dịch vụ, các nhà cung cấp thiết bị, các nhà sản xuất bán dẫn và thiết bị. WiMAX cũng cộng tác với HiperMAN, một nhóm công tác trong Ủy ban kỹ thuật của ETSI BRAN. Sự hợp tác này dẫn đến được sự hoàn toàn hài hòa giữa ETSI HiperMAN và IEEE 802.16 thể hiện ở tài liệu bổ sung 802.16e và các chuẩn tương tác: PHY (TS 102 177v.1.6.1) và DLC (TS 102.178v.1.6.1). Hoạt động khởi thảo các tiêu chuẩn đo kiểm được sử dụng trong quá trình kiểm tra của WiMAX Forum đã được thực hiện với sự cộng tác chặt chẽ của ETSI BRAN HiperMAN, nhóm công tác WiMAX Forum và nhóm công tác chứng nhận WiMAX Forum. Với nhiều thành viên khác nhau, đại diện toàn thế giới và sự cộng tác của ETSI, WiMAX Forum đã sẵn sàng cỗ vũ việc tiếp nhận toàn cầu và hài hòa giải pháp vô tuyến băng rộng được chuẩn hóa dựa trên chuẩn vô tuyến IEEE 802.16 đảm bảo được tính tương hợp. Để đạt được mục đích này, Forum định nghĩa hiệu năng hệ thống và các hồ sơ chứng nhận bao gồm một tập con chuẩn IEEE 802.16 với các tính năng bắt buộc và tùy chọn cùng với một bộ đo kiểm tính tương tác và hợp chuẩn để kiểm tra thiết bị và đảm bảo tính tương hợp của nhiều nhà cung cấp. Vì thế nhãn chứng nhận WiMAX đảm bảo cả sự hợp chuẩn WiMAX 802.16 lẫn tính tương hợp. Các phương tiện đo kiểm cấp chứng nhận đầu tiên được thiết lập tại Cetecom Labs ở Malaga, Tây Ban Nha tháng 7 năm 2005 và các sản phẩm được cấp chứng nhận WiMAX trên chuẩn 802.16-2004 đã bắt đầu xuất hiện trên thị trường. Các phương tiện cấp chứng nhận bổ sung cũng sẽ được thiết lập để tạo

điều kiện cho quá trình cấp chứng nhận và đáp ứng các yêu cầu bổ sung cho quá trình đo kiểm cấp chứng nhận cho 802.16e cho các ứng dụng di động. Các nhóm công tác cấp chứng nhận và kỹ thuật của WiMAX Forum đang nghiên cứu cho cấp chứng nhận các sản phẩm WiMAX di động sẽ bắt đầu đưa ra vào quý 4 năm 2006 đến giữa năm 2007. Kỳ vọng rằng sẽ có nhiều sự tham gia của các thành viên hệ thống, các đối tác và nhu cầu về các sản phẩm 802.16e sẽ tăng, giá thành trên một thuê bao sẽ giảm trong 2 - 3 năm tiếp theo.

## 1.2. Các tính năng tiên tiến của WiMAX

WiMAX là giải pháp truy nhập vô tuyến băng rộng cho phép hỗ trợ nhiều tính năng tiên tiến và các khả năng linh hoạt khi lựa chọn các phương án triển khai cũng như cung cấp dịch vụ. Trong phần này ta sẽ xét các tính năng tiên tiến của WiMAX.

**Lớp vật lý dựa trên OFDM.** Lớp vật lý của WiMAX được xây dựng trên cơ sở OFDM cho phép chống lại pha định đa đường và hoạt động trong môi trường NLOS.

**Tốc độ số liệu đỉnh rất cao.** WiMAX có khả năng hỗ trợ các tốc độ số liệu đỉnh rất cao. Trong thực tế, tốc độ số liệu đỉnh lớp vật lý có thể đạt đến 74Mbps khi sử dụng băng thông 20MHz. Thông thường băng thông 10MHz với sơ đồ TDD được sử dụng theo tỷ lệ đường xuống trên đường lên 3:1 cho phép đạt được tốc độ vào khoảng 25Mbps cho đường xuống và 6,7Mbps cho đường lên. Các tốc độ đỉnh này đạt được khi sử dụng sơ đồ điều chế 64QAM với mã hóa kênh hiệu chỉnh lỗi có tỷ lệ mã 5/6 (viết tắt là 5/6 64QAM).

**Hỗ trợ băng thông và tốc độ số liệu khả định cỡ.** WiMAX có kiến trúc lớp vật lý khả định cỡ cho phép dễ dàng định cỡ băng thông khả dụng. Khả năng định cỡ được hỗ trợ trong chế độ OFDMA, trong đó có thể định cỡ kích thước FFT theo băng thông kênh. Chẳng hạn hệ thống WiMAX có thể sử dụng 128-FFT, 512-FFT hay 1024-FFT tùy theo băng thông là 1,25MHz; 5MHz hay 10MHz. Việc định cỡ có thể thực hiện động để hỗ trợ người sử dụng khi chuyển vùng giữa các mạng có băng thông khác nhau.

**Mã hóa và điều chế thích ứng (AMC).** WiMAX hỗ trợ nhiều sơ đồ mã hóa và điều chế và cho phép thay đổi các sơ đồ này theo từng khung đối với từng người sử dụng tùy theo điều kiện kênh. AMC là một kỹ thuật để đạt được thông lượng cực đại trong kênh thay đổi theo thời gian. Giải thuật thích ứng dẫn tới sử dụng sơ đồ điều chế và mã hóa phù hợp nhất đối với tình trạng kênh để vẫn đảm bảo chất lượng đường truyền nhưng cho phép truyền dẫn với tốc độ cao nhất.

**Phát lại lớp vật lý.** Đối với các kết nối đòi hỏi độ tin cậy cao, WiMAX hỗ trợ yêu cầu phát lại tự động (ARQ) tại lớp vật lý. Các kết nối được phép ARQ sẽ yêu cầu phía thu xác nhận gói được truyền. Các gói không được xác nhận sẽ bị coi rằng đã bị mất và phải phát lại. WiMAX cũng cho phép chọn HARQ (ARQ lai ghép) để áp dụng linh hoạt mã hóa kênh sửa lỗi cho ARQ.

**Hỗ trợ TDD và FDD.** IEEE 802.16-2004 và IEEE 802.16e-2005 hỗ trợ cả ghép song công phân chia theo thời gian (TDD) và ghép song công phân chia theo tần số (FDD) cũng như ghép bán song công phân chia theo tần số (HFDD) để có thể thực hiện hệ thống với giá thành thấp. TDD sẽ trở thành ứng dụng chính vì có một số ưu việt sau: (1) cho phép linh hoạt sử dụng tỷ lệ tốc độ số liệu giữa đường xuống và đường lên, (2) khả năng sử dụng tính đổi

lần của kênh, (3) khả năng áp dụng trong điều kiện phổ đơn, (4) thiết kế máy thu phát ít phức tạp hơn. Tất cả các hồ sơ ban đầu của WiMAX đều dựa trên TDD ngoại trừ hai hồ sơ WiMAX cố định trong dải tần 3,5GHz.

**Đa truy nhập phân chia theo tần số trực giao (OFDMA).** OFDMA tạo điều kiện để thực hiện phân tập tần số và phân tập người sử dụng nhờ vậy cải thiện đáng kể dung lượng hệ thống.

**Án định tài nguyên linh hoạt và động cho từng người sử dụng.** Án định tài nguyên đường lên lối đường xuống đều được thực hiện dưới sự điều khiển bởi bộ lập biếu của BS. Các người sử dụng chia sẻ dung lượng tùy theo yêu cầu bằng cách sử dụng sơ đồ ghép cụm theo thời gian. Khi sử dụng chế độ OFDMA-PHY (OFDMA lớp vật lý), ghép kênh còn được thực hiện trong miền tần số bằng cách án định các tập con sóng mang cho các người sử dụng khác nhau. Tài nguyên cũng có thể được án định trong miền không gian bằng cách sử dụng các hệ thống anten tiên tiến (AAS). Tiêu chuẩn cho phép án định các tài nguyên băng thông trong miền thời gian, tần số và không gian và có kỹ thuật kinh hoạt để truyền thông tin về án định tài nguyên theo từng khung.

**Hỗ trợ các kỹ thuật anten tiên tiến.** WiMAX đưa vào thiết kế lớp vật lý một số tính năng cho phép sử dụng các kỹ thuật đa anten như tạo búp, mã hóa không gian thời gian và ghép kênh không gian. Các sơ đồ này được sử dụng để cải thiện tổng dung lượng hệ thống bằng cách sử dụng nhiều anten tại máy phát hoặc (và) nhiều anten tại máy thu.

**Hỗ trợ QoS.** Lớp MAC có kiến trúc định hướng theo kết nối được kết nối để hỗ trợ các ứng dụng khác nhau bao gồm cả tiếng và các dịch vụ đa phương tiện. Hệ thống cho phép hỗ trợ các luồng lưu lượng tốc độ bit không đổi, tốc độ bit khả biến, thời gian thực và phi thời gian thực cùng với lưu lượng số liệu nỗ lực nhất. WiMAX MAC cũng được thiết kế để hỗ trợ số lượng lớn người sử dụng có nhiều kết nối trên một đầu cuối, trong đó mỗi kết nối có một QoS riêng.

**An ninh nghiêm ngặt.** WiMAX hỗ trợ mật mã mạnh bằng cách sử dụng AES (Advanced Encryption Standard: chuẩn mật mã tiên tiến) và các giao thức bảo mật cũng như quản lý khóa mạnh. Hệ thống cũng đưa ra kiến trúc nhận thực rất linh hoạt dựa trên giao thức nhận thực khả mở rộng (EAP: Extensible Authentication Protocol) cho phép sử dụng các chứng nhận người sử dụng khác nhau như: tên người sử dụng/ mật khẩu, các chứng nhận số và các thẻ thông minh.

**Hỗ trợ tính di động.** Phương án WiMAX di động của hệ thống có các cơ chế để hỗ trợ chuyển giao xuyên sê và an toàn cho các ứng dụng hoàn toàn di động với trễ cho phép như VoIP. Hệ thống cũng có các cơ chế tiết kiệm công suất để kéo dài thời hạn acqui trong các máy cầm tay. Các tăng cường lớp vật lý như ước tính kênh thường xuyên hơn, sắp xếp kênh con đường lên và điều khiển công suất cũng được đưa vào tiêu chuẩn để hỗ trợ các ứng dụng di động.

**Kiến trúc dựa trên IP.** WiMAX Forum đã định nghĩa kiến trúc mạng tham chuẩn dựa trên nền tảng toàn IP. Tất cả các dịch vụ đầu cuối đều được truyền trên một kiến trúc IP

dựa trên các giao thức IP cho truyền tải đầu cuối đầu cuối, quản lý phiên QoS, an ninh và di động.

### 1.3 WiMAX di động

WiMAX di động được xây dựng trên chuẩn IEEE 802.16e và IEEE 802.16m là một giải pháp không dây băng rộng cho phép hội tụ các mạng di động và cố định thông qua một công nghệ vô tuyến băng rộng vùng rộng chung và một kiến trúc mạng linh hoạt. Giao diện vô tuyến của WiMAX di động tiếp nhận đa truy nhập phân chia theo tần số trực giao (OFDMA) để cải thiện hiệu năng cho các môi trường truyền dẫn không trực xạ. S-OFDMA (OFDMA khả định cỡ) được đưa vào 802.16e để hỗ trợ băng thông khả định cỡ từ 1,25 đến 20 MHz. Nhóm kỹ thuật di động (MTG: Mobile Technical Group) trong WiMAX Forum đã phát triển các hồ sơ hệ thống WiMAX di động để định nghĩa các tính năng bắt buộc và tùy chọn của chuẩn IEEE. Các tính năng này cần thiết để xây dựng giao diện vô tuyến hợp chuẩn với chứng nhận của WiMAX Forum. Hồ sơ hệ thống WiMAX di động cho phép lập cấu hình các hệ thống di động dựa trên một tập các tính năng cơ sở chung để đảm bảo hoạt động tương hợp cho các thiết bị đầu cuối và các trạm gốc. Một số phần tử của hồ sơ trạm gốc được đặc tả tùy chọn để đảm bảo tính linh hoạt khi triển khai trong các trường hợp đặc biệt đòi hỏi cấu hình khác (chẳng hạn để tối ưu hóa dung lượng hoặc vùng phủ). Phát hành 1 của các hồ sơ WiMAX di động sẽ bao phủ các băng thông 5; 7; 8,75; 10 MHz cho các ấn định phổ tần trong các băng cấp phép: 2,3 GHz; 2,5 GHz; 3,3 GHz và 3,5 GHz.

WiMAX Forum đã định nghĩa một số ứng dụng cho các hệ thống sử dụng 802.16e và nghiên cứu các mô hình lưu lượng và ứng dụng cho chúng. Các ứng dụng này được chia thành năm loại. Các loại ứng dụng này được tổng kết trong bảng 1.2 dưới đây cùng với các thông số trễ và jitter để đảm bảo yêu cầu chất lượng của người sử dụng.

Bảng 1.2. Các loại ứng dụng cho hệ thống dựa trên 802.16e

Loại	Ứng dụng	Băng thông		Trễ		Jitter	
1	Trò chơi tương tác đa lớp	Thấp	50 kbps	Thấp	<25ms	Không áp dụng	
2	VoIP & Hội nghị truyền hình	Thấp	32 đến 64 kbps	Thấp	<160 ms	Thấp	<50 ms
3	Phương tiện luồng	Thấp đến cao	5 kbps đến 2 Mbps	Không áp dụng		Thấp	<100 ms
4	Duyệt Web và bản tin tức thời	Trung bình	10 kbps đến 2 Mbps	Không áp dụng		Không áp dụng	
5	Tải xuống nội dung phương tiện	Cao	> 2Mbps	Không áp dụng		Không áp dụng	

Nhóm công tác mạng của WiMAX Forum (NWG: Network Working Group) đang phát triển các tiêu chuẩn kết nối mạng lớp cao cho các hệ thống WiMAX di động vì chuẩn IEEE 802.16e chỉ định nghĩa các vấn đề liên quan đến giao diện vô tuyến. Nỗ lực kết hợp của IEEE 802.16 và WiMAX Forum sẽ hỗ trợ việc đưa ra được giải pháp đầu cuối đầu cuối cho một mạng WiMAX di động.

Các hệ thống WiMAX di động hỗ trợ khả năng định cỡ trong cả công nghệ truy nhập vô tuyến và kiến trúc mạng. Một số tính năng được WiMAX di động hỗ trợ là:

1. **Tốc độ số liệu cao:** Bao gồm cả các kỹ thuật anten MIMO kết hợp với các sơ đồ phân kênh con linh hoạt. Mã hóa và điều chế tiên tiến cho phép công nghệ WiMAX di động hỗ trợ tốc độ số liệu đỉnh lên đến 63 Mbps trên đoạn ô và tốc độ số liệu đỉnh đường lên lên đến 28 Mbps trên đoạn ô trong kênh 10 MHz
2. **Chất lượng dịch vụ (QoS):** Điểm căn bản của kiến trúc IEEE 802.16 MAC là QoS. Nó định nghĩa các luồng dịch vụ để có thể sắp đặt chúng lên các điểm mã DiffServ hoặc các nhãn MPLS để truyền IP đầu cuối đầu cuối theo QoS. Ngoài ra việc phân chia các kênh con và các sơ đồ báo hiệu dựa trên MAP cũng cung cấp một cơ chế linh hoạt để lập biểu tối ưu các tài nguyên không gian, tần số và thời gian trên giao diện vô tuyến theo từng khung.
3. **Khả định cỡ:** Việc phân bổ tài nguyên tần số cho thông tin không dây băng rộng rất khác nhau. Vì thế công nghệ WiMAX di động phải được thiết kế để có thể định cỡ theo các kênh khác nhau với băng thông từ 1,25 MHz đến 20 MHz.
4. **An ninh:** WiMAX di động sẽ đảm bảo các tính năng an ninh tốt nhất với: nhận thực dựa trên EAP (Extensible Authentication Protocol: giao thức nhận thực khả mở rộng), mật mã hóa với nhận thực dựa trên AES-CCM, CMAC và HMAC dựa trên các sơ đồ bảo vệ bản tin điều khiển. Hỗ trợ tập các chứng nhận người sử dụng khác nhau bao gồm: SIM/USIM, thẻ thông minh, chứng nhận số và các sơ đồ tên người sử dụng/ mật khẩu dựa trên các phương pháp EAP cho kiểu chứng nhận
5. **Di động:** WiMAX di động hỗ trợ các sơ đồ chuyển giao tối ưu với trễ thấp hơn 50 ms để đảm bảo các ứng dụng thời gian thực như VoIP. Các sơ đồ quản lý khóa linh hoạt đảm bảo an ninh trong quá trình chuyển giao.

Cùng với việc hoàn thiện chuẩn IEEE 802.16e, nhóm WiMAX đang chuyển sang phát triển và xác nhận các hồ sơ hệ thống WiMAX dựa trên tiêu chuẩn mới này. Tất cả các hồ sơ WiMAX di động đều sử dụng S-OFDMA cho lớp vật lý. Ít nhất là lúc đầu tất cả các hồ sơ di động đều sử dụng MAC điểm đa điểm. Cũng cần lưu ý rằng tất cả các hồ sơ chứng nhận di động ứng cử đều dựa trên TDD. Mặc dù TDD được ưa dùng hơn, vẫn cần có các hồ sơ FDD trong tương lai để đáp ứng các yêu cầu luật lệ và phổ kíp trong một số băng.

Cũng cần lưu ý rằng các chuẩn IEEE 802.16-2004 và IEEE 802.16e-2005 chỉ giới hạn cho các khía cạnh của mặt phẳng điều khiển và số liệu của giao diện vô tuyến. Một số khía cạnh của quản lý mạng được định nghĩa trong IEEE 802.16g. Đối với một hệ thống đầy đủ, nhất là di động, cần đặc tả thêm một số khía cạnh về quản lý dịch vụ đầu cuối đầu cuối. Nhiệm vụ này được thực hiện trong nhóm công tác mạng của WiMAX Forum (WiMAX

NWG: WiMAX Network Working Group). WiMAX NWG phát triển kiến trúc mạng đầu cuối đầu cuối và hoàn thiện một số phần còn thiếu.

Mục đích của IEEE 802.16m là để đáp ứng được các yêu cầu của IMT-Adv cho các mạng di động thế hệ sau. Bảng 1.3 dưới đây tóm tắt các yêu cầu cơ bản đối với 802.16m.

Bảng 1.3. Các yêu cầu cơ bản đối với 802.16m

Danh mục	Các yêu cầu			
Tần số trung tâm	Băng được cấp phép dưới 6GHz			
Băng thông khai thác	5-20MHz			
Song công	FDD, HFDD, TDD			
Kỹ thuật anten	Kiểu	Hướng truyền	MIMO	Tốc độ định chuẩn hóa (bps/Hz)
	Tham chuẩn	Đường xuống Đường lên	2x2 1x2	8,0 2,8
	Đích	Đường xuống Đường lên	4x4 2x4	15,0 5,6
Trễ số liệu	Đường xuống <10ms, đường lên <10ms			
Trễ chuyển trạng thái	Cực đại 10 ms			
Thời gian ngắt cho chuyển giao	Trễ chuyển giao nội tần <30ms Trễ chuyển giao giữa các tần số < 100ms			
Thông lượng và dung lượng VoIP			Đường xuống	Đường lên
	Thông lượng trung bình đoạn ô (bps/Hz/ô)		2,5	1,3
	Thông lượng trung bình người sử dụng (bps/Hz)		0,26	0,13
	Thông lượng người sử dụng biên ô (bps/Hz)		0,09	0,05
	Dung lượng VoIP (các cuộc gọi tích cực/MHz/đoạn ô)		30	30
Hiệu suất phô MBS	Khoảng cách giữa trạm gốc: 0,5km >4bps			
MBS tăng cường	Khoảng cách giữa các trạm gốc: 1,5km >2bps Thời gian ngắt cực đại để chọn lại kênh MBS: Nội tần <1s, giữa các tần số <1,5s			
Độ chính xác định vị của LBS	Dựa trên máy cầm tay: 50m ((65% CDF), 150m (95% CDF) Dựa trên mạng: 100m ((67% CDF), 300m (95% CDF)			

## 1.4. Các tùy chọn phổ cho mạng không dây băng rộng

Độ khả dụng về phổ tần là nhân tố quan trọng để cung cấp các dịch vụ không dây băng rộng. Một số băng tần có thể được sử dụng để triển khai WiMAX. Mỗi băng tần có một đặc trưng riêng và có ảnh hưởng lớn lên hiệu năng hệ thống. Bảng 1.4 tổng kết các băng tần có thể sử dụng cho thông tin không dây băng rộng.

Bảng 1.4. Tổng kết các băng tần có thể sử dụng cho thông tin không dây băng rộng.

Chỉ định cho	Ân định tần số	Khối lượng phổ	Chú thích
Truy nhập không dây cố định (FWA): 3,5GHz	Chủ yếu 3,4GHz-3,6GHz; 3,3GHz-3,4GHz và 3,6GHz-3,8GHz cũng khả dụng trong một số nước	Chủ yếu 200MHz; thay đổi từ 2x5MHz đến 2x56MHz	Nói chung không khả dụng tại Mỹ. Đoạn 50MHz từ 3,65GHz-3,7GHz được ân định cho khai thác không cấp phép tại Mỹ
Dịch vụ vô tuyến băng rộng (BRS: Broadband Radio Service): 2,5GHz	2,495GHz - 2,690GHz	Tổng cộng 194MHz; các mảnh cấp phép 22,5MHz trong đó 16,5MHz cặp đôi với 6MHz	Ân định cho Mỹ sau thay đổi kế phân bổ tần số mới đây. Cũng khả dụng tại một số nước
Các dịch vụ thông tin không dây (WCS: Wireless Communication Service): 2,3GHz	2,305GHz - 2,320GHz 2,345GHz – 2,360GHz	hai băng kép 2x5MHz và hai băng đơn 5MHz	Được ân định cho Mỹ. Cũng khả dụng tại Hàn Quốc, Úc, New Zealand
Miễn phép: 2,4GHz	2,405GHz – 2,4835GHz	Một khối 80MHz	Được ân định cho Mỹ nhưng cũng khả dụng trên thế giới. Đây là băng rất chật trôi; được sử dụng cho WiFi
Miễn phép: 5GHz	5,250GHz – 5,350GHz; 5,725GHz – 5,825GHz	200MHz khả dụng tại Mỹ; 255MHz bổ sung sẽ được cấp phát	Được gọi là U-NII tại Mỹ. Khả dụng trên toàn thế giới; các băng tần thấp bị giới hạn nghiêm ngặt về công suất
Băng 700MHz UHF:	698MHz – 746MHz (thấp); 747MHz – 792MHz (cao)	Băng cao 30MHz; băng thấp 48MHz	Ân định cho Mỹ, đến nay mới chỉ đầu tàu 18MHz băng thấp. Các nước khác cũng có thể làm

			theo
Các dịch vụ không dây tiên tiến (AWS)	1,710GHz – 1,755GHz 2,110GHz – 2,155GHz	Băng kép 2x45MHz	Đầu thầu tại Mỹ. Tại các nước khác được sử dụng cho 3G

Thông thường băng tần công tác được quy định. Về phương diện toàn cầu, các băng tần 2,3MHz; 2,5MHz; 3,5MHz và 5,7MHz là có nhiều khả năng được lựa chọn cho WiMAX. WiMAX Forum đã quyết định chọn các băng này để cấp chứng nhận tương hợp cho giai đoạn đầu. Dưới đây ta sẽ mô tả ngắn gọn các băng này.

**Băng 2,5 GHz cấp phép.** Băng này nằm giữa 2,5 và 2,7 MHz đã được cấp phát tại Mỹ, Canada, Mexico, Brazil và một số nước đông nam Á khác. Tại nhiều nước băng này chỉ được sử dụng cho các ứng dụng di động; trong một số nước thông tin hai chiều không được phép sử dụng. Trong tất cả các băng khả dụng, băng này có nhiều hứa hẹn nhất cho thông tin không dây băng rộng. FCC cho phép thông tin hai chiều trong băng này từ năm 1998. Trước đây băng này được gọi là băng MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service: dịch vụ phân phối đa kênh đa điểm), hiện nay nó được gọi là băng cho các dịch vụ vô tuyến băng rộng (BRS: Broadband Radio Services). Hiện nay BRS có 195MHz, bao gồm cả băng bảo vệ và MDS (Multipoint Distribution Services: các dịch vụ phân phối đa điểm) và được sử dụng tại Mỹ trong băng thông giữa 2,495GHz và 2,690GHz. Các quy định cho phép sử dụng băng này cho các dịch vụ khác nhau: các dịch vụ cố định, sách tay và di động. Cả khai thác FDD và TDD đều được phép. Băng này được chia thành các mảnh 22,6MHz để cấp phép, trong đó mỗi mảnh gồm một cặp khối 16,5MHz và 6MHz với khoảng cách giữa các khối thay đổi từ 10MHz đến 55MHz. Điều lệ cũng cho phép sử dụng kết hợp các cấp phép. Nói chung cần thay đổi các quy định cho băng này để làm cho nó khả dụng và hấp dẫn hơn đối với WiMAX.

**Băng 2,3 MHz cấp phép.** Tại Mỹ băng này được gọi là WCS, nó cũng được sử dụng tại nhiều nước khác như Úc, Hàn Quốc và New Zealand. Các dịch vụ WiBro đang được triển khai tại Hàn Quốc sử dụng băng này. Tại Mỹ băng này bao gồm hai băng kép 5MHz và hai băng đơn 5MHz trong dải từ 2,305GHz đến 2,320GHz và từ 2,345GHz đến 2,360GHz. Hạn chế chủ yếu của băng này là quy định ngặt nghèo của FCC về phát xạ ngoài băng nhằm bảo vệ băng lân cận DARS (Digital Audio Radio Services: các dịch vụ truyền thanh số) nằm trong dải từ 2,320GHz đến 2,345GHz. Chính vì thế gây khó khăn cho các dịch vụ băng rộng nhất là các dịch vụ di động tại các vùng tần số gần DARS nhất của băng này.

**Băng cấp phép 3,5GHz.** Đây là băng trước hết được dành cho truy nhập cố định tại nhiều nước trên toàn cầu (trừ Mỹ). Tại Mỹ, FCC vừa mới án định 50MHz phổ tần trong dải từ 3,65 đến 3,70GHz cho việc sử dụng miễn phép công suất cao với quy định hạn chế các giao thức truyền dẫn bao hàm cả WiMAX. Đối với các nước khác, băng này nằm trong vùng gần 3,4 đến 3,6 MHz với quy định mới nhất trong dải từ 3,3GHz đến 3,4GHz và 3,6GHz đến 3,8GHz. Băng thông khả dụng thay đổi tùy theo từng nước, nhưng nói chung là vào khoảng 200MHz. Băng khả dụng được chia thành nhiều cấp phép với thay đổi từ 2x5MHz đến 2x56MHz. Các quy định kết hợp cấp phép cũng thay đổi theo từng nước. Trong khi một số nước chỉ cho phép khai thác FDD, thì một số nước lại cho phép khai thác cả FDD và TDD.

Trong hầu hết các nước, các quy định hiện thời không cho phép các ứng dụng di động và di rời. Hy vọng rằng tới đây các quy định sẽ linh hoạt hơn đối với cả WiMAX. WiMAX Forum đã cam kết sẽ làm việc với các nhà làm luật trên thế giới để đạt được sự linh hoạt này. Tuy nhiên, tổn hao truyền sóng vô tuyến rất lớn trong băng tần này gây khó khăn cho việc sử dụng nó cho các dịch vụ di động và di rời.

**Băng tần 5 GHz miễn phép.** Băng tần miễn phép nằm trong dải từ 5,25 GHz đến 5,85 GHz được WiMAX rất quan tâm. Đây là băng tần khả dụng trên toàn thế giới. Tại Mỹ nó là một bộ phận của băng tần U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure: hạ tầng thông tin quốc gia miễn phép), nó có 200MHz phổ cho việc sử dụng ngoài trời. Vì mọi người đều có thể sử dụng không mất tiền, nên nó là mảnh đất tốt để triển khai WiMAX, nhất là các vùng xa xôi, dân cư thưa thớt. Băng thông khả dụng rộng có thể cho phép các nhà khai thác điều phối tần số và giảm bớt nhiễu liên quan đến việc sử dụng các băng tần miễn phép, nhất là tại các thị trường mức độ sử dụng thấp. Ngoài ra do tần số cao kèm theo quy định hạn chế công suất trong băng dẫn đến việc thực hiện các dịch vụ di động và di rời rất khó khăn. Ngay cả các dịch vụ cố định trong nhiều trường hợp cũng phải sử dụng anten ngoài trời tại trạm thuê bao. Trong băng 5 GHz, dải băng cao từ 5,725 MHz đến 5,850 MHz là hấp dẫn nhất đối với WiMAX. Nhiều nước cho phép công suất phát cao hơn: 4W EIRP (công suất phát xạ đẳng hướng tương đương) trong băng này so với quy định 1W EIRP và thấp hơn trong băng 5 MHz thấp. Tại Mỹ, FCC đang xem xét các đề nghị tăng công suất phát (chẳng hạn lên đến 25 W tại các vùng mức độ sử dụng thấp). Cũng cần lưu ý rằng còn có dải phổ 80MHz miễn phép khác trong băng 2,4 GHz mà WiMAX cũng có thể sử dụng. Nếu như mức độ sử dụng trong băng này đã cao (WiFi chẵng hạn), thì có thể khả năng sử dụng WiMAX trong băng này là không lớn đặc biệt là đối với các ứng dụng điểm đến.

Mặc dù trong thời gian tới đây các băng 2,3 MHz; 2,5 MHz; 3,5 MHz; và 5,7 MHz là hấp dẫn nhất đối với WiMAX, tuy nhiên các băng khác cũng có thể sẽ được xem xét sử dụng cho WiMAX trong tương lai.

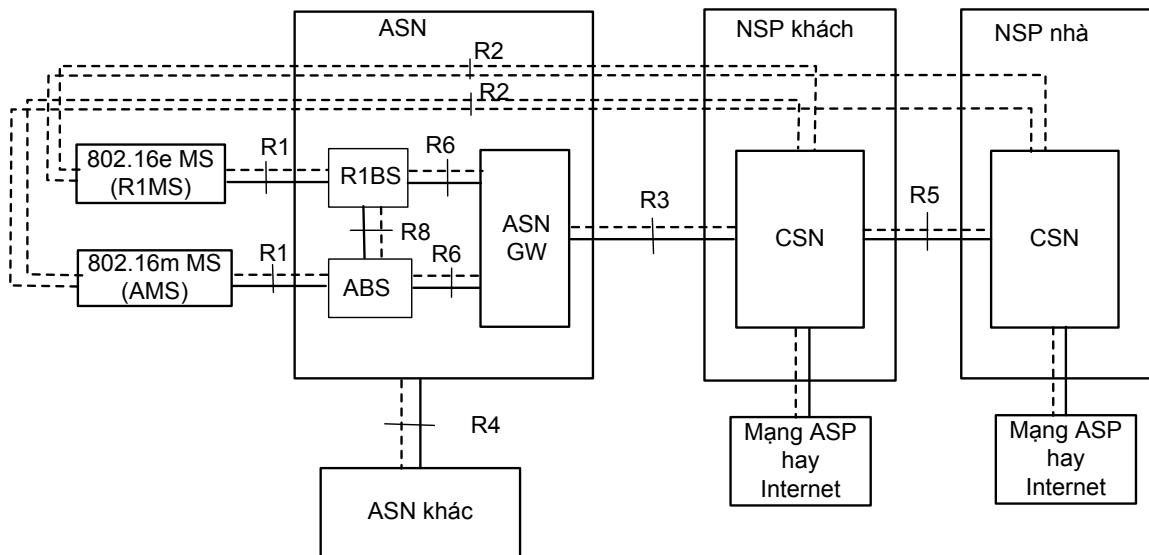
**Băng UHF.** Hiện nay các đài phát truyền hình trên thế giới đang chuyển từ tương tự sang số, vì thế có thể sẽ có một khối lượng phổ lớn khả dụng. Chẳng hạn tại Mỹ FCC đã xác định các băng tần 698MHz – 746MHz sẽ được giải phóng bởi các nhà phát truyền hình vì họ chuyển sang truyền hình số. Từ các băng này, 18MHz phổ đã được đấu thầu, 60MHz còn lại sẽ được đấu thầu trong vài năm tới. Do sự tiến triển chậm của việc tiếp nhận truyền hình số, nên các đấu thầu này bị trễ và chưa chắc là vùng phổ này sẽ có thể được sử dụng trước các năm 2009-2010. FCC cũng đã bắt đầu tìm kiếm khả năng cấp phát thêm phổ trong các băng con 700MHz cho việc sử dụng miễn phép. UHF có đặc tính truyền sóng rất tốt so với các băng vi ba khác vì thế nó rất giá trị nhất là cho các dịch vụ di động và xách tay. Phạm vi phủ sóng có thể đạt được lớn hơn trong các băng này làm cho việc triển khai kinh tế hơn nhất là đối với các ứng dụng ngoại ô và nông thôn.

**Băng AWS.** Tháng 8 năm 2006, FCC đã đấu thầu 1,710MHz-1,755MHz đi cùng với 2,110MHz-2,155MHz dùng làm phổ cho các dịch vụ không dây tiên tiến (AWS: Advanced Wireless Service) tại Mỹ. Băng này cung cấp miền phổ hấp dẫn 900MHz và băng này có thể sử dụng cho WiMAX trong tương lai.

Ngoài băng này, WiMAX có thể triển khai trong các băng dành cho 3G. Chẳng hạn tại châu Âu, các hãng khai thác 3G non trẻ lựa chọn băng này để triển khai WiMAX nếu được đồng ý. Một khả năng nữa là băng L 1,5GHz được sử dụng cho thông tin vệ tinh di động hiện nay.

## 1.5. Kiến trúc mạng WiMAX

Mô hình tham chuẩn mạng (NRM) thể hiện logic kiến trúc mạng. NRM định nghĩa các phần tử chức năng và các điểm tham chuẩn, nơi xảy ra tương tác giữa các phần tử chức năng. Hình 2.1 minh họa NRM gồm các thực thể chức năng sau: MS (Mobile Station: trạm di động), ASN (Access Service Network: mạng dịch vụ di động), CSN (Connection Service Network: mạng dịch vụ kết nối), NSP (Network Service Provider: nhà cung cấp dịch vụ mạng), NAP (Network Access Provider: nhà cung cấp truy nhập mạng).



R1 MS: trạm di động theo chuẩn IEEE Std 802.16-2009, AMS: Advanced Mobile Station: trạm di động tiên tiến theo chuẩn 802.16m, R1BS: trạm gốc theo chuẩn IEEE Std 802.16-2009, ABS: Advanced Base Station: trạm gốc theo chuẩn 802.16m. ASNGW: Access Service Network Gateway: cổng mạng dịch vụ truy nhập, ASN: Access Service Network: mạng dịch vụ truy nhập, CSN: Connection Service Network: mạng dịch vụ kết nối, NSP: Network Service Provider: nhà cung cấp dịch vụ mạng, NAP: Network Access Provider: nhà cung cấp truy nhập mạng.

Hình 1.2. Mô hình tham chuẩn WiMAX di động: IEEE 802.16e và IEEE 802.16m

ASN được định nghĩa như là một tập các chức năng mạng cần thiết để cung cấp truy nhập vô tuyến đến thuê bao IEEE Std 802.16-2009/802.16m. ASN bao gồm các phần tử mạng sau: một hay nhiều BS (Base Station: trạm gốc) và một hay nhiều cổng ASN (ASN Gateway). Một ASN có thể nối đến một hay nhiều CSN. ASN cung cấp ít nhất là các chức năng sau:

- Kết nối lớp 2 của IEEE 802.16-2009/802.16m với các thuê bao IEEE 802.16-2009/802.16m
- Chuyển các bản tin AAA đến nhà cung cấp dịch vụ mạng nhà (H-NSP: Home Network Provider) để nhận thực, trao quyền và thanh toán phiền cho các phiên của người sử dụng
- Phát hiện và chọn mạng NSP (Network Sevice Provider: nhà cung cấp dịch vụ mạng) thuận lợi đối với thuê bao IEEE 802.16-2009/802.16m

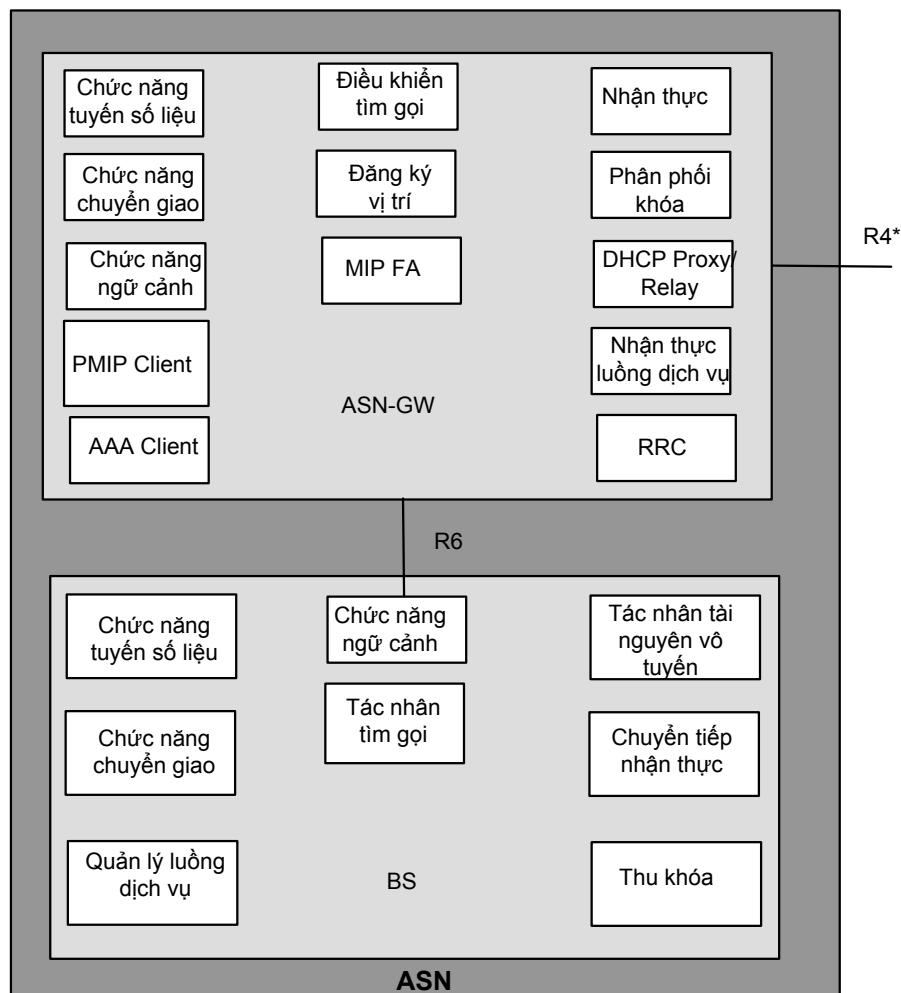
- Chức năng chuyển tiếp để thiết lập kết nối lớp 3 với MS hay ấn định địa chỉ IP cho một MS
- Quản lý tài nguyên vô tuyến (RRM)

Ngoài các chức năng trên, đối với môi trường di động và máy xách tay, ASN còn hỗ trợ các chức năng sau:

- Di động được neo bởi ASN
- Di động động được neo CSN
- Hoạt động tìm gọi và trạng thái rõ
- Truyền tunnxe ASN-CSN

ASN bao gồm các phần tử mạng như một hay nhiều trạm gốc, một hay nhiều cổng ASN (ASN Gateway). Một ASN có thể chia sẻ nhiều CSN.

Các chức năng và các giao diện của ASN được lược tả trong các WiMAX A Profile, WiMAX B Profile và WiMAX C Profile trên các hình 1.3a, b và c.



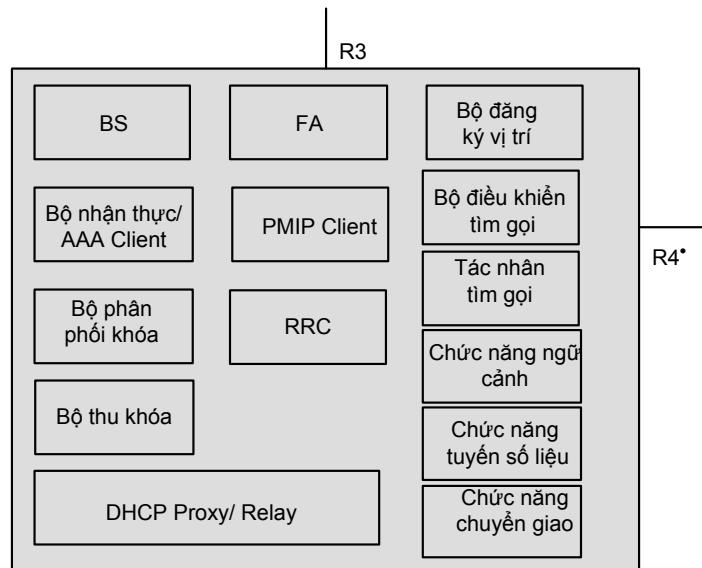
\* Di động neo bởi ASN có thể có trên R6 và R4

\* Hỗ trợ cho chức năng này là tùy chọn

MIP: Mobile Internet Protocol; IP di động, PMIP: Proxy MIP; MIP đại diện, FA:

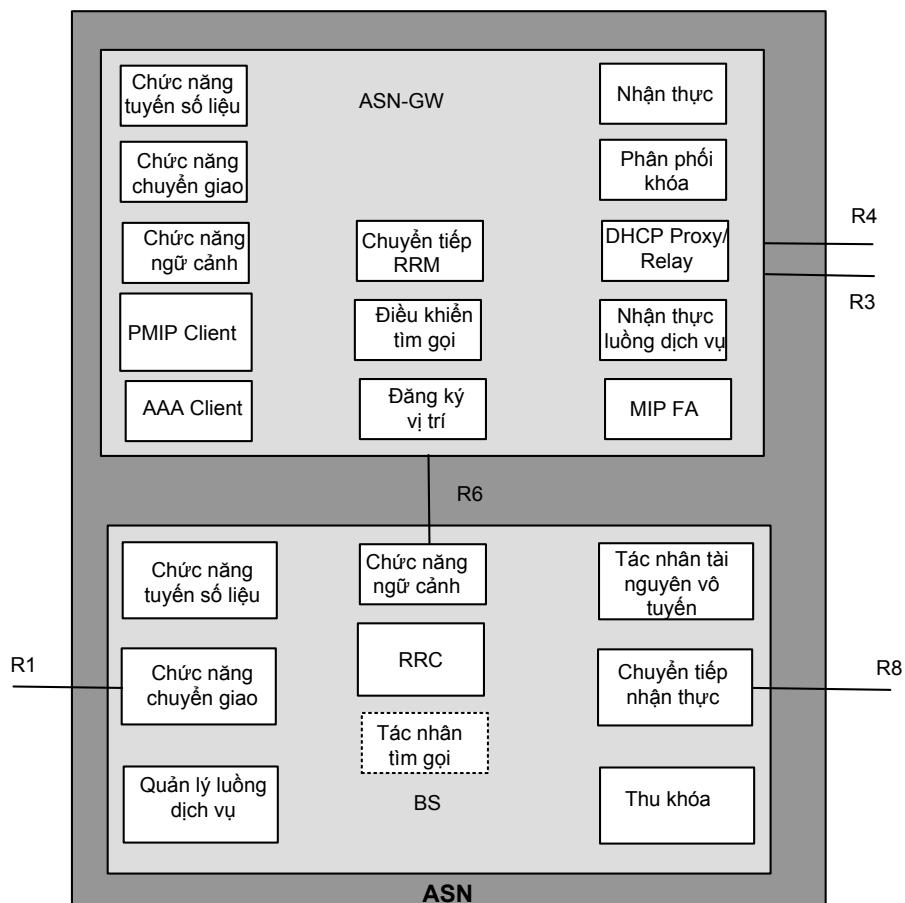
Foreign Agent: tác nhân khách, AAA: Authentication, Authorization and Accounting: nhận thực, trao quyền và thanh toán

Hình 1.3a. WiMAX A Profile cho thực hiện ASN



DHCP Proxy/Relay: Dynamic Host Configuration Protocol Proxy/ Relay: đại diện/ chuyển tiếp giao thức lập cấu hình máy tự động, PMIP: Proxy MIP: MIP đại diện, RRC: Radio Resource Control: điều khiển tài nguyên vô tuyến

Hình 1.3b. WiMAX B Profile cho thực hiện ASN



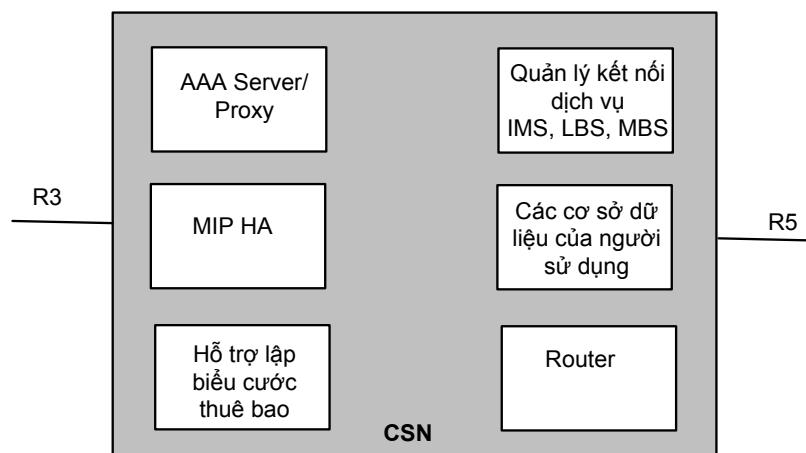
RRM: Radio Resource Management, RRC: Radio Resource Control , PMIP: Proxy MIP

Hình 1.3c. WiMAX C Profile cho thực hiện ASN

CSN được định nghĩa là một tập các chức năng mạng để cung cấp các dịch kết nối đến các thuê bao chuẩn IEEE Std 802.15-2009/IEEE 802.16m. CSN có thể cung cấp các chức năng sau:

- Ân định Địa chỉ MS IP và thông số điểm cuối cho các phiên của người sử dụng
- Truy nhập Internet
- AAA proxy (đại diện) hay Server
- Điều khiển chính sách và cho phép dựa trên các hồ sơ của các người sử dụng
- Hỗ trợ truyền tunnel giữa ASN-CSN
- Lập biểu cước cho thuê bao IEEE Std 802.16-2009/IEEE 802.16m và thanh toán cước giữa các nhà khai thác
- Truyền tunnel giữa các CSN để chuyển mạng
- Quản lý di động giữa các ASN và chức năng tác nhân IP di động nhà (MIP HA)
- Các dịch vụ mạng như kết nối các dịch vụ đồng cấp chặng hạn IMS (IP Multimedia Subsystem: phân hệ đa phương tiện IP, LBS (Location Based Service: dịch vụ dựa trên vị trí), MBS (Multicast Broadcast Service: dịch vụ đa phương quảng bá)

CSN gồm các phần tử mạng như các router, các AAA server/đại diện, các cơ sở dữ liệu của người sử dụng, các chức năng tương tác mạng. Có thể triển khai như là một môt phần của IEEE 802.16m NSP hay một phần của IEEE Std 802.16-2009 NSP chịu trách nhiệm. Mô hình tham chuẩn của ASN được cho trên hình 1.4.

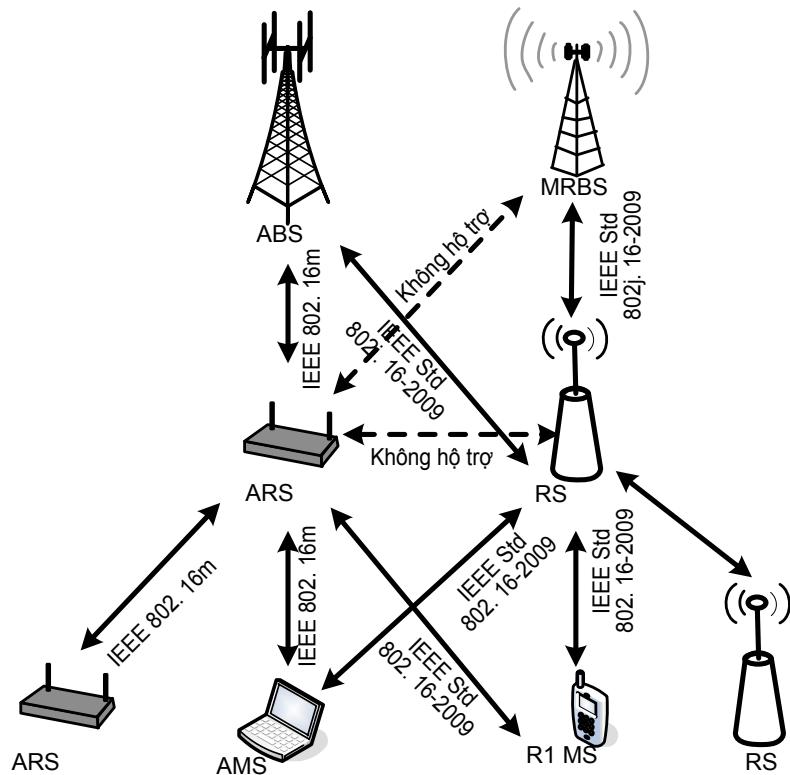


Hình 1.4. Mô hình CSN

RS (Relay Station: trạm chuyển tiếp) có thể được triển khai để cung cấp cải thiện phủ sóng và (hoặc) dung lượng.

ABS (Advanced Base Station: trạm gốc tiên tiến) có khả năng hỗ trợ IEEE Std 802.16j-2009 RS. ABS kết nối với IEEE Std 802.16j-2009 MS trong vùng Lzone. ABS không cần cung cấp hộ trợ giao thức IEEE Std 802.16j-2009 trong vùng Mzone. Thiết kế các giao thức chuyển tiếp IEEE 802.16m phải dựa trên thiết kế IEEE Std 802.16j-2009 khi có thể mặc dù các giao thức chuyển tiếp IEEE 802.16m được sử dụng trong “Mzone” có thể khác với các

giao thức IEEE 802.16-2009 được sử dụng trong Lzone. Hình 1.5 cho thấy các giao diện liên quan đến chuyển tiếp IEEE 802.16m.



ABS: Advanced Base Station: trạm gốc tiên tiến theo chuẩn 802.16m, MRBS: Multihop Relay Base Station: trạm gốc chuyên tiếp đa trạm theo chuẩn IEEE Str 802j.16-2009, ARS: Advanced Relay Station: trạm chuyển tiếp tiên tiến: trạm thực hiện chức năng chuyển tiếp theo chuẩn IEEE 802.16m, RS: Relay Station: trạm chuyên tiếp: trạm chuyên tiếp theo chuẩn IEEE Std 802.16-2009, AMS: Advanced Mobile Station: trạm di động tiên tiến theo chuẩn IEEE 802.16m, R1 MS: MS phát hành 1 theo chuẩn IEEE Std 802.16-2009

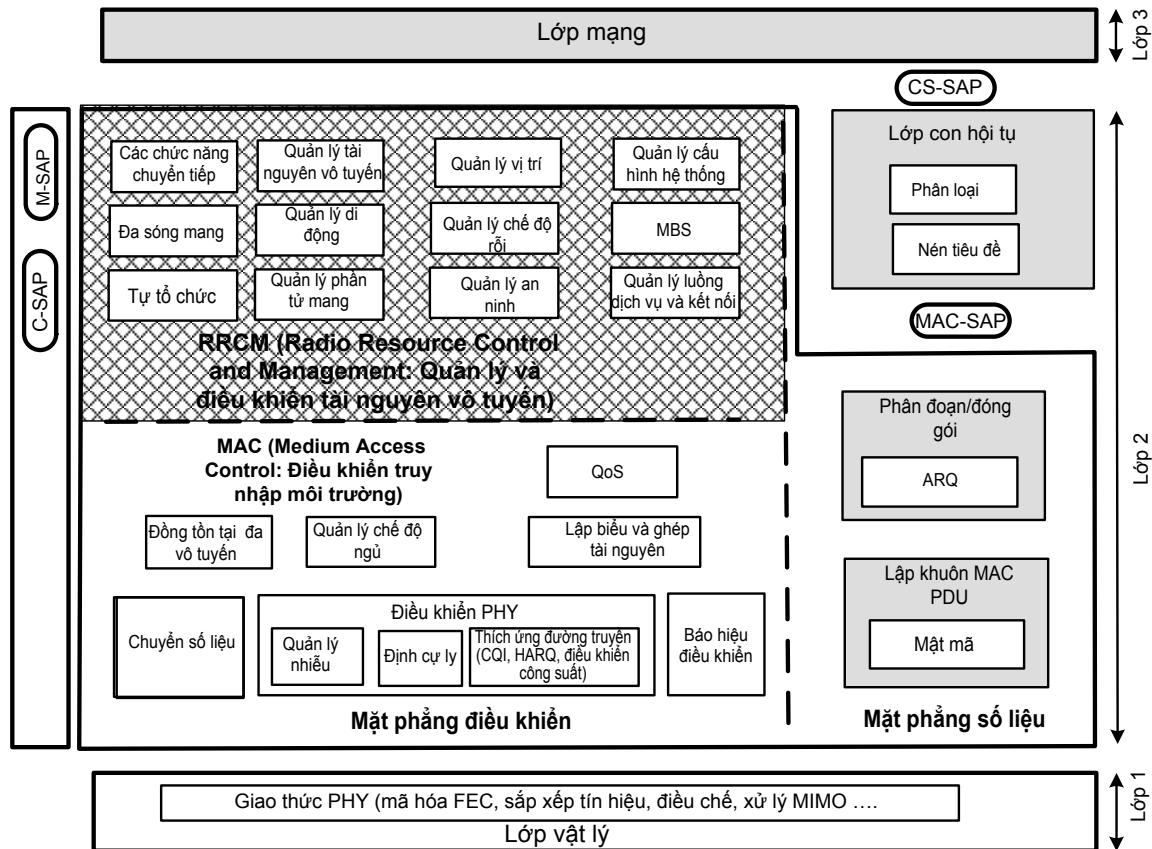
Hình 1.5. Các kết nối liên quan đến chuyển tiếp

## 1.6 Cấu trúc giao thức IEEE 802.16m

Trong phần này ta sẽ khảo sát sâu hơn các phần tử chức năng của từng lớp giao thức và tương tác giữa chúng.

### 1.6.1 Ngăn xếp giao thức tổng quan của 802.16m

Ngăn xếp giao thức tổng quan của 802.16m được cho trên hình 1.6. IEEE 802.16m MAC CPS được phân thành nhóm chức năng RRCM (Radio Resource Control and Management : quản lý và điều khiển tài nguyên vô tuyến) và nhóm chức năng MAC (Medium Access Control : điều khiển truy nhập môi trường). Các chức năng mặt phẳng điều khiển và các chức năng mặt phẳng số liệu cũng được tách riêng. Các chức năng MAC được đặt trong các mặt phẳng điều khiển và số liệu. Các chức năng RRCM bao gồm mọi số khối chức năng liên quan đến chức năng tài nguyên vô tuyến sau:



Hình 1.6. Cấu trúc ngăn xếp giao thức 802.16m

- **Quản lý tài nguyên vô tuyến.** Khối quản lý tài nguyên vô tuyến điều chỉnh các thông số của mạng vô tuyến liên quan đến tải lưu lượng và cả chức năng điều khiển tải (cân bằng tải), điều khiển cho phép và điều khiển nhiễu
- **Quản lý di động.** Khối quản lý di động hỗ trợ các chức năng liên quan đến chuyển giao giữa các RAT và nội RAT (RAT : Radio Access Technology: công nghệ truy nhập vô tuyến). Khối quản lý di động xử lý việc bắt cấu hình mạng nội RAT hoặc giữa các RAT như: quảng cáo và đo, quản lý các đích lân cận ứng cử R1 BS/ABS/RS/AMS và quyết định việc AMS có thực hiện thao tác chuyển giao nội RAT/giữa các RAT hay không
- **Quản lý truy nhập mạng.** Khối quản lý truy nhập mạng chịu trách nhiệm các thủ tục khởi đầu và truy nhập. Khối quản lý truy nhập mạng có thể tạo ra các bản tin quản lý cần thiết trong các thủ tục truy nhập như : định cự ly, đàm phán khả năng cơ sở, đăng ký v.v...
- **Quản lý vị trí.** Khối quản lý vị trí có nhiệm vụ hỗ trợ dịch vụ dựa trên vị trí (LBS : Location Based Service). Khối quản lý có thể tạo ra các bản tin chứa thông tin LBS
- **Quản lý chế độ rỗi.** Khối quản lý chế độ rỗi quản lý khai thác cập nhật vị trí trong chế độ rỗi. Khối quản lý chế độ rỗi điều khiển khai thác chế độ rỗi và tạo ra bản tin quảng cáo tìm gọi dựa trên bản tin tìm gọi từ bộ điều khiển tìm gọi trong mạng lõi

- **Quản lý an ninh.** Khối quản lý an ninh có nhiệm vụ nhận thực/ trao quyền và quản lý khóa để đảm bảo thông tin an ninh. Mật mã/giải mật mã và nhận thực được thực hiện bằng cách sử dụng khóa mật mã được quản lý,
  - **Quản lý cấu hình hệ thống.** Khối quản lý cấu hình hệ thống quản lý các thông số cấu hình hệ thống và phát thông tin cấu hình hệ thống đến AMS
  - **MBS (Multicast Broadcast Service : dịch vụ đa phương quảng bá).** Khối E-MBS (Enhanced-Multicast Broadcast Service: dịch vụ đa phương quảng bá tăng cường) điều khiển quản lý các bản tin và số liệu liên quan đến dịch vụ quảng bá và (hoặc) đa phương
  - **Quản lý luồng dịch vụ và kết nối.** Khối quản lý luồng dịch vụ và kết nối ấn định STID (Station ID : nhận dạng trạm) và FID (Flow ID : nhận dạng luồng) trong các thủ tục tạo lập luồng dịch vụ truy nhập/chuyển giao
  - **Các chức năng chuyển tiếp.** Khối chức năng chuyển tiếp bao gồm các chức năng hỗ trợ cơ chế chuyển tiếp nhiều chặng. Các chức năng này bao gồm các thu ục để duy trì tuyến chuyển tiếp giữa ABS và một ARS truy nhập. Các chức năng này bao gồm các thủ tục yêu cầu các RS/AMS báo cáo các kết quả đo đạc cho tự lập cấu hình và tự tổ chức và thu các kết quả đo này từ các RS/AMS
  - **Tự tổ chức**
  - **Đa sóng mang.** Khối đa sóng mang (MC : Multi-carrier) cho phép một thực thể MAC chung điều khiển trải rộng PHY trên nhiều kênh tần số sóng mang. Các kênh này có thể có các băng thông khác nhau (chẳng hạn 5,10 và 20 MHz) trên các băng tần liên tục hoặc không liên tục. Các kênh này có thể có các chế độ ghép sóng công gióng nhau hoặc kinh nhau (chẳng hạn FDD hay TDD) hay hỗn hợp các sóng mang song hướng và quảng bá. Đối với các kênh tần số liên tục, các sóng mang của khoảng bảo vệ chồng lấn được đồng bộ trong miền tần số để có thể sử dụng cho truyền dẫn số liệu
- Phần mặt phẳng điều khiển của nhóm MAC (Medium Access Control : điều khiển truy nhập môi trường) bao gồm các khối chức năng liên quan đến điều khiển lớp vật lý và liên kết như:
- **Điều khiển PHY.** Khối điều khiển PHY xử lý báo hiệu PHY như định cự ly, đo đạc/phản hồi (CQI) và HARQ ACK/NACK. Dựa trên CQI và HARQ ACK/NACK, khối điều khiển PHY đánh giá chất lượng kênh và thực hiện thích ứng đường truyền bằng cách điều chỉnh các sơ đồ mã hóa hóa và điều chế (MCS : Modulation and Coding Scheme) và (hoặc) mức công suất. Trong thủ tục định cự ly, khối điều khiển PHY đồng bộ đường lên bằng cách điều chỉnh công suất, dịch tần số và ước tính dịch định thời
  - **Báo hiệu điều khiển.** Khối báo hiệu điều khiển tạo ra các bản tin ấn định tài nguyên tần số

- **Quản lý chế độ ngủ.** Khối quản lý chế độ ngủ xử lý hoạt động chế độ ngủ. Khối quản lý chế độ ngủ cũng tạo ra báo hiệu MAC liên quan đến hoạt động ngủ và có thể kết nối với khối lập biểu và ghép tài nguyên để đảm bảo hoạt động đúng theo chu kỳ ngủ.
- **QoS.** Khối QoS xử lý quản lý QoS dựa trên đầu vào các thông số QoS từ khối quản lý luồng dịch vụ kết nối cho từng kết nối
- **Lập biểu và ghép tài nguyên.** Khối lập biểu và ghép tài nguyên lập biểu và ghép các gói dựa trên các tính chất của các kết nối. Để phản ảnh các thuộc tính của các kết nối, khối lập biểu và ghép tài nguyên nhận thông tin QoS từ khối QoS cho từng kết nối
- **Đồng tồn tại đa vô tuyến.** Khối đồng tồn tại đa vô tuyến thực hiện các chức năng để hỗ trợ các khai thác đồng thời của các hệ thống vô tuyến IEEE 802.16m và không phải IEEE 802.16m trên cùng một trạm di động
- **Chuyển số liệu.** Khối chuyển số liệu thực hiện các chức năng chuyển khi trên đường truyền giữa ABS và AMS có các RS. Khối chuyển số liệu có thể cộng tác với các khối khác như khối lập biểu và ghép tài nguyên và khối lập khuôn MAC PDU
- **Quản lý nhiễu.** Khối quản lý nhiễu thực hiện các chức năng để quản lý nhiễu giữa các ô/giữa các đoạn ô. Các điều khiển có thể gồm :
  - Điều khiển lớp MAC
  - Đo đặc/đánh giá nhiễu thông qua báo hiệu MAC
  - Loại nhiễu bằng lập biểu và tái sử dụng tần số linh hoạt
- Điều khiển lớp PHY
  - Điều khiển công suất
  - Ngẫu nhiên hóa nhiễu
  - Triệt nhiễu
- Đo nhiễu tạo búp/tiền mã hóa Tx
- **Điều phối giữa các ABS.** Khối điều phối giữa các ABS thực hiện các chức năng điều phối (phối hợp) các hành động của nhiều ABS bằng cách trao đổi thông tin, chia sẻ hạn quản lý nhiễu. Các chức năng này bao gồm các thủ tục trao đổi thông tin chia sẻ hạn để quản lý nhiễu giữa các ABS bởi báo hiệu đường trực tiếp giữa các ABS và bởi phát bản tin của AMS MAC....

Mặt phẳng dữ liệu gồm các chức năng MAC sau :

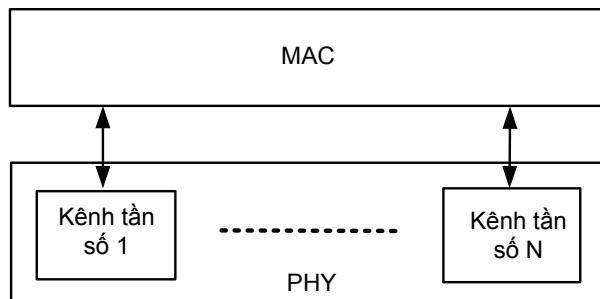
- **Phân đoạn, đóng gói.** Khối phân đoạn/dóng gói thực hiện phân đoạn hoặc đóng gói các MSDU dựa trên các kết quả lập biểu từ khối lập biểu và ghép tài nguyên
- **ARQ.** Khối ARQ xử lý chức năng MAC ARQ. Đối với các kết nối được phép ARQ, một khối ARQ logic được tạo ra từ các MSDU phân đoạn hay đóng gói của cùng một luồng. Khối ARQ này cũng tạo ra các bản tin quản lý ARQ ; bản tin phản hồi (thông tin ACK/NACK)

- Tạo khuôn MAC PDU.** Khối lập khuôn MAC PDU kết cấu PDU (đơn vị số liệu) của giao thức MAC để ABS/AMS có thể phát lưu lượng của người sử dụng hay các bản tin quản lý trên kênh PHY. Khối lập khuôn MAC PDU bổ sung tiêu đề MAC và có thể bổ sung các tiêu đề con. Dựa trên đầu vào từ khái quản lý an ninh, khối mật mã có thể mã hóa lưu lượng người sử dụng hay các bản tin quản lý bởi một khóa mật mã được quản lý

### 1.6.2 Cấu trúc giao thức hỗ trợ đa sóng mang

Kiến trúc giao thức tổng quát để hỗ trợ hệ thống đa sóng mang được thể hiện trên hình 1.7. Một thực thể MAC chung có thể điều khiển trải rộng PHY trên nhiều kênh tần số. Một số bản tin MAC trên thực thể MAC được phát trên một sóng mang cũng có thể áp dụng cho các sóng mang khác. Các kênh này có thể có các băng thông khác nhau (5, 10 và 20 MHz) trên các băng liên tục hoặc không liên tục. Các kênh này có thể có các chế độ ghép song công khác nhau (TDD, FDD) hoặc hỗn hợp các sóng mang song phương và chỉ quảng bá.

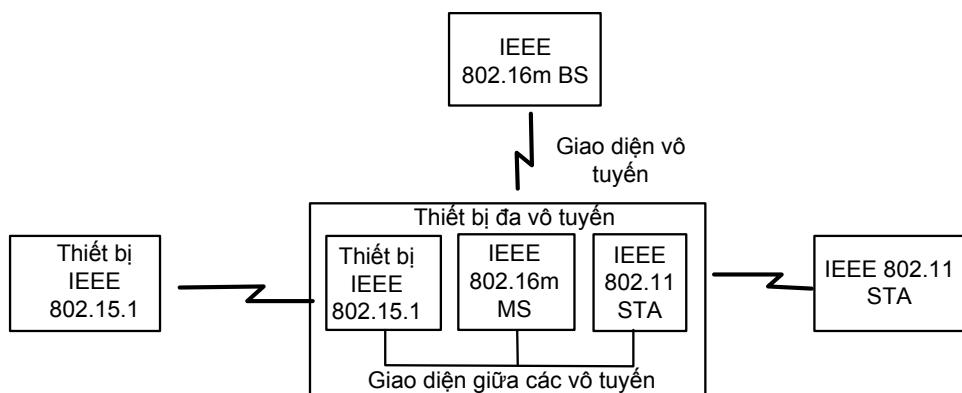
Thực thể MAC có thể hỗ trợ sự có mặt đồng thời của nhiều AMS với các khả năng khác nhau như chỉ hoạt động trên một kênh tại một thời điểm hoặc kết hợp trên nhiều kênh liên tục hoặc không liên tục.



Hình 1.7. Cấu trúc giao thức tổng quát hỗ trợ đa sóng mang của IEEE 802.16m

### 1.6.3 Cấu trúc giao thức hỗ trợ đồng tồn tại đa vô tuyến

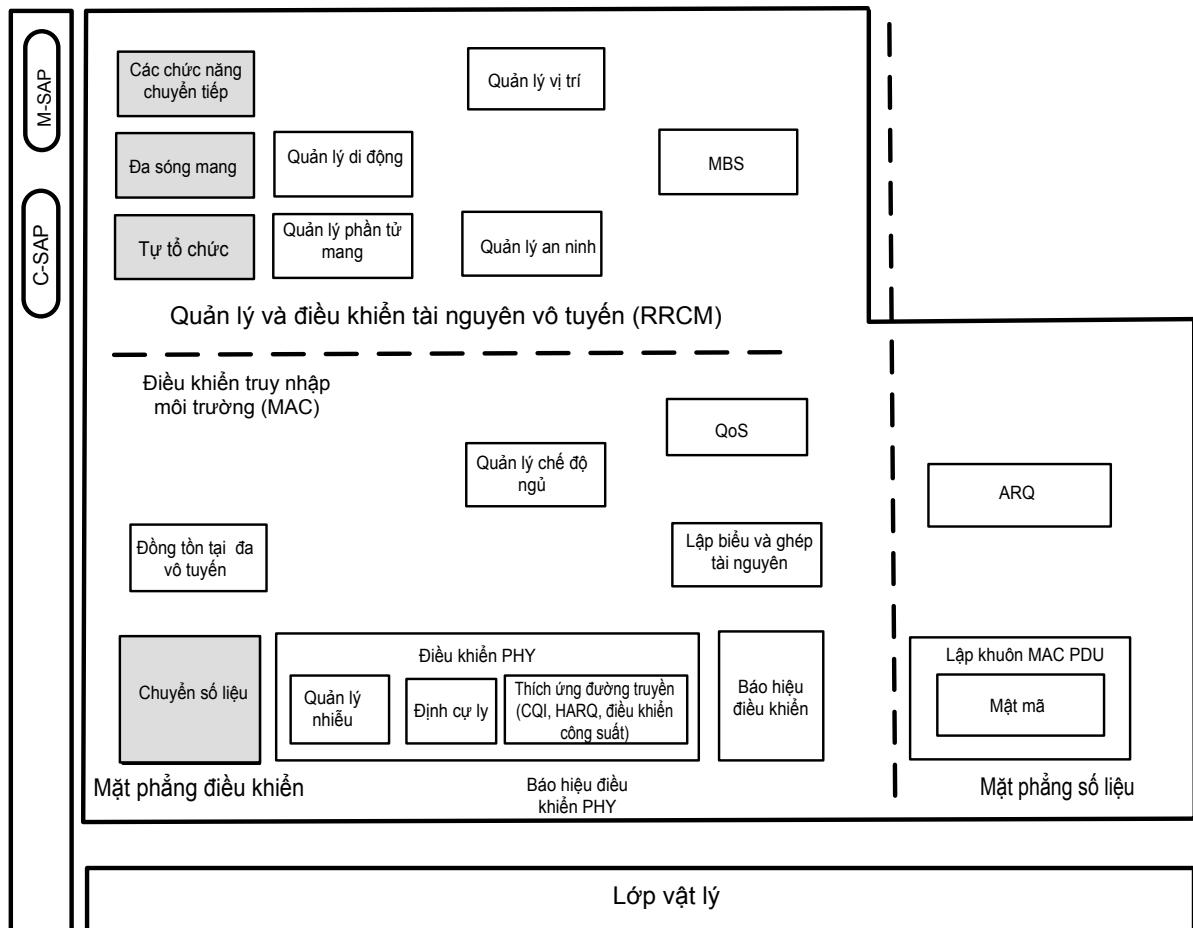
Hình 1.8 cho thấy thí dụ về một thiết bị đa vô tuyến gồm AMS, trạm IEEE 802.11 đồng vị trí và IEEE 802.15.11 đồng vị trí. Khối chức đồng tồn tại đa vô tuyến của AMS nhận thông tin về các hoạt động đa vô tuyến đồng vị trí như: các đặc tính thời gian thông qua giao diện giữa các vô tuyến nằm trong thiết bị đa vô tuyến.



Hình 1.8. Thí dụ về thiết bị đa vô tuyến với IEEE 802.16m AMS, IEEE 802.11 STA và IEEE 802.15.1.

#### 1.6.4 Cấu trúc giao thức chuyển tiếp

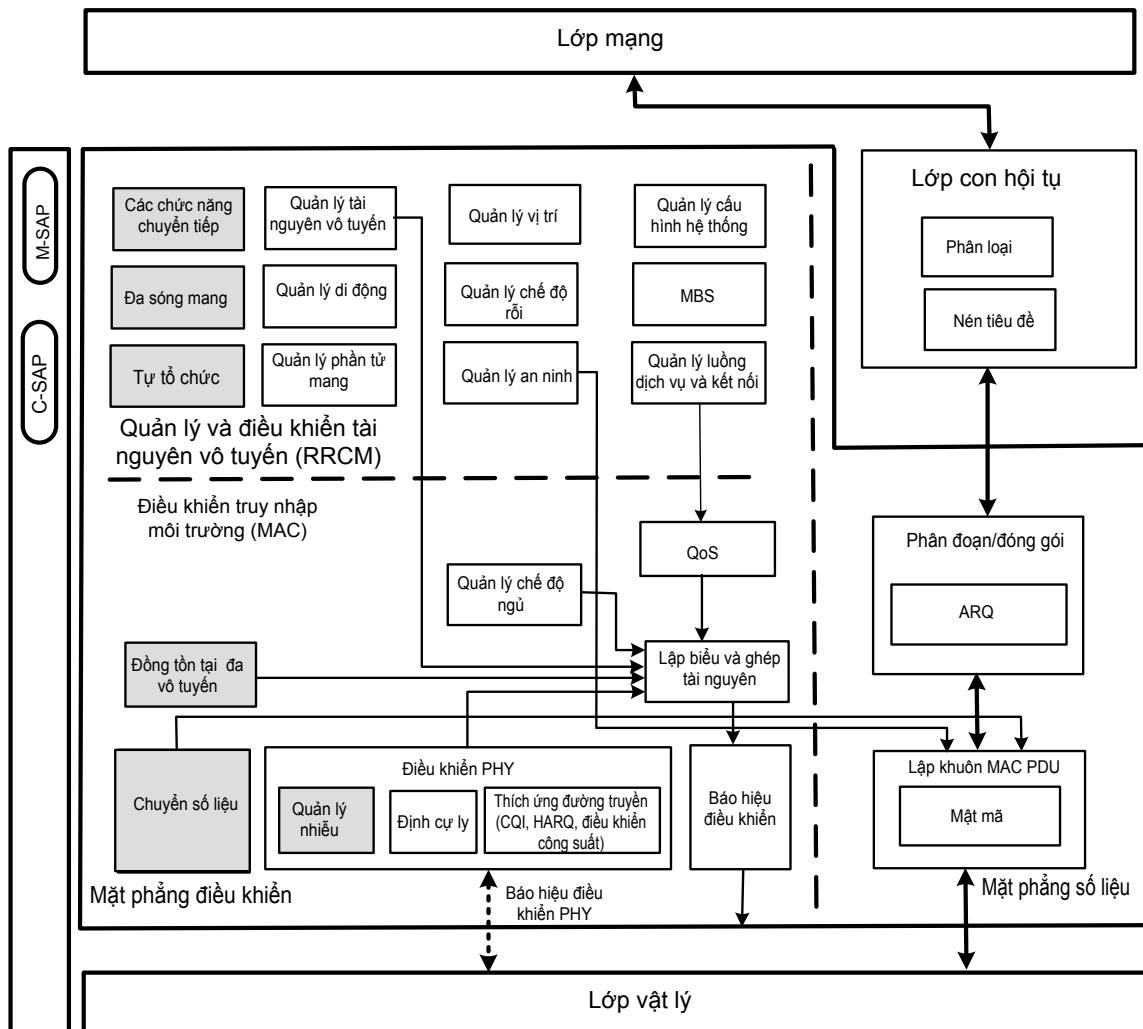
Hình 1.9 cho thấy các chức năng giao thức đối với một ARS. Một ARS có thể gồm một tập con giao thức được cho trên hình 2.13. Tập con các chức năng này phụ thuộc và kiểu hay thể loại của ARS.



Hình 1.9. Các chức năng giao thức đối với một ARS

#### 1.6.5 Luồng xử lý của mặt phẳng số liệu AMS/ABS

Hình 1.10 cho thấy luồng số liệu lưu lượng của người sử dụng và quá trình xử lý tại ABS và AMS. Các mũi tên tô đậm cho thấy luồng số liệu lưu lượng của người sử dụng từ lớp mạng đến lớp vật lý và ngược lại. Tại phía phát, một gói lớp mạng được xử lý tại lớp con hội tụ, chức năng ARQ (nếu được phép), chức năng phân đoạn đóng gói và chức năng lập khuôn MAC PDU để tạo nên các MACPDU gửi đến lớp vật lý. Tại phía thu, SDU lớp vật lý được xử lý bởi chức năng MAC PDU, chức năng phân đoạn/đóng gói, chức năng ARQ (nếu được phép) và lớp con hội tụ để tạo ra các gói lớp mạng. Các mũi tên mảnh cho thấy các điều khiển giữa các chức năng CPS và PHY liên quan đến xử lý số liệu lưu lượng người sử dụng.



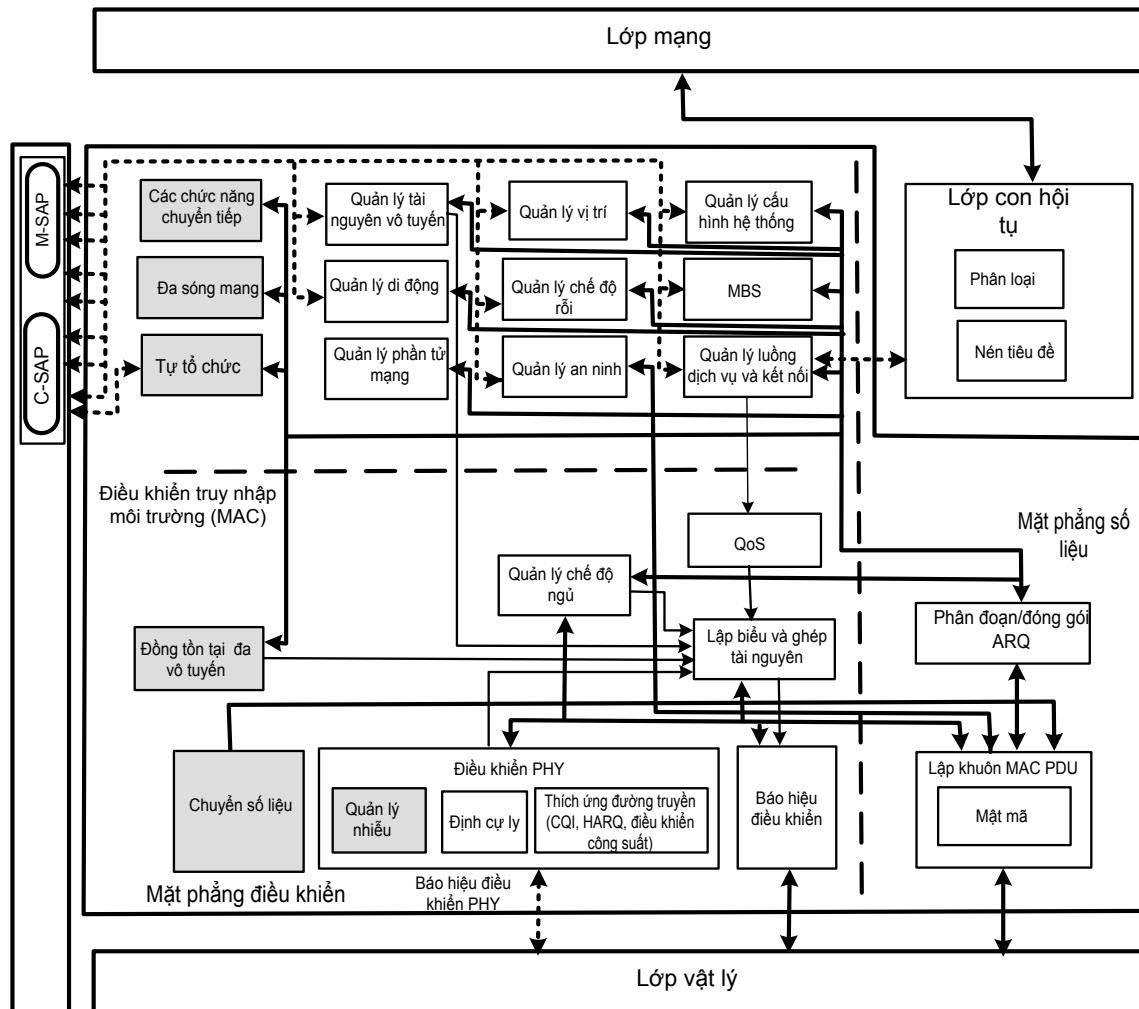
Hình 1.10. Luồng xử lý mặt phẳng số liệu của IEEE 802.16m AMS/ABS

### 1.6.6. Luồng xử lý mặt phẳng điều khiển AMS/ABS

Hình 1.11 cho thấy luồng báo hiệu mặt phẳng điều khiển MAC CPS và xử lý tại ABS và AMS. Tại phía phát, các mũi tên đường liên tục đậm nét cho thấy luồng báo hiệu mặt phẳng điều khiển từ các chức năng điều khiển và xử lý báo hiệu mặt phẳng điều khiển bởi các chức năng mặt phẳng điều khiển để tạo ra tín hiệu báo hiệu tương ứng (các bản tin MAC, tiêu đề/các tiêu đề con của MAC) sẽ được phát vào không gian. Tại phía thu, các mũi tên liên tục đậm nét cho thấy xử lý báo hiệu MAC thu bởi các chức năng mặt phẳng điều khiển và thu báo hiệu mặt phẳng điều khiển bởi các chức năng mặt phẳng điều khiển. Các mũi tên của đường đứt nét cho thấy các tín hiệu điều khiển giữa các chức năng CPS (Common Part Sublayer: lớp con phần chung) và giữa CPS với PHY liên quan đến xử lý báo hiệu mặt phẳng điều khiển. Các mũi tên của đường không liên tục gữa M-SAP (Management- Service Access Point: điểm truy nhập dịch vụ điều khiển)/ C-SAP (Control – Service Access Point: điểm truy nhập dịch vụ điều khiển) và các khối chức năng MAC cho thấy các tín hiệu quản lý và điều khiển từ/đến NCMS (Network Control Management System: hệ thống quản lý và điều khiển mạng).

Các điều khiển đến/từ M-SAP/C-SAP định nghĩa các chức năng có sự tham gia của mạng như: quản lý nhiễu giữa các ABS, quản lý di động nội RAT/giữa các RAT ... và quản lý liên quan đến các chức năng như quản lý vị trí, lập cấu hình hệ thống .... SAP điều khiển

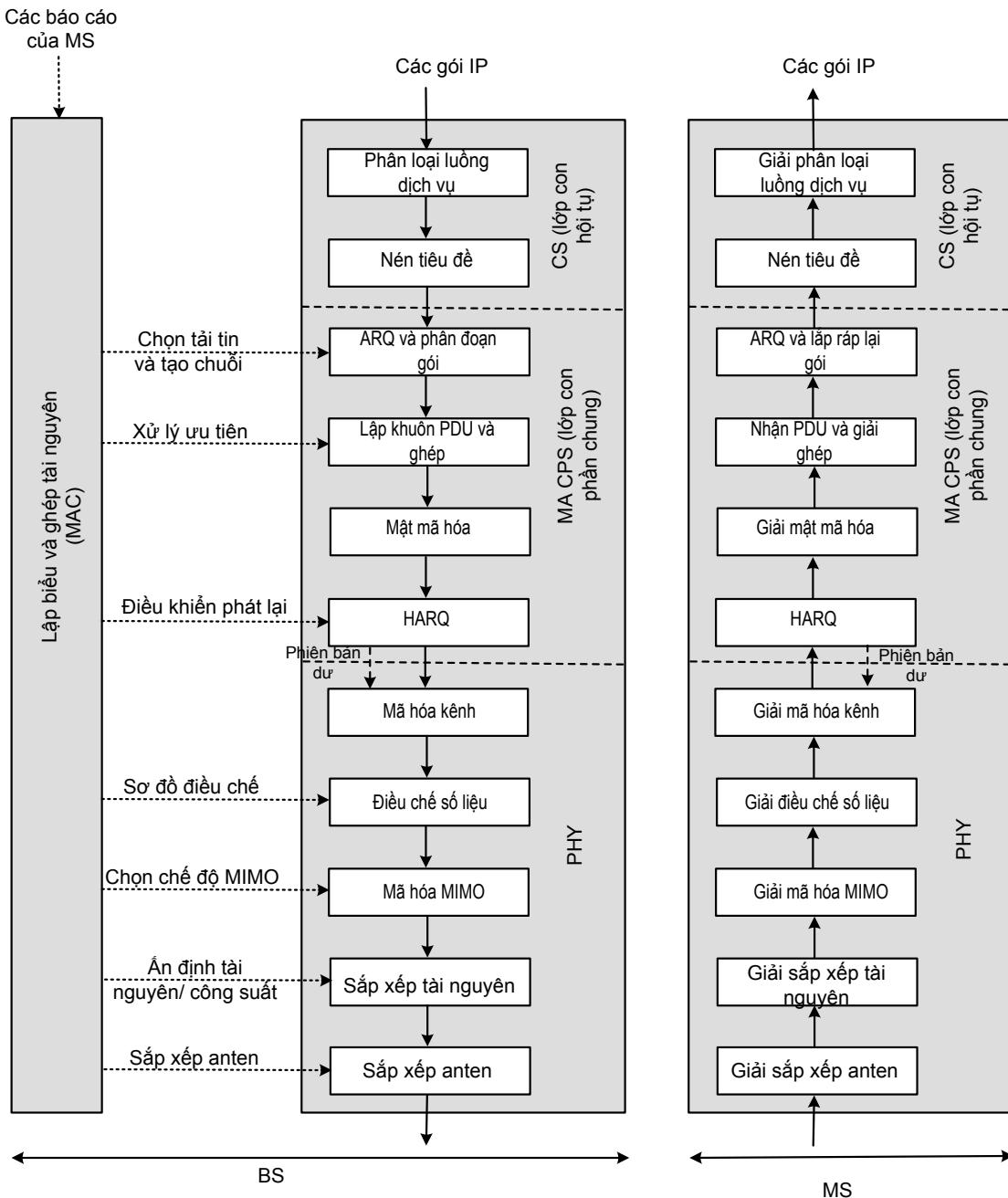
và SAP quản lý liên kết mặt phẳng điều khiển và các chức năng mặt phẳng quản lý với các lớp cao hơn.



Hình 1.11. Luồng xử lý mặt phẳng điều khiển của IEEE 802.16m ABS/AMS

### 1.6.7 Xử lý gói IP tại máy phát BS và máy thu MS

Hình 1.12 cho thấy quá trình xử lý gói IP tại máy phát và máy thu trạm di động IEEE 802.16m. Hình vẽ mô tả các phần tử chính của mỗi lớp và kết nối giữa chúng. Hình vẽ cũng cho thấy cách thức mà bộ lập biểu MAC trong trạm gốc sử dụng các báo cáo định kỳ và số liệu đo lường nhận được từ trạm di động để tạo ra: các tín hiệu điều khiển để chọn: sơ đồ điều chế và mã hóa kênh cũng như cấu hình MIMO tốt nhất, phương pháp phát lại và số lần phát lại tùy theo điều kiện sóng của kênh mà trạm di động trải nghiệm.



Hình 1.12.Xử lý gói IP tại máy phát BS và máy thu MS trong IEEE 802.16m

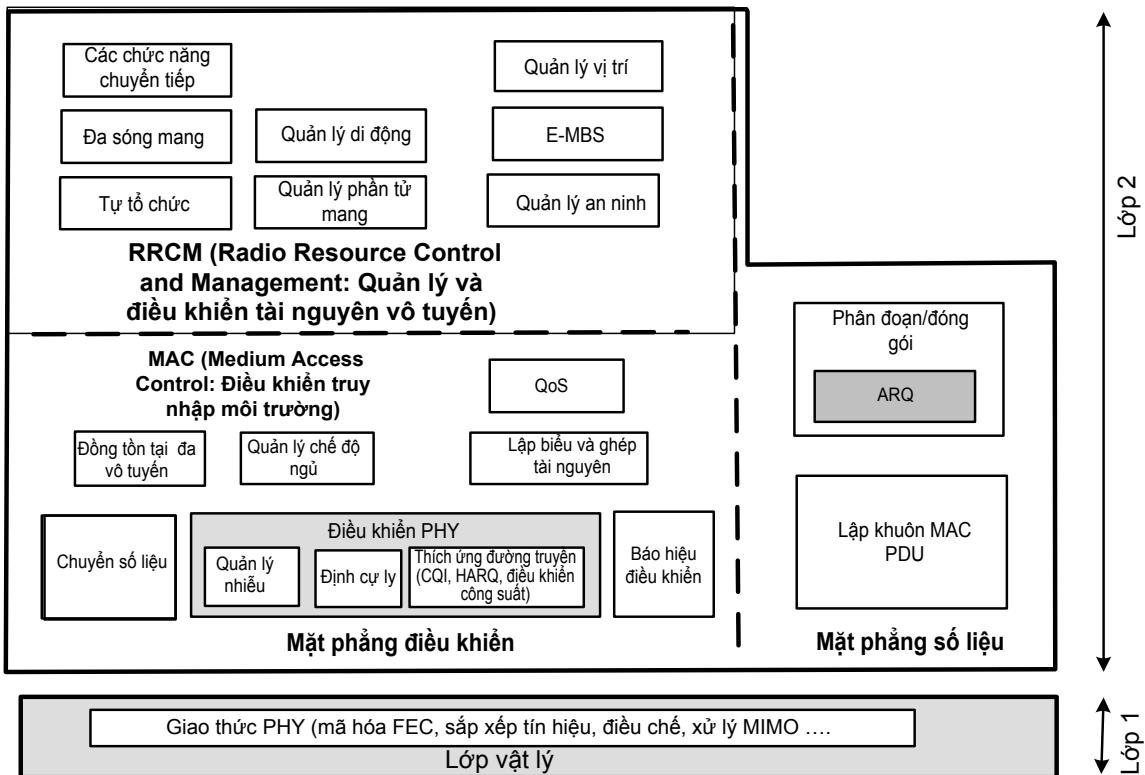
### 1.6.8. Các chức năng mặt phẳng số liệu và mặt phẳng điều khiển trong các trạm chuyển tiếp

Chuyển tiếp đa chặng là một thực thể có thể được triển khai cùng với các trạm gốc để cung cấp vùng phủ sóng bổ sung hay cải thiện hiệu năng trong một mạng truy nhập vô tuyến. Trong các mạng được phép chuyển tiếp, BS có thể được thay thế bằng một BS chuyển tiếp đa chặng (BS hỗ trợ khả năng chuyển tiếp trên các liên kết chuyển tiếp) hay một hay nhiều trạm chuyển tiếp (RS). Lưu lượng và báo hiệu giữa trạm di động và BS được phép chuyển tiếp được chuyển tiếp bởi RS, nhờ vậy mở rộng vùng phủ sóng và tăng cường hiệu năng hệ thống trong các vùng triển khai các RS. Mỗi RS đều chịu sự điều khiển của một BS được phép chuyển tiếp. Trong một hệ thống chuyển tiếp đa chặng, lưu lượng và báo hiệu giữa một RS và BS cũng được chuyển tiếp qua các trạm chuyển tiếp trung gian. RS có thể có vị trí cố định

hoặc di động. Trạm di động có thể kết nối trực tiếp đến BS phục vụ. Các tính năng khác nhau của một BS được phép chuyển tiếp được định nghĩa trong chuẩn IEEE 802.16j-2009 cho phép lập cấu hình hệ thống chuyển tiếp đa chặng trong một số chế độ. Các giao thức của giao diện vô tuyến gồm các tính năng về liên kết truy nhập (liên kết RS-MS) vẫn giữ nguyên không đổi. Chuẩn IEEE 802.16j-2009 đặc tả một tập các chức năng mới để điều khiển việc án định băng thông cho MS và RS. Trong chế độ lập biểu tập trung, việc án định băng thông cho các trạm di động trực thuộc được quyết định tại BS phục vụ. Trái lại trong chế độ lập biểu phân bố, án định băng thông cho các MS trực thuộc được quyết định bởi chính RS. Có hai kiểu RS được định nghĩa: trong suốt và không trong suốt. Trong khi RS trong suốt chỉ có thể hoạt động trong chế độ lập biểu tập trung, thì RS phân bố có thể hoạt động trong cả hai chế độ. RS trong suốt kết nối với MS và BS trên cùng một tần số sóng mang. RS không trong suốt có thể kết nối với trạm gốc và MS trực thuộc trên cùng hoặc trên các tần số sóng mang khác nhau. Chuyển tiếp trong hệ thống IEEE 802.16m được thực hiện bằng cách sử dụng mô hình giải mã-chuyển và hỗ trợ cả TDD lẫn FDD. Trong triển khai TDD, các trạm chuyển tiếp hoạt động trong chế độ phân chia thời gian phát thu (TTR: Time Division Transmit and Receive), trong đó kết nối liên kết truy nhập và chuyển tiếp được ghép trên cùng một tần số. Trong IEEE 802.16m, các trạm chuyển tiếp hoạt động trong chế độ không trong suốt, điều này có nghĩa là RS kết hợp và phát các kênh đồng bộ, thông tin hệ thống và các kênh điều khiển cho các trạm di động trực thuộc. Trong triển khai hỗ trợ chức năng chuyển tiếp của IEEE 802.16m mô hình phân bố được sử dụng trong đó mỗi trạm hạ tầng (BS hay RS) lập biểu các tài nguyên vô tuyến trên các đường trực thuộc. Trong trường hợp trạm chuyển tiếp, lập biểu tài nguyên được thực hiện trong các tài nguyên do BS án định. BS thông báo RS và các trạm di động về cấu hình cấu trúc khung. Khung vô tuyến được chia thành các vùng truy nhập và chuyển tiếp. Trong vùng truy nhập, BS và RS phát đến hoặc thu về từ các trạm di động. Trong vùng chuyển tiếp BS phát đến trạm chuyển tiếp và các trạm di động hoặc thu về từ các trạm chuyển tiếp và di động. Các thời điểm bắt đầu của các cấu trúc khung của BS và các trạm di động được đồng bộ theo thời gian. BS và các trạm di động phát các kênh đồng bộ, thông tin hệ thống và các kênh điều khiển đến các trạm di động tại cùng thời điểm.

Lớp MAC của trạm chuyển tiếp chứa các mở rộng để hỗ trợ các chức năng nhu nhập mạng của RS và của MS thông qua một RS, yêu cầu băng thông, chuyển các PDU, quản lý kết nối và chuyển giao. Hai chế độ an ninh khác nhau được định nghĩa trong chuẩn IEEE 802.16j-2009: (1) chế độ an ninh tập trung dựa trên quản lý khóa giữa BS và MS và (2) chế độ an ninh phân bố kết hợp nhận thực và quản lý khoá giữa BS và RS không trong suốt và giữa RS truy nhập và MS. RS có thể được lập cấu hình để hoạt động hoặc trong chế độ án định CID trong đó quản lý sơ cấp, các CID thứ cấp và cơ sở được án định bởi BS, hoặc trong chế độ án định CID địa phương trong đó quản lý sơ cấp CID cơ sở được án định bởi RS. IEEE 802.16m sử dụng cùng một kiến trúc và các thủ tục an ninh khi MS thiết lập nhận thực và bảo mật giữa nó với BS trên liên kết chuyển tiếp. Các trạm chuyển tiếp IEEE 802.16m sử dụng mô hình an ninh phân bố. Liên kết an ninh được thiết lập giữa MS và RS trong quá trình trao đổi khóa giống như với một BS macro. RS sử dụng một tập. RS sử dụng một tập các khóa tích cực chia sẻ với MS để thực hiện mật mã, giải mã và bảo vệ toàn vẹn trên liên kết truy nhập. Các MAC PDU được đóng bao trong một MAC PDU chuyển tiếp và được mật

mã hóa hay giải mã bởi liên kết an ninh sơ cấp được thiết lập giữa RS và BS. Các ngõ cảnh an ninh được sử dụng cho liên kết chuyển tiếp (giữa BS và RS) sẽ khác nhau và được duy trì độc lập. Quản lý khóa được thực hiện giống như được thực hiện bởi một BS macro. Hình 1.13 cho thấy ngăn xếp giao thức của trạm chuyển tiếp IEEE 802.16m.



Hình 1.13. Ngăn xếp giao thức của trạm chuyển tiếp IEEE 802.16m.

RS có thể bao gồm một tập con các chức năng giao thức như trên hình 1.13, tuy nhiên các thành phần của từng tập con chức năng phụ thuộc và kiểu hay thể loại RS cũng như các yêu cầu kết nối. Các khả năng chuyển tiếp của IEEE 802.16m phần nào dựa trên chuẩn IEEE 802.16j. Các trạm chuyển tiếp không trong suốt thực hiện các chức năng giống như một BS thông thường; tuy nhiên trong một số mô hình sử dụng một số chức năng của BS thông thường có thể không được thực hiện trong trạm chuyển tiếp để đơn giản hóa và giảm giá thành triển khai. IEEE 802.16m RS MAC CPS được chia thành hai lớp con: (1) lớp con điều khiển và quản lý tài nguyên vô tuyến (RRCM) và (2) lớp con điều khiển truy nhập môi trường (MAC). Lớp con RRCM của RS gồm các khái niệm liên quan đến các chức năng quản lý tài nguyên vô tuyến của RS sau đây:

- Quản lý di động
- Quản lý nhập mạng
- Quản lý an ninh
- Dịch vụ đa phương và quảng bá
- Các chức năng chuyển tiếp
- Tự tổ chức

o Khai thác đa sóng mang

Trên hình 1.13, khối quản lý di động hỗ trợ khai thác chuyển giao bằng cách cộng tác với BS. Khối quản lý nhập mạng thực hiện các thủ tục khởi đầu RS/MS cũng như thủ tục nhập mạng của RS đến BS. Khối quản lý nhập mạng có thể tạo ra các bản tin quản lý cần thiết trong các thủ tục khởi xướng RS/BS và thực hiện nhập mạng. Khối quản lý vị trí hỗ trợ dịch vụ dựa trên vị trí bao gồm: số liệu định vị tại RS và báo cáo thông tin vị trí đến BS. Khối quản lý an ninh thực hiện các chức năng quản lý khóa cho RS. Vì IEEE 802.16m sử dụng mô hình an ninh phân bố, nên có hai tập giao thức an ninh trên các liên kết truy nhập và chuyển tiếp. Khối dịch vụ đa phương và quản bá nâng cao chịu trách nhiệm cho điều phối, lập biểu và phân phối nội dung E-MBS đến các người sử dụng có đăng ký trong vùng phủ sóng chuyển tiếp. Khối chức năng chuyển tiếp bao gồm các thủ tục để duy trì các đường chuyển tiếp. Khối tự tổ chức thực hiện hỗ trợ tự lập cấu hình RS và các cơ chế tối ưu hóa RS với sự cộng tác của BS. Các chức năng này bao gồm các thủ tục yêu cầu các trạm RS hay các MS báo cáo kết quả đo để tự lập cấu hình và tự tối ưu hóa, thu các kết quả đo từ các BS hay các MS và báo cáo các kết quả này đến BS. Các chức năng này cũng gồm cả các thủ tục điều chỉnh các thông số và cấu hình RS để tự lập cấu hình và (hoặc) tự tối ưu có hoặc không kết hợp với BS. Khối khai thác đa sóng mang cho phép thực thi MAC chung điều khiển lớp vật lý có khả năng quét trên nhiều kênh tại RS. Lớp con của RS MAC bao gồm các khối chức năng liên quan đến lớp vật lý và điều khiển liên kết sau đây:

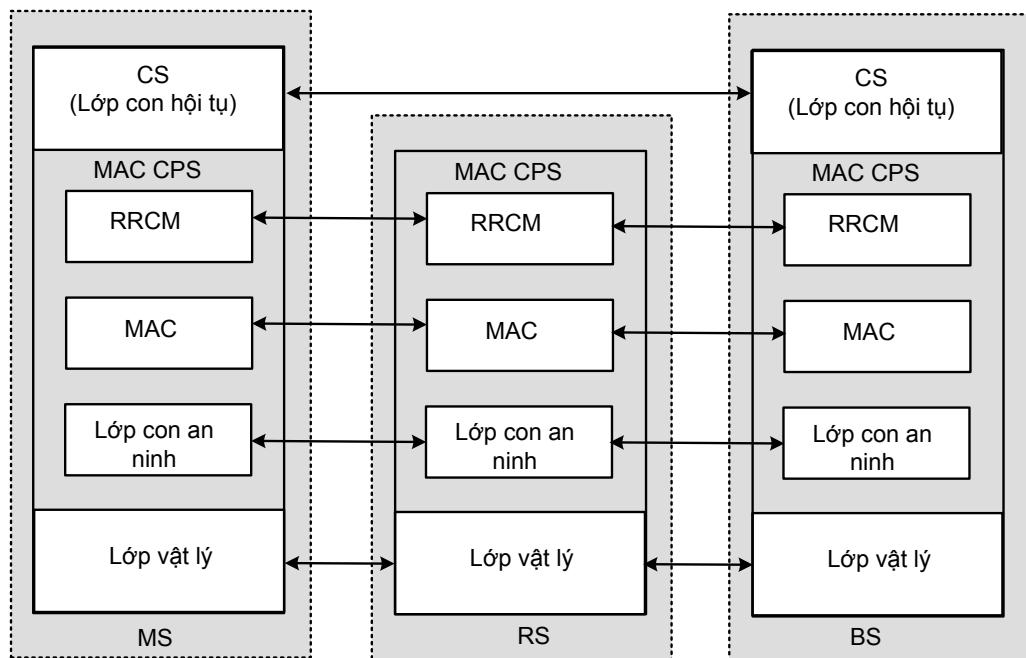
- Điều khiển lớp vật lý
- Báo hiệu điều khiển
- Quản lý ngũ
- Chất lượng dịch vụ
- Lập biểu và ghép tài nguyên
- Chức năng ARQ
- Phân đoạn/dóng gói
- Lập khuôn MAC PDU
- Chuyển số liệu
- Đóng tồn tại đa vô tuyến,

Như thấy trên hình 1.13, khối điều khiển lớp vật lý quản lý các sơ đồ báo hiệu như đo cự ly, báo cáo và phản hồi HARQ tại RS. Dựa trên phản hồi CQI và HARQ, khối điều khiển lớp vật lý đánh giá các điều kiện kênh của RS/MS và thực hiện thích ứng đường truyền.

Khối báo hiệu điều khiển thực hiện án định tài nguyên RS và tạo ra các bản tin điều khiển. Khối quản lý chế độ ngũ quản lý hoạt động chế độ ngũ của các MS cộng tác với BS. Khối QoS thực hiện điều khiển tốc độ theo các thông số QoS. Khối lập biểu và ghép tài nguyên trong RS được sử dụng để hỗ trợ lập biểu phân bổ và lập biểu truyền dẫn các MAC PDU. Khối ARQ hỗ trợ các chức năng MAC ARQ giữa BS và RS trên liên kết chuyển tiếp và giữa MS và RS trên liên kết truy nhập. Các MAC SDU có thể được phân đoạn hay tăng cường

phụ thuộc vào kích thước của các tải tin. Khối phân đoạn/ đóng gói trong RS thực hiện mở và đóng lại gói các đoạn số liệu thu chuyển tiếp để thích ứng kích thước của các MAC PDU với chất lượng kênh được ước tính của đường truyền. Khối lập khuôn MAC PDU kết cấu các MAC PDU chứa lưu lượng của người sử dụng và các bản tin quản lý. Lưu lượng của người sử dụng được coi rằng bắt nguồn từ BS hoặc từ MS. Khối cấu trúc MAC PDU có thể bổ sung hay thay đổi thông tin điều khiển MAC PDU (tiêu đề MAC). Khối chuyển số liệu thực hiện các chức năng định tuyến trên liên kết giữa BS và RS hoặc MS. Khối chuyển số liệu có thể làm việc liên kết với các khối khác như lập biều và ghép tài nguyên, lập khuôn MAC PDU. Khối quản lý nhiễu tại RS thực hiện quản lý nhiễu giữa các ô và giữa các RS. Chức năng này bao gồm thu các đo đặc nhiễu và chọn khuôn đang truyền dẫn sử dụng cho các MS kết nối với RS. Các chức năng điều khiển có thể được phân chia giữa BS phục vụ và các RS sử dụng mô hình tập trung hay mô hình phân bố. Trong mô hình tập trung, BS phục vụ tạo ra các tín hiệu điều khiển và các RS kết nối thông tin điều khiển này giữa BS và MS. Trong mô hình phân bố, RS tạo ra các tín hiệu điều khiển cho các RS trực thuộc và cho BS biết về thông tin điều khiển này. Quyết định một chức năng điều khiển là tập trung hay phân bố được thực hiện độc lập cho từng điều khiển. Khối đồng tồn tại vô tuyến trong RS điều phối khai thác đa vô tuyến đồng vị trí của các MS trực thuộc kết hợp với BS.

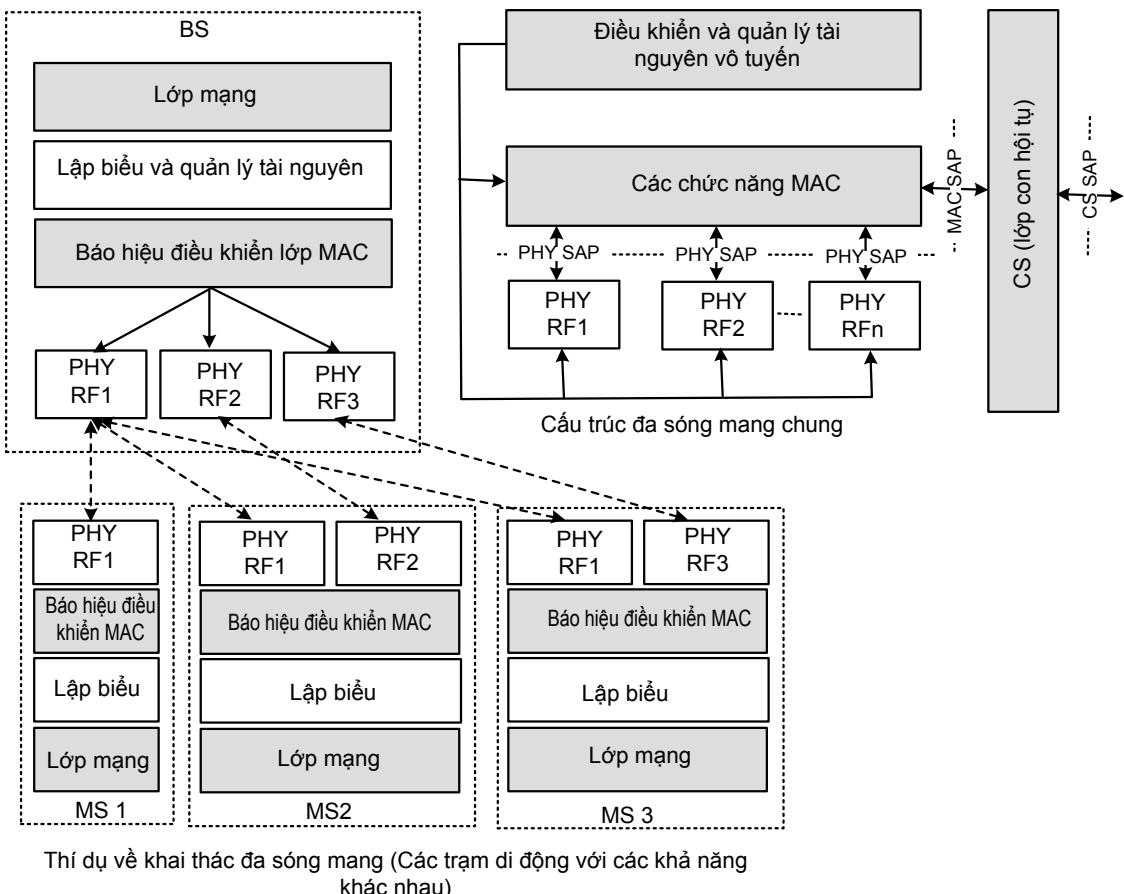
Hình 1.14 cho thấy kết cuối giao thức của mặt phẳng số liệu và mặt phẳng điều khiển. Các giao thức lớp con hội tụ được kết cuối tại MS và BS. Tuy nhiên một số giao thức MAC CPS kết cuối tại RS. Do sử dụng mô hình an ninh phân bố, các chức năng an ninh bao gồm mật mã hóa và nhận thực gói được kết cuối tại RS trên các liên kết chuyển tiếp và truy nhập.



Hình 1.14. Kết cuối giao thức trong mạng được phép chuyển tiếp

#### 1.6.9. Cấu trúc giao thức đê hỗ trợ khai thác đa sóng mang

Kiến trúc giao thức chung đê hỗ trợ khai thác đa sóng mang được minh họa trên hình 1.15.



Hình 1.15. Kiến trúc giao thức chung để hỗ trợ khai thác đa sóng mang.

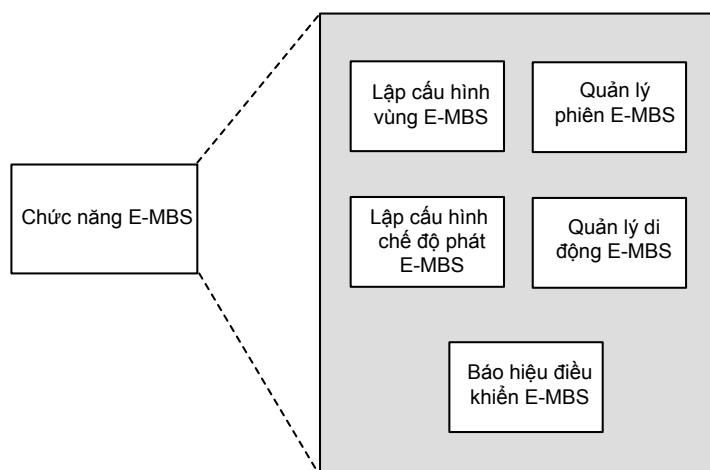
Một thực thể MAC điều khiển nhiều lớp vật lý trải rộng trên nhiều băng tần. Một số bản tin MAC được phát trên một sóng mang vô tuyến cũng được áp dụng cho các sóng mang vô tuyến khác. Các kênh RF có thể có các băng thông khác nhau (5, 10 và 20 MHz) và có thể liên tục hoặc không liên tục theo tần số. Các kênh vô tuyến có thể hỗ trợ các sơ đồ ghép song công khác nhau (FDD hay TDD) hay kết hợp các sóng mang vô tuyến đa phương và đơn phương. Như thấy trên hình 2.27, thực thể MAC này có thể cung cấp dịch vụ đồng thời cho các MS có các khả năng băng thông khác nhau như: trên một kênh vô tuyến hay kết hợp nhiều băng tần số liên tục hoặc không liên tục.

#### 1.6.10. Cấu trúc giao thức để hỗ trợ các dịch vụ đa phương và quảng bá

Dịch vụ đa phương và quảng bá là một sơ đồ thông tin điểm đa điểm trong đó các gói được phát đồng thời từ một nguồn đến nhiều nơi nhận. Thuật ngữ quảng bá để nói về khả năng chuyển nội dung đến tất cả nơi nhận. Trái lại đa phương để nói về phân bố nội dung đến một nhóm người sử dụng đặc thù đã đăng ký đến dịch vụ này. Nội dung của đa phương và quảng bá được phát trên một diện tích địa lý được gọi là vùng. Vùng MBS là một tập hợp của một hay nhiều BS phát cùng nội dung. Mỗi BS có khả năng dịch vụ MBS sẽ trực thuộc một hay nhiều vùng MBS. Mỗi vùng MBS được nhận dạng bằng một số nhận dạng vùng duy nhất. MS có thể thu nội dung MBS trong vùng MBS trong trạng thái kết nối hay trạng thái rỗng. Một BS có thể cung cấp các dịch vụ đa phương hay quảng bá tương ứng với các vùng MBS khác nhau. Các cụm số liệu MBS có thể được phát ở dạng nhiều gói và các gói con này có thể được phát trong các khoảng thời gian khác nhau để MS có thể kết hợp các gói con này

mà không cần phát công nhận. Các MS trong một vùng MBS được xác định một số nhận dạng đa phương và quảng bá chung. IEEE 802.16m hỗ trợ hai kiểu truy nhập MBS: BS đơn và (2) đa BS. Truy nhập BS đơn được thực hiện trên các kết nối truyền tải đa phương và quảng bá bên trong một BS, trong khi đó truy nhập đa BS được thực hiện bằng cách phát số liệu MBS thông qua nhiều BS. Các MBS PDU được phát bởi tất cả các BS trong cùng một vùng MBS. Phát được hỗ trợ hoặc trong chế độ không có phân tập vĩ mô hoặc trong chế độ phân tập vĩ mô. Một vùng MBS có thể được tạo ra chỉ bởi một BS. MS có thể hỗ trợ cả truy nhập đơn BS và truy nhập đa BS. Dịch vụ MBS có thể được chuyển thông qua một sóng mang riêng hay một sóng mang trộn lẫn đơn phương, đa phương và quảng bá. Trong IEEE 802.16m, E-MBS (dịch vụ đa phương quảng bá nâng cao) bao gồm các giao thức MAC và PHY quy định tương tác giữa các MS và các BS. Ngoài một số quy định cơ sở giống như chuẩn IEEE 802.16-2009, IEEE 802.16m đưa ra một số nâng cao và mở rộng để cải thiện chức năng và hiệu năng. Hình 1.16 cho thấy phân chia chức năng E-MBS thành các thành phần. Trong mặt phẳng điều khiển, chức năng E-MBS MAC hoạt động kết hợp với các chức năng MAC khác của dịch vụ đơn phương. Chức năng E-MBS MAC có thể hoạt động khác nhau phụ thuộc vào việc nó nằm hoạt động trong chế độ tích cực hay chế độ rỗng. Chức năng E-MBS MAC bao gồm các khối sau:

- **Lập cấu hình miền E-MBS:** chức năng này quản lý cấu hình và quảng cáo các miền E-MBS. Một BS có thể thuộc nhiều vùng E-MBS
- **Lập cấu hình chế độ phát E-MBS:** chức năng này mô tả chế độ phát trong đó E-MBS được chuyển trên giao diện vô tuyến, chẩn đoán hạn truyền dẫn đơn BS và truyền dẫn đa BS
- **Quản lý phiên E-MBS:** chức năng này quản lý đăng ký dịch vụ E-MBS, hủy đăng ký và khởi đầu, cập nhật hoặc kết thúc phiên.
- **Quản lý di động E-MBS:** khôi này quản lý thủ tục cập nhật vùng khi MS đi qua biên giới vùng E-MBS
- **Báo hiệu điều khiển E-MBS:** khôi này phát quan sát lập biểu E-MBS và sắp xếp kênh vật lý để hỗ trợ thu và tiết kiệm công suất.

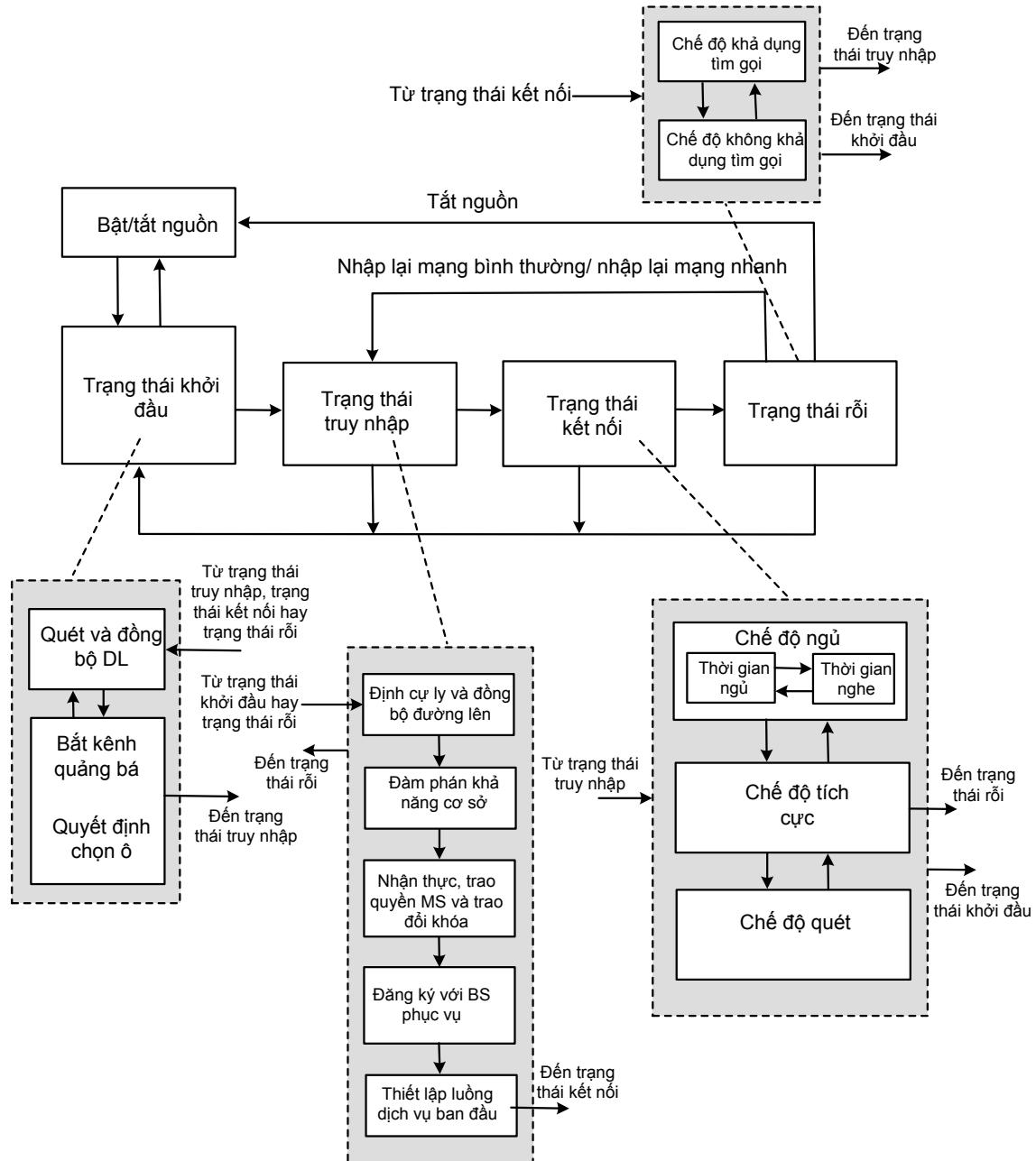


Hình 1.16. Phân chia chức năng E-MBS thành các thành phần.

## 1.7 Biểu đồ trạng thái AMS

### 1.7.1. Biểu đồ trạng thái AMS tổng quát

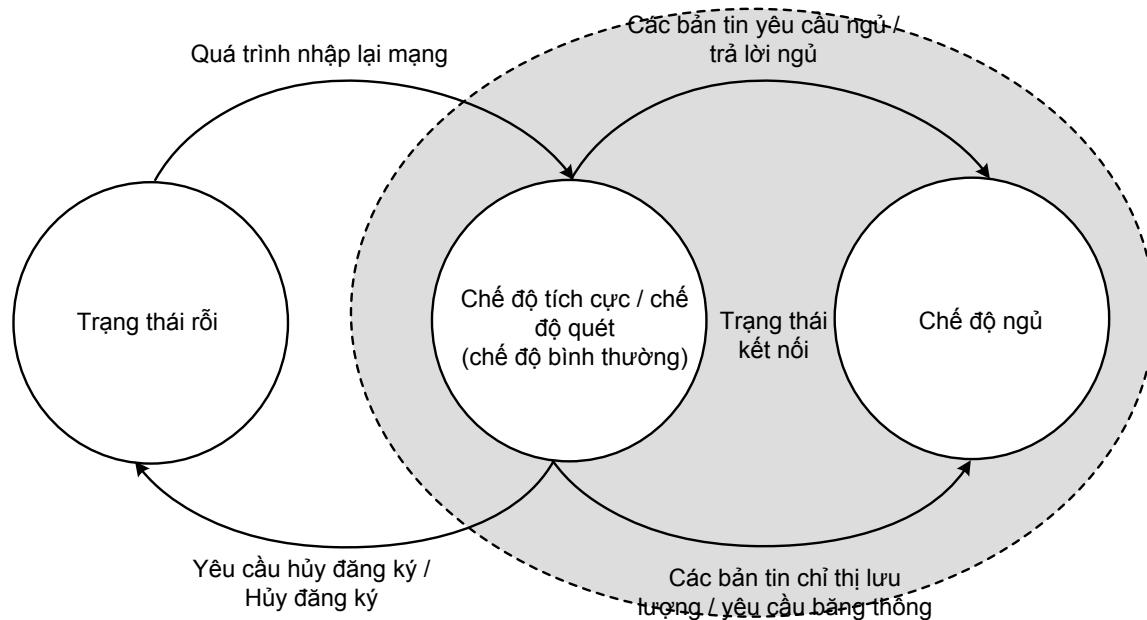
Hình 1.17 minh họa biểu đồ chuyển đổi trạng thái trạm di động đối với AMS (Advanced Mobile Station) trạm di động tiên tiến.



Hình 1.17. Biểu đồ chuyển đổi trạng thái trạm di động IEEE 802.16m

Hành vi trạng thái ổn định của IEEE 802.16 được thể hiện trên hình 1.18. Biểu đồ này được áp dụng cho cả IEEE 802.16m và IEEE 802.16-2009 mặc dù các thủ tục chi tiết có thể khác nhau trong hai hệ thống. Sau khi MS hoàn thành nhập mạng ban đầu, nó bắt đầu hoạt động bình thường trong chế độ tích cực đồng thời định kỳ quét các trạm gốc lân cận cho chuyển giao. Nó có thể chuyển vào trạng thái rời thông qua các bản tin hủy đăng ký hay ra khỏi trạng thái rời và vào chế độ tích cực bằng cách thực hiện các thủ tục nhập lại mạng. MS có thể chuyển vào chế độ ngủ sau khi đã phán các khoảng thời gian ngủ với BS phục vụ và

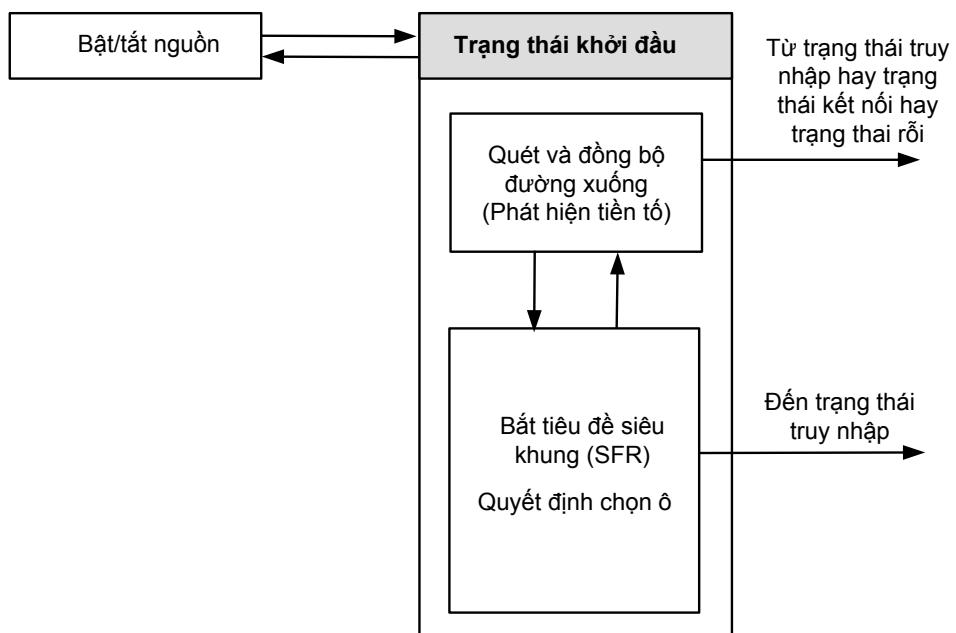
có thể ra khỏi chế độ ngủ khi nhận được bản tin chỉ thị lưu lượng hay lưu lượng đường lên khả dụng.



Hình 1.18. Hành vi trạng thái ổn định của IEEE 802.16

### 1.7.2. Trạng thái khởi đầu

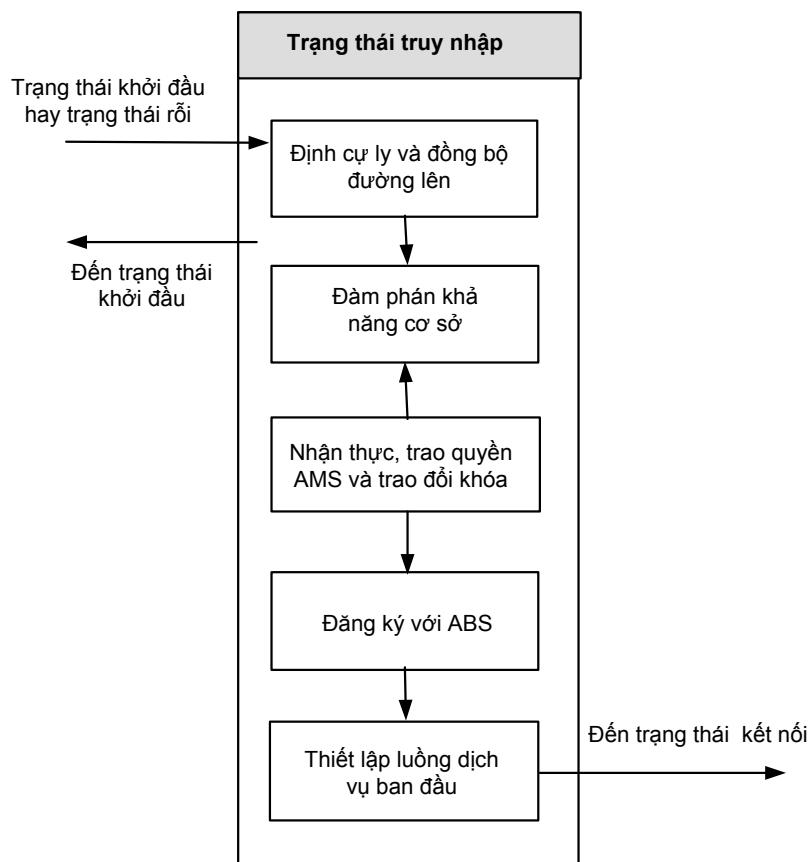
Các thủ tục của trạng thái khởi đầu được cho trên hình 1.19. Trong trạng thái khởi đầu AMS thực hiện chọn ô bằng cách quét, đồng bộ và bắt thông tin cấu hình hệ thống trước khi vào trạng thái truy nhập. Trong trạng thái này nếu không thể thực hiện quét và đồng bộ đường xuống, AMS không thể thực hiện giải mã thông tin cấu hình hệ thống đường xuống đúng. Nếu AMS giải mã thông tin cấu hình hệ thống thành công và chọn một ABS đích, nó chuyển vào trạng thái truy nhập.



Hình 1.19. Các thủ tục của trạng thái khởi đầu

### 1.7.3. Trạng thái truy nhập

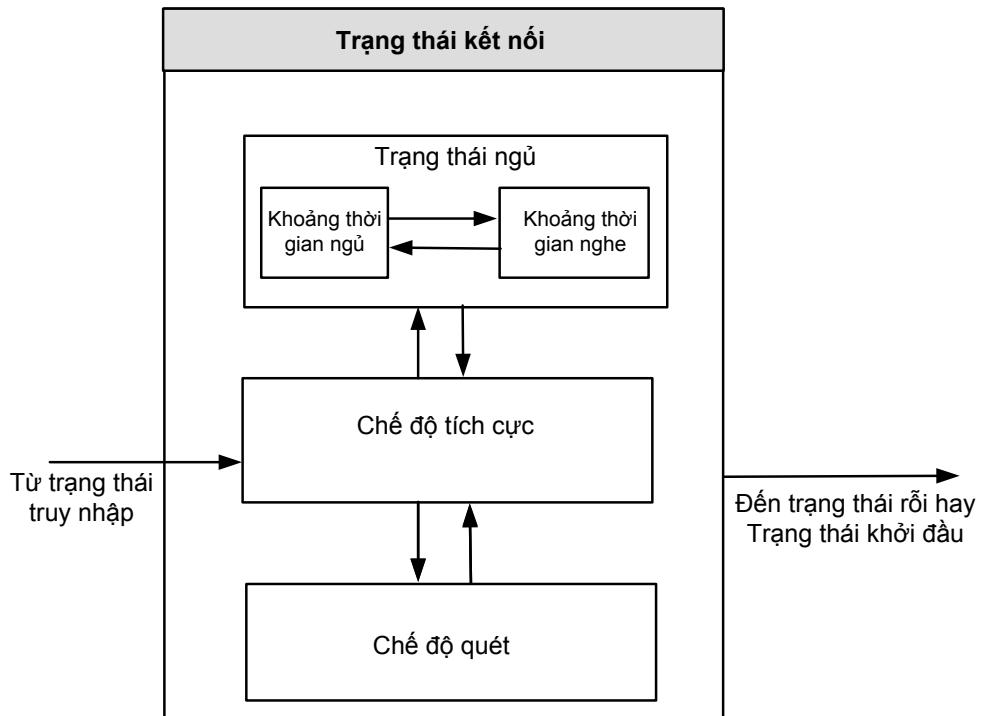
Các thủ tục của trạng thái truy nhập được thể hiện trên hình 1.20. Trong trạng thái truy nhập AMS thực hiện nhập mạng bằng ABS. Nhập mạng là một quá trình nhiều bước bao gồm: định cực ly, đàm phán khả năng cơ sở, nhận thực, nhận thực, trao quyền và trao đổi khóa, đăng ký với ABS và thiết lập luồng dịch vụ. AMS nhận được nhận dạng trạm (Station ID) và thiết lập ít nhất một kết nối và chuyển sang trạng thái kết nối. Nếu thất bại một trong số các bước nói trên của nhập mạng, AMS chuyển và trạng thái khởi đầu.



Hình 1.20. Các thủ tục của trạng thái truy nhập

### 2.5.4. Trạng thái kết nối

Các thủ tục của trạng thái kết nối được thể hiện trên hình 1.21. Trong trạng thái kết nối AMS hoạt động trong ba chế độ: chế độ ngủ, chế độ tích cực và chế độ quét. Ngoài ra AMS và ABS có thể thiết lập các kết nối bổ sung. Trong quá trình chuyển giao, AMS vẫn nằm trong trạng thái kết nối. AMS chuyển từ trạng thái kết nối đến trạng thái rỗi dựa trên một lệnh từ ABS. Thất bại duy trì các kết nối sẽ thúc đẩy AMS chuyển đến trạng thái khởi đầu.



Hình 1.21. Các thủ tục của trạng thái kết nối

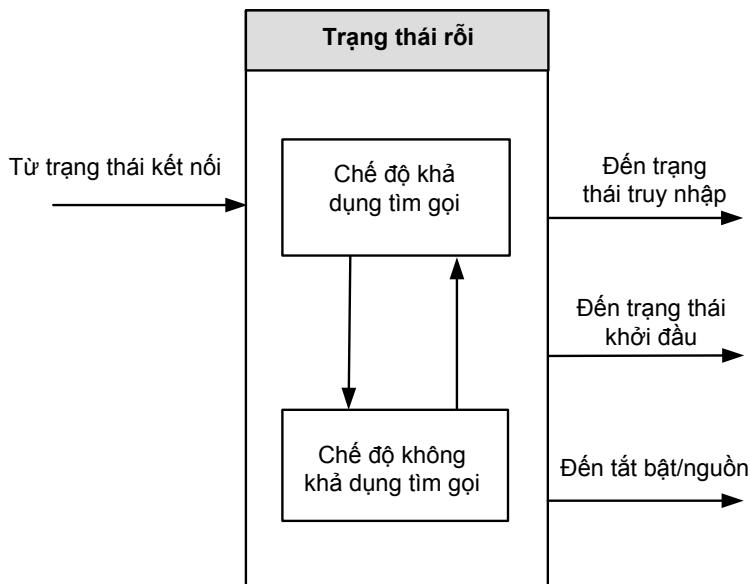
**Chế độ tích cực.** Trong chế độ tích cực, ABS phục vụ có thể lập biểu AMS để phát và thu các cơ hội khả dụng sớm nhất được cung cấp bởi giao thức, nghĩa là AMS khả dụng đối với ABS tại mọi thời điểm. Từ chế độ tích cực AMS có thể yêu cầu chuyển đến hoặc trạng thái ngủ hoặc trạng thái quét. Chuyển đến trạng thái ngủ hoặc trạng thái quét xảy ra khi có một lệnh từ ABS. Từ trạng thái kết nối, AMS có thể chuyển đến trạng thái rỗi.

**Chế độ ngủ.** Trong chế độ ngủ, AMS và ABS thỏa thuận phân chia thời gian thành cửa sổ ngủ và cửa sổ nghe. AMS chỉ kỳ vọng có khả năng thu các cuộc truyền dẫn từ ABS trong cửa sổ nghe và mọi trao đổi giao thức phải được khởi xướng trong thời gian này. Chuyển AMS đến trạng thái thích cực được thúc đẩy bởi các bản tin nhận được từ ABS. Trong các khoảng thời gian nghe, AMS có thể chuyển đến trạng thái rỗi từ chế độ ngủ của trạng thái kết nối.

**Chế độ quét.** Trong chế độ quét, AMS thực hiện đo đạc theo hướng dẫn từ ABS. Trong chế độ đo, AMS không khả dụng đối với ABS. Khi hết thời gian được đảm phán với ABS cho quét, AMS trở về chế độ tích cực.

### 1.7.5. Trạng thái rỗi

Các thủ tục của trạng thái rỗi được thể hiện trên hình 1.22. Trạng thái rỗi bao gồm hai chế độ riêng biệt: chế độ khả dụng tìm gọi và chế độ không khả dụng tìm gọi dựa trên hoạt động của nó và việc tạo ra bản tin MAC. Trong trạng thái rỗi, AMS có thể thực hiện tiết kiệm nguồn bằng cách chuyển mạch giữa chế độ tìm gọi khả dụng và chế độ tìm gọi không khả dụng.



Hình 1.22. Các thủ tục của trạng thái rỗi

**Chế độ tìm gọi khả dụng.** ABS có thể tìm gọi AMS trong chế độ khả tìm gọi. Nếu AMS được tìm gọi để trở về trạng thái kết nối, AMS chuyển đến trạng thái truy nhập để nhập mạng. AMS có thể thực hiện thủ tục cập nhật vị trí trong trạng thái rỗi

**Chế độ không khả dụng tìm gọi.** Trong chế độ không khả dụng tìm gọi, AMS không cần giám sát kênh đường xuống để giảm tiêu thụ công suất.

## 1.8 Tổng kết

Chương này trước hết xét quá trình hình thành các chuẩn khác nhau trong họ chuẩn 802.16 như: 802.16, 802.16a, 802.16-2004, 802.16e và 802.16m. Các chuẩn trước IEEE 802.16m được tổng kết trong một chuẩn chung với tên gọi là IEEE 802.16-2009 hay chuẩn IEEE 802.16 kế thừa (Legacy). Chuẩn IEEE 802.16m được thiết kế cho di động băng rộng tích ứng với IMT-2000 Advanced. Sau đó chương này cũng đã xét sự hình thành của WiMAX Forum và vai trò của nó trong việc tương hợp toàn cầu các thiết bị dựa trên chuẩn mở của IEEE 802.16. Tiếp theo chương này xét các vấn đề liên quan đến chọn phổ cho WiMAX. Tiếp theo các tính năng tiên tiến của WiMAX được xét. Kiến trúc mạng WIMAX IEEE 802.16 với các thực thể chức năng như MS, ASN và CSN. Cuối cùng chương này xét đến giao thức của IEEE 802.16m.

## 1.9 Câu hỏi

1. So sánh các tiêu chuẩn của WiMAX IEEE 802.16 khác nhau
2. Vai trò của WiMAX Forum trong việc nghiên cứu phát triển họ tiêu chuẩn IEEE 802.16
3. Trình bày các tính năng tiên tiến của WiMAX
4. Trình bày các tính năng và dịch vụ được WiMAX IEEE 802.16e hỗ trợ
5. Trình bày các yêu cầu cơ bản đối với WiMAX IEEE 802.16m
6. Trình bày các băng tần có thể được sử dụng cho WLMAX
7. Trình bày mô hình tham chuẩn WIMAX di động: IEEE 802.16e và IEEE 802.16m
8. Trình bày các kết nối trên giao diện vô tuyến của WiMAX di động

9. Trình bày giao thức IEEE 802.16m trên giao diện MS và BS
10. Trình bày thực thể mặt phẳng số liệu IEEE 802.16m
11. Trình bày thực thể mặt phẳng điều khiển IEEE 802.16m
12. Trình bày thực thể mặt phẳng quản lý IEEE 802.16m
13. Trình bày mô hình tham chuẩn cho chuẩn IEEE 802.16 với chuyển giao độc lập phương tiện
14. Trình bày cấu trúc ngăn xếp giao thức 802.16m
15. Trình bày cấu trúc giao thức tổng quát hỗ trợ đa sóng mang của IEEE 802.16m
16. Trình bày cấu trúc giao thức hỗ trợ đồng tồn tại đa vô tuyến
17. Trình bày các chức năng giao thức đối với một ARS
18. Trình bày luồng xử lý mặt phẳng số liệu của IEEE 802.16m AMS/ABS
19. Trình bày xử lý gói IP tại máy phát BS và máy thu MS trong IEEE 802.16m
20. Trình bày ngăn xếp giao thức của trạm chuyển tiếp IEEE 802.16m
21. Trình bày kết cuối giao thức trong mạng được phép chuyển tiếp
22. Trình bày kiến trúc giao thức chung để hỗ trợ khai thác đa sóng mang.
23. Trình bày cấu trúc giao thức để hỗ trợ các dịch vụ đa phương và quảng bá
24. Trình bày biểu đồ chuyển đổi trạng thái trạm di động IEEE 802.16m
25. Trình bày các thủ tục của trạng thái khởi đầu
26. Trình bày các thủ tục của trạng thái truy nhập
27. Trình bày các thủ tục của trạng thái kết nối

## CHƯƠNG 2

### LỚP MAC CỦA WIMAX DI ĐỘNG

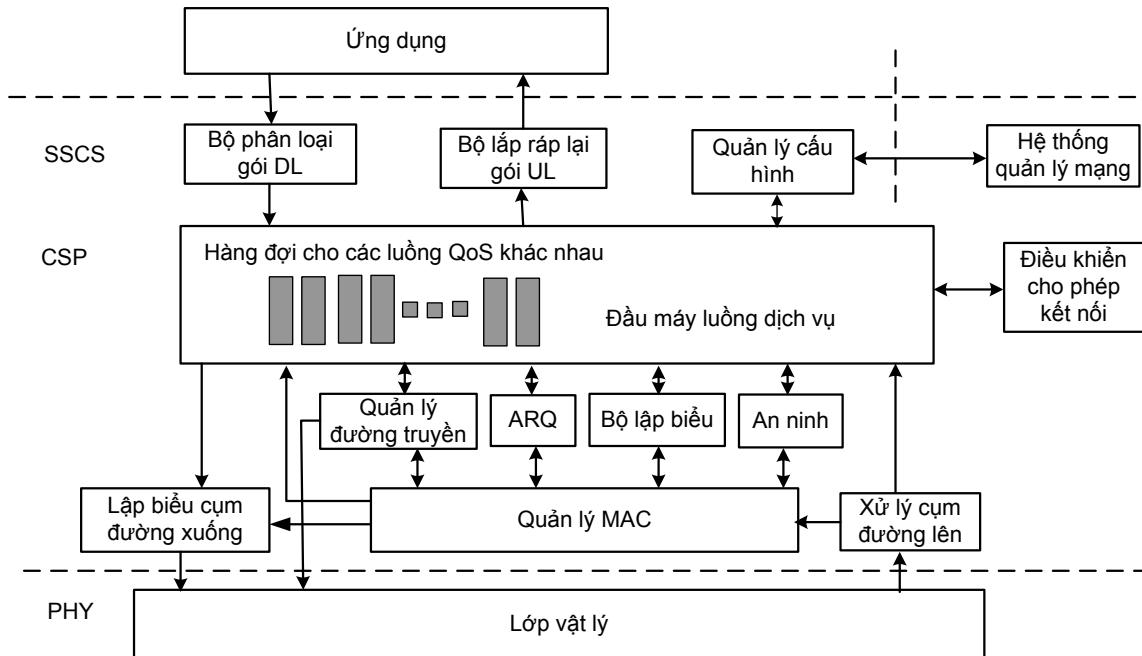
#### 2.1 Tổng quan về lớp MAC

Các tiêu chuẩn WIMAX IEEE 802.16-2009 và IEEE 802.16m được xây dựng cho các dịch vụ băng rộng bao gồm: thoại, số liệu và video. Lớp MAC có thể đảm bảo lưu lượng dạng cụm với yêu cầu tốc độ đỉnh cao trong khi vẫn đồng thời hỗ trợ lưu lượng luồng và lưu lượng thoại nhạy cảm trễ trên cùng một kênh. Các tài nguyên do bộ lập biếu MAC ấn định cho đầu cuối có thể thay đổi từ một khe thời gian đến toàn bộ khung vì thế cung cấp dải động thông lượng rất lớn cho từng máy đầu cuối tại từng thời điểm. Ngoài ra thông tin ấn định tài nguyên được mang trong các bản tin MAP tại đầu khung, bộ lập biếu có thể thay đổi hiệu quả việc ấn định tài nguyên theo từng khung để thích ứng tính chất cụm của lưu lượng.

MAC của các chuẩn IEEE 802.16-2009 và IEEE 802.16m là lớp có định hướng theo kết nối. Toàn bộ truyền số liệu xảy ra trong ngữ cảnh (Context) của các kết nối. Mỗi kết nối được liên kết với một luồng dịch vụ, nó quy định các thông số QoS để trao đổi các PDU. Trong quá trình nhập mạng, hai kết nối bắt buộc và một kết nối tùy chọn được thiết lập cho MS trên cả đường xuống lẫn đường lên. Ba kết nối này phản ánh ba mức độ yêu cầu QoS cho các mục đích quản lý. Kết nối thứ nhất được gọi là kết nối cơ sở. Nó được sử dụng để trao đổi thông tin nhạy cảm trễ và ngắn như: lệnh khởi động lại và yêu cầu lý lịch cụm. Kết nối thứ hai được gọi là kết nối sơ cấp, nó được sử dụng để mang thông tin dài hơn và ít nhạy cảm trễ hơn như các cấu hình dịch vụ động. Kết nối thứ ba được gọi là kết nối thứ cấp. Nó được sử dụng để mang thông tin không nhạy cảm trễ như Giao thức lập cấu hình máy tự động (DHCP). Mỗi kết nối được gán một số nhận dạng 16 bit cho phép phân biệt 64 K các kết nối trên kênh DL và UL. IEEE 802.16 MAC hỗ trợ hai kiểu kiến trúc mạng: điểm đa điểm (PMP:Point to Multipoint) và mạng hỗn hợp.

#### 2.2. Cấu trúc lớp MAC

Nhiệm vụ chính của lớp MAC (Medium Access Control) là quản lý các tài nguyên vô tuyến của giao diện vô tuyến một cách hiệu quả. Cấu trúc tổng quát giao diện vô tuyến của WiMAX đã được xét trong chương 2, hình 2.1 cho thấy cấu trúc cụ thể hơn của lớp MAC .



Hình 2.1. Cấu trúc lớp MAC của WiMAX

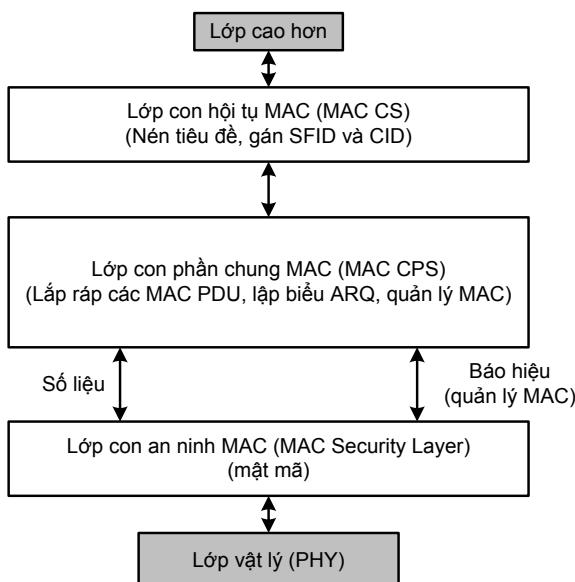
Lớp MAC bao gồm ba lớp con:

1. Lớp con hội tụ đặc thù dịch vụ (SSCS: Service Specific Convergence Sub-layer). cung cấp giao diện với các phần tử lớp trên. Hiện nay 802.16e-2005 định nghĩa hai tiêu chuẩn SSCS: ATM CS và CS gói dựa trên IP. Lớp này thực hiện các chức năng sau:
  - Tiếp nhận PDU từ các lớp cao hơn
  - Thực hiện phân loại và xử lý (nếu cần) các PDU lớp cao hơn
  - Nhận các CS PDU từ thực thể đồng cấp
2. Lớp con phần chung MAC (CPS: Commom Part Sub-Layer) cung cấp các chức năng lõi của MAC. Nó điều khiển truy nhập hệ thống, thiết lập và quản lý kết nối. Các chức năng chính của lớp này như sau:
  - Đánh địa chỉ, thiết lập và duy trì kết nối
  - Kết cấu MAC PDU, phân đoạn và lắp ráp lại
  - Thực hiện ARQ
  - Lập biểu
  - Yêu cầu và án định băng thông
  - Hỗ trợ các sơ đồ PHY khác nhau
  - Phân giải xung đột
  - Định cự ly và nhập mạng lần đầu
  - Đảm bảo QoS dựa trên luồng dịch vụ
  - Hỗ trợ di động

3. Lớp con an ninh (Security Sub-Layer) đảm bảo các chức năng nhận thực, trao đổi khóa và mật mã hóa. Hiện nay chuẩn IEEE 802.16e-2005 chứa hai giao thức thành phần sau:

- Giao thức đóng bao để mật mã gói số liệu trong khi thông tin. Giao thức này định nghĩa cặp giải thuật nhận thực và mật mã số liệu và các quy tắc áp dụng các giải thuật này cho MAC PDU
- Giao thức quản lý khóa để phân phối số liệu khóa an ninh từ BS đến MS. BS có thể sử dụng giao thức này để áp đặt truy nhập có điều kiện đến các dịch vụ mạng

Hình 2.2 cho thấy một số nhiệm vụ cơ bản được thực hiện tại các lớp khác nhau của MAC.



Hình 2.2. Các nhiệm vụ cơ bản được thực hiện tại lớp MA

### 2.3. Lớp con hội tụ MAC CS

Lớp con hội tụ MAC (MAC CS: MAC Convergence Sublayer) nhận thông tin từ lớp cao hơn, đóng gói thành các SDU, gán SFID (Service Flow ID), CID (Connection ID) và gửi chúng xuống lớp dưới. Bảng 2.1 cho thấy các kiểu gói được xử lý tại lớp con hội tụ.

Bảng 2.1. Các kiểu gói được xử lý tại lớp con hội tụ

Giá trị	Lớp con hội tụ
0	ATM CS
1	Gói CS IPv4
2	Gói CS IPv6
3	Gói CS 802.3 (Ethernet)
4	Gói CS 802.1/Q (VLAN)
5	Gói CS IPv4 trên 802.3
6	Gói CS IPv6 trên 802.3
7	Gói CS IPv4 trên 802.1/Q (VLAN)

8	Gói CS IPv4 trên 802.1/Q (VLAN)
9	Gói 802.3 với các nhãn VLAN tùy chọn và nén tiêu đề ROHC
10	Gói 802.3 với các nhãn VLAN tùy chọn và nén tiêu đề ERTCP
11	Gói IPv4 với nén tiêu đề ROHC
12	Gói IPv6 với nén tiêu đề ROHC
13-31	Dự trữ

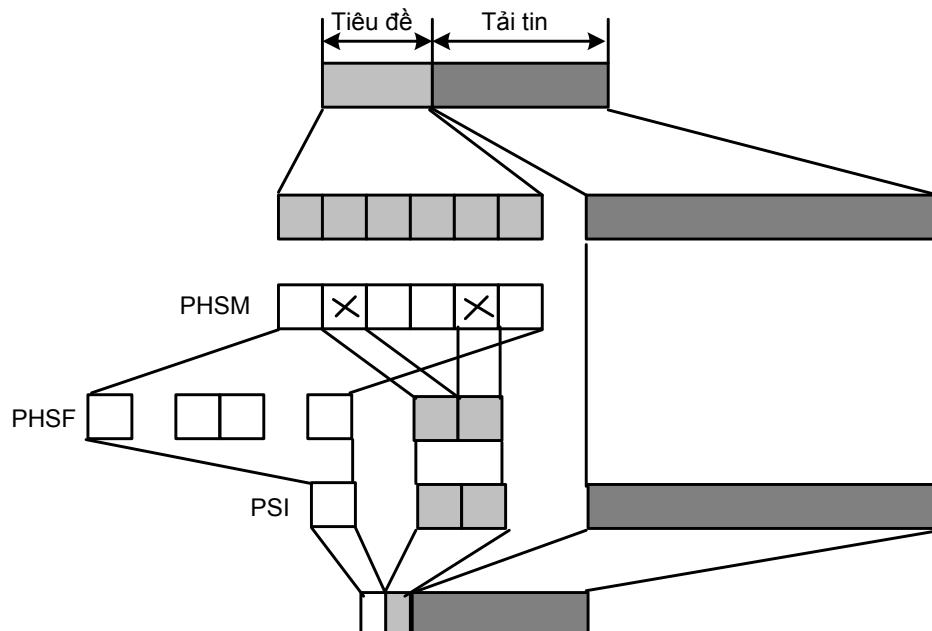
Ngoài việc nén tiêu đề, CS còn chịu trách nhiệm chuyển đổi các địa chỉ lớp cao như các địa chỉ IP của các SDU thành số nhận dạng các kết nối lớp MAC và lớp vật lý (PHY) để truyền dẫn. Chức năng này cần thiết vì các lớp PHY và MAC mang hoàn toàn không biết gì các lớp trên. WiMAX MAC là lớp định hướng theo kết nối, nó đánh số nhận dạng cho các kết nối logic giữa BS và MS bằng một số nhận dạng kết nối (CID: Connection ID) đơn hướng. Các CID cho đường xuống và đường lên sẽ khác nhau. Có thể coi các CID này như một địa chỉ lớp 2 động và tạm thời được BS xác định để nhận dạng một kết nối đơn hướng giữa các thực thể MAC/PHY đồng cấp và được sử dụng để mang lưu lượng mặt phẳng số liệu và mặt phẳng điều khiển. Để chuyển đổi địa chỉ lớp cao vào CID, CS cần duy trì bảng chuyển đổi địa chỉ nơi nhận và CID tương ứng. Các SDU thuộc một địa chỉ nhận có thể được mang trên các CID khác nhau phụ thuộc vào các yêu cầu QoS. Trong trường hợp này, CS quyết định CID tương ứng không chỉ dựa trên địa chỉ nơi nhận mà còn dựa trên một số các yếu tố khác nhau như ID nhận dạng luồng dịch vụ (SFID: Service Flow ID). Trong bảng 3.1 ta thấy chuẩn IEEE 802.16 định nghĩa các dịch vụ CS cho cả ATM và gói. Tuy nhiên WiMAX quyết định chỉ thực hiện CS IP và Ethernet (802.3).

Một trong các nhiệm vụ quan trọng của CS là nén tiêu đề gói (PGS: Packet Header Suppression). Tại máy phát, quá trình này bao gồm loại bỏ phần lặp trong tiêu đề của từng SDU. Chẳng hạn nếu các SDU đến CS là các gói IP, các địa chỉ IP nguồn và đích trong tiêu đề gói IP sẽ không thay đổi từ gói này đến gói sau và vì thế có thể loại bỏ trước khi truyền vào không gian. Tương tự tại máy thu phần lặp của tiêu đề được chèn vào SDU trước khi chuyển đến lớp cao hơn. Giao thức PHS thiết lập và duy trì mức độ đồng bộ cần thiết giữa các CS tại máy phát và máy thu. Trong WiMAX, thực hiện PHS là tùy chọn, tuy nhiên hầu hết các hệ thống sẽ thực hiện chức năng này, vì nó cải thiện hiệu suất mạng khi truyền các dịch vụ như VoIP. Hoạt động của PHS dựa trên một quy tắc PHS, quy tắc này cung cấp tất cả các thông số liên quan đến nén tiêu đề cho SDU. Khi nhận được SDU, CS quyết định quy tắc PHS sẽ sử dụng dựa trên các thông số như: địa chỉ gửi và địa chỉ nhận. Sau khi đã tìm được quy tắc phù hợp, CS cung cấp một SFID, một CID và các thông số liên quan đến PHS cho SDU này. Quy tắc PHS có thể phụ thuộc vào kiểu dịch vụ chẳng hạn VoIP, HTTP hay FTP, vì số byte có thể nén trong tiêu đề phụ thuộc vào tính chất của dịch vụ. Chẳng hạn đối với VoIP, phần lặp của tiêu đề không chỉ gồm địa chỉ IP nguồn và đích mà còn cả chỉ thị độ dài. Đối với HTTP, chỉ thị độ dài có thể thay đổi từ SDU này đến SDU khác. Mặc dù chuẩn chỉ dẫn CS sử dụng quy tắc PHS, WiMAX không đặc tả cách thức tạo ra các quy tắc này hoặc lấy chúng ở đâu. Nó để mở cho một thực thể lớp trên tạo ra các quy tắc PHS.

Hình 2.3 cho thấy thao tác cơ bản của nén tiêu đề trong WiMAX. Sau khi nhận được SDU, trước hết CS xác định xem có quy tắc PHS liên quan hay không. Nếu tìm được quy tắc

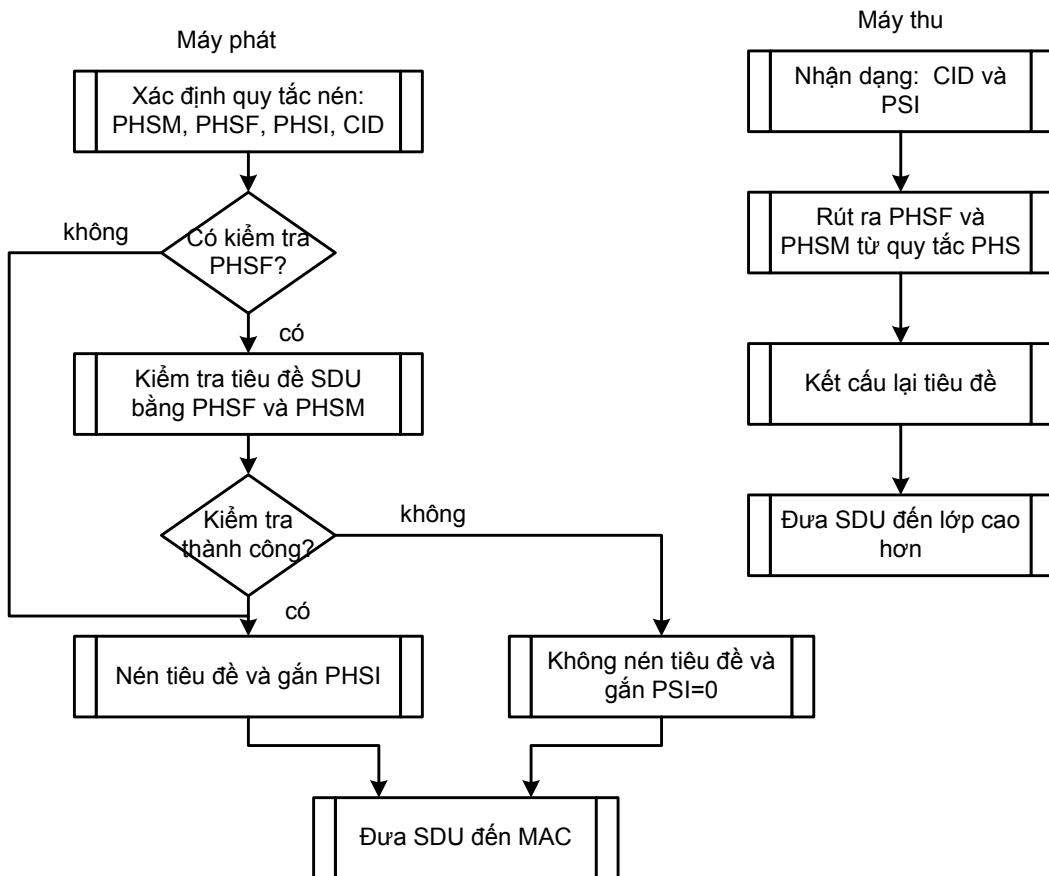
phù hợp, CS xác định phần tiêu đề không bị nén dựa trên mặt nạ nén tiêu đề (PHSM) liên quan đến SDU. Phần tiêu đề cần nén được gọi là trường nén tiêu đề (PHSF). Nếu sử dụng kiểm tra nén tiêu đề (PHSV), trước hết CS so sánh các bit trong PHSF với các bit kỳ vọng được lưu trong bộ nhớ dựa trên quy tắc PHS. Nếu PHSF của SDU trùng với PHSF lưu trong bộ nhớ, các byte tương ứng với PHSF bị loại bỏ và chỉ số PHS (PHSI) được gắn vào SDU theo quy tắc PHS. PHSI là một trường 8 bit để chỉ ra PHSF lưu trong bộ nhớ. Nếu PHSF của SDU không trùng với PHSF lưu trong bộ nhớ, PHSF không bị loại và PHSI=0 được gắn vào SDU.

Nếu PHSV không được sử dụng, CS không so sánh PHSF của SDU với PHSF lưu và nén tiêu đề được thực hiện trên toàn bộ các SDU.



Hình 2.3. Nén tiêu đề trong WiMAX

Hình 2.4 cho thấy các bước khác nhau trong quá trình nén tiêu đề tại phía phát và giải nén tiêu đề tại phía thu trong WiMAX. Để đảm bảo hoạt động của PHS, cần phải đồng bộ các quy tắc PHS tại phía phát và phía thu. Khi khởi đầu hay thay đổi quy tắc PHS, BS gửi đi một bản tin xác định dịch vụ động (DSA: Dynamic Service Allocation) hay một bản tin thay đổi dịch vụ động (DSC: Dynamic Service Change) cùng với PHSF, PHSI hay PHSM. Khi khởi đầu hay thay đổi quy tắc PHS, MS gửi đi bản tin DSA hai DSC với tất cả các phần tử trừ PHSI. Đáp lại bản tin DSA hoặc DSC, BS gửi đi trả lời DSC với PHSI sẽ sử dụng trong quy tắc PHS này. Giống như CID, PHSI luôn luôn được xác định bởi BS. Để xoá một quy tắc PHS, BS hoặc MS gửi đi bản tin xóa dịch vụ động (DSD: Dynamic Service Delete).



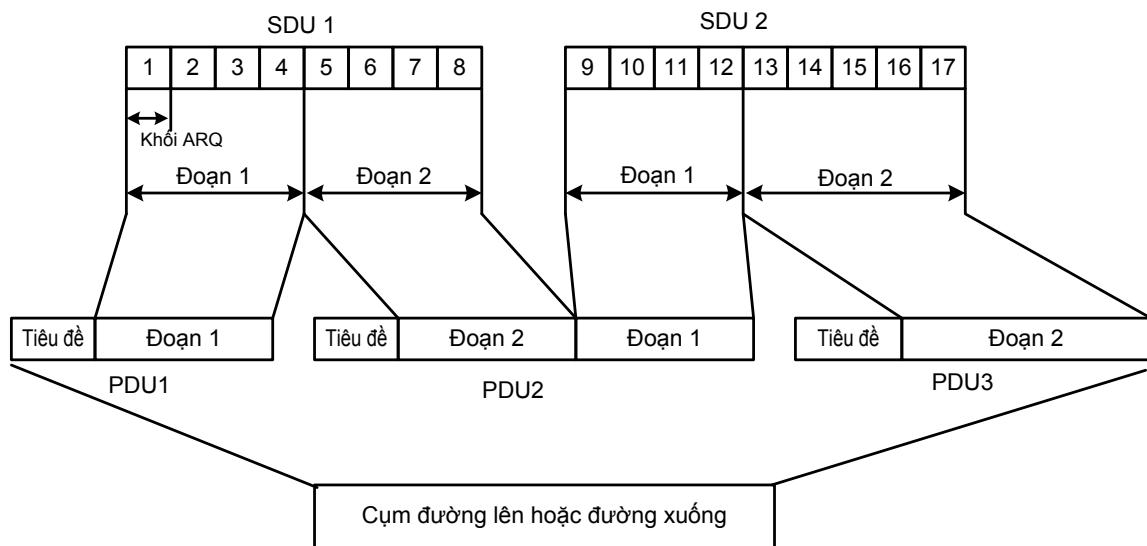
Hình 2.4. Các bước nén và giải nén tiêu đề trong WiMAX

## 2.4 Lớp con phần chung MAC CPS

MAC CPS thực hiện chức năng chính như: truy nhập hệ thống, yêu cầu và xác định băng thông, thiết lập và quản lý kết nối, hỗ trợ chuyển giao. MAC CPS thực hiện lắp ráp các MAC PDU, lập biểu ARQ và quản lý MAC. MAC CPS thực hiện các nhiệm vụ cụ thể sau:

1. Phân đoạn hoặc móc nối các đơn vị số liệu dịch vụ (SDU: Service Data Unit) nhận được từ lớp trên vào các MAC PDU (Protocol Data Unit: đơn vị số liệu giao thức) của tải tin lớp MAC
2. Lựa chọn hồ sơ cụm phù hợp và mức công suất sẽ sử dụng để truyền dẫn các MAC PDU
3. Phát lại các MAC PDU bị thu lỗi khi sử dụng ARQ (Automatic Repeat Request: yêu cầu phát lại tự động).
4. Đảm bảo điều khiển QoS và xử lý ưu tiên các MAC PDU thuộc các kênh mang báo hiệu và số liệu khác nhau
5. Lập biểu các MAC PDU trên các tài nguyên lớp vật lý
6. Đảm bảo hỗ trợ các lớp cao hơn đối với quản lý di động
7. Cung cấp chế độ tiết kiệm công suất và khai thác chế độ rỗi

Như đã nói ở trên MAC CPS độc lập với các giao thức lớp trên, nó chịu trách nhiệm lập biểu, ARQ, xác định băng thông, chọn điều chế và tỷ lệ mã. MAC CPS nhận các SDU từ các lớp trên và lắp ráp chúng vào các MAC PDU. MAC PDU là đơn vị tải tin cơ bản được xử lý tại MAC. Tùy theo kích cỡ của tải tin này, một MAC PDU có thể mang nhiều SDU hay có thể chỉ mang một đoạn SDU, trong trường hợp SDU lớn được phân thành nhiều đoạn. Trong trường hợp SDU bị phân đoạn, mỗi đoạn được gắn một số trình tự. Số trình tự này cho phép lớp MAC phía thu lắp ráp lại SDU từ các đoạn khác nhau theo đúng thứ tự. Để sử dụng hiệu quả các tài nguyên vô tuyến, nhiều MAC PDU có đích đến cùng một MS có thể được mọc nối với nhau và được mang trên cùng một cơ hội truyền dẫn hay cùng một vùng số liệu (hình 2.5).



Hình 2.5. Kết cấu MAC PDU.

Trên đường lên và đường xuống, các vùng số liệu của MS là một tập các khe dành trước cho các cơ hội truyền dẫn của MS. Đối với các kết nối không có ARQ, mỗi đoạn SDU được phát theo chuỗi. Đối với các kết nối có ARQ, trước hết SDU được chia thành các khối ARQ, một số trình tự khối (BSN: Block Sequence Number) được gán cho từng khối ARQ. BS đặc tả độ dài các khối ARQ cho từng CID bằng cách sử dụng thông số Độ dài khối ARQ (ARQBLOCKSIZE). Nếu SDU có độ dài không phải là bội số của ARQBLOCKSIZE, thì khối ARQ cuối cùng sẽ được chèn thêm. Sau đó SDU được lắp ráp vào các MACPDU như trên hình 3.4. Đối với các kết nối có ARQ, sau tiêu đề con là tiêu đề con đóng gói và phân đoạn chứa BSN của khối ARQ thứ nhất. Máy thu gửi phản hồi ở dạng công nhận (ACK) để thông báo về thu đúng các khối ARQ. Phản hồi được gửi hoặc bằng một MAC PDU hoặc được gắn vào tải trọng của một MAC PDU bình thường. Trong WiMAX, phản hồi ACK có thể có dạng ACK chọn lọc hay ACK tích lũy. ACK chọn lọc đối với một BSN cho trước chỉ ra rằng khối ARQ đã thu được không bị mắc lỗi. ACK tích lũy đối với một BSN cho trước chỉ ra rằng tất cả các số trình tự nhỏ hơn hoặc bằng BSN này đều đã được thu không bị mắc lỗi. Mỗi MAC PDU gồm một tiêu đề, tiếp sau là tải tin và kiểm tra vòng dư (CRC). CRC được tính cho toàn bộ MAC PDU: tiêu đề và tải tin. WiMAX có nhiều kiểu PDU, mỗi kiểu có cấu trúc tiêu đề rất khác nhau, trong đó có một số PDU chỉ chứa tiêu đề. Có các kiểu MACPDU sau:

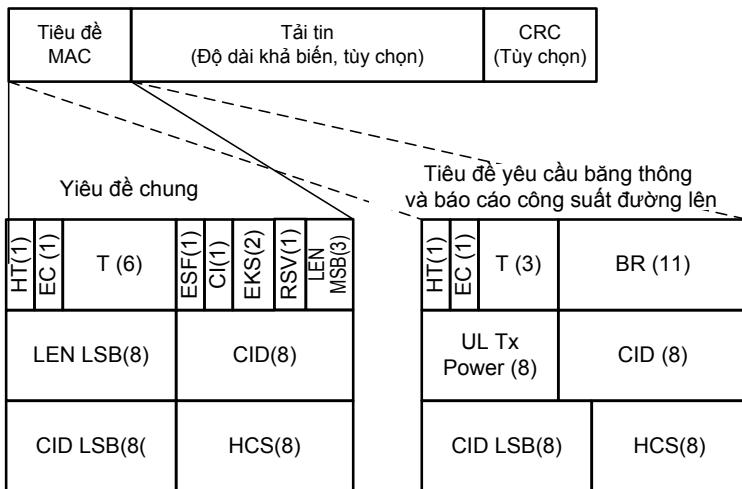
1. MAC PDU chung. MAC PDU chung được sử dụng để mang số liệu và các bản tin báo hiệu lớp MAC. MAC PDU bắt đầu bằng một tiêu đề chung có cấu trúc như trên hình 2.5a, tiếp sau nó là tải tin và CRC.
2. MAC PDU yêu cầu băng thông. MAC PDU yêu cầu băng thông được MS sử dụng để thông báo cho BS rằng nó cần băng thông lớn hơn do phải treo truyền dẫn.
3. MAC PDU yêu cầu băng thông và báo cáo công suất đường lên. PDU chỉ chứa tiêu đề không có tải tin
4. MAC PDU yêu cầu băng thông và báo SINR. Chỉ chứa tiêu đề
5. MAC PDU yêu cầu xác định CQICH (kênh chỉ thị chất lượng khung). Chỉ chứa tiêu đề
6. MAC PDU báo cáo kênh vật lý. Chỉ chứa tiêu đề
7. MAC PDU yêu cầu băng thông và điều khiển chế độ ngủ đường lên. Chỉ chứa. Được MS gửi đi trên đường lên để yêu cầu tích cực hoặc thôi tích cực một số loại tiết kiệm công suất. Tiêu đề cũng chứa yêu cầu băng thông
8. MAC PDU báo cáo số trình tự (SN). Được MS sử dụng để báo cáo LSB (bit thấp nhất) của ARQ BSN (số trình tự khối ARQ) tiếp theo.
9. MAC PDU phản hồi. Không chứa tải tin. Được MS sử dụng để trả lời thăm dò phản hồi
10. MAC PDU phản hồi kênh MIMO. Được MS sử dụng để phản hồi chất lượng kênh đường xuống.

Hình 2.8 cho thấy thí dụ về cấu trúc MAC PDU và tiêu đề cho hai trường hợp: (1) MAC PDU chung và (2) MAC PDU yêu cầu băng thông và điều khiển công suất. Các trường trong tiêu đề MAC PDU trên hình 2.6 được cho trong bảng 2.2.

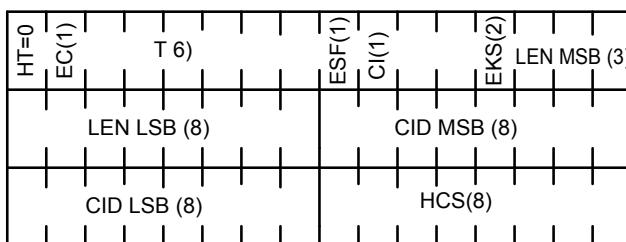
Bảng 2.2. Các trường trong tiêu đề MAC PDU

Trường	Độ dài (bit)	Mô tả
<b>HT</b>	1	Kiểu tiêu đề: 0=tiêu đề chung; 1=tiêu đề yêu cầu băng thông và báo cáo điều khiển công suất (BR)
<b>EC</b>	1	Điều khiển mật mã: có mật mã tải tin hay không. tiêu đề BR sẽ đặt trường này vào 0
<b>T (kiểu)</b>	6	Trường này chỉ thị các kiểu tiêu đề con và các tải tin con đặc biệt trong tải tin của bản tin
<b>Rsv</b>	1	Dự trữ
<b>CI</b>	1	Chỉ thị kiểm tra: bản tin có chứa CRC hay không
<b>EKS</b>		Chuỗi khóa mật mã: thông số để mật mã tải tin
<b>LEN</b>		Độ dài MAC PDU được đo bằng byte bao gồm cả tiêu đề và CRC (nếu có)
<b>CID</b>	16	Connection ID: nhận dạng kết nối
<b>HCS</b>	8	Chuỗi kiểm tra tiêu đề: chuỗi được tính toán theo công thức quy định trước
<b>BR</b>	11	Yêu cầu băng thông: Số byte được MS yêu cầu cho đường lên
<b>UL Tx Power</b>	8	Báo cáo công suất đường lên

a) Cấu trúc MAC PDU



b) Tiêu đề chung chung

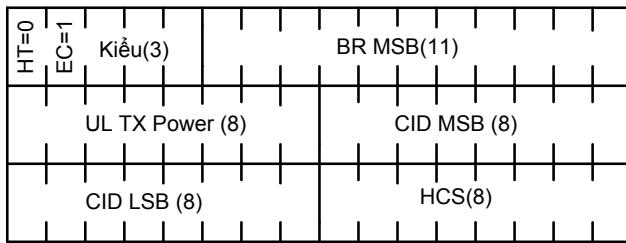


MSB: Most Significant Bit:  
bit trong số cao nhất

LSB: Least Significant Bit:  
bit trong số thấp nhất

(.): Độ dài bit

c) Tiêu đề yêu cầu băng thông và điều chỉnh công suất đường lên



Hình 2.6. Cấu trúc MAC PDU và tiêu đề WiMAX. a) Cấu trúc MAC PDU, b) tiêu đề chung, c) tiêu đề yêu cầu băng thông và báo cáo công suất đường lên.

Nhiều MAC PDU có thể móc nối với nhau vào một cụm truyền dẫn để hỗ trợ truyền dẫn số liệu nhanh. Một MAC SDU có thể được chia thành nhiều PDU để sử dụng hiệu quả băng thông theo các yêu cầu QoS. Ngoài ra nhiều MAC SDU có thể được gói chung vào một MAC PDU để sử dụng hiệu quả băng thông.

Ngoài các tiêu đề trên, WiMAX cũng định nghĩa 5 tiêu đề con để sử dụng cho MAC PDU chung:

1. Tiêu đề con lưới. Đi sau tiêu đề MAC chung khi mạng cấu hình lưới được sử dụng
2. Tiêu đề con phân đoạn. Đi sau tiêu đề MAC chung để thông báo rằng SDU bị phân thành nhiều đoạn trên nhiều MAC PDU
3. Tiêu đề con đóng gói. Thông báo rằng nhiều SDU hoặc nhiều đoạn SDU được đóng gói vào một MAC PDU. Được đặt tại đầu của từng SDU hay đoạn SDU

4. Tiêu đề con xác định phản hồi nhanh. Thông báo rằng PDU chứa phản hồi từ MS mang thông tin trạng thái kênh đườn lén. Tiêu đề con này đóng vai trò phản hồi thông tin trạng thái kênh cho các ứng dụng MIMO hoặc không MIMO.
5. Tiêu đề con quản lý cho phép. Được MS sử dụng để mang các bản tin khác nhau liên quan đến quản lý băng thông như yêu cầu thăm dò và yêu cầu băng thông bổ sung. Khi đang có phiên, sử dụng tiêu đề con này hiệu suất hơn MAC PDU yêu cầu băng thông, vì nó gọn hơn và không yêu cầu phát PDU mới, MAC PDU yêu cầu băng thông thường chỉ sử dụng khi yêu cầu băng thông lần đầu.

Sau khi MAC PDU được kết cấu, nó được chuyển đến bộ lập biểu để lập biểu MAC PDU trên tài nguyên lớp vật lý khả dụng. Bộ lập biểu kiểm tra ID dịch vụ luồng và CID của MAC PDU để đánh giá yêu cầu QoS của nó. Dựa trên các yêu cầu QoS của MAC PDU của các CID và SFID khác nhau, bộ lập biểu quyết định xác định tài nguyên lớp vật lý tối ưu cho các MAC PDU theo từng khung. Vì giải thuật lập biểu ảnh hưởng rất lớn lên tổng dung lượng và chất lượng hệ thống, nên nó sẽ là một tính năng quyết định sự khác biệt trong việc thực hiện hệ thống giữa các nhà sản xuất thiết bị khác nhau.

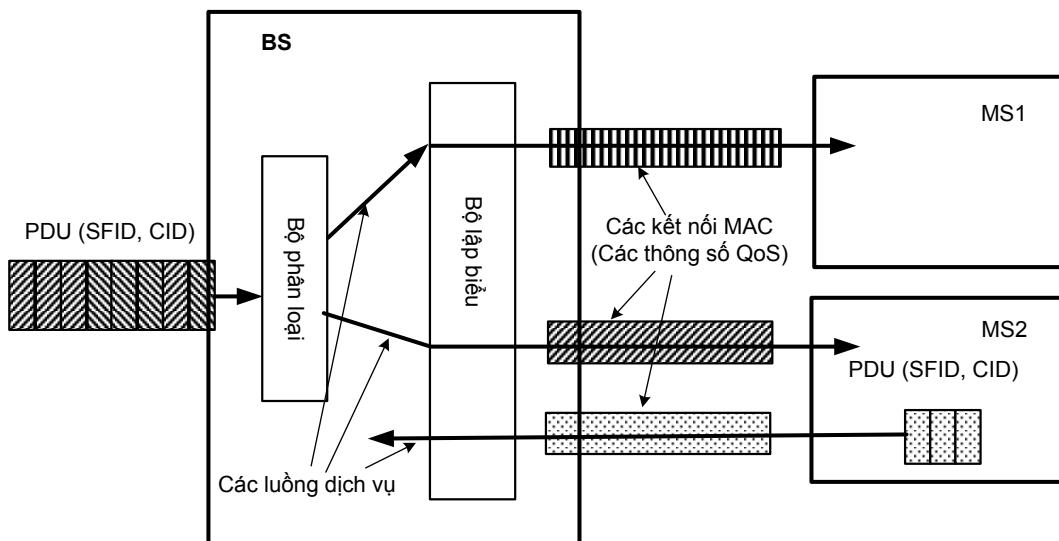
## 2.5. Các dịch vụ MAC

Một trong các chức năng quan trọng của lớp WiMAX MAC là có thể đảm bảo các yêu cầu QoS cho các MAC PDU thuộc các luồng dịch vụ khác nhau một cách tin cậy trong các điều kiện tải cho trước của hệ thống. Điều này có nghĩa là các chỉ thị khác nhau về hiệu năng đạt được sau đàm phán gắn liền với QoS như: trễ, Jitter, tốc độ số liệu, tỷ lệ mất gói và độ khả dụng hệ thống phải được đáp ứng đối với từng kết nối. Vì các yêu cầu về QoS của các dịch vụ số liệu khác nhau có thể thay đổi rất lớn, nên WiMAX phải có các cơ chế xử lý và truyền tải khác nhau để đáp ứng tính đa dạng này.

### 2.5.1. Hỗ trợ chất lượng dịch vụ (QOS)

Nhờ việc sử dụng đường truyền vô tuyến nhanh, khả năng không đối xứng đường xuồng/dорг lén, tính hạt nhỏ của tài nguyên và cơ chế xác định tài nguyên linh hoạt, WiMAX có thể đáp ứng các yêu cầu QOS cho rất nhiều dịch vụ số liệu và ứng dụng. Trong lớp MAC của WiMAX di động, QoS được cung cấp qua các luồng dịch vụ như trên hình 2.7.

Đây là luồng gói đơn hướng được đảm bảo bởi một tập các thông số QoS. Trước khi cung cấp một kiểu dịch vụ nào đó, đầu tiên BS và đầu cuối của người sử dụng phải thiết lập một liên kết logic đơn hướng giữa các MAC đồng cấp (được gọi là kết nối). Khi này MAC đầu cuối liên kết các gói sẽ đưa vào một luồng dịch vụ thông qua giao diện MAC để đưa lên kết nối. Các thông số QoS liên quan với luồng dịch vụ sẽ quyết định thứ tự và lập biểu truyền dẫn trên giao diện vô tuyến. Vì thế QoS định hướng theo kết nối này sẽ đảm bảo điều khiển chính xác trên giao diện vô tuyến. Vì giao diện vô tuyến thường là nút cổ chai, vì thế QoS theo kết nối có thể đảm bảo điều khiển hiệu quả đầu cuối đầu cuối. Có thể quản lý động các thông số luồng dịch vụ thông qua các bản tin MAC để để đáp ứng nhu cầu dịch vụ động. Luồng dịch vụ dựa trên cơ chế QoS được áp dụng cho cả DL và UL. WiMAX di động hỗ trợ nhiều dịch vụ và ứng dụng theo các yêu cầu QOS khác nhau. Các QoS này được cho trong bảng 2.3.



Ký hiệu:

SFID: Service Flow ID: Nhận dạng luồng dịch vụ

CID: Connection ID: Nhận dạng kết nối

Hình 2.7. Hỗ trợ QoS của WiMAX

Bảng 2.3. QoS và các ứng dụng của WiMAX

Loại QoS	Ứng dụng	Đặc tả QoS
UGS (Unsolicited Grant Service) Dịch vụ cho phép không cần khẩn nài	T1/E1 và VoIP. Dùng cho các gói có độ dài cố định, MS không cần yêu cầu băng thông vì thế loại bỏ được thông tin bổ sung và trễ. MS chỉ được yêu cầu băng thông bổ sung cho dịch vụ không phải UGS	Tỷ lệ treo cực đại Dung sai trễ cực đại Dung sai Jitter
rtPS (Real-Time Polling Service) Dịch vụ thăm dò thời gian thực	Âm thanh và video luồng (MPEG). Dùng cho các gói có kích thước thay đổi theo định kỳ. BS sử dụng thăm dò đơn phương cho MS yêu cầu băng thông. Cơ hội yêu cầu băng thông đủ dùng để đảm bảo trễ. Đòi hỏi nhiều thông tin bổ sung hơn UGS nhưng hiệu quả cho dịch vụ có gói với kích thước thay đổi và có chu kỳ bận thấp hơn 100 phần trăm	Tỷ lệ dành trước cực tiêu Tỷ lệ treo cực đại Dung sai trễ cực đại Ưu tiên lưu lượng
BE (Best Effort) Nỗ lực nhất	Chuyển File, Trình duyệt. Được áp dụng cho các dịch vụ không có yêu cầu QoS cao. Số liệu được phát khi có các tài nguyên và không đòi hỏi dịch vụ lập biểu, MS chỉ sử dụng yêu cầu băng thông đa phương/quảng bá	Tốc độ treo cực đại Ưu tiên lưu lượng
ErtPS (Extended Real-Time Polling)	Thoại với phát hiện tích cực (VoIP). Tận dụng hiệu ưu điểm của rtPS và	Tốc độ dành trước cực tiêu

Service) Dịch vụ thăm dò thời hian thực mở rộng	nrtPS. MS được cấp phát tài nguyên định ký cho cả số liệu và yêu cầu băng thông bổ sung.	Tốc độ treo cực đại Dung sai trễ cực đại Dung sai Jitter Ưu tiên lưu lượng
nrtPS (Non Real-Time Polling Service) Dịch vụ thăm dò phi thời gian thực	Giao thức chuyển File (FTP). BS sử dụng thăm dò đơn phương giống như rtPS, tuy nhiên thời gian trung bình giữa hai cơ hội thăm dò vào khoảng vài giây lớn hơn nhiều so với rtPS. Ngoài ra MS có thể sử dụng thăm dò đa phương/quảng bá.	Tốc độ dành trước cực tiểu Tốc độ treo cực đại Ưu tiên lưu lượng

Trong WiMAX luồng dịch vụ là một dịch vụ truyền tải MAC được sử dụng để truyền dẫn lưu lượng đường lên và đường xuống. Mỗi luồng dịch vụ được liên kết với một tập các thông số QoS như độ trễ, thông lượng, jitter và tỷ lệ lỗi gói mà hệ thống cần hỗ trợ. Một luồng dịch vụ có các thông số sau:

1. *Số nhận dạng luồng dịch vụ*. Một số nhận dạng 32 bit để nhận dạng luồng dịch vụ
2. *Số nhận dạng kết nối (CID)*. Một số nhận dạng kết nối logic được sử dụng để mang luồng dịch vụ. CID giống như số nhận dạng MS tại lớp vật lý. Một MS có thể có nhiều số nhận dạng đồng thời: một số nhận dạng sơ cấp và nhiều số nhận dạng thứ cấp. Các bản tin quản lý MAC và báo hiệu được mang trong CID sơ cấp
3. *Tập các thông số QoS được trang bị*. Các thông số QoS được khuyến nghị để sử dụng cho luồng dịch vụ, thường được cung cấp bởi lớp cao hơn.
4. *Tập các thông số QoS được phép*. Các thông số QoS thực tế được ấn định cho luồng dịch vụ tại một thời điểm cho trước
5. *Môđul trao quyền*. Là chức năng BS logic có nhiệm vụ chấp thuận hoặc từ chối mọi thay đổi các thông số QoS và các bộ phân loại liên quan đến luồng dịch vụ

Các luồng dịch vụ được phép khác nhau trong WiMAX thường được nhóm thành các loại dịch vụ, trong đó mỗi loại được định nghĩa bằng một tập duy nhất các yêu cầu QoS. Khái niệm này của luồng dịch vụ cho phép các thực thể lớp trên tại MS và BS yêu cầu các thông số QoS một cách thống nhất. WiMAX không đặc tả rõ ràng cách phân loại các luồng dịch vụ và để mở vấn đề này cho các nhà cung cấp dịch vụ và các nhà sản xuất thiết bị. Thực tế cho thấy các dịch vụ có các yêu cầu rất khác nhau, chẳng hạn VoIP, duyệt Web và trò chơi tương tác thường liên kết với các loại luồng dịch vụ khác nhau. Khái niệm chung của luồng dịch vụ và các loại luồng dịch vụ là rất linh hoạt và công dụng, nó cho phép các nhà cung cấp dịch vụ hoàn toàn làm chủ ở các mức độ tự do khác nhau trong việc quản lý QoS cho tất cả các ứng dụng.

### 2.5.2. Dịch vụ lập biểu MAC

Dịch vụ lập biểu MAC được thiết kế để chuyển phát hiệu quả các dịch vụ số liệu băng rộng như: thoại, số liệu và video trên kênh băng rộng thay đổi theo thời gian. Lập biểu MAC có các thuộc tính sau:

- **Bộ lập biểu số liệu nhanh.** Bộ lập biểu MAC phải xác định hiệu quả tài nguyên khả dụng để đáp ứng lưu lượng số liệu kiểu cụm và các điều kiện kênh thay đổi theo thời gian. Các gói số liệu được liên kết với các luồng dịch vụ bởi các thông số QoS được định nghĩa rõ ràng tại lớp MAC để bộ lập biểu có thể quyết định chính xác trình tự truyền dẫn gói trên giao diện vô tuyến. Kênh CQICH cung cấp thông tin hồi tiếp nhanh cho bộ lập biểu để nó chọn điều chế và mã hóa kênh phù hợp cho từng xác định. Điều chế và mã hóa thích ứng cùng với HARQ đảm bảo truyền dẫn ổn định trên kênh thay đổi theo thời gian.
- **Lập biểu cho cả DL và UL.** Dịch vụ lập biểu được cung cấp cho cả lưu lượng DL và UL. Để bộ lập biểu MAC có thể xác định hiệu quả tài nguyên và cung cấp QoS cần thiết trên DL và UL, cần đảm bảo thông tin hồi tiếp về các điều kiện lưu lượng và các yêu cầu QoS một cách chính xác và kịp thời. Cơ chế yêu cầu bằng thông tin nhiều đường lên như yêu cầu băng thông trên kênh định cực ly, yêu cầu công và thăm dò được thiết kế để hỗ trợ các yêu cầu băng thông đường lên. Luồng dịch vụ UL quy định cơ chế hồi tiếp cho từng kết nối UL để đảm bảo hành vi của bộ lập biểu khả dự đoán. Ngoài ra, việc sử dụng các kênh con UL trực giao dẫn đến không xảy ra nhiễu nội ô. Quá trình lập biểu UL có thể xác định tài nguyên hiệu quả hơn và thực hiện QoS tốt hơn.
- **Án định tài nguyên động.** MAC hỗ trợ xác định tài nguyên tần số-thời gian trên cả DL lẫn UL theo từng khung. Án định tài nguyên được truyền trong các bản tin MAC tại đầu mỗi khung. Vì thế có thể thay đổi xác định tài nguyên theo từng khung để đáp ứng các điều kiện lưu lượng và kênh. Ngoài ra khối lượng tài nguyên có thể thay đổi từ khung đến khung. Việc xác định tài nguyên nhanh và cấu trúc hạt mịn này cung cấp QoS tốt nhất cho lưu lượng.
- **Định hướng theo QoS.** Bộ lập biểu MAC xử lý truyền tải số liệu theo kết nối. Mỗi kết nối được liên kết với một dịch vụ số liệu bởi một tập các thông số QoS để xác định các đặc điểm hành vi. Bằng khả năng xác định tài nguyên động cả trên DL lẫn UL, bộ lập biểu có thể cung cấp QoS tốt hơn cho cả lưu lượng DL và UL. Ngoài ra việc sử dụng lập biểu UL còn cho phép: xác định tài nguyên hiệu quả hơn, khả năng dự báo hiệu năng tốt hơn và thực thi QoS tốt hơn.
- **Án định chọn lọc tần số.** Bộ lập biểu hoạt động trên các kiểu kênh con khác nhau. Đối với các kênh con phân tách tần số (phân tán trên các tần số khác nhau) như PUSC, trong đó các sóng mang con được phân bố ngẫu nhiên trên băng thông, các kênh con có chất lượng như nhau. Bộ lập biểu phân tách tần số có thể hỗ trợ tính hạt mịn và lập biểu tài nguyên tần số-thời gian linh hoạt. Sử dụng sắp xếp liên tục như AMC dẫn đến các kênh con có suy hao khác nhau. Bộ lập biểu phân tách tần số có thể xác định tài nguyên cho người dùng di động đến các kênh con mạnh nhất. Bộ lập biểu chọn lọc tần

số có thể tăng cường dung lượng hệ thống bằng cách tăng phần nào thông tin CQI trên UL.

Bộ lập biểu khảo sát các yếu tố sau để quyết định truyền dẫn cho khung/ẩn định băng thông cụ thể:

- Dịch vụ được đặc tả cho luồng dịch vụ
- Các giá trị được ẩn định cho các thông số QoS của luồng dịch vụ
- Mức độ sẵn sàng số liệu cho truyền dẫn
- Dung lượng của băng thông được cấp phép

Để lập biểu cho yêu cầu/cho phép, IEEE 802.16e định nghĩa các dịch vụ lập biểu và các tùy chọn thăm dò/cho phép như trong bảng 2.4. Tuy nhiên giải thuật lập biểu cụ thể là đặc thù của nhà cung cấp thiết bị và MAC chỉ cung cấp phương tiện thực hiện các giải thuật lập biểu này.

Bảng 2.4. Các tùy chọn lập biểu dịch vụ

Kiểu dịch vụ	Yêu cầu gắn theo MAC PDU	Lấy trộm băng thông	Thăm dò
UGS	Không được phép	Không được phép	Sử dụng một bit đặc biệt để yêu cầu thăm dò đơn phương cho các kết nối không phải UGS
rtPS	Được phép	Được phép	Chỉ được phép thăm dò đơn phương
nrtPS	Được phép	Được phép	Có thể giới hạn một luồng dịch vụ đến thăm dò đơn phương thông qua chính sách truyền dẫn/yêu cầu; trái lại tất cả các dạng thăm dò đều được phép

### 2.5.3. Yêu cầu và ẩn định băng thông

Khi MS nhận thấy băng thông được cấp phát không đủ, nó cần yêu cầu băng thông từ BS. IEEE 802.16e-2005 MAC cung cấp ba kiểu cơ chế để MS gửi bản tin yêu cầu ẩn định băng thông đến BS.

1. **Yêu cầu.** Yêu cầu là cơ chế để MS thông báo cho BS rằng nó cần ẩn định băng thông đường lên. MS có thể gửi yêu cầu này như một tiêu đề yêu cầu băng thông đứng riêng hay công theo yêu cầu này trong trường tải tin.

Yêu cầu băng thông có thể ở dạng tăng thêm hay ở dạng tổng. Khi MS gửi đi yêu cầu băng thông tăng thêm, BS sẽ cộng thêm một đại lượng băng thông được yêu cầu vào băng thông hiện đang được ẩn định cho kết nối. Khi MS gửi yêu cầu băng thông tổng, BS sẽ lưu lại đại lượng băng thông được yêu cầu này như băng thông hiệu dụng cho kết nối.

2. **Cho phép.** Khi một MS gửi đi yêu cầu băng thông, thì yêu cầu này được liên kết với một kết nối riêng lẻ, trong khi đó mỗi cho phép băng thông lại để cập đến kết nối cơ sở của MS chứ không phải kết nối được yêu cầu. Vì thế khi MS có cơ hội truyền dẫn ngắn hơn kỳ vọng, nó không biết được rằng đối với kết nối nào yêu cầu băng thông

không được cho phép. Trong trường hợp này MS sẽ quyết định hoặc phát lại hoặc hủy bỏ yêu cầu.

3. **Thăm dò.** Thăm dò là một cơ chế mà theo đó BS ấn định băng thông đến từng MS riêng lẻ hay một nhóm MS đặc biệt cho mục đích đáp ứng các yêu cầu. Tồn tại hai kiểu thăm dò: thăm dò đơn phương và thăm dò đa phương/quảng bá.

Trên đường xuống tất cả các quyết định về ấn định băng thông cho các MS khác nhau đều được BS thực hiện cho từng CID mà không cần sự tham gia của MS. Vì các MAC PDU được truyền dẫn theo từng CID, nên BS lập biểu ấn định tài nguyên lớp vật lý cho chúng dựa trên các yêu cầu về QoS của chúng. Sau khi các tài nguyên lớp vật lý đã được ấn định riêng cho MAC PDU, BS thông báo về ấn định này cho MS dựa trên bản tin DL-MAP.

Trên đường lên, MS yêu cầu tài nguyên dựa trên một MAC PDU yêu cầu băng thông riêng hoặc gắn các yêu cầu băng thông vào một MAC PDU chung (trong trường hợp này nó sử dụng tiêu đề con quản lý cho phép). Vì lý lịch cụm được liên kết với một CID và có thể thay đổi động, nên tất cả các yêu cầu tài nguyên được thực hiện bằng các byte thông tin chứ không phải các tài nguyên lớp vật lý cụ thể (số các kênh con hoặc số các ký hiệu OFDM). Các yêu cầu băng thông trên đường lên có thể là các yêu cầu tăng hoặc tổng thể. Khi nhận được một yêu cầu băng thông tăng đối với một CID nào đó, BS bổ sung đại lượng băng thông theo yêu cầu vào cảm nhận hiện thời của nó về sự cần thiết băng thông. Tương tự khi nhận được yêu cầu băng thông tổng thể cho một CID nào đó, BS sẽ thay thế cảm nhận của nó về sự cần thiết băng thông của kết nối bằng khối lượng băng thông yêu cầu. Trường kiểu (type) trong tiêu đề yêu cầu băng thông sẽ thông báo đây là yêu cầu tăng băng thông hay toàn bộ băng thông. Yêu cầu băng thông được gắn theo MAC PDU chỉ có thể là yêu cầu tăng băng thông. Khi MS có nhiều CID, BS sẽ ấn định tổng tài nguyên đường lên cho MS chứ không ấn định tài nguyên riêng cho từng CID. Khi BS ấn định tài nguyên cho MS ít hơn so với yêu cầu, bộ lập biểu của MS sẽ quyết định phân phối tài nguyên này cho các CID khác nhau tùy theo lưu lượng treo (chờ) và các yêu cầu QoS.

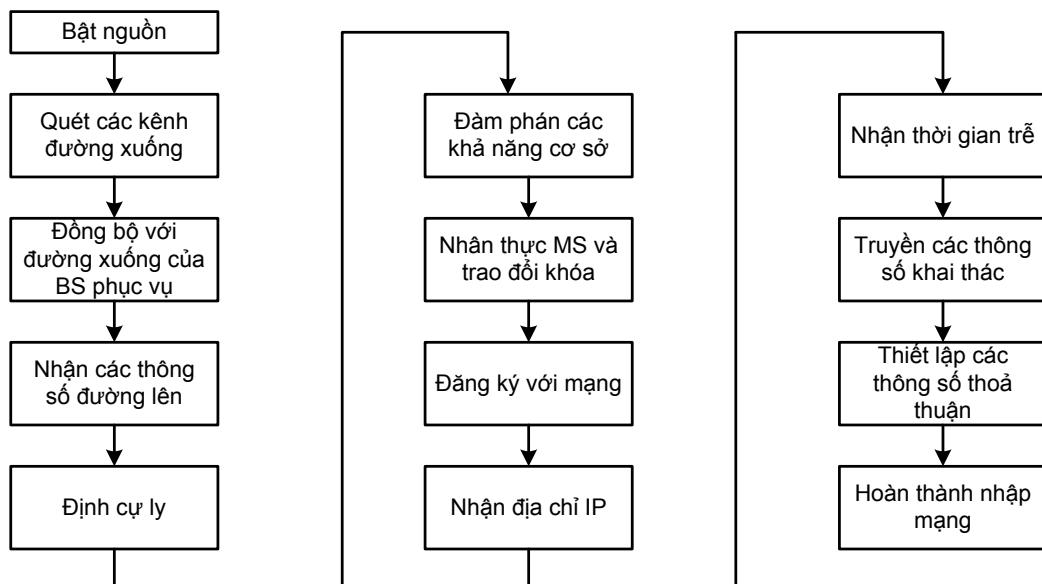
Trong WiMAX, thăm dò là quá trình trong đó các tài nguyên chia sẻ hoặc dành riêng được cung cấp cho MS để nó gửi yêu cầu băng thông. Các cấp phát này có thể dành cho một MS cá lẻ hoặc một nhóm MS. Khi MS được thăm dò cá lẻ, thăm dò được coi là đơn phương (Unicast) và tài nguyên dành riêng được cấp phát cho MS để nói gửi yêu cầu tài nguyên. BS thông báo cho MS các cấp phát tài nguyên cho các cơ hội thăm dò đơn phương dựa trên bản tin UL MAP trong khung con đường xuống. Vì các tài nguyên này được ấn định cho từng MS, UL MAP sử dụng CID sơ cấp của MS để thông báo cấp phát. CID sơ cấp được ấn định cho MS trong thời gian nhập mạng và giai đoạn khởi đầu và nó được sử dụng để truyền tải tất cả các bản tin báo hiệu mức MAC. MS cũng có thể yêu cầu bổ sung CID, các CID này được gọi là thứ cấp và chúng được sử dụng để truyền tải số liệu. Các MS có kết nối cho các dịch vụ cho phép không khẩn nài (UGS: Unsolicited Grant Services) là các MS không bị thăm dò, vì yêu cầu băng thông có thể được gửi trong cấp phát UGS hoặc ở dạng PDU yêu cầu băng thông hoặc ở dạng gắn kèm với các MAC PDU chung. Nếu MS không có yêu cầu bổ sung tài nguyên, nó phát đi MAC PDU giả trong quá trình thăm dò đơn phương và trường kiểu sẽ

thông báo rằng MAC PDU này là giả. Lưu ý rằng MS không được im lặng khi có thăm dò đơn phương.

Khi không có đủ băng thông để thăm dò riêng từng MS, thăm dò đa phương hoặc quảng bá được sử dụng để thăm dò một nhóm người sử dụng hoặc tất cả các người sử dụng đồng thời. Tất cả các MS thuộc nhóm được thăm dò có thể gửi yêu cầu băng thông trong cơ hội thăm dò đa phương/quảng bá. Để giảm xác suất xung đột, chỉ các MS có yêu cầu băng thông là được trả lời. WiMAX sử dụng giải thuật lùi hàm mũ nhị phân rút ngắn để phân giải xung đột trong quá trình thăm dò đa phương/quảng bá. Khi cần gửi một yêu cầu băng thông trên một thăm dò đa phương/quảng bá, trước hết MS vào giai đoạn phân giải xung đột, nếu nó chọn một số ngẫu nhiên phân bổ đều có giá trị từ 0 đến BACKOFFWINDOW. Số ngẫu nhiên này sẽ thông báo số các cơ hội truyền dẫn (các tài nguyên được cấp phát cho thăm dò đa phương quảng bá) mà MS sẽ đợi phát yêu cầu băng thông. BACKOFFWINDOW là số cực đại các cơ hội truyền dẫn mà một MS có thể đợi trước khi gửi yêu cầu băng thông treo (chờ gửi). Nếu nó không nhận được ân định băng thông theo bản tin UL MAP trong một cửa sổ thời gian được xác định bởi bộ định thời T16, MS sẽ cho rằng bản tin yêu cầu băng thông của nó đã bị mất do xung đột với MS khác, khi này MS sẽ tăng cửa sổ lùi một thừa số bằng 2 (chừng nào nó còn nhỏ hơn cửa sổ lùi cực đại) và lặp lại quá trình. Nếu băng thông vẫn chưa được cấp phát sau một số lần thử lại cực đại, MAC PDU bị xoá. Số lần thử lại cực đại đối với yêu cầu băng thông là thông số các thẻ điều chỉnh được bởi nhà cung cấp dịch vụ hoặc nhà sản xuất thiết bị.

## 2.6. Nhập mạng và khởi đầu

Sau khi bật nguồn WiMAX MS phải thực hiện quá trình nhập mạng. Các bước của quá trình này được cho trên hình 2.8.



Hình 2.8. Các bước của quá trình nhập mạng

### 2.6.1. Quét và đồng bộ kênh đường xuống

Sau khi bật nguồn, trước hết MS quét các tần số được xuống được phát để xác định hiện nó đang trong vùng phủ của một mạng WiMAX thích hợp hay không. Mỗi WiMAX lưu giữ cố định một danh sách tất cả các thông số khai thác (chẳng hạn tần số đường xuống như đã xét trong trường hợp trước). Trước hết MS thử đồng bộ với tần số được lưu trong bộ nhớ. Nếu thất bại, nó quét các tần số khác để có thể đồng bộ với đường xuống của BS phù hợp nhất. Mỗi MS cũng lưu một danh sách các tần số đường xuống ưu tiên mà nó có thể thay đổi để thích hợp với mạng của nhà cung cấp dịch vụ.

Trong quá trình đồng bộ đường xuống, MS lắng nghe các tiền tố khung đường xuống. Khi tìm được một tiền tố, MS có thể tự đồng bộ với truyền dẫn đường xuống của BS. Sau khi nhận được đồng bộ, MS lắng nghe các bản tin điều khiển tiếp sau tiền tố như: FCH, DCH, UCD, DL -MAP và UL-MAP để nhận được các thông số khác nhau liên quan đến lớp vật lý và lớp MAC cho truyền dẫn đường xuống và đường lên.

### 2.6.2. Nhận các thông số đường lên

Dựa trên các thông số đường lên từ các bản tin điều khiển, MS quyết định kênh có phù hợp cho mục đích của nó hay không. Nếu kênh không phù hợp, MS quay lại quá trình quét các kênh mới cho đến khi tìm được kênh phù hợp. Nếu thấy rằng kênh có thể sử dụng được, MS lắng nghe bản tin MAP để thu thập thông tin về các khả năng định cự ly.

### 2.6.3. Định cự ly

Tại giai đoạn này, MS thực hiện định cự ly ban đầu với BS để đạt được định thời và điều chỉnh mức công suất tương đối cần thiết để duy trì kết nối đường lên với BS. Sau khi kết nối đường lên đã được thiết lập, MS phải thực hiện định cự ly định kỳ để bám theo thay đổi định thời và mức công suất. Các thay đổi này có thể xảy ra do di động, pha định nhanh, pha định chậm hoặc tổng hợp các nguyên nhân trên. Dựa trên các thông số kênh đường lên và đường xuống, MS rút ra công thức tính toán mức công suất phát cho định cự ly ban đầu:

$$P_{Tx} = EIRxP_{IR,MAX} + BSEIRP - RSSI \quad (2.1)$$

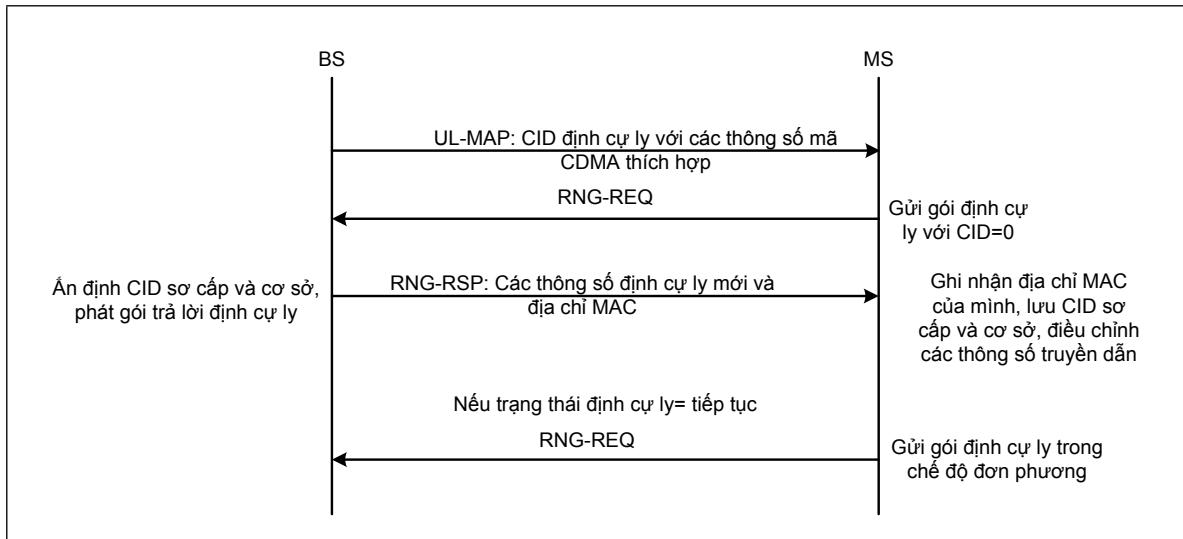
Trong đó:

$EIRxP_{IR,MAX} = RSS_{IR,MAX} - GANT\_BS\_Rx$  là công suất thu đăng hướng tương đương cực đại đối với máy thu đơn anten,  $RSS_{IR,MAX}$  là cường độ tín hiệu thu cực đại tại đầu ra anten,  $GANT\_BS\_Rx$  là hệ số khuyếch đại anten,

$BSEIRP = P_{Tx} + GANT\_BS\_Tx$  là công suất phát xạ đăng hướng tương đương của trạm gốc với máy phát đơn anten,  $P_{Tx}$  là công suất phát,  $GANT\_BS\_Tx$  là hệ số khuyếch đại anten phát,  $RSSI$  là công suất thu được tại MS.

MS gửi đi bản tin mã định cự ly CDMA với công suất theo phương trình (2.1), tại khe định cự ly đầu tiên. MS bản tin RNG-REQ với phát tập CID cho CID định cự ly ban đầu. Nếu MS không nhận được trả lời từ BS trong một khoảng thời gian nhất định, nó coi rằng cố gắng định cự ly ban đầu bị thất bại và chuyển vào giai đoạn phân giải và chậm. Khi này MS gửi mã định cự ly CDMA tại cơ hội định cự ly tiếp theo sau một thời gian trễ lùi tương ứng và với

mức công suất tăng thêm một bước. Hình 2.9 cho thấy thủ tục điều chỉnh thông số tự động và định cự ly trong WiMAX.



Hình 2.9. Thủ tục định cự ly và điều chỉnh thông số tự động trong WiMAX

#### 2.6.4. Đàm phán các khả năng cơ sở

Sau định cự ly ban đầu, MS phát bản tin SBC-REQ (SS Basic Capability Request: yêu cầu khả năng cơ sở của trạm thuê bao) thông báo cho BS về tập các khả năng cơ sở của nó. Tập này bao gồm các thông số liên quan đến án định băng thông là lớp vật lý như trong bảng 2.5. Nhận được bản tin này, BS trả lời bằng bản tin SBC-RSP để cung cấp các thông số liên quan đến lớp vật lý và án định băng thông. Các thông số lớp vật lý và án định băng thông có thể như tập khả năng cơ sở của MS hay chỉ là một tập con của nó.

Bảng 2.5. Các thông số trong tập các khả năng cơ sở của BS và MS

Các thông số liên quan đến lớp vật lý	Ý nghĩa
Khoảng ngừng phát	Khoảng ngừng phát giữa khung con đường lên và khung con đường xuống được MS hỗ trợ cho chế độ TDD và H-FDD
Công suất phát cực đại	Công suất có thể phát cực đại đối với điều chế BPSK, QPSK, 16QAM và 64QAM
Công suất phát hiện thời	Công suất phát được sử dụng cho MAC PDU hiện thời (chứa bản tin SBC-REQ)
Kích thước FFT	Các kích thước FFT được hỗ trợ (128, 512, 1024, 2048) đối với OFDMA
Hỗ trợ 64 QAM	Điều chế và giải điều chế hỗ trợ 64QAM
Hỗ trợ FEC (mã sửa lỗi)	Chế độ FEC nào được hỗ trợ: CTC, LDPC...
Hỗ trợ HARQ	Hỗ trợ ARQ linh hoạt
Hỗ trợ STC và MIMO	Hỗ trợ các chế độ mã không gian/thời gian và MIMO
Hỗ trợ MAP riêng AAS	Hỗ trợ MAP riêng hệ thống anten thích ứng
Hỗ trợ điều khiển công suất	Các tùy chọn điều khiển công suất đường lên (vòng

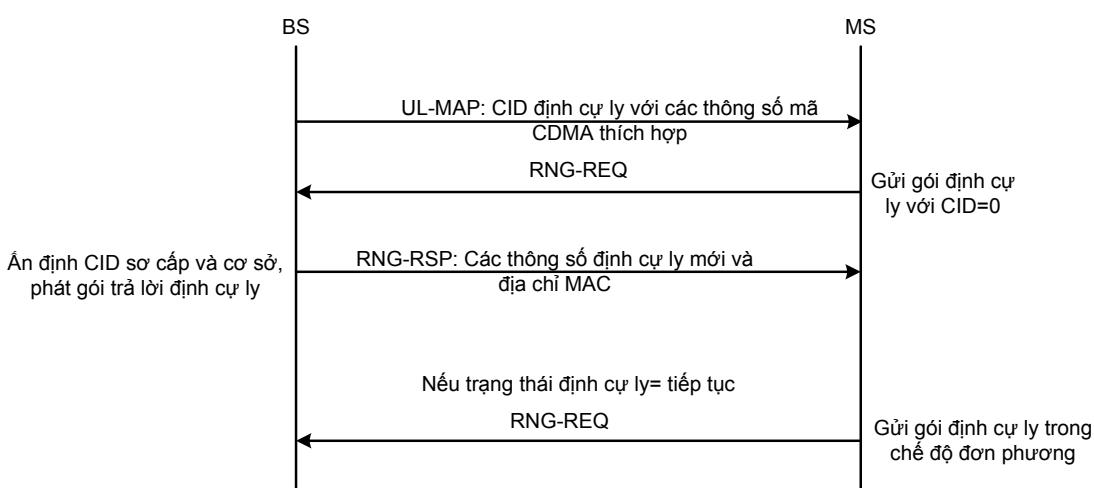
đường lên	hở, vòng kín, điều khiển công suất tiền tố AAS
Hỗ trợ sắp xếp sóng mang con	Hỗ trợ các tùy chọn FUSC, PUSC, AMC và TUSC.
<b>Các thông số liên quan đến án định băng thông</b>	
Hỗ trợ H-FDD/FDD	Hỗ trợ chế độ bán ghép song công theo tần số và ghép song công theo tần số

### 2.6.5. Đăng ký và thiết lập kết nối IP

Sau đàm phán các khả năng cơ sở và trao đổi khóa mật mã, MS đăng ký với mạng. Trong WiMAX, đăng ký là quá trình theo đó MS được phép nhập mạng và có thể nhận được các CID thứ cấp. Quá trình đăng ký bắt đầu khi MS gửi đi bản tin REG-REQ đến BS. Bản tin này chứa mã nhận thực bản tin được làm rối (HMAC: Hashed Message Authentication Code) mà BS sử dụng để nhận thực sự hợp lệ của bản tin. Sau khi xác nhận rằng bản tin này hợp lệ, BS gửi đến MS bản tin REG-RESP chứa CID quản lý thứ cấp. Trong bản tin REG-REQ, MS cũng thông báo cho BS về các khả năng thứ cấp của nó (chưa được thông báo trong các khả năng cơ sở) như: phiên bản IP được hỗ trợ, lớp con hội tụ được hỗ trợ và hỗ trợ ARQ. BS sẽ cho phép sử dụng một trong số các phiên bản IP mà MS hỗ trợ. Nếu không có phiên bản IP được hỗ trợ trong bản tin REG-REQ, BS coi rằng MS chỉ có thể hỗ trợ IPv4. Sau khi nhận được bản tin REG-RESP, MS có thể sử dụng DHCP để nhận được một địa chỉ IP.

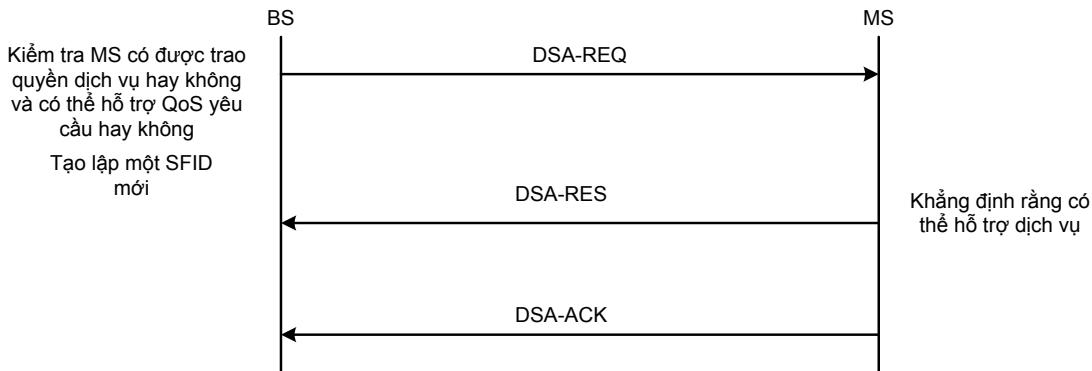
### 2.7. Thiết lập luồng dịch vụ

Tạo lập luồng dịch vụ có thể được khởi xướng bởi MS hoặc BS dựa trên việc lưu lượng đến trước tiên trên đường lên hay trên đường xuống. Khi MS chọn khởi xướng tạo lập một luồng dịch vụ, nó gửi đi bản tin DSA-REQ (DSA: Dynamic Service Allocation: án định dịch vụ động) chứa tập QoS yêu cầu của luồng dịch vụ (hình 2.10). Nhận được bản tin này, BS trước hết kiểm tra tính toàn vẹn của bản tin và gửi đi bản tin DSX-RVD để thông báo rằng luồng dịch vụ mới đã nhận được với đảm bảo toàn vẹn. Khi này BS kiểm tra xem có thể hỗ trợ tập QoS yêu cầu hay không rồi tạo lập một SFID mới và gửi bản tin DSA-RESP để thông báo việc tiếp nhận tập QoS. MS hoàn thành quá trình này bằng cách gửi đi bản tin DSA-ACK.



Hình 2.10. Tạo lập luồng dịch vụ mới khởi xướng bởi MS.

Nếu BS cần khởi xướng một luồng dịch vụ mới, trước hết nó kiểm tra xem MS có được trao quyền hay không và MS có thể hỗ trợ QoS yêu cầu hay không. Yêu cầu cho dịch vụ này thường đến từ một thực thể lớp cao hơn (không nằm trong phạm vi của IEEE.16e-2005). Nếu MS được trao quyền đối với dịch vụ này, BS tạo lập một SFID mới và gửi đi bản tin DSA-REQ chưa tập QoS được phép và CID sẽ sử dụng (hình 2.11). Khi nhận được yêu cầu này, MS gửi bản tin DSA-RESP thông báo rằng nó tiếp nhận. BS hoàn thành quá trình này bằng cách gửi đi bản tin DSA-ACK. Sau khi đã tạo lập luồng dịch vụ yêu cầu, MS và BS bắt đầu trao đổi các bản tin số liệu và quản lý trên CID quy định.



Hình 2.11. Tạo lập luồng dịch vụ mới khởi xướng bởi BS.

## 2.8. Quản lý công suất

Thời hạn acqui và chuyển giao đó là các ván đè quan trọng đối với các ứng dụng di động. WiMAX hỗ trợ các chế độ ngủ và rỗi để tiết kiệm nguồn cho MS. WiMAX cũng đảm bảo chuyển giao giữa các ô trại tốc độ chuyển động của xe ô tô mà không gây đứt đoạn kết nối.

Để đảm bảo tiết kiệm nguồn WiMAX di động hỗ trợ hai chế độ: chế độ ngủ và chế độ rỗi. Chế độ ngủ là trạng thái trong đó MS thực hiện các khoảng thời gian vắng mặt được đàm phán trước trên giao diện vô tuyến với BS phục vụ. Nhìn từ BS các khoảng thời gian này là khoảng thời gian không sẵn sàng của MS đối với cả lưu lượng DL và UL. Chế độ ngủ được áp dụng để giảm thiểu sự sử dụng công suất và giảm thiểu mức độ sử dụng các tài nguyên trên giao diện vô tuyến của BS phục vụ. Ngoài ra chế độ ngủ cũng cho phép MS quét các trạm BS khác để chọn lựa thông tin cho chuyển giao trong chế độ ngủ.

Chế độ rỗi cung cấp cơ chế để MS định kỳ có khả năng nhận lưu lượng quảng bá DL mà không đăng ký tại một BS cụ thể, khi nó đi qua môi trường có rất nhiều BS. Chế độ rỗi giải phóng MS khỏi đòi hỏi chuyển giao và các hoạt động bình thường khác ngoài ra nó cũng loại bỏ giao diện vô tuyến đối với BS và lưu lượng chuyển giao mạng đối với mạng và BS cho các MS không tích cực nhưng vẫn đảm bảo phương pháp đơn giản và kịp thời để thông báo (tìm gọi) MS về lưu lượng DL.

### 2.8.1. Chế độ ngủ

Chế độ ngủ là một chế độ khai thác tùy chọn trong WiMAX. Một MS có các kết nối tích cực (một hay nhiều CID) có thể đàm phán với BS để tạm thời ngắt các kết nối của mình trên

giao diện vô tuyến trong một khoảng thời gian được xác định trước được gọi là cửa sổ ngủ. Tiếp sau mỗi cửa sổ ngủ là cửa sổ nghe (trong cửa sổ này MS khôi phục lại kết nối của mình). Hình 2.12 cho thấy quá trình trong đó MS trải qua các cửa sổ ngủ và nghe đan xen nhau đối với từng kết nối. Độ dài của cửa sổ ngủ và nghe do MS và BS đàm phán với nhau dựa trên thể loại tiết kiệm công suất của khai thác chế độ ngủ. Chu kỳ thời gian trong đó tắt cả các kết nối của MS nằm trong chế độ ngủ được gọi khoảng không săn sàng. Trong khoảng thời gian này MS không thể nhận truyền dẫn đường xuống cũng như phát truyền dẫn đường lên. Tương tự khoảng săn sàng là khoảng thời gian mà một hay nhiều kết nối của MS không nằm trong chế độ ngủ và trong khoảng này MS có thể thu truyền dẫn đường xuống và phát truyền dẫn đường lên cho các CID nằm trong cửa sổ nghe. Trong khoảng không săn sàng, BS không lập biểu cho bất cứ truyền dẫn đường nào đến MS, vì thế nó có thể tắt nguồn của một hay nhiều phần cứng sử dụng cho truyền dẫn. BS có thể nhớ đệm hoặc loại bỏ tất cả các SDU liên quan với truyền dẫn đơn phương đến MS. Đối với các truyền dẫn đa phương, BS dùng phát tất cả các SDU cho đến khoảng săn sàng chung cho tất cả các MS trong nhóm đa phương.



Hình 2.12. Khai thác chế độ ngủ trong WIMAX

Phụ thuộc vào các thông số, khai thác chế độ ngủ có thể được đặt vào ba loại tiết kiệm công suất:

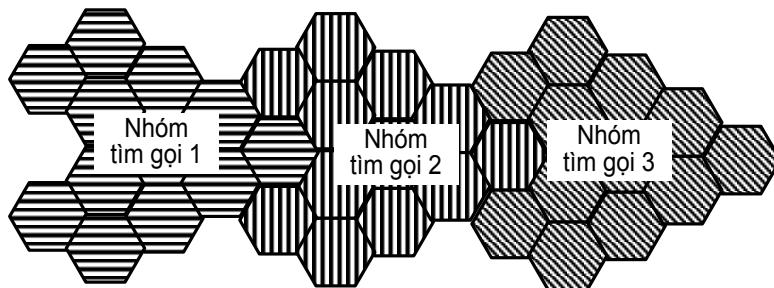
- Loại tiết kiệm công suất 1. Sau mỗi cửa sổ nghe là một cửa sổ ngủ có độ dài gấp hai lần cửa sổ ngủ trước đó nhưng không được lớn hơn cửa sổ ngủ cuối cùng. Trước khi vào loại tiết kiệm công suất 1, BS thông báo cho MS kích thước cửa sổ ngủ đầu tiên và kích thước cửa sổ ngủ cuối cùng. Sau khi đã đạt đến cửa sổ ngủ cuối cùng, tất cả các cửa sổ ngủ tiếp theo sẽ có cùng kích thước. Tại mọi thời điểm trong khai thác chế độ ngủ, BS có thể khởi động lại kích thước cửa sổ ngủ vào kích thước đầu tiên và quá trình nhân đôi kích thước được lặp lại. Đối với các án định đường xuống, khởi động lại xảy ra khi BS cảm thấy rằng số lượng cửa sổ nghe không đủ để phát tất cả lưu lượng.
- Loại tiết kiệm công suất 2. Tất cả các cửa sổ nghe đều có độ dài cố định và sau các cửa sổ nghe là các cửa sổ ngủ đều có độ dài cố định. Trước khi vào chế độ tiết kiệm công suất loại 2, BS thông báo cho MS về kích thước cửa sổ nghe và kích thước cửa sổ ngủ. Loại tiết kiệm công suất 2 được khuyến nghị sử dụng cho khai thác chế độ ngủ đối với các kết nối UGS.

3. Khai thác tiết kiệm công suất loại 3. Loại này chỉ có một cửa sổ ngủ. Trước khi vào chế độ này, BS thông báo thời điểm bắt đầu và độ dài của cửa sổ ngủ. Tại thời điểm kết thúc cửa sổ ngủ, khai thác tiết kiệm công suất chấm dứt. Khai thác tiết kiệm công suất kiểu này được khuyến nghị dùng cho lưu lượng đa phương hay lưu lượng quản lý MAC. Đối với dịch vụ đa phương BS có thể đoán được khi nào phần số liệu tiếp theo sẽ đến. Vì thế BS sẽ xác định một cửa sổ cho tất cả thời gian khi nó không hy vọng rằng lưu lượng đa phương sẽ tới. Sau đó BS có thể quyết định khởi đầu lại khai thác tiết kiệm công suất.

### 2.8.2. Chế độ rỗi

Trong WiMAX di động, chế độ rỗi là cơ chế cho phép MS thu truyền dẫn đường xuống phát quảng bá từ BS mà không đăng ký với mạng. Hỗ trợ chế độ rỗi là một hỗ trợ tùy chọn trong WiMAX và nó giúp MS di động tránh không phải thực hiện chuyển giao như trong trường hợp phiên tích cực. Chế độ rỗi cũng giúp BS tiết kiệm tài nguyên lớp vật lý và lớp MAC, vì nó không cần thực hiện các thủ tục liên quan đến chuyển giao và báo hiệu đối với các BS nằm trong chế độ rỗi.

Đối với chế độ rỗi, các BS (hay các ô) phải được chia vào các nhóm tìm gọi (hay các vùng tìm gọi) như cho trên hình 2.13.



## 2.9. Quản lý di động

Quản lý di động chịu trách nhiệm đảm bảo duy trì thông tin khi MS chuyển động đến các vị trí khác nhau. Cần có hai cơ chế cơ sở để thực hiện nhiệm vụ này. Trước tiên, để chuyển các gói đến một thuê bao, cần có cơ chế định vị MS trong mạng tại mọi thời điểm kể cả khi nó ở trạng thái rỗng. Quá xác định và bám điểm nhập mạng hiện thời của MS được gọi là *quản lý vị trí*. Thứ hai, để duy trì một phiên đang xảy ra trong khi MS chuyển ra từ vùng phủ của BS đến vùng phủ của BS khác, cần có cơ chế chuyển giao êm ái. Tập hợp tất cả cá thủ tục để quản lý quá trình này được gọi là quản lý chuyển giao. Như vậy quản lý di động bao gồm hai chức năng: quản lý vị trí và quản lý chuyển giao.

### 2.9.1. Quản lý vị trí

Quản lý vị trí bao gồm hai quá trình. Quá trình thứ nhất được gọi là đăng ký vị trí hay cập nhật vị trí. Trong quá trình này MS định kỳ thông báo cho mạng về vị trí hiện thời của nó, khi này mạng sẽ thực hiện nhận thực người sử dụng và cập nhật hồ sơ của người này vào cơ sở dữ liệu. Các cơ sở dữ liệu thường được đặt tại một hay một số vị trí tập trung trong mạng. Các vị trí thường được định nghĩa bởi một vùng chứa một hay nhiều vùng phủ của các BS. Việc tất cả các MS, kể cả MS rỗng, đều phải báo cáo cho mạng mỗi khi nó chuyển từ vùng phủ của một BS sang vùng phủ của một BS khác có thể dẫn đến tải báo hiệu trong mạng quá lớn, nhất là đối với các vi ô và khi số thuê bao quá lớn. Để giảm tải báo hiệu, các nhà cung cấp dịch vụ thường định nghĩa các vùng định vị lớn hơn, trong đó mỗi vùng định vị bao gồm nhiều vùng phủ sóng của BS. Cũng cần xem xét cẩn thận tần suất cập nhật vị trí. Nếu cập nhật vị trí không thường xuyên, MS có thể chuyển động ra ngoài vùng định vị hiện thời mà mạng không được thông báo và điều này dẫn đến mạng không có thông tin chính xác về vị trí của MS. Để hỗ trợ chuyển mạng toàn cầu, không thể chỉ thực hiện quản lý vị trí trong mạng của một nhà khai thác mà còn phải thực hiện quản lý vị trí khi chuyển qua các mạng của các nhà khai thác khác nhau dựa trên thỏa thuận chuyển mạng.

Quá trình thứ hai liên quan đến quản lý vị trí được gọi là tìm kiếm. Khi có một yêu cầu khởi xướng phiên, chẳng hạn có một cuộc gọi vào mạng, mạng tra cứu cơ sở dữ liệu vị trí để xác định vùng định vị hiện thời của MS nhận, sau đó phát tìm kiếm MS này trên tất cả các BS trong vùng định vị được xác định. Rõ ràng rằng số lượng BS trong vùng định vị càng lớn thì càng cần nhiều tài nguyên tìm kiếm trong mạng. Các nhà khai thác cần phải cân đối giữa việc sử dụng các tài nguyên cho báo hiệu cập nhật vị trí từ tất cả các MS với tìm kiếm trên vùng rộng.

### 2.9.2. Quản lý chuyển giao

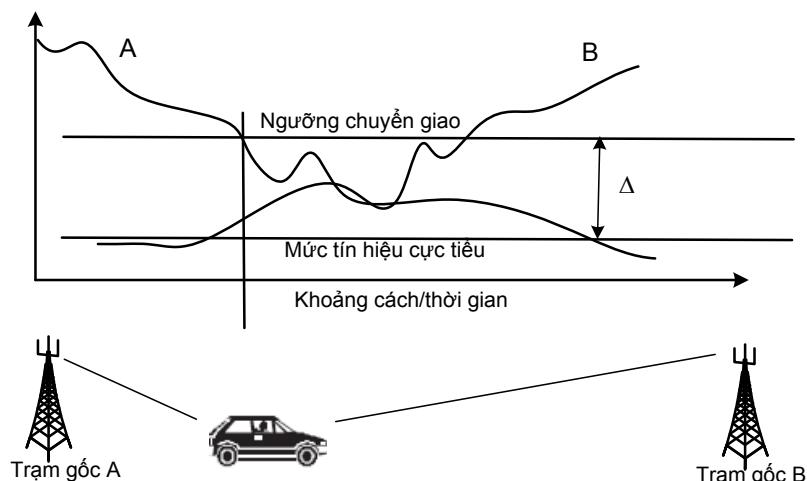
So với quản lý vị trí, quản lý chuyển giao đòi hỏi hoạt động thời gian thực chặt chẽ hơn. Đối với nhiều ứng dụng, như VoIP, cần chuyển giao êm ái không gây trễ cảm nhận được và mất gói. Để hỗ trợ các ứng dụng này, đối với các dịch vụ di động toàn phần WiMAX đòi hỏi trong trường hợp chuyển động MS với tốc độ 120kmph (km trên giờ): trễ chuyển giao thấp hơn 50ms với mất gói thấp hơn 1 phần trăm.

Có thể hình dung quá trình chuyển giao gồm hai giai đoạn. Trong giai đoạn đầu, hệ thống phát hiện nhu cầu chuyển giao và đưa ra quyết định chuyển giao đến một BS khác. Trong giai

đoạn hai, chuyển giao được thực hiện với đảm bảo rằng MS và BS tham gia được đồng bộ và tất cả các gói được chuyển đúng trên cơ sở sử dụng các giao thức phù hợp. Hoặc MS hoặc mạng có thể quyết định chuyển giao dựa trên các số đo về chất lượng đường truyền. Thông thường MS đưa ra quyết định cuối cùng, còn BS đưa ra các khuyến nghị về các trạm gốc đích là ứng cử cho chuyển giao. Để có được quyết định chuyển giao, MS phải thường xuyên đo chất lượng đường truyền và định kỳ báo cáo với BS. BS thường “nghe” một kênh hoa tiêu và một tín hiệu điều khiển từ các trạm BS xung quanh và đo chất lượng tín hiệu. Để hỗ trợ quá trình này, BS cung cấp cho MS một danh sách các BS lân cận và các thông số cần thiết để quét các BS này. Cường độ tín hiệu thu (RSS: Received Signal Strength) hay tỷ số tín hiệu trên tạp âm cộng nhiều (SINR) có thể sử dụng để đo chất lượng tín hiệu. SINR là số đo tốt hơn đối với các triển khai mang mật độ cao nhưng khó đo nó hơn so với RSS. Hình 2.14 cho thấy trường hợp chuyển giao đơn giản giữa hai BS, trong đó MS chuyển động rời xa BS A (BS phục vụ) và tiến đến BS B (BS đích). Ta gọi mức tín hiệu tối thiểu (MSL) là điểm mà thấp hơn điểm này chất lượng đường truyền trở nên không thể chấp nhận được và nếu không có chuyển giao, số lượng gói mất sẽ rất lớn và dẫn đến phiên bị rớt. Cần lưu ý rằng MSL có thể thay đổi tùy thuộc vào các nhu cầu QoS của ứng dụng trong phiên. Chẳng hạn một ứng dụng cao có thể có MSL cao hơn so với một ứng dụng thông lượng thấp.

Thông thường các thủ tục chuyển giao được khởi xướng khi tín hiệu xuống thấp hơn ngưỡng chuyển giao (ngưỡng này được đặt cao hơn MSL một giá trị  $\Delta$ ). Ngoài ra chuyển giao chỉ được thực hiện khi có một BS khác có chất lượng thu ít nhất cao hơn  $\Delta$  so với MSL. Sử dụng  $\Delta$  lớn sẽ giảm thiểu xác suất giảm tín hiệu thấp hơn MSL khi thực hiện chuyển giao.

Một giải thuật chuyển giao tốt phải giảm thiểu thất bại chuyển giao và tránh được các chuyển giao không cần thiết. Hai số đo thường được sử dụng để đánh giá chất lượng chuyển giao là xác suất rớt và tỷ lệ chuyển giao. Xác suất rớt xác định số lần thất bại chuyển giao khi mức tín hiệu giảm thấp hơn MSL trong một khoảng thời gian. Tỷ lệ chuyển giao xác định tần suất quyết định chuyển giao, nó phụ thuộc vào tần suất đo và báo cáo kết quả cho mạng. Tuy nhiên do tiêu tốn tài nguyên vô tuyến và giảm dung lượng khả dụng.



Hình 2.14. Phát hiện chuyển giao trên cơ sở cường độ trường

Để giảm thiểu xác suất rớt, các thủ tục chuyển giao phải được tiến hành nhanh và phải đặt  $\Delta$  cao hơn sao cho xác suất giảm tín hiệu xuống MSL trước khi chuyển giao là thấp nhất. Rõ ràng rằng việc đặt  $\Delta$  cao cũng có nghĩa là giá thành thiết kế hệ thống di động sẽ cao hơn vì các ô ch้อง lân nhau nhiều hơn. Ngoài ra chuyển giao quá nhanh có thể dẫn đến chuyển giao quá nhiều một cách không cần thiết, nhất là khi xảy ra sự thăng giáng tín hiệu lớn. Chuyển giao quá ít dẫn đến rớt các cuộc gọi, nhưng chuyển giao quá nhiều dẫn đến quá tải báo hiệu và giảm chất lượng dịch vụ. Việc cân đối giữa xác suất rớt và tỷ lệ chuyển giao phụ thuộc vào mô hình thăng giáng tín hiệu và giải thuật quyết định chuyển giao được sử dụng. Để làm thí dụ ta xét các kết quả mô phỏng trong bảng 2.6.

Bảng 2.6. Cân đối giữa xác suất rớt và tỷ lệ chuyển giao

Quyết định chuyển giao dựa trên	Xác suất rớt với $\Delta=10\text{dB}$	Xác suất rớt với $\Delta=5\text{dB}$	Xác suất rớt với $\Delta=0\text{dB}$	Số lần chuyển giao
Giá trị tức thời của mức tín hiệu	0,003	0,024	0,09	7,6
Mức tín hiệu trung bình đo được trên 10 mẫu	0,014	0,05	0,13	1,8
Giá trị kỳ vọng của mức tín hiệu	0,02	0,06	0,14	1

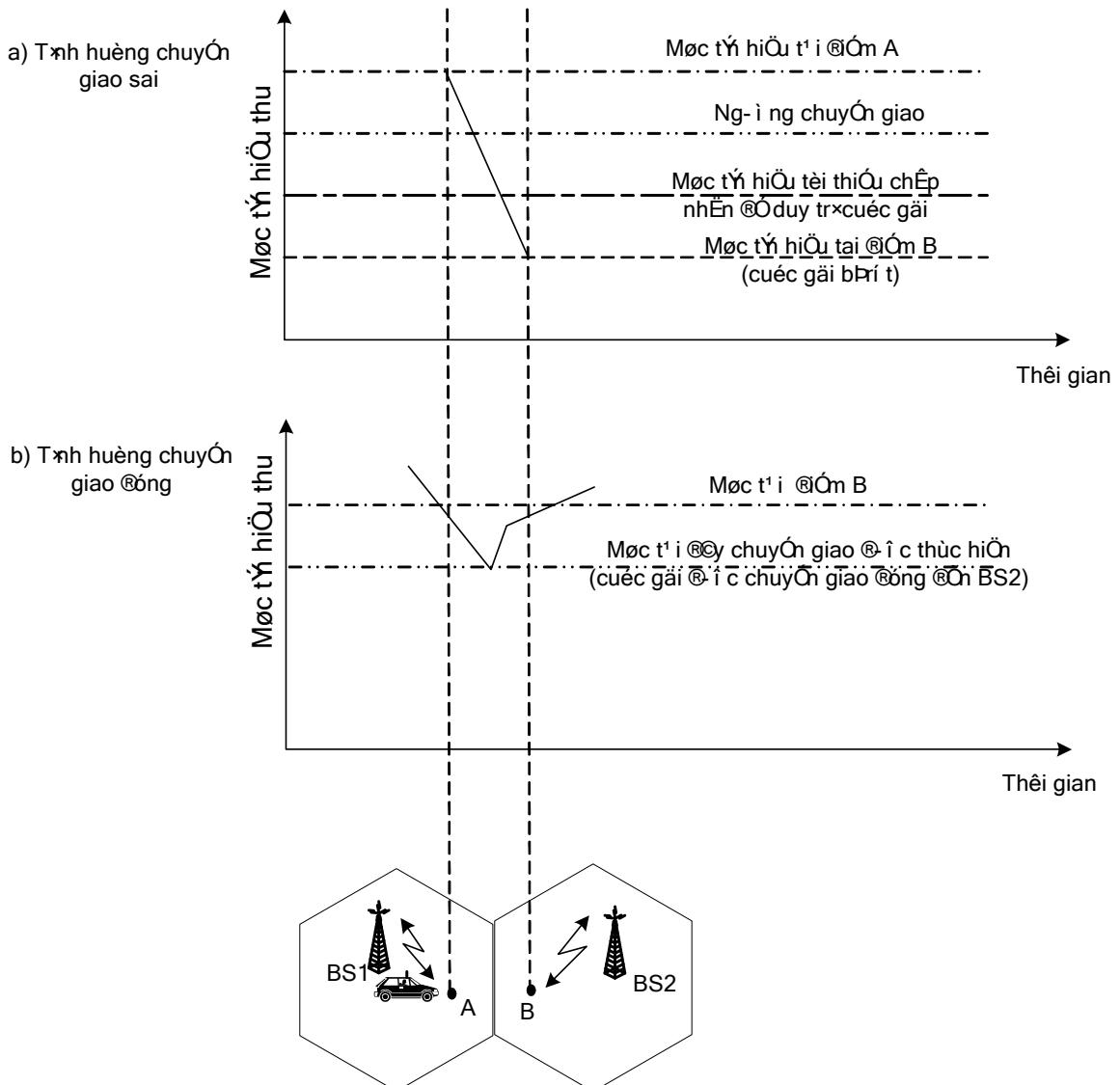
Bảng 2.6 minh họa cân đối giữa xác suất rớt và tỷ lệ chuyển giao cho ba giải thuật quyết định chuyển giao dựa trên: (1) giá trị tín hiệu tức thời, (2) mức tín hiệu lấy trung bình trên 10 mẫu, (3) giá trị mức tín hiệu kỳ vọng, trong đó MS chuyển động với tốc độ 20m/s từ một BS đến một BS khác cách nó 1km. Coi rằng lũy thừa suy giảm  $n=4$  và phađing che tối với khoảng cách hiệu chỉnh 50 m (là khoảng cách tại đó tương quan tín hiệu giảm còn 0,5). Tín hiệu được lấy mẫu 0,5 s một lần.

Bảng 2.6 cho thấy rằng việc chọn BS dựa trên giá trị mạnh nhất tức thời cho xác suất rớt thấp nhất nhưng số lần chuyển giao lớn nhất. Trái lại quyết định chuyển giao theo giá trị kỳ vọng giảm số lần chuyển giao xuống thấp nhất nhưng lại làm tăng xác suất rớt. Trong khi đó quyết định chuyển giao theo mức tín hiệu lấy trung bình đảm bảo chất lượng chuyển giao tốt hơn, nhưng sơ đồ này đòi hỏi sơ đồ phức tạp hơn vì nó phải hiểu biết được môi trường phađing để dự báo tổn hao tín hiệu. Việc xây dựng một mô hình phađing tổng quát đại diện cho nhiều loại môi trường khác nhau là rất khó.

### 2.9.3. Các chiến lược chuyển giao

Như đã xét ở các phần trên chuyển giao là quá trình xảy ra khi một máy di động đang có cuộc gọi phải chuyển lưu lượng từ kênh này sang kênh khác để đảm bảo chất lượng cuộc gọi. Quá trình này thường xảy ra khi một máy di động rời xa dàn trạm gốc của ô đang phục vụ nó và tiến đến gần trạm gốc của một ô khác. Trong trường hợp này mạng (ASN-GW) sẽ tự

động chuyển cuộc gọi đến kênh mới thuộc trạm gốc mới. Quá trình chuyển giao này đòi hỏi phải xác định trạm gốc mới, và nhiều trao đổi báo hiệu trên các kênh điều khiển để tiến tới ấn định một kênh lưu lượng mới và thực hiện chuyển mạch sang kênh này.



Hình 2.15. Minh họa kịch bản chuyển giao

Xử lý chuyển giao là một nhiệm vụ quan trọng trong một hệ thống thông tin di động. Rất nhiều chiến lược chuyển giao dành ưu tiên cho các yêu cầu chuyển giao so với các yêu cầu khởi xướng cuộc gọi khi thực hiện ấn định kênh chưa sử dụng trong một ô. Chuyển giao phải được thực hiện thành công nhất và không thường xuyên nhất cũng như không gây cảm giác đối với người sử dụng. Để đáp ứng được các yêu cầu này, các nhà thiết kế hệ thống phải quy định mức thu tối ưu mà mức này sẽ bắt đầu quá trình chuyển giao. Sau khi đã quy định tín hiệu tối thiểu chấp nhận được cho chất lượng tiếng tại trạm gốc,  $MSL = P_{r,\text{req}}$  (thông thường nằm trong khoảng từ -90dBm đến -100dBm), Mức ngưỡng tín hiệu cho chuyển giao  $P_{r,\text{ho}}$  được chọn cao hơn một chút. Độ dự trữ được cho bởi  $\Delta = P_{r,\text{ho}} - P_{r,\text{req}}$  không thể quá lớn hoặc quá nhỏ. Nếu  $\Delta$  quá lớn, các chuyển giao không cần thiết có thể làm quá tải MSC. Nếu  $\Delta$  quá nhỏ, có thể không kịp chuyển giao trước khi cuộc gọi bị mất do tín hiệu quá yếu. Hình 2.15 minh họa tình huống chuyển giao. Hình 2.16a cho thấy tình trạng khi chuyển giao không được

thực hiện và tín hiệu giảm xuống thấp hơn mức tối thiểu cho phép để duy trì kênh. Cuộc gọi bị rớt này có thể xảy ra khi thời gian để ASN xác định một chuyển giao quá trễ hoặc khi ngưỡng  $\Delta$  được thiết lập quá nhỏ đối với thời gian chuyển giao trong hệ thống. Trễ quá lớn có thể xảy ra trong các tình huống lưu lượng cao do khối lượng tính toán lớn tại ASN-GW hoặc do không có kênh khả dụng tại các trạm gốc nằm gần (vì thế MSC buộc phải đợi đến khi có một kênh rõ ràng ở ô gần đó).

Để quyết định khi nào chuyển giao, cần đảm bảo rằng sự giảm ở mức tín hiệu đo được không do pha định tĩnh thời gian gây ra và máy di động thực sự đang rời xa trạm gốc phục vụ. Để chắc chắn điều này, trạm gốc phải giám sát mức tín hiệu trong một khoảng thời gian nhất định trước khi khởi xướng chuyển giao. Cần tối ưu hóa khoảng thời gian thực hiện đo tín hiệu này để tránh khỏi các chuyển giao không cần thiết, mà vẫn đảm bảo rằng các chuyển giao cần thiết được thực hiện trước khi cuộc gọi bị rớt do mức tín hiệu quá xấu. Độ dài thời gian cần thiết để quyết định chuyển giao phụ thuộc vào tốc độ chuyển động của máy di động. Nếu độ dốc của sự giảm mức tín hiệu thu trung bình ngắn hạn lớn, hệ thống cần thực hiện chuyển giao nhanh. Thông tin về tốc độ chuyển động của máy di động có thể được tính từ các thông số thống kê của tín hiệu thu bị pha định ngắn hạn tại trạm gốc.

Thời gian mà một cuộc gọi được duy trì trong một ô khi không xảy ra chuyển giao được gọi là thời gian cư ngụ trong ô (dwell time). Thời gian cư ngụ của một người sử dụng phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: truyền sóng, nhiễu, khoảng cách giữa máy di động và trạm gốc và các ảnh hưởng thay đổi theo thời gian khác. Ngay cả khi máy di động dừng, sự chuyển động của các vật thể xung quanh trạm gốc và máy di động cũng có thể tạo ra pha định, vì thế một thuê bao cố định cũng có thể có thời gian cư ngụ hữu hạn và ngược lại. Các phân tích cho thấy rằng các thông số thống kê của thời gian cư ngụ thay đổi rất lớn phụ thuộc vào tốc độ của người sử dụng và kiểu phủ sóng vô tuyến. Chẳng hạn ở các ô trên đường xa lộ, hầu hết các người sử dụng có tốc độ chuyển động gần như không đổi và chuyển động theo các đường cố định được xác định rõ ràng cùng với phủ sóng vô tuyến tốt. Trong trường hợp như vậy, thời gian cư ngụ của một người sử dụng là một biến ngẫu nhiên có phân bố tập trung rất cao xung quanh giá trị trung bình của thời gian cư ngụ. Trái lại đối với các người sử dụng trong môi trường các ô micro mật độ cao, thường xảy ra sự thay đổi thời gian cư ngụ rất lớn xung quanh giá trị trung bình và thời gian cư ngụ thường ngắn hơn nhiều so với thời gian tính theo hình học của ô. Rõ ràng rằng các thông số thống kê của thời gian cư ngụ đóng vai trò quan trọng khi thiết kế các thuật toán chuyển giao.

Chuyển giao được thực hiện với sự hỗ trợ của máy di động (MAHO: Mobile Assisted Handoff), tất cả các máy di động đều đo công suất thu được từ các trạm xung quanh trạm gốc đang phục vụ nó và liên tục báo cáo kết quả đo đến trạm gốc này. Chuyển giao được khởi đầu khi công suất thu từ trạm gốc của một ô lân cận vượt quá công suất thu được từ trạm hiện thời một mức quy định hoặc trong một khoảng thời gian quy định.

Trong quá trình một cuộc gọi, nếu một máy di động chuyển dịch từ một hệ thống tổ ong này sang một hệ thống tổ ong khác được điều khiển bởi ASN-GW khác, xuất hiện sự cần thiết chuyển giao giữa các hệ thống. Một ASN-GW sẽ nhận nhiệm vụ chuyển giao giữa các hệ thống khi tín hiệu của MS trở nên yếu và ASN-GW phụ trách không thể tìm thấy một ô

khác để có thể chuyển giao cuộc gọi đang xảy ra. Tồn tại rất nhiều vấn đề cần giải quyết khi thực hiện chuyển giao giữa các hệ thống. Chẳng hạn cuộc gọi nội hạt có thể trở thành cuộc gọi đường dài vì MS chuyển dịch ra ngoài hệ thống nhà của nó và trở thành khách trong hệ thống mới. Ngoài ra cũng cần xác định sự tương thích giữa hai MS trước khi thực hiện chuyển giao giữa các hệ thống.

Các hệ thống khác nhau có các sách lược và phương pháp khác nhau để quản lý các yêu cầu chuyển giao. Một số hệ thống xử lý các yêu cầu chuyển giao giống như cách mà chúng xử lý các cuộc gọi khởi xướng. Trong các hệ thống này xác suất mà yêu cầu chuyển giao không được phục vụ bằng với xác suất chặn cuộc gọi vào. Tuy nhiên từ quan điểm người sử dụng việc mất cuộc gọi giữa chừng do chuyển giao gây khó chịu hơn nhiều khi khởi xướng một cuộc gọi mà không được phục vụ. Để cải thiện chất lượng dịch vụ, các phương pháp khác nhau được thiết kế để có thể ưu tiên các yêu cầu chuyển giao so với các yêu cầu khởi xướng cuộc gọi khi án định các kênh.

#### 2.9.4. Ưu tiên chuyển giao

Một trong các phương pháp dành ưu tiên cho chuyển giao được gọi là khái niệm kênh canh phòng, khi một phần trong tổng số các kênh khả dụng trong ô được để dành chủ yếu cho chuyển giao. Nhược điểm của phương pháp này là giảm tổng lưu lượng vì số kênh dành cho khởi xướng cuộc gọi sẽ ít hơn. Tuy nhiên canh phòng cho hiệu quả sử dụng phổ biến tốt hơn khi sử dụng các chiến lược phân bổ kênh động vì nó giảm thiểu số kênh canh phòng cần thiết nhờ việc sử dụng phân bổ theo yêu cầu.

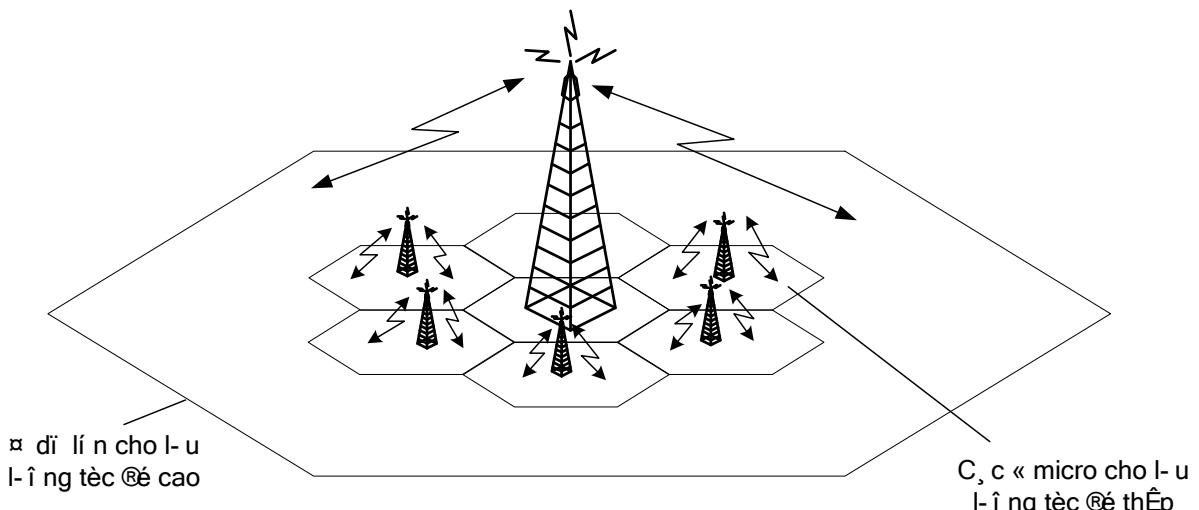
Hàng đợi chuyển giao là một phương pháp khác để giảm xác suất rớt cuộc gọi do thiếu các kênh khả dụng. Có thể cân đối giữa việc giảm xác suất rớt cuộc gọi và tổng lưu lượng được truyền. Có thể thực hiện hàng đợi vì tồn tại một khoảng thời gian nhất định giữa thời điểm mức tín hiệu thu hạ thấp hơn ngưỡng chuyển giao và thời điểm mà cuộc gọi bị rời do mức tín hiệu không đảm bảo. Ta có thể xác định được thời gian trễ này và kích cỡ của hàng đợi từ mẫu lưu lượng của vùng phục vụ. Cần lưu ý rằng hàng đợi không đảm bảo xác suất rớt cuộc gọi bằng không, vì trễ lớn sẽ dẫn đến tín hiệu hạ thấp hơn mức tối thiểu yêu cầu để duy trì thông tin và vì thế dẫn đến rớt cuộc gọi.

#### 2.9.5. Các vấn đề thực tế nảy sinh đối với chuyển giao

Trong các hệ thống tổ ong thực tế, phát sinh nhiều vấn đề khi ta định thiết kế hệ thống cho các máy di động với nhiều tốc độ khác nhau. Các xe tốc độ cao sẽ đi qua ô trong thời gian vài giây, trong khi người đi bộ có thể chẳng bao giờ chuyển giao trong suốt cuộc gọi. Ngoài ra khi tăng thêm số ô, MSC có thể nhanh chóng bị quá tải do các người sử dụng tốc độ cao thường xuyên đi qua các ô có kích thước rất nhỏ. Một số sơ đồ đã được nghiên cứu để xử lý đồng thời lưu lượng của các người sử dụng tốc độ cao và thấp, trong khi vẫn giảm thiểu sự can thiệp của ASN-GW cho chuyển giao. Một hạn chế thực tế nữa là khả năng có được các trạm ô mới (trạm ô ở đây có nghĩa là mặt bằng vật lý để lắp đặt anten và các trạm gốc).

Mặc dù phương pháp tổ ong đảm bảo việc bổ sung dung lượng bằng cách bổ sung thêm các trạm ô, trong thực tế các nhà cung cấp dịch vụ di động rất khó có được các trạm ô mới trong các vùng thành phố. Chính vì vậy các nhà cung cấp dịch vụ này thiên về lắp đặt thêm

các kênh và các trạm gốc trên cùng một trạm ô hiện có hơn là tìm điểm đặt trạm ô mới. Bằng cách sử dụng các chiều cao anten khác nhau (thường trên cùng một toà nhà hoặc một tháp) và các mức công suất khác nhau người ta có thể tạo ra các ô "lớn" hoặc "nhỏ" cùng đặt tại một vị trí. Kỹ thuật này được gọi là phương pháp ô dạng dù và nó được sử dụng để đảm bảo cùng phủ lớn cho các người sử dụng tốc độ cao trong khi vẫn đảm bảo các vùng phủ diện tích nhỏ cho các người sử dụng tốc độ thấp. Hình 2.16 cho thấy một ô dạng dù được đặt cùng với các ô micro. Phương pháp ô dạng dù cho phép giảm thiểu số lần chuyển giao đối với các người sử dụng tốc độ cao và cung cấp các kênh bổ sung cho các ô micro dành cho các người sử dụng tốc độ thấp. Trạm gốc hoặc MSC có thể ước tính tốc độ của các người sử dụng trên cơ sở đánh giá tốc độ thay đổi cường độ tín hiệu thu trung bình ngắn hạn trên các kênh tiếng đường lên hoặc có thể sử dụng các giải thuật phức tạp hơn để đánh giá và phân loại các người sử dụng. Nếu một người sử dụng tốc độ cao trong ô dạng dù kích thước lớn tiến đến gần trạm gốc của ô này và tốc độ của người này giảm nhanh, ASN-GW có thể quyết định chuyển người sử dụng này vào ô micro đồng vị trí.



Hình 2.16. Phương pháp ô dù

Một vấn đề nữa nảy sinh khi chuyển giao là việc **kéo ô**. **Kéo ô** xảy ra khi người sử dụng tạo ra một tín hiệu mạnh tại trạm gốc. Điều này thường xảy ra trong môi trường thành phố khi có một đường truyền thẳng giữa thuê bao và trạm gốc. Khi người sử dụng này chuyển rời xa trạm gốc với một tốc độ thấp, cường độ tín hiệu không giảm nhanh. Thậm chí ngay cả khi người sử dụng này chuyển động ra ngoài vùng ô được thiết kế, mức tín hiệu thu tại trạm gốc có thể vẫn cao hơn ngưỡng chuyển giao, vì thế chuyển giao không được thực hiện. Điều này dẫn đến làm nảy sinh vấn đề về nhiễu lớn và quản lý lưu lượng. Để giải quyết kéo ô, ta cần điều chỉnh các ngưỡng chuyển giao và các thông số phủ sóng một cách cẩn thận.

Một tính năng mới của các hệ thống thông tin di động mới là có khả năng thực hiện quyết định chuyển giao trên cơ sở nhiều thông số hơn so với cường độ tín hiệu. Nhiều đồng kênh và nhiều kênh lân cận có thể được đo tại trạm gốc hoặc tại MS và các thông tin này có thể được sử dụng cùng với các số liệu cường độ tín hiệu thông thường để đảm bảo một thuật toán đa chiều cho việc xác định khi nào cần chuyển giao.

Một khi đã có quyết định chuyển giao phiên đến một BS đích, một số bước sau đó cần thực hiện để hoàn thành chuyển giao. Các bước này là: (1) thiết lập kết nối vật lý đến BS bao gồm định cự ly, đồng bộ chuyển kênh... (2) thực hiện các chức năng an ninh cần thiết để liên kết lại với BS mới và (3) chuyển giao trạng thái MAC từ BS cũ đến BS đích. Để chuyển giao êm á (có nghĩa là chuyển giao nhanh và không bị lỗi) cần thực hiện các bước sau:

- ✓ Thực hiện định cự ly và đồng bộ khởi đầu đối với các trạm BS lân cận trước khi chuyển giao
- ✓ Thiết lập các kết nối lớp vật lý với nhiều BS tại một thời điểm để chuyển giao số từ một BS đến BS khác không cần thực hiện tập đầy đủ các thủ tục báo hiệu. Chức năng này được hỗ trợ trong IEEE 802.16 e với tên gọi là chuyển mạch trạm gốc nhanh (FBSS). Trong trường hợp này, nếu tất cả các trạm gốc mà MS có kết nối đều nhận được các gói từ mạng để phát xuống MS này, thì mất gói khi chuyển mạch sẽ được giảm đáng kể.
- ✓ Chuyển tất cả các gói lớp MAC chưa được chuyển tồn đọng trong hành đợi của BS cũ đến BS đích qua đường trực để giảm thiểu mất gói và sự cần thiết phát lại lớp cao hơn (trễ). Chuyển các trạng thái ARQ lớp MAC đến BS đích cũng có thể giảm phát lại lớp MAC không cần thiết.

Để đảm bảo di động và tải của BS, MS có thể phải thay đổi kết nối để đảm bảo chất lượng truyền dẫn. Chuyển giao được mạng quyết để chuyển giao điện vô tuyến, các luồng dịch vụ và kết nối mạng của MS từ một BS phục vụ đến BS đích.

Trong WiMAX cũng như trong các mạng thông tin di động tổ ong khác, các thủ tục chuyển giao đòi hỏi sự hỗ trợ từ các lớp 1,2 và 3 của mạng. Mặc dù quyết định cuối cùng cho chuyển giao được thực hiện tại lớp 3, lớp MAC và lớp vật lý đóng vai trò quan trọng trong việc cung cấp thông tin và các khởi động cần thiết cho lớp 3 để nó thực hiện chuyển giao. Trong phần này ta sẽ xét đến các tính năng liên quan đến quản lý di động của lớp MAC.

### 2.9.6. Quét và đo

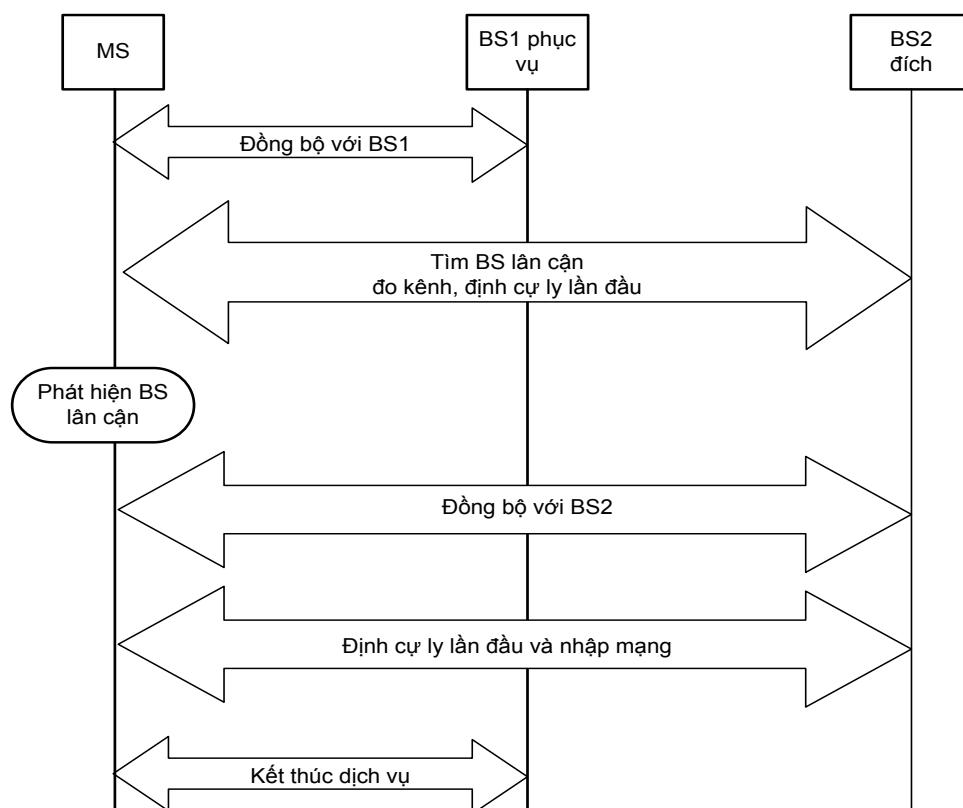
Để có thể nhận biết được môi trường vô tuyến động, BS phải ấn định thời gian cho từng MS để nó giám sát và đo đặc điểm kiện vô tuyến của các BS lân cận. Quá trình này được gọi là quá trình quét và thời gian được ấn định cho từng MS được gọi là khoảng quét. Sau mỗi khoảng quét là khoảng thời gian hoạt động bình thường và khoảng thời gian này được gọi là đoạn đan xen. Để khởi đầu quá trình quét, BS phát bản tin MOB\_SCN\_REQ đặc tả độ dài khoảng quét cho MS và số sự kiện mà MS cần quét. Nhận được bản tin bản tin MOB\_SCN\_REQ MS trả lời bằng bản tin MOB\_SCN\_RSP. Để giảm số lần trao đổi hai bản tin nói trên, BS hướng dẫn MS thực hiện quét nhiều sự kiện.

Trong khoảng quét, MS đo chỉ thị cường độ tín hiệu thu (RSSI) và tỷ số tín hiệu trên nhiễu công tạp âm (SINR) của BS lân cận và tùy chọn nó có thể liên kết với một số hoặc tất cả các BS trong danh sách các BS lân cận (MS thực hiện ở mức độ nhất định quá trình định cự ly (đồng bộ) với BS lân cận. Tồn tại ba mức liên kết trong quá trình quét.

1. Trong quá trình liên kết 0 (quét/liên kết không điều phối), MS thực hiện định cự ly không có điều phối từ mạng. Trong trường hợp này, khoảng thời gian định cự ly khả dụng cho MS là quá trình quét dựa trên va chạm. Khi định cự ly với BS lân cận thành công, MS nhận được bản tin RNG\_RSP.
2. Trong quá trình liên kết 2 (quét/liên kết với kết hợp), BS phục vụ điều phối thủ tục liên kết với BS lân cận. Mạng cung cấp cho MS mã định cự ly và khoảng truyền dẫn cho từng BS lân cận. Một BS lân cận có thể xác định cùng một mã và cơ hội truyền dẫn cho nhiều MS để định cự ly đơn phương, nhưng không được xác định cả hai như nhau. Vì thế MS nhận được cơ hội định cự ly đơn phương và có thể tránh được va chạm giữa các MS khác nhau. Khi định cự ly thành công với BS lân cận, MS nhận được bản tin RNG\_RSP.
3. Mức liên kết 2 (báo cáo liên kết với sự hỗ trợ của mạng) giống như mức liên kết 1 ngoại trừ sau truyền dẫn định cự ly MS không đợi bản tin RNG\_RES từ BS lân cận. Thay vào đó, thông tin về RNG\_RES trên các đoạn dọc lớp vật lý được từng BS lân cận gửi đi (trên đường trực) đến BS phục vụ. BS phục vụ có thể tổng hợp tất cả các thông tin liên quan đến định cự ly và một bản tin MOB\_ASC\_REPORT.

### 2.9.3. Quá trình chuyển giao và chọn lại ô

Chuyển giao có thể được khởi xướng bởi MS, BS hay từ phía mạng. Quá trình chuyển giao của 802.16 gồm các bước sau : (1) chọn lại ô, (2) quyết định và khởi đầu chuyển giao, (3) quét BS đích, (4) nhập lại mạng và (5) kết thúc dịch vụ (hình 2.17).



Hình 2.17. Quá trình chuyển giao.

Trong WiMAX, quá trình chuyển giao được định nghĩa bằng tập các thủ tục và quyết định để cho phép một MS chuyển giao điện vô tuyến từ một BS này sang BS khác, các thủ tục này như sau:

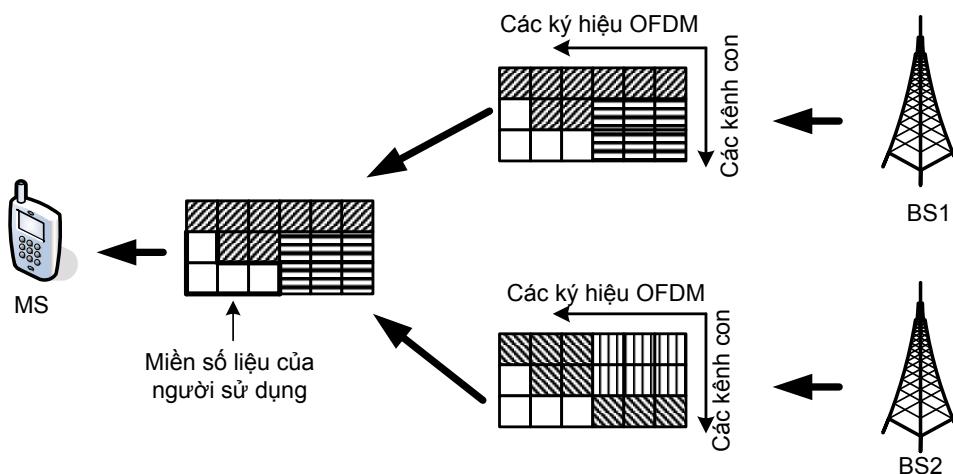
1. **Chọn lại ô.** Trong giai đoạn này MS thực hiện quét và liên kết với một hay nhiều BS lân cận để xác định BS phù hợp cho đích chuyển giao. Sau khi thực hiện chọn lại ô, MS trở lại hoạt động bình thường với BS phục vụ
2. **Quyết định chuyển giao và khởi đầu chuyển giao.** Quá trình chuyển giao bắt đầu bằng một quyết định đối với MS để nó chuyển kết nối của mình từ BS phục vụ sang BS đích. Quyết định này có thể phụ thuộc vào việc thực hiện. Khi quyết định chuyển giao được thực hiện bởi MS, nó phát bản tin MOB\_MSHO\_REQ đến BS phục vụ để chỉ ra một hay nhiều BS đích cho chuyển giao. Sau đó BS phục vụ gửi bản tin MOB\_BSHO\_RSP để chỉ ra các BS sẽ được sử dụng làm đích chuyển giao. MS gửi MOB\_MSHO\_IND để chỉ ra BS đích nào trong bản tin MOB\_BSHO\_RSP sẽ được sử dụng cho chuyển giao. Khi quyết định chuyển giao được thực hiện bởi BS, nó phát bản tin MOB\_BSHO\_REQ đến MS để chỉ ra một hay nhiều BS là đích chuyển giao. Trong trường hợp này MS phát bản tin MOB\_MSHO\_IND để chỉ thị tiếp nhận chuyển giao và BS đích cho chuyển giao.
3. **Đồng bộ với BS đích.** Sau khi đã xác định BS đích, MS thực hiện đồng bộ truyền dẫn đường xuống. MS bắt đầu xử lý tiền tố khung DL của BS đích. Tiền tố khung DL đảm bảo MS đồng bộ thời gian và tần số với BS đích. Sau đó MS giải mã DL-MAP, UL-MAP, DCD và UCD để nhận được thông tin về kênh định cự ly. Giai đoạn này có thể được rút ngắn vì BS đã được thông báo về thủ tục chuyển giao đang chờ và đã ấn định các tài nguyên định cự ly cho MS.
4. **Định cự ly với BS đích.** MS sử dụng kêt định cự ly để thực hiện quá trình định cự ly ban đầu để đồng bộ truyền dẫn đường lên của nó với BS và nhận thông tin về định thờ trước ban đầu và mức công suất. Quá trình định cự ly ban đầu này giống như quá trình được sử dụng trong quá trình nhập mạng. MS có thể bỏ qua hay rút ngắn giai đoạn này nếu nó đã thực hiện liên kết với BS đích trong giai đoạn chọn lại ô/quét.
5. **Kết thúc context với BS trước.** Sau khi đã thiết lập kết nối với BS đích, MS có thể quyết định kết thúc kết nối với BS phục vụ bằng cách phát bản tin MOB\_HO\_IND đến BS. Nhận được bản tin này, BS khởi đầu bộ định thời duy trì tài nguyên và duy trì tất cả các máy trạng thái MAC và các MAC PDU lưu đệm liên quan đến MS cho đến khi định thời hết hạn. Sau khi bộ định thời duy trì tài nguyên hết hạn, BS xóa tất cả các máy trạng thái MAC và các MAC PDU thuộc MS và quá trình chuyển giao được coi là hoàn thành.

Rót cuộc gọi trong quá trình chuyển giao được coi là tình trạng trong đó MS dừng thông tin với BS đang phục vụ nó cả ở đường lên và đường xuống trước khi hoàn thành chuỗi chuyển giao thông thường. Khi MS phát hiện rót cuộc gọi, nó tìm cách thực hiện thủ tục nhập lại mạng với BS đích để thiết lập lại kết nối của mình với mạng.

### 2.9.8. Chuyển giao phân tập vĩ mô và chuyển mạch BS nhanh

Tiêu chuẩn IEEE 802.16e hỗ trợ ba hình thức chuyển giao: chuyển giao cứng (HHO), chuyển giao BS nhanh (FBSS: Fast BS Switching) và chuyển giao phân tập Macro (MDHO: Macro Diversity Handoff). Trong số các chuyển giao này chuyển giao HHO là bắt buộc, còn FBSS và MDHO là tùy chọn. Một số kỹ thuật đã nghiên cứu để tối ưu hóa chuyển giao HHO. Các nghiên cứu này đã cho phép đảm bảo trễ chuyển giao lớp 2 không qua 50 ms. Trong trường hợp chuyển giao MDHO, MS được phép đồng thời thông tin trên giao diện vô tuyến với nhiều BS. Tất cả các BS tham gia vào thông tin với BS được gọi là tập phân tập hay tập tích cực.

Đối với chế độ MDHO, MS duy trì tập phân tập hay tích cực của các BS tham gia vào MDHO với MS. Trong chế độ này, MS thông tin các bản tin đơn phương DL, UL và lưu lượng với tất cả các BS trong tập tích cực. MDHO bắt đầu khi MS quyết định phát và thu các bản tin đơn phương và lưu lượng từ nhiều BS trong cùng một khoảng thời gian. Đối với MDHO đường xuống, hai hay nhiều BS đảm bảo truyền dẫn đồng bộ số liệu đường xuống cho MS để nó thực hiện kết hợp phân tập. Đối với UL, nhiều BS thu tín hiệu từ MS để thực hiện phân tập chọn lọc. Trong MDHO tập phân tập có thể gồm nhiều BS, trong đó một BS được coi là BS neo. BS này đóng vai trò thực thể điều khiển các ấn định đường lên và đường xuống. Trong WiMAX MDHO có hai chế độ cho phép MS giám sát việc ấn định DL và UL. Trong chế độ thứ nhất, MS chỉ giám sát BL MAP và UL MAP của BS neo: các bản tin này cung cấp ấn định DL và UL giữa MS với các BS trong tập phân tập. Trong chế độ hai, MS giám sát các ấn định DL và UL từ tất cả các DL MAP và UL MAP của tất cả các BS trong tập phân tập. Trong MDHO, tín hiệu DL từ tất cả các BS trong tập phân tập được kết hợp với nhau trước khi được giải mã tại tầng giải mã FEC (hình 2.18).

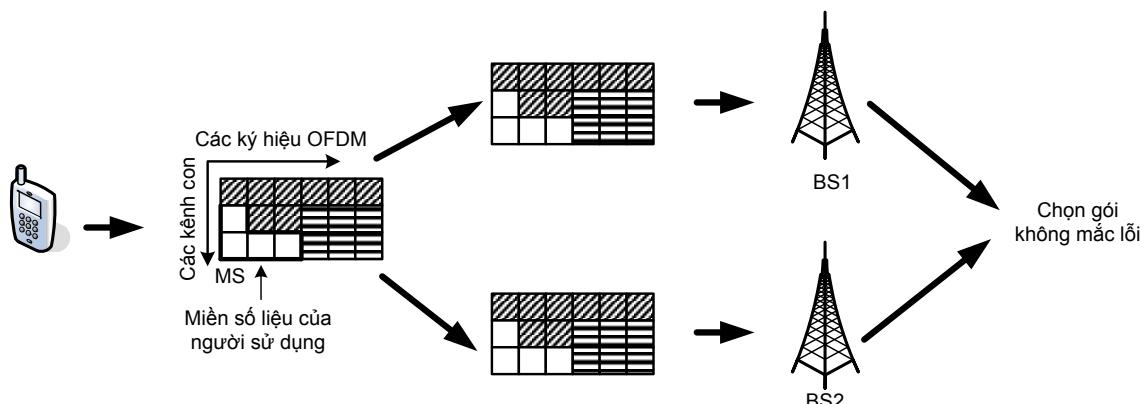


Hình 2.18. Kết hợp trong MDHO đường xuống

Tiêu chuẩn không quy định cách kết hợp các tín hiệu từ các BS trong tập phân tập. Tuy nhiên về nguyên tắc nhiệm vụ này có thể được thực hiện theo hai cách. Cách tối ưu hơn để kết hợp các tín hiệu từ các BS khác nhau là MS phải giải điều chế các tín hiệu này một cách độc lập và kết hợp chúng tại băng gốc trước tầng giải mã FEC. Trong cách thực hiện này, có thể kết hợp các tín hiệu một cách tối ưu để đạt được một mục tiêu nào đó như: SNR cực đại hoặc MSE (sai số trung bình bình phương) cực tiểu. Phương pháp kết hợp này giống như khái niệm

kết hợp tỷ lệ cực đại (MRC) được sử dụng trong hầu hết các máy cầm tay CDMA khi nó thực hiện chuyển giao mềm với hai hay nhiều MS. Trong hệ thống OFDM, để giải điều chế tín hiệu từ các BS khác nhau sử dụng chung tần số mang, MS phải sử dụng nhiều anten (số anten anten phải bằng hoặc lớn hơn số BS trong tập phân tập). Nếu các BS của tập phân tập sử dụng các tần số mang khác nhau, cần phải có nhiều chuỗi thiết bị vô tuyến. Trong cả hai trường hợp, việc giải điều chế các tín hiệu OFDM tại băng gốc đều tốn kém. Giải pháp thực tế hơn cả là giải pháp cận tối ưu, trong đó việc kết hợp được thực hiện tại mức vô tuyến. Trong giải pháp này, các BS khác nhau trong tập phân tập không chỉ phải được đồng bộ theo thời gian và tần số mà còn phải sử dụng cùng CID, mặt nạ mật mã, điều chế và tỷ lệ mã FEC, phiên bản dữ HARQ, sắp xếp sóng mang con và các kênh con cho MS. Trong trường hợp này, vì các tín hiệu từ các BS khác nhau chỉ đơn thuần cộng với nhau tại tầng đầu máy thu, nên độ lợi các đường truyền có thể sẽ thấp hơn trong hệ thống CDMA khi chuyển giao mềm. Tuy nhiên điều này đòi hỏi lượng báo hiệu lớn trên mạng để điều phối truyền dẫn của tất cả các BS trong tập phân tập.

Trên đường lên trên hình 2.19, mỗi BS giải mã các khối FEC từ MS và chuyển gói được giải mã này đến một thực thể trung tâm (thường là BS neo) để nó chọn bù sao không mắc lỗi. Về nguyên lý, quá trình này rất giống với thực hiện chuyển giao mềm trong các hệ thống CDMA hiện nay.



Hình 2.19. Chọn gói trong MDHO đường lên

Cũng giống như MDHO, trong FBSS, MS duy trì một danh sách các BS tham gia vào FBSS với MS. Danh sách này được gọi là tập phân tập hay tập tích cực. Trong FBSS, MS liên tục giám sát các BS trong tập tích cực. Trong số các FBSS trong tập tích cực một BS được xác định là neo. Trong FBSS, MS chỉ thông tin với BS neo đối các bản tin DL, UL bao gồm cả quản lý và kết nối lưu lượng. Việc chuyển từ BS neo đến BS khác (chuyển mạch BS) được thực hiện mà không cần có các bản tin báo hiệu tường minh. Các thủ tục cập nhật neo được thực hiện dựa trên cường độ tín hiệu thông tin qua kênh CQI.. FBSS bắt đầu bằng quyết định của MS sẽ thu và phát số liệu với BS neo . MS quét các BS lân cận và chọn các BS phù hợp để đưa vào tập tích cực. MS báo cáo các BS được chọn và thủ tục cập nhật tập tích cực được tiến hành giữa BS và MS. MS liên tục giám sát cường độ tín hiệu của các BS trong tập tích cực và chọn một BS trong tập này làm BS neo. MS báo cáo BS neo được chọn trên kênh CQICH hay hay bản tin yêu cầu HO được khởi xướng bởi MS. Một yêu cầu quan trọng của

FBSS là số liệu liên tục được truyền đến tất cả các thành viên trong tập tích cực, trong đó các BS có thể phục vụ MS.

Khi cần bổ sung một BS mới và tập tích cực hoặc loại bỏ một BS hiện có trong tập này do sự thay đổi kênh, MS phát bản tin MS\_MSHO-REQ để biểu thị yêu cầu cập nhật tập tích cực của nó. Mỗi BS có tính năng FBSS sẽ phát quảng bá các ngưỡng H\_Add (bổ sung chuyển giao) hoặc H\_Delete (xóa chuyển giao) trong đó chỉ ra giá trị trung bình (tại MS) cần thiết để bổ sung vào hay xóa đi một BS trong tập tích cực. Khi nhận được bản tin yêu cầu cập nhật tập tích cực (MSHO\_REQ) từ MS, BS neo sẽ trả lời bằng bản tin MS\_BSHO-RSP để chỉ ra tập tích cực. MS hay BS có thể thay đổi BS neo bằng cách gửi đi bản tin MS\_MSHO-REQ (MS\_BSHO-REQ) cùng với yêu cầu thay đổi. Không cần thủ tục chuyển giao thông thường khi MS được phép thay đổi BS neo, vì MS đã có các CID được thiết lập với tất cả các BS trong tập tích cực. FBSS loại bỏ các bước và việc trao đổi liên kết trong quá trình chuyển giao thông thường vì thế nó xảy ra nhanh hơn nhiều so với cơ chế chuyển giao thông thường.

Để thực hiện được FBSS hay MDHO, các BS trong tập tích cực của MS phải thỏa mãn các điều kiện sau:

- ✓ Các BS tham gia FBSS phải được đồng bộ dựa trên một nguồn định thời chung
- ✓ Các BS tham gia vào FBSS phải làm việc trên cùng một tần số
- ✓ Các BS tham gia vào FBSS phải đồng bộ khung trên đường lên và đường xuống
- ✓ Các BS tham gia vào FBSS phải chia sẻ tất cả các thông tin mà bình thường MS và BS trao đổi với nhau khi nhập mạng

Các BS tham gia FBSS phải chia sẻ tất cả các thông tin như: SID, CID, mật mã và các khóa nhận thực.

## 2.10. Tổng kết

Lớp MAC đóng một vai trò rất quan trọng trong giao diện vô tuyến của WiMAX di động. Lớp MAC có thể đảm bảo lưu lượng dạng cụm với yêu cầu tốc độ đỉnh cao trong khi vẫn đồng thời hỗ trợ lưu lượng luồng và lưu lượng thoại nhạy cảm trên cùng một kênh. Các tài nguyên do bộ lập biếu MAC xác định cho đầu cuối có thể thay đổi từ một khe thời gian đến toàn bộ khung vì thế cung cấp dải động lượng rất lớn cho từng máy đầu cuối tại từng thời điểm. Ngoài ra thông tin xác định tài nguyên được mang trong các bản tin MAP tại đầu khung, bộ lập biếu có thể thay đổi hiệu quả việc xác định tài nguyên theo từng khung để thích ứng tính chất cụm của lưu lượng. IEEE 802.16 MAC hỗ trợ hai kiểu kiến trúc mạng: điểm đa điểm (PMP: Point to Multipoint) và mạng hỗn hợp.

## Câu hỏi

1. Trình bày cấu trúc lớp MAC
2. Trình bày lớp con hội tụ, MAC CS
3. Trình bày lớp con phần chung MAC, MAC CPS
4. Trình bày hỗ trợ dịch vụ của WiMAX

5. Trình bày dịch vụ lập biểu MAC
6. Trình bày yêu cầu dịch vụ và ấn định băng thông
7. Trình bày các bước của nhập mạng
8. Trình bày quá trình thiết lập luồng dịch vụ
9. Trình bày quản lý công suất
10. Trình bày quản lý di động

## CHƯƠNG 3

### LỚP VẬT LÝ CỦA WIMAX DI ĐỘNG

#### 3.1 Mở đầu

WiMAX di động được xây dựng trên các chuẩn IEEE 802.16e và IEEE 802.16m. Nhóm này phát triển các lớp vật lý và điều khiển truy nhập môi trường cho hoạt động cố định và di động trong các băng tần đòi hỏi cấp phép.

Tồn tại ba chế độ PHY trong IEEE 802.16e:

- Đơn sóng mang OFDM cho cố định
- OFDMA cho di động

Trong các đặc tả IEEE 802.16e-2005, lớp vật lý của WirelessMAN OFDMA được cải tiến thành S-OFDMA (Scalable OFDMA: OFDMA khả định cỡ), trong đó kích thước FFT có thể thay đổi và nhận một trong số các giá trị sau: 128, 512, 1024, 2048. Kích thước FFT khả biến cho phép khai thác/thực hiện hệ thống tối ưu trên dải băng thông rộng và các điều kiện vô tuyến khác nhau. Lớp vật lý này được WiMAX tiếp nhận cho khai thác di động và sách tay vì thế còn được gọi là WiMAX di động. Sau này IEEE 802.16e-2005 cùng với các chuẩn trước đó được trình bày trong IEEE 802.16-2009 vì thế nó thường được tham vấn theo án hành này và được gọi là hệ thống di động hiện hành (Legacy) để phân biệt với chuẩn mới cho di động IEEE 802.6m

Chuẩn IEEE 802.16e và IEEE 802.16m được tạo ra rất mở và không tính đến hợp chuẩn cũng như tính tương tác giữa các nhà sản xuất thiết bị. WiMAX Forum đã tiếp nhận chuẩn này và phát triển hợp chuẩn và tương tác cho nó. WiMAX Forum (Wireless Interoperability for Microwave Access Forum: diễn đàn tương hợp không dây cho truy nhập vi ba) là một tổ chức phi lợi nhuận được tạo ra từ các nhà cung cấp thiết bị, sản xuất phần tử và linh kiện điện tử với mục đích thúc đẩy các nhà khai thác các hệ thống truy nhập băng rộng không dây như một giải pháp thay thế cho cáp và DSL.

WiMAX di động có thể cung cấp đường truyền số liệu băng rộng cho các đầu cuối di động và người đi bộ trong bán kính từ 1 đến 3 dặm (2-5km). WiMAX di động bao gồm nhiều cấu hình có khả năng hỗ trợ các mạng TDD và FDD với băng thông từ 1,25 MHz đến 20 MHz. Bảng 5.1 điểm qua một số tính năng của WiMAX.

Bảng 3.1. Các ứng dụng của WiMAX

Loại QoS	Kiểu số liệu	Ứng dụng
Dịch vụ cho phép không khẩn nài	thời gian định kỳ, gói kích thước cố định, thời gian thực	T1/E1; VoIP với triết im lặng
Dịch vụ cho phép không khẩn nài	thời gian định kỳ, gói kích thước khả biến, thời gian	Điện thoại thấy hình, trò chơi video tương tác, VoD,

	thực	AoD
Dịch vụ thăm dò thời gian thực	Gói kích thước khả biến, luồng chịu trễ, tốc độ số liệu cực tiêu	Chuyển file tốc độ cao, MMS, trình duyệt WEB
Dịch vụ nỗ lực nhất	Mức dịch vụ thấp nhất	FTP, WWW, thư điện tử

Các tính năng nổi bật của WiMAX di động trên xơ sở IEEE802.16e-2005 là:

- Các kênh con số liệu bền chắc cho di động và tái sử dụng tần số cao
  - ❖ Phân tập tần số cho mức độ di động cao
  - ❖ Phân nhóm các sóng mang con để loại nhiễu giữa các sector và các ô
  - ❖ Tái sử dụng tần số từ 1 đến 3 trong cấu hình nhiều sector và nhiều ô
- Các kênh con điều chế và mã hóa tiên tiến (AMC) để khai thác phân tập và đa người sử dụng
  - ❖ Ân định kênh con động (nội ô và giữa các ô)
  - ❖ Phản hồi thông tin chất lượng kênh và giám sát kênh đường lên
  - ❖ Điều chế với mã hóa thích ứng để đạt được thông lượng cao nhất
- S-OFDMA (OFDMA khả định cỡ)
  - ❖ Phân cách sóng mang con độc lập bằng thông để đảm bảo chống hiệu ứng Doppler và pha định đa đường
  - ❖ Số sóng mang con (kích thước FFT) thay đổi theo băng thông/kích thước FFT
  - ❖ Đơn vị nhỏ nhất của cáp phát băng thông có giá trị cố định
- Các cấu trúc kênh con linh hoạt và chuyển mạch vùng giữa các chế độ phân tập và AMC
- Mã hóa kênh kết hợp yêu cầu phát lại tự động lai ghép (H-ARQ)
- MIMO và các hệ thống anten tiên tiến (AAS)

### Các thông số hệ thống và các chức năng cơ sở 802.16e

Lớp vật lý WiMAX di động định nghĩa các chuẩn liên quan đến:

- Các cấu trúc khung bao gồm các khung đường lên, đường xuống và các khung tùy chọn cho dàn anten thích ứng (AAS)
- Sắp xếp các trường bản tin vào các khuôn dạng phần tử thông tin (IE) đường lên, đường xuống và ngược lại
- Ân định sóng mang con OFDMA bao gồm tiền tố đường xuống, các cấu trúc kênh con số liệu và hoa tiêu, giám sát kênh và kênh con số liệu đường lên
- Các tín hiệu định cự ly OFDMA
- Khai thác dàn anten bao gồm các mã không gian thời gian 2x, 3x, 4x và các cớ chế tạo búp anten

- Điều chế và mã hóa kênh, cơ chế H-ARQ
- Điều khiển công suất

### 3.2. Cấu trúc lớp vật lý của WIMAX di động

Hình 3.1 cho thấy các khối trong lớp vật lý của WiMAX di động.

#### 3.2.1. Tuyến phát

Ngoài các chức năng thông thường như ngẫu nhiên hóa, mã hóa sửa lỗi trước (FEC: Forward Error Correction), đan xen và sắp xếp các ký hiệu QPSK, QAM, chuẩn cũng đặc tả các kỹ thuật nhiều anten tùy chọn. Các kỹ thuật này bao gồm mã hóa kênh không gian thời gian (STC), tạo búp sử dụng các sơ đồ anten thích ứng (AAS) và các kỹ thuật MIMO (Multi Input Multi Output) cho phép đạt được tốc độ số liệu cao hơn. Các sơ đồ điều chế OFDM được thực hiện bằng cách sử dụng biến đổi Fourier nhanh ngược (IFFT: Inverse Fast Fourier Transform) cho tín hiệu. Bộ biến đổi nâng tần (DUC: Digital Up Converter) thực hiện chuyển đổi tần số các sóng mang con vào tần số vô tuyến trong miền số. Mặc dù không được đặc tả trong tiêu chuẩn các kỹ thuật xử lý tín hiệu số tiên tiến như giảm thừa số đỉnh (CFR: Crest Factor Reduction) và làm méo số trước (DPD: Digital Predistortion) cũng được sử dụng cho đường xuống để cải thiện hiệu suất cho bộ khuỷch đại công suất trong BS. Sau xử lý số tín hiệu được chuyển đổi từ số vào tương tự (DAC) và được khuỷch đại công suất (PA: Amplifier) trước khi đưa lên anten phát. Quá trình xử lý trên cũng sẽ được thực hiện tương tự cho anten phát khác khi sơ đồ đa anten được sử dụng.

#### 3.2.2. Tuyến thu

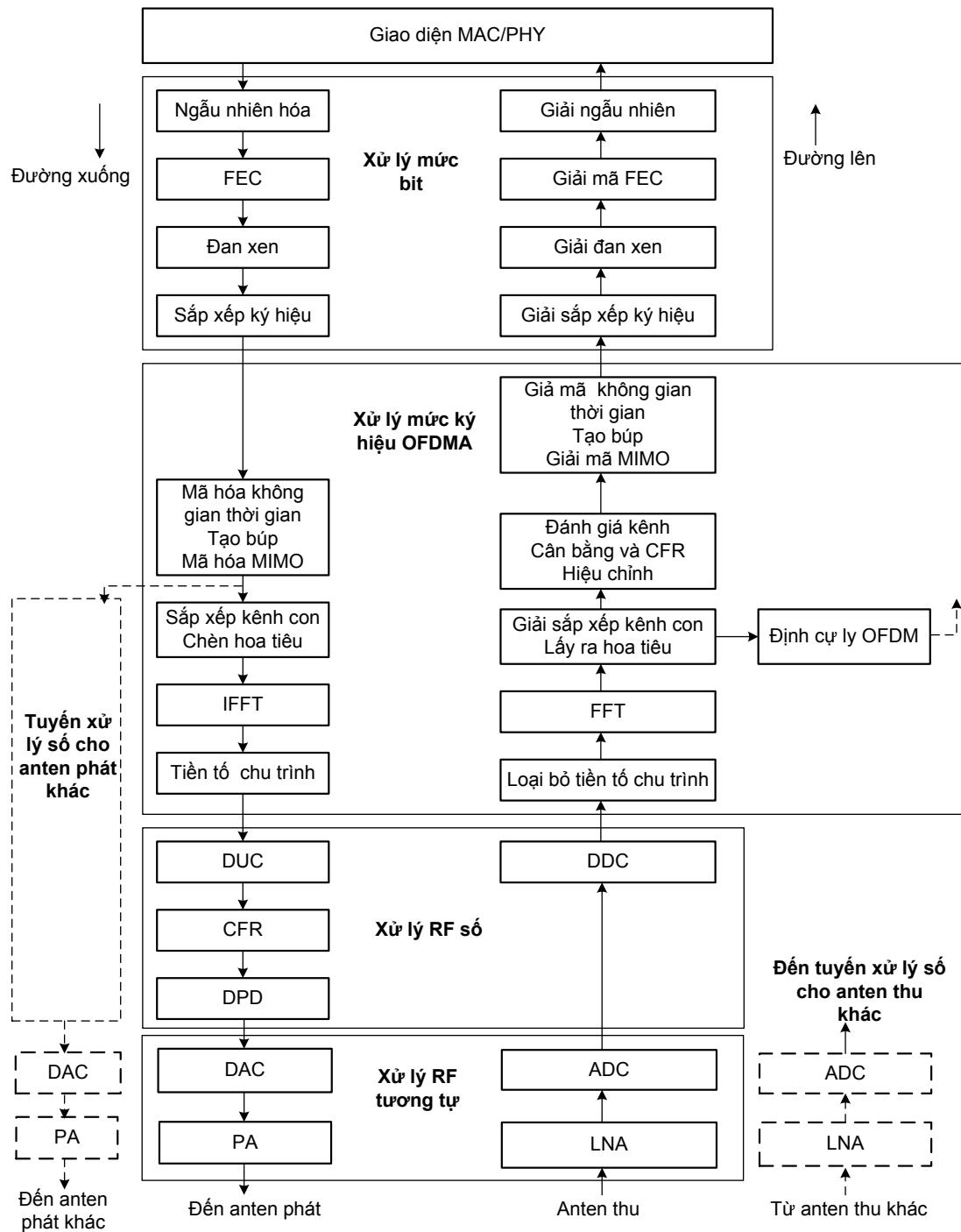
Sau bộ khuỷch đại tạp âm nhỏ (LNA: Low Noise Amplifier) và biến đổi từ tương tự vào số (ADC), tín hiệu được đưa vào miền xử lý số. Trước hết tín hiệu được biến đổi hạ tần. Sau đó là các chức năng xử lý số đường lên bao gồm đồng bộ thời gian, tần số và công suất (Ranging: định cự ly) và cân bằng miền tần số cùng với các chức năng còn lại như điều chế và giải điều chế để truy hồi lại tín hiệu phát. Sơ đồ giải điều chế OFDM được thực hiện bằng biến đổi Fourier FFT (Fast Fourier Transform). Trong trường hợp sử dụng nhiều anten thu, tín hiệu sau bộ ADC của tuyến anten thu khác cũng sẽ được đưa lên tuyến xử lý số tương tự.

### 3.3. OFDMA khả định cỡ và cấu trúc tín hiệu OFDMA của IEEE 802.16e-2005

#### 3.3.1. OFDMA khả định cỡ

OFDMA khả định cỡ (S-OFDMA: Scalable-OFDMA) cho phép sử dụng nhiều dải băng thông khác nhau để đáp ứng nhu cầu cấp phát phổ tần khác nhau cho các yêu cầu sử dụng khác nhau. Định cỡ được thực hiện bằng cách điều chỉnh kích thước FFT trong khi vẫn giữ nguyên khoảng cách tần số sóng mang con bằng 10,94 kHz. Vì đơn vị tài nguyên: băng thông sóng mang con và thời gian ký hiệu không đổi, nên lớp cao bị ảnh hưởng ít nhất trong quá trình định cỡ băng thông. Các thông số của S-OFDMA được cho trong bảng 1.6 chương 1.

### Chương 3: Lớp vật lý của WiMAX di động



Hình 3.1. Cấu trúc lớp vật lý của WiMAX di động

Bảng 3.2 cho thấy các thông số cụ thể cho trường hợp các băng tần là bội số của 1,5GHz và cho các kiểu kênh con khác nhau.

Bảng 3.2. Các thông số của S-OFDMA

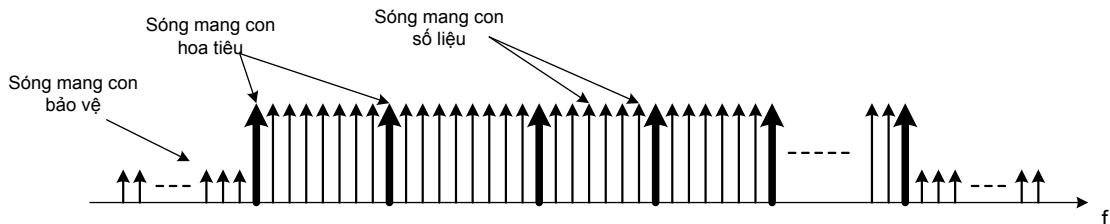
Thông số	Giá trị			
Băng thông (MHz)	1,25	5	10	20
Tần số lấy mẫu, $f_s$ (MHz)	1,4	5,6	11,2	22,4

Số điểm FFT	128	512	1024	2048
Số kênh con cho các chế độ khác nhau	DL FUSC	2	8	16
	DL PUSC	3	15	20
	UL PUSC	4	17	35

### 3.3.2. Cấu trúc ký hiệu OFDM

Cấu trúc ký hiệu OFDM bao gồm ba kiểu sóng mang con (hình 3.2):

- Các sóng mang con số liệu
- Các sóng mang con hoa tiêu để ước tính và đồng bộ
- Các sóng mang con rỗng không truyền để bảo vệ và các sóng mang con DC



Hình 3.2. Cấu trúc sóng mang con OFDMA

Các sóng mang con tích cực (các sóng mang con số liệu và hoa tiêu) được chia thành các tập con với tên gọi là kênh con.

### 3.3.4. Sắp xếp kênh con

Lớp vật lý của WiMAX OFDMA hỗ trợ sắp xếp kênh con cho cả đường xuống (DL) và đường lên (UL). Đơn vị tài nguyên tần số-thời gian nhỏ nhất trong quá trình chia kênh con là một khe bao gồm 48 sóng mang con số liệu.

Có hai kiểu thay đổi trật tự khi sắp xếp kênh con: phân tập và liên tục. Sắp xếp phân tập thực hiện lấy ra một tập các sóng mang con trên một số ký hiệu OFDM một cách ngẫu nhiên từ không gian các sóng mang con tích cực để tạo nên một kênh con. Các sắp xếp này đảm bảo phân tập tần số và trung bình hóa nhiễu giữa các ký hiệu.

Để hỗ trợ đa truy nhập, các sóng mang con số liệu được chia thành các nhóm để tạo nên các kênh con. Các sóng mang con để tạo nên các kênh con được phân bổ trên tất cả các sóng mang con khả dụng. Các khối sắp xếp kênh con (Channelization) và tháo gỡ kênh con (Dechannelization) thực hiện sắp xếp (MAP) số liệu thô của chùm tín hiệu điều chế lên các sóng mang con trong các kênh con và lấy ra (Demap) số liệu này từ các sóng mang con nói trên. Một công thức hoán vị thực hiện sắp xếp các sóng mang con lên các kênh con vật lý của ký hiệu OFDM.

Công thức này khác nhau đối với đường DL và UL và đối với các chế độ khác nhau (như FUSC và PUSC chẳng hạn).

Một kênh con cơ sở trong OFDMA luôn chứa 48 sóng mang con từ một hoặc vài ký hiệu. Các kênh con được phân loại theo nhiều cách như sau:

- Đường xuống (DL: Down Link) và đường lên (UL: Up Link): tồn tại ba dạng cơ bản của các kênh đường xuống (FUSC, PUSC và AMC) và hai dạng cơ bản các kênh đường lên (PUSC và AMC).
- Phân tập và liền kề: Mỗi kênh con phân tập (chẳng hạn FUSC, PUSC, FUSC-OFUSC tùy chọn, PUSC-OPUSC tùy chọn) bao gồm các sóng mang con được phân bổ, còn kênh con liền kề (AMC chẳng hạn) bao gồm các sóng mang con liên tiếp nhau
- Tiền hoa tiêu và hậu hoa tiêu: Trừ FUSC, tất cả các cấu hình kênh con đều có các sóng mang con hoa tiêu và các sóng mang con số liệu đi cùng nhau trong một số đơn vị cố định (chẳng hạn cụm hay bin hoặc lát). Trong FUSC, các sóng mang con được đặt vào các kênh con sau khi các sóng mang hoa tiêu đã được đặt vào các vị trí của chúng (xem hình 3.3).

Trong FUSC chỉ có một tập các sóng mang con hoa tiêu chung; còn trong PUSC mỗi kênh con chứa tập riêng các sóng mang con hoa tiêu.

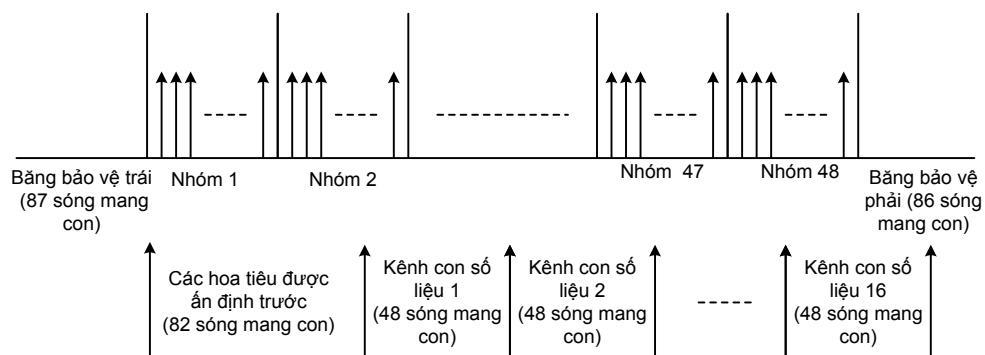
Các người sử dụng được ấn định các khe để truyền số liệu. Các khe này thể hiện các khối số liệu nhỏ nhất. Các khe được định nghĩa theo chiều thời gian và kênh con, các khe này thay đổi phụ thuộc vào các chế độ như sau:

- Đối với DL FUSC, một khe là một kênh con được tạo ra trên một ký hiệu OFDM
- Đối với DL PUSC, một khe là một kênh con được tạo ra trên hai ký hiệu OFDM
- Đối với UL PUSC, một khe là một kênh con được tạo ra trên ba ký hiệu OFDM

#### 3.3.4.1. Sắp xếp kênh con sử dụng toàn bộ sóng mang con đường xuống (FUSC)

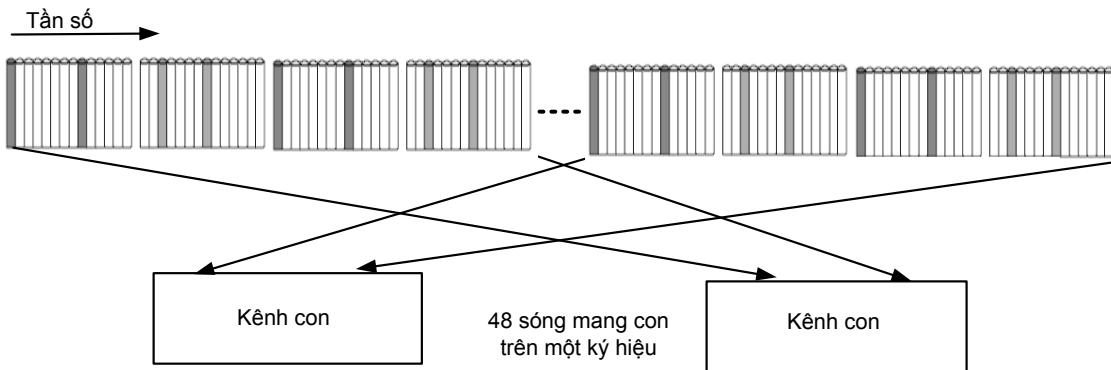
FUSC có cấu hình kênh con phân tập phù hợp cho các trạm thuê bao di động hay bị nhiễu nặng. Mỗi kênh con bao gồm 48 sóng mang con được phân bổ đều trên toàn bộ băng thông. Hình 3.3 mô tả 1024 FFT, DL FUSC băng thông 10 MHz, trong đó DL FUSC chứa 16 kênh con

- Mỗi kênh con có 48 sóng mang con
- 48 sóng mang con trong mỗi kênh con được lấy ra từ 48 nhóm



Hình 3.3 Cấu hình sóng mang con cho 1024-FFT OFDMA DL FUSC

Trước hết các sóng mang con hoa tiêu được ấn định sau đó các sóng mang con còn lại được sắp xếp lên các kênh con theo phương trình hoán vị được cho trong chuẩn IEEE 802.16e-2005. Hình 3.4 minh họa sơ đồ hoán vị của FUSC. Tập sóng mang con hoa tiêu được chia thành hai tập sóng mang con không đổi và hai tập sóng mang con khả biến. Chỉ số của sóng mang con hoa tiêu trong tập khả biến thay đổi theo từng ký hiệu còn chỉ số của các sóng mang con hoa tiêu trong tập cố định không đổi. Các tập thay đổi cho phép ước tính đáp ứng kênh trên toàn bộ băng thông chính xác hơn, vì thế chúng rất quan trọng trong các kênh có trải trễ lớn (băng thông nhất quán  $B_c$  nhỏ).



Hình 3.4. Sơ đồ hoán vị sóng mang con của FUSC

Bảng 3.3 tổng kết ấn định sóng mang con cho một ký hiệu kênh DL FUSC.

Bảng 3.3. Ấn định sóng mang con cho một ký hiệu kênh DL FUSC

Băng thông (MHz)	1,25	5	10	20
Kích thước FFT	128	512	1024	2048
Sóng mang con DC	1	1	1	1
Số sóng mang con bảo vệ (trái)	11	43	87	173
Số sóng mang con bảo vệ (phải)	10	42	86	172
Số sóng mang khả sử dụng	106	426	850	1702
Số sóng mang con hoa tiêu	10 (1/9)*	42 (6/36)	82 (11/71)	166 (24/142)
Số sóng mang con số liệu	96	384	768	1536
Số sóng mang con trên kênh con	48	48	48	48
Số kênh con	2	8	16	32

\* Tỷ số giữa tập cố định và tập khả biến.

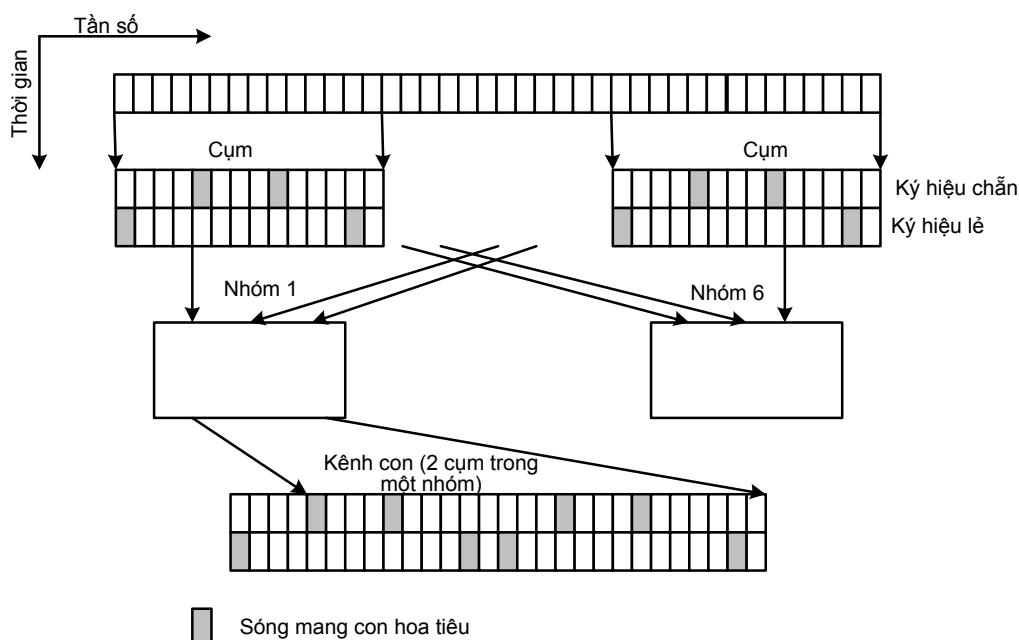
Trong trường hợp sử dụng hai anten phân tần phát cho FUSC, mỗi anten sẽ chỉ sử dụng một nửa số sóng mang con trong tập cố định và tập khả biến. Điều này cho phép máy thu đánh giá đáp ứng kênh từ từng anten phát. Tương tự trong trường hợp sử dụng 3 hoặc 4 anten phân tần phát, mỗi anten sẽ sử dụng 1/3 hoặc 1/4 số hoa tiêu trong tổng số các hoa tiêu của hai tập.

### 3.3.4.2. Sắp xếp kênh con PUSC

Chế độ PUSC (Partially Usage of Subcarriers: sử dụng một phần các sóng mang con) là bắt buộc cho khung con đầu tiên cho cả DL và UL. Hình 3.5 cho thấy các đơn vị cơ bản của các kênh con PUSC.

#### 3.3.4.2.1. Sắp xếp kênh con DL PUSC.

Với DL PUSC, các sóng mang con tích cực trong mỗi ký hiệu OFDM trong một cặp ký hiệu (gồm ký hiệu chẵn và ký hiệu lẻ) được chia thành các tập 14 sóng mang con liên tục, trong đó có 12 sóng mang con số liệu và 2 sóng mang con hoa tiêu như cho trên hình 3.5. Hai tập sóng mang con trên hai ký hiệu chẵn và lẻ tạo thành một cụm. Sau đó các cụm lại được tổ chức lại thành 6 nhóm không chồng lấn nhau (đối với trường hợp IFT 2048). Các nhóm này có thể được ấn định cho các sector hoặc các ô khác nhau. Kênh con trong một nhóm gồm hai cụm với 48 sóng mang con số liệu và 8 sóng mang con hoa tiêu được sắp xếp trên 2 ký hiệu OFDM. Trong mỗi nhóm, 48 sóng mang con được sắp xếp vào các kênh con theo cơ chế hoán vị để giảm thiểu xác suất va chạm lẫn nhau giữa các nhóm. Hình 3.6 cho thấy sơ đồ hoán vị cho DL PUSC.



Hình 3.5. Sơ đồ hoán vị sóng mang con DL PUSC (đối với trường hợp FFT 2048)

Bảng 3.4 tổng kết các cấu hình kênh DL PUSC cơ sở.

Bảng 3.4. Ấn định các sóng mang con trên một ký hiệu OFDM trên kênh DL PUSC

Thông số	Giá trị			
Kích thước FFT	128	512	1024	2048
Số sóng mang con DC	1	1	1	1
Số sóng mang con bảo vệ (trái)	22	46	92	184
Số sóng mang con bảo vệ (phải)	21	45	91	183
Số sóng mang con khả dụng	84	420	840	1680
Số sóng mang con trên một cụm	14	14	14	14

trên một ký hiệu				
Số sóng mang con hoa tiêu trên một cụm	2	2	2	2
Số cụm	6	30	60	120
Số cụm trong một kênh con	2	2	2	2
Số các sóng mang con trên một ký hiệu trên một kênh con	28	28	28	28
Số kênh con	3	15	30	60

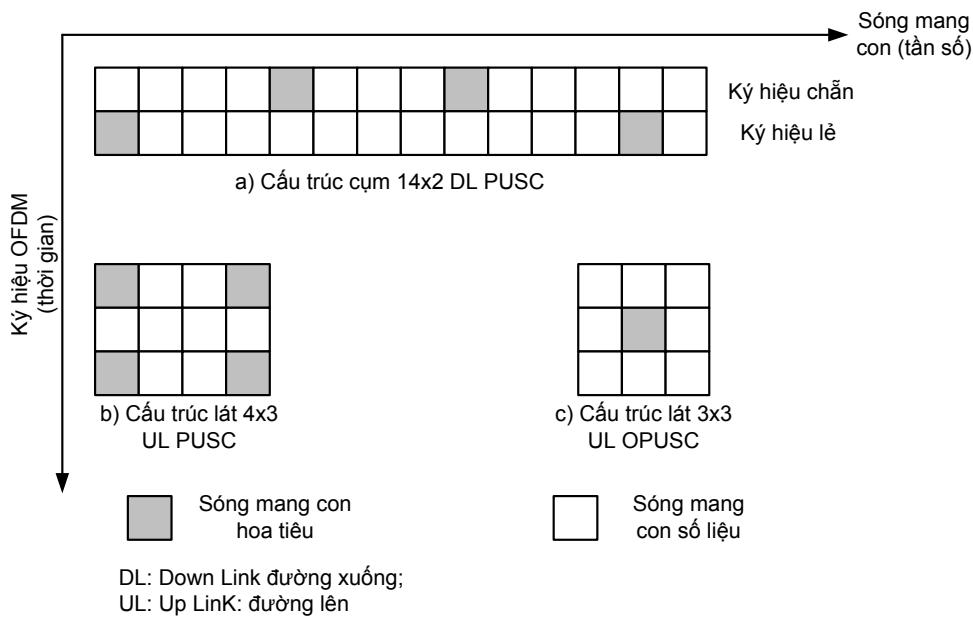
Trong PUSC, hệ thống có thể ấn định tất cả hay chỉ một tập con của sáu nhóm cho một máy phát. Bằng cách ấn định các tập con tách biệt từ sáu nhóm cho các máy phát lân cận, hệ thống có thể phân cách các tín hiệu của các máy phát này trong không gian sóng mang con, vì thế nó cho phép tái sử dụng tần số chặt hơn với trả giá bằng tốc độ số liệu. Việc sử dụng sóng mang con như vậy được gọi là phân đoạn. Chẳng hạn trong một BS có ba đoạn ô, ta có thể ấn định ba nhóm khác nhau cho từng đoạn ô và bằng cách này ta có thể tái sử dụng tần số vô tuyến trong tất cả các đoạn ô. Mặc định, nhóm 0 ấn định cho đoạn ô 1, nhóm 2 ấn định cho đoạn ô 2, nhóm 3 ấn định cho đoạn ô 3. Bằng cách sử dụng sơ đồ phân đoạn, tất cả các đoạn ô của BS có thể sử dụng cùng một tần số vô tuyến mà vẫn đảm bảo được tính trực giao giữa các sóng mang con. Tính năng này của WiMAX rất hữu ích khi phổ khả dụng không đủ lớn để cho phép tái sử dụng tần số lớn hơn 1. Cần lưu ý rằng mặc dù phân đoạn ô có thể được sử dụng trong PUSC, nhưng bản thân nó không cần phân đoạn ô.

Các kênh con dựa trên lát (TUSC1 và TUSC2; TUSC: Tile Used Subchannel) có thể có trên đường xuống như một tùy chọn trong một vùng AAS (xem phần 3.4.2.2). Trong hệ thống AAS vòng kín trong chế độ PUSC, thông tin trạng thái kênh phản hồi (CSI) phải được gửi từ MS về BS ngay cả trong trường hợp TDD, vì ấn định đường xuống và đường lên không đối xứng nên không thể sử dụng tính đổi lẩn của kênh. TUSC cho phép ấn định đường xuống đối xứng với UL PUSC, vì thế không cần phản hồi CSI trong hệ thống TDD. TUSC 1 tương ứng với UL PUSC4x3, còn TUSC2 tương ứng với UL OPUSC mà ta sẽ xét trong phần dưới đây.

### 3.3.4.2.2. Sắp xếp kênh con UL PUSC

Không giống như DL, khôi cơ sở trong một kênh UL PUSC được gọi là lát (tile). Toàn bộ băng tần được chia thành các nhóm lát liên tục. Mỗi kênh con bao gồm 6 lát phân tán, trong đó các lát được chọn từ các nhóm khác nhau. Mỗi lát bao gồm 4 (hoặc ba sóng mang con) trên ba ký hiệu OFDM (xem hình 3.6). Lát 4x3 chứa nhiều hoa tiêu hơn lát 3x3 và vì thế bền chắc hơn. Mỗi kênh con chứa 6 lát và ấn định chính xác các lát vào một kênh con được thực hiện bởi một công thức hoán vị đường lên. Như thường lệ sẽ có 48 sóng mang con trong mỗi kênh con. 6 (hoặc 8 trong trường hợp đặc biệt) lát tạo nên một kênh con (khe). Như vậy đối với cấu trúc lát 4x3 mỗi kênh con UL PUSC bao gồm này bao gồm  $6 \times 4 \times 3 = 72$  sóng mang con, trong đó 48 sóng mang con số liệu và 24 sóng mang con hoa tiêu. Các sóng mang con khả dụng được trên ba ký hiệu OFDM được chia thành các lát. Sáu lát được chọn cách xa nhau trên toàn bộ phổ tần khả dụng này bởi sơ đồ sắp xếp và tổ chức lại. Chẳng hạn sáu lát có thể được chọn từ các sóng mang con sau: từ 448 đến 451 cho lát thứ nhất; từ 512 đến 515 cho lát thứ hai; từ 984 đến 987 cho lát thứ 3; từ 1189 đến 1192 cho lát thứ tư; từ 1505 đến 1508 cho lát thứ năm và từ 1753 đến 1756 cho lát thứ sáu, trong đó vị trí của mỗi lát thay đổi

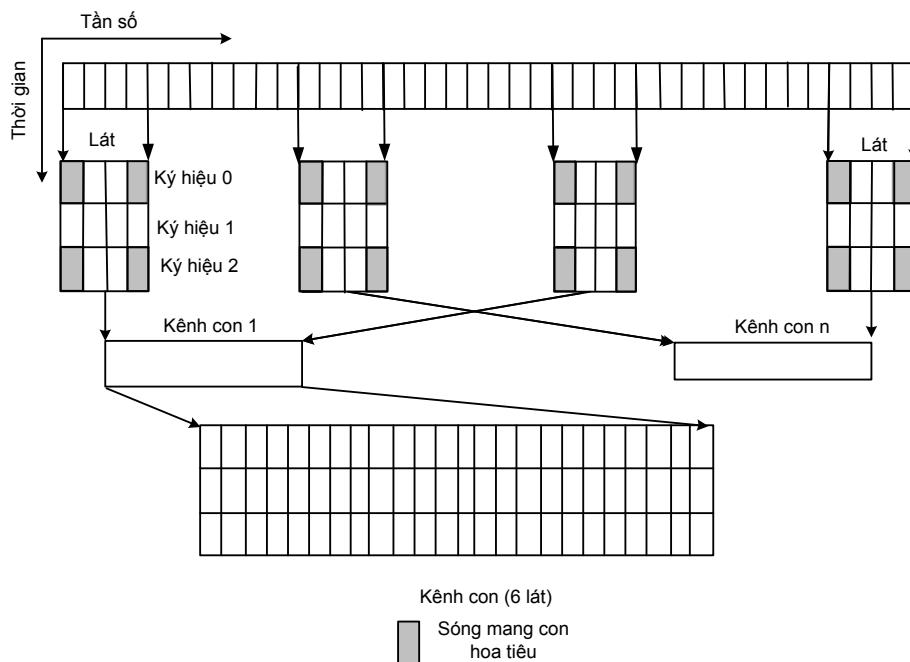
theo 3 ký hiệu (tùy theo sơ đồ quay vòng). Sau ba ký hiệu OFDM, vị trí của cấu trúc lát thay đổi.



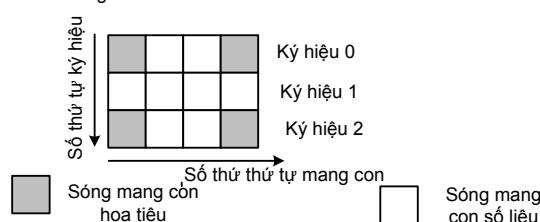
Hình 3.6. Các cấu trúc DL PUSC và UL PUSC

Các sơ đồ hoán vị sóng mang con cho UL PUSC 4x3 và UL OPUSC 3x3 (tùy chọn) được cho trên các hình 3.7 và 3.8.

a) Sơ đồ hoán vị sóng mang con cho PUSC đường lên



b) Mô tả lát đường lên



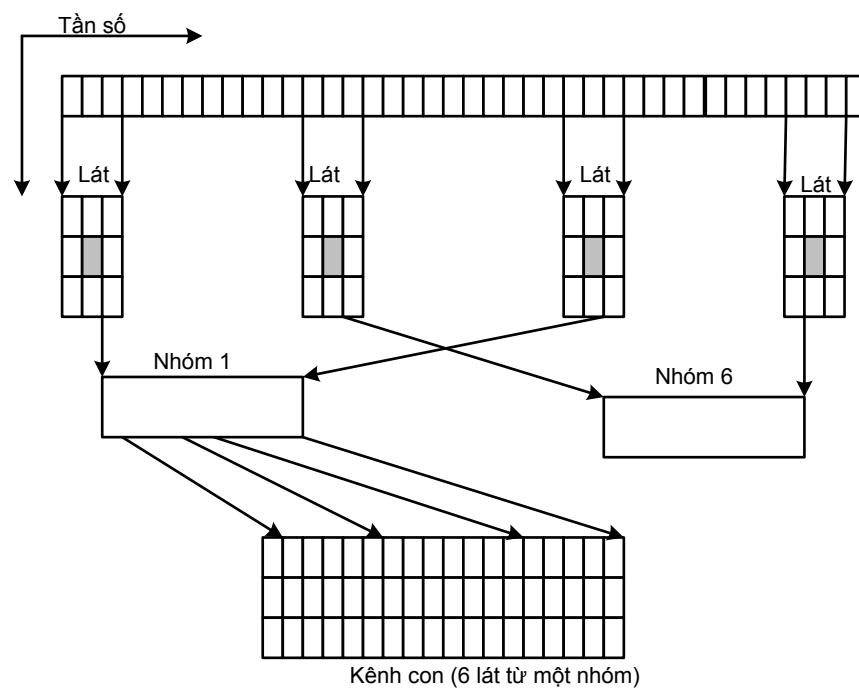
Hình 3.7. Sơ đồ hoán vị cho UL PUSC 4x3

Bảng 3.5 cho thấy ánh định sóng mang con cho một ký hiệu OFDM trên PUSC đường lên cho IEEE 802.16-2009.

Bảng 3.5. Ánh định sóng mang con cho một ký hiệu OFDM trên PUSC đường lên

Thông số	Giá trị			
Kích thước FFT	128	512	1024	2048
Số sóng mang con DC	1	1	1	1
Số sóng mang con bảo vệ (trái)	16	52	92	184
Số sóng mang con bảo vệ (phải)	15	51	91	183
Số sóng mang con khả dụng	96	408	840	1680
Số sóng mang con trên một lát	4	4	4	4
Số lát	24	102	210	420
Số lát trên một kênh con	6	6	6	6
Số kênh con	4	17	35	70

Hình 3.8 cho thấy sơ đồ hóa vị cho sóng mang con cho PUSC tùy chọn đường lên.



Hình 3.8. Sơ đồ hoán vị cho UL OPUSC 3x3 (tùy chọn)

Bảng 3.6 cho thấy ánh định sóng mang con cho một ký hiệu OFDM của PUSC đường lên tùy chọn.

Bảng 3.6. Ánh định sóng mang con cho một ký hiệu OFDM của OPUSC (PUSC đường lên tùy chọn).

Thông số	Giá trị			
Kích thước FFT	128	512	1024	2048
Số sóng mang con DC	1	1	1	1
Số sóng mang con bảo vệ (trái)	10	40	80	160
Số sóng mang con bảo vệ (phải)	9	39	79	159

Số sóng mang con khả dụng	108	432	864	1728
Số sóng mang con trên một lát	3	3	3	3
Số lát	36	144	288	576
Số lát trên một kênh con	6	6	6	6
Số kênh con	6	24	48	96

### 3.3.4.3. Sắp xếp kênh con AMC

AMC (Adaptive Modulation and Coding: mã hóa và điều chế thích ứng) thực hiện sắp xếp các khối sóng mang con liên tục thành một kênh con. Mặc dù AMC làm mất đi phần lớn tính phân tập tần số, nhưng bù lại nó cho phép phân tập người sử dụng. Phân tập người sử dụng cho phép cải thiện đáng kể tổng dung lượng hệ thống, vì tại một thời điểm cho trước kênh con được ấn định cho người sử dụng có SNR/dung lượng cao nhất.

Trong chế độ sắp xếp này, cả hai sắp xếp đường lên và đường xuống đều giống nhau. Trong cả hai chế độ UL AMC và DL AMC, các sóng mang con số liệu được chia thành các băng sóng mang con liên tục. Mỗi băng có bốn bin. Mỗi bin bao gồm 9 sóng mang con liên tục trong một ký hiệu OFDM, trong đó có 8 sóng mang số liệu và một sóng mang hoa tiêu. Phụ thuộc vào cách sắp xếp 6 bin ( $6 \times 8 = 48$  sóng mang con số liệu) vào một kênh con, sẽ có bốn kiểu kênh con AMC (xem hình 3.9). Mỗi khe (kênh con) bao gồm  $N \times M$  bin, trong đó  $N_b$  là số bin liên tục trong cùng một băng và  $M$  là số ký hiệu liên tục. Trên hình 3.8 ta thấy có các tổ hợp sau đây: 3 bin hai ký hiệu, 2 bin 3 ký hiệu, ký hiệu đầu chứa 4 bin và ký hiệu sau chứa 2 bin), 1 bin sáu ký hiệu. Sắp xếp AMC cho phép phân tập theo người sử dụng dựa trên việc chọn đáp ứng tần số tốt nhất.

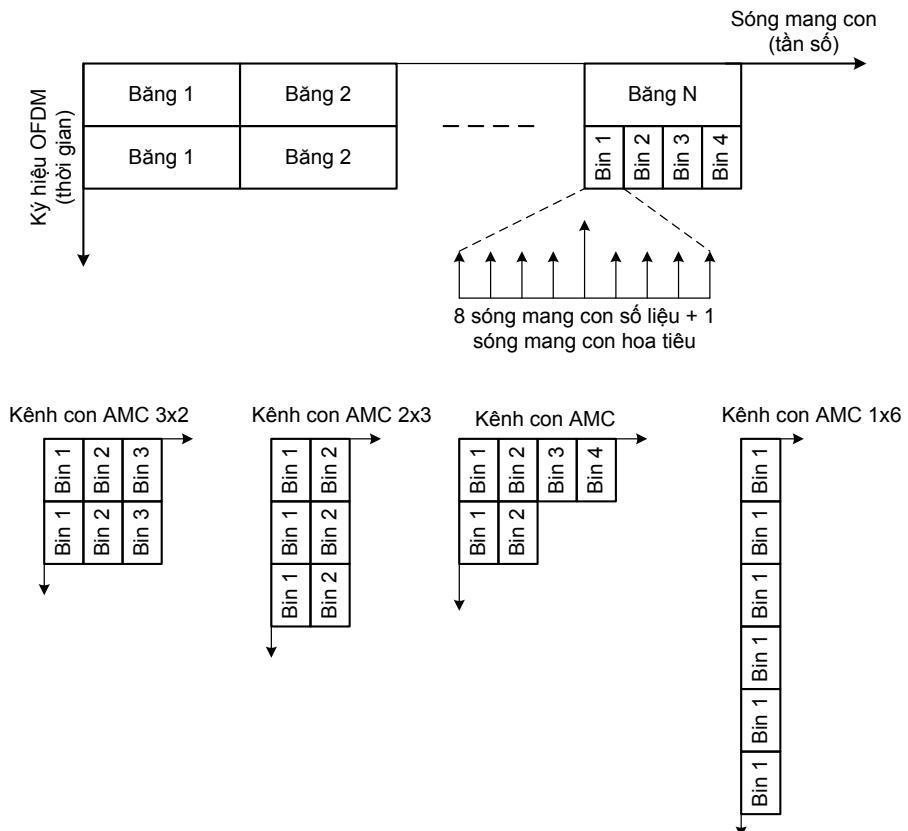
Để chế độ AMC hoạt động hiệu quả, cần có thông tin kênh. Để thực hiện DL AMC, MS phải thực hiện thăm dò kênh cho đường lên để BS thực hiện xác định đáp ứng kênh từ BS đến đầu cuối với giả thiết tính đổi lần TDD. Một vùng thăm dò riêng được ấn định với trong đó một hay nhiều chu kỳ ký hiệu OFDM trong khung UL để MS phát báo hiệu thăm dò.

Từ quỹ đường lên, chế độ AMC thứ tư là hiệu quả nhất vì nó chỉ sử dụng 8+1=9 sóng mang con trong một ký hiệu (thay vì  $4 \times 6 = 24$  sóng mang con/ký hiệu trong PUSC và  $2 \times 16 = 18$  sóng mang con/ký hiệu trong OPUSC). Vì thế tiết kiệm được công suất từ 3 đến 4,6dB.

### 3.3.5. Khe và cấu trúc khung TDD

Lớp MAC ấn định các tài nguyên thời gian/tần số cho các người sử dụng khác nhau theo đơn vị khe. Khe là lượng tài nguyên vật lý nhỏ nhất được ấn định cho người sử dụng trong miền tần số. Kích thước khe phụ thuộc vào chế độ sắp xếp kênh như sau:

- ✓ FUSC: Mỗi khe là 48 sóng mang con trên một ký hiệu OFDM (48x1)
- ✓ DL PUSC: Mỗi khe gồm 24 sóng mang con trên hai ký hiệu OFDM (24x2)
- ✓ PUSC hoặc TUSC: Mỗi khe gồm 16 sóng mang con trên ba ký hiệu OFDM (16x3)
- ✓ AMC: Mỗi khe gồm 8, 16 và 24 sóng mang con trên 6, 3 hoặc hai ký hiệu OFDM (8x6; 3x16; 24x2)



Hình 3.9. Các cấu hình kênh con được tổ chức theo BIN trong AMC

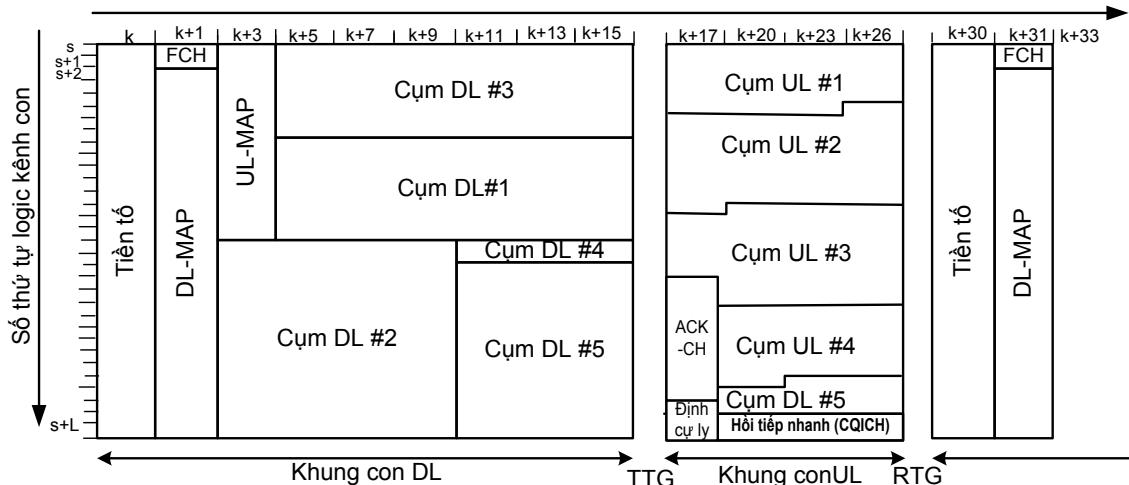
Tổng số các sóng mang con trong một khe còn được gọi là kênh con. Như vậy một khe được xác định theo hai chiều: thời gian (số ký hiệu) và tần số (kênh con: số sóng mang con)

Trong miền thời gian tần số tập khe liên tục được xác định cho một người sử dụng được gọi là vùng số liệu của người sử dụng này. Giải thuật lập biểu xác định các vùng số liệu cho các người sử dụng khác nhau rất quan trọng đối với tổng hiệu năng của hệ thống WiMAX. Một giải thuật thông minh phải tự mình thích ứng với các điều kiện khác nhau.

802.16e PHY của WiMAX di động hỗ trợ cả hai cấu trúc khung TDD và FDD với độ dài từ 2ms đến 20ms. FDD để đáp ứng nhu cầu của thị trường nơi không thể sử dụng TDD do quy định tần số hoặc triển khai FDD thuận lợi hơn. TDD đòi hỏi có các biện pháp chống nhiễu, tuy nhiên do ghép song công theo thời gian nên nó có lợi điểm sau:

- TDD cho phép điều chỉnh tỷ lệ đường lên/ đường xuống để hỗ trợ hiệu quả lưu lượng đường lên/đường xuống không đổi xứng. FDD luôn có băng thông đường lên đường xuống cố định và bằng nhau
- TDD đảm bảo tính đối län kênh đường lên và đường xuống vì thế hỗ trợ tốt hơn cho truyền dẫn thích ứng, MIMO và các công nghệ anten tiên tiến vòng kín khác
- FDD đòi hỏi hai kênh mang tần số, trong khi đó TDD chỉ cần một kênh mang tần số vì thế cho phép thích ứng tốt hơn đối với các cấp phát tần số khác nhau trên thế giới
- Thiết kế máy phát thu TDD ít phức tạp hơn và vì thế rẻ tiền hơn.

Cấu trúc khung OFDM TDD được cho trên hình 3.10.



Hình 3.10. Cấu trúc khung OFDMA TDD (chỉ cho vùng bắt buộc)

Mỗi khung được chia thành các khung con cho DL (đường xuống) và UL (đường lên). Các khung con DL và UL được phân cách bởi các khoảng trống để chuyển sang phát (TTG : Transmit Transition Gap) và khoảng trống để chuyển sang thu (RTG: Receive Transition Gap) để tránh va chạm giữa phát và thu. TTG và RTG đảm bảo khoảng trống cho trễ truyền vòng trong TDD và thời gian giảm công suất của các bộ khuếch đại công suất. Để đảm bảo hoạt động tối ưu hệ thống, mỗi khung chứa các thông tin điều khiển sau đây:

- **Tiền tố.** Được sử dụng để đồng bộ, đây là ký hiệu OFDM đầu tiên của khung. Tiền tố là một chuỗi PN được điều chế trên tập sóng mang con tiền tố. Tiền tố mang thông tin nhận dạng ô (Cell ID) và thông tin phân đoạn cho MS. Ngoài ra MS có thể thực hiện định thời ban đầu, đồng bộ sóng mang, ước tính kênh ban đầu và ước tính nhiễu công tạp âm trên cơ sở các tín hiệu tiền tố. Các sóng mang trong ký hiệu tiền tố được chia thành ba tập. Chỉ số của các sóng mang con liên kết với với một sóng mang cho trước được xác định theo công thức:

$$\text{Carrier}_{n,k} = k+3n$$

Trong đó  $k$  là chỉ số của tập sóng mang ( $k=0,1,2$ ),  $n$  là chỉ số sóng mang con ( $n = 0,1,\dots,(N_u-3)/3$ ).

Mỗi đoạn (đoạn ô), được định nghĩa trong đoạn sắp xếp sóng mang con PUSC, sẽ sử dụng một tiền tố cấu thành từ một trong số ba tập sóng mang cho phép và cứ ba sóng mang con thì chỉ một sóng mang con là được điều chế. Một chuỗi PN đặc thù cho ID của ô được điều chế BPSK để tạo ra tiền tố trong miền tần số. Công suất của tập sóng mang của tiền tố được khuếch đại  $2\sqrt{2}$  lần.

- **Tiêu đề điều khiển khung (FCH: Frame Control Header).** Đi sau tiền tố chứa thông tin về cấu hình khung như: độ dài bản tin MAP, sơ đồ mã hóa và các kênh con khả dụng. FCH chứa 48 bit được điều chế BPSK với tỷ lệ mã 1/2 và mã hóa lặp 4x để đảm bảo độ chắc chắn và hiệu năng tốt nhất tại cả ở biên ô. FCH chứa tiền tố khung đường xuống (DLFP: Down Link Frame Prefix) để đặc tả lý lịch cụm, chặng hạn DLFP định nghĩa:

- ❖ Bitmap kênh con được sử dụng
  - ❖ Các kênh con định cự ly
  - ❖ Khuôn dạng mã hóa và lặp cho DL-MAP đi sau FCH
  - ❖ Độ dài DL-MAP
- **Sắp xếp đường xuống (DL MAP).** DL-MAP đi sau FCH để định nghĩa sự sử dụng chu kỳ đường xuống cho PHY chế độ cụm. DL-MAP cung cấp các thông tin và ấn định kênh con và các thông tin điều khiển khác cho các khung con DL. DL-MAP cơ sở định nghĩa:
    - ❖ Nhận dạng kết nối (CID: Connection ID) trình bày ấn định IE cho các địa chỉ quảng bá, đa phương và đơn phương
    - ❖ Mã mức độ sử dụng đường xuống (DIUC: Down Link Usage Code) định nghĩa kiểu cụm đường xuống
    - ❖ Khoảng dịch ký hiệu OFDM tại thời điểm khởi đầu cụm (đo bằng đơn vị ký hiệu OFDM)
    - ❖ Khoảng dịch kênh con - kênh con chỉ số thấp nhất được sử dụng để mang cụm này
    - ❖ Khuyếch đại công suất cho các sóng mang con số liệu
    - ❖ Số lượng các ký hiệu OFDM được sử dụng để mang mang cụm đường xuống
    - ❖ Số các kênh con cùng với các chỉ số liên tiếp
    - ❖ Thời gian theo số khe OFDM được ấn định
    - ❖ Mã lặp được sử dụng trong cụm được ấn định

Nghe kênh này, MS có thể biết được các kênh con và các ký hiệu OFDM ấn định cho nó trên đường xuống

- **Sắp xếp đường lên (UL MAP).** UL-MAP nằm ngay sau DL-MAP (nếu được truyền) hoặc FCH. UL-MAP IE định nghĩa các ấn định băng thông cho đường lên. UL-MAP IE đặc tả:
  - ❖ Nhận dạng kết nối (CID: Connection ID) trình bày ấn định IE cho các địa chỉ quảng bá, đa phương và đơn phương
  - ❖ Mã sử mức độ sử dụng đường lên (UIUC: Uplink Link Usage Code) định nghĩa kiểu truy nhập đường lên và kiểu cụm liên quan đến truy nhập
  - ❖ Khoảng dịch ký hiệu OFDM tại thời điểm khởi đầu cụm (đo bằng đơn vị ký hiệu OFDM)
  - ❖ Khoảng dịch kênh con - kênh con chỉ số thấp nhất được sử dụng để mang cụm này
  - ❖ Số lượng các ký hiệu OFDM được sử dụng để mang mang cụm đường lên
  - ❖ Số các kênh con cùng với các chỉ số liên tiếp

- ❖ Thời gian theo số khe OFDM được ấn định
- ❖ Mã lặp được sử dụng trong cụm được ấn định

Nghe kênh này, MS có thể biết được các kênh con và các ký hiệu OFDM ấn định cho nó trên đường lê.

- **Mô tả kênh đường xuống (DCD: Downlink Channel Descriptor) và mô tả kênh đường lên (UCD: Uplink Channel Descriptor).** Định kỳ tiếp sau UL-MAP, BS cũng phát DCD và UCD mang thông tin bổ sung mô tả cấu trúc kênh và các lý lịch cụm khác nhau (sơ đồ điều chế, mã FEC và tỷ lệ mã được sử dụng). Để tiết kiệm tài nguyên, DCD và UCD không được truyền trong mọi khung.
- **Định cự ly UL (UL Ranging).** Kênh con cự ly UL được ấn định cho MS để thực hiện các yêu cầu về thời gian vòng kín, tần số và điều chỉnh công suất cũng như băng thông
- **UL CQICH.** Kênh UL CQICH được ấn định cho MS để thông tin trạng thái kênh cho BS
- **UL ACK.** UL ACK được ấn định cho MS để công nhận DL HARQ (Down Link Hybrid Automatic Request: yêu cầu phát lại tự động linh hoạt)

### 3.4. Các thông số OFDM VÀ CẤU TRÚC KHUNG CỦA IEEE 802.16m

IEEE 802.16m hỗ trợ các chế độ FDD và TDD bao gồm cả H-FDD. Cấu trúc khung và xử lý băng gốc nói chung giống nhau cho cả hai chế độ.

#### 3.4.1. Các thông số OFDM

Các thông số OFDM được cho trong bảng 3.7.

Bảng 3.7. Các thông số OFDM

Băng thông kênh danh định (MHz)		5	7	8,75	10	20
Hệ số lấy mẫu *		28/25	8/7	8/7	28/25	28/25
Tần số lấy mẫu (MHz)		5,6	8	10	11,2	22,4
Kích thước FFT		512	1024	1024	1024	2048
Khoảng cách giữa các sóng mang con (kHz)		10,9375	7,8125	9,765625	10,9375	10,9375
Thời gian hưu dụng ký hiệu $T_u$ ( $\mu s$ )		91,429	128	102,4	91,429	91,429
Tiền tố chu trình (CP) $T_g=1/8T_u$	Thời gian ký hiệu $T_s$ ( $\mu s$ )	102,857	144	115,2	102,857	102,857
	FDD Sô ký hiệu OFDM trên khung	48	34	43	48	48
	TDD Thời gian rỗi	62,857	104	46,40	62,857	62,857
	TDD Sô ký hiệu OFDM trên khung	47	33	42	47	47
	TDD Thời gian rỗi	165,714	248	161,6	165,714	165,714
Tiền tố chu trình (CP) $T_g=1/16T_u$	Thời gian ký hiệu $T_s$ ( $\mu s$ )	97.143	136	108.8	97.143	97.143
	FDD Sô ký hiệu OFDM trên khung	51	36	45	51	51
	TDD Thời gian rỗi	45,71	104	104	45,71	45,71
	TDD Sô ký hiệu OFDM	50	35	44	50	50

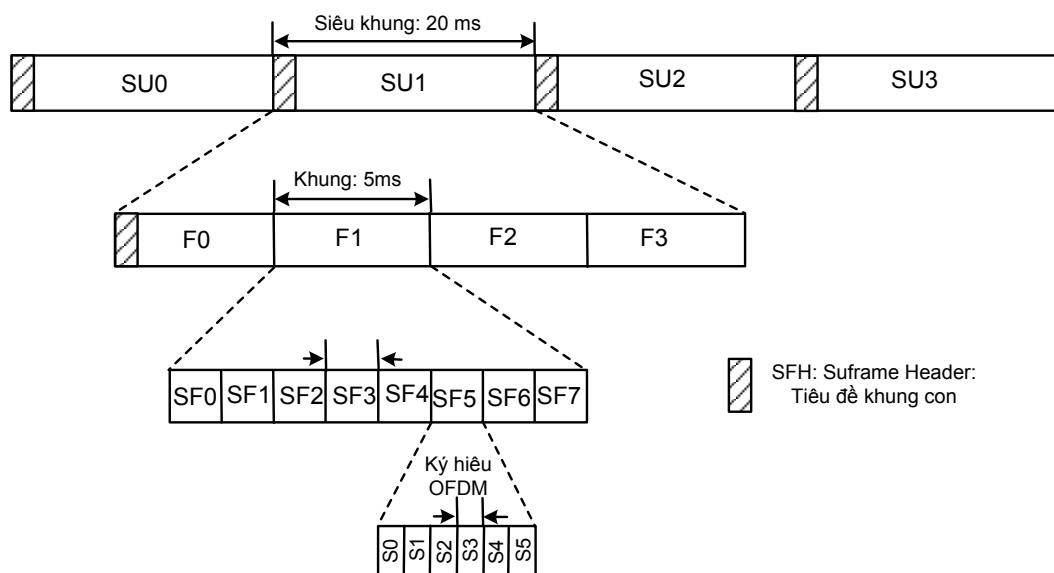
		trên khung					
		Thời gian rỗi	142,853	240	212,8	142,853	142,853
Tiền tố chu trình (CP) $T_g = 1/4 T_u$		Thời gian ký hiệu $T_s$ ( $\mu s$ )	114,286	160	128	114,286	114,286
		FDD   Số ký hiệu OFDM trên khung	43	31	39	43	43
		Thời gian rỗi	85,694	40	8	85,694	85,694
		TDD   Số ký hiệu OFDM trên khung	42	30	37	42	42
		Thời gian rỗi	199,98	200	264	199,98	199,98

Hệ số lấy mẫu= tần số lấy mẫu/băng thông kênh

### 3.4.2. Cấu trúc khung

#### 3.4.2.1. Cấu trúc khung tổng quát

Cấu trúc khung cơ sở của IEEE 802.16m được cho trên hình 3.11. Mỗi siêu khung 20ms bắt đầu bằng tiêu đề siêu khung. Mỗi siêu khung được chia thành 4 khung 5ms. Đối với băng thông kênh 5, 10 và 20 MHz mỗi khung 5 ms lại được chia tiếp thành tám khung con đối với kích thước CP = 1/8 và 1/16. Đối với các băng thông 8,75 và 7MHz, mỗi khung vô tuyến 5 ms được chia tiếp thành 6 và 7 khung cho các CP bằng 1/8 và 1/16 tương ứng.



SU: Superframe; Siêu khung, F: Frame; khung, SF: Suframe; khung con, SFH: Suframe Header; tiêu đề khung con

Hình 3.11. Cấu trúc khung cơ sở cho các băng thông 5, 10, 20 MHz

Một khung con được định rõ cho truyền dẫn đường xuống hoặc đường lên theo cấu trúc sau. Có bốn kiểu khung con:

- Khung con kiểu một bao gồm sáu ký hiệu OFDM
- Khung con kiểu hai bao gồm bảy ký hiệu OFDM
- Khung con kiểu ba bao gồm năm ký hiệu OFDM
- Khung con kiểu bốn bao gồm chín ký hiệu OFDM

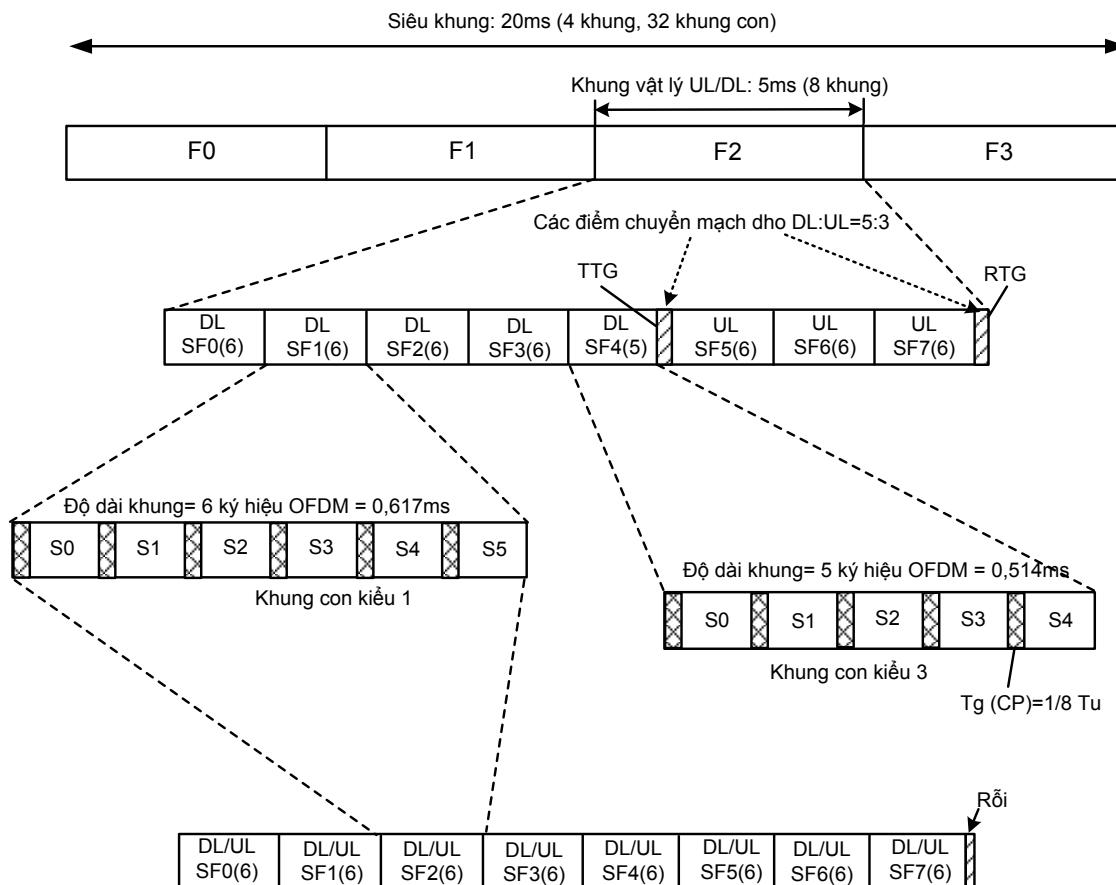
Cấu trúc khung được áp dụng cho cả FDD, HFDD và TDD

Một cụm số liệu chiếm hoặc một khung con (truyền dẫn TTI mặc định) hoặc nhiều khung con (truyền TTI dài). TTI dài trong FDD bằng 4 khung con cho cả đường lên và đường xuống. TTI dài trong TDD bằng tất cả các khung con DL (UL) trên đường xuống (đường lên) trong một khung.

### 3.4.2.2. Cấu trúc khung cho CP=1/8T<sub>u</sub>

Đối với các băng thông kênh 5,10 và 20 MHz, một khung IEEE 802.16m đối với CP bằng 1/8T<sub>u</sub> có tám khung con kiểu 1 cho FDD và bảy khung con kiểu 1 cùng với một khung con kiểu 3 cho TDD. Hình 3.12 cho thấy thí dụ về cấu trúc khung TDD và FDD cho các băng thông 5, 10 và 20 MHz với CP bằng 1/8 T<sub>u</sub>. Với thời gian ký hiệu OFDM là 102,857μs, độ dài khung kiểu 1 là 0,617ms và khung kiểu 3 là 0,514ms. TTG và RTG là 105,74μs và 60μs tương ứng.

Trong FDD, cấu trúc khung (số khung con, kiểu khung con...) đường lên và đường xuống là như nhau.

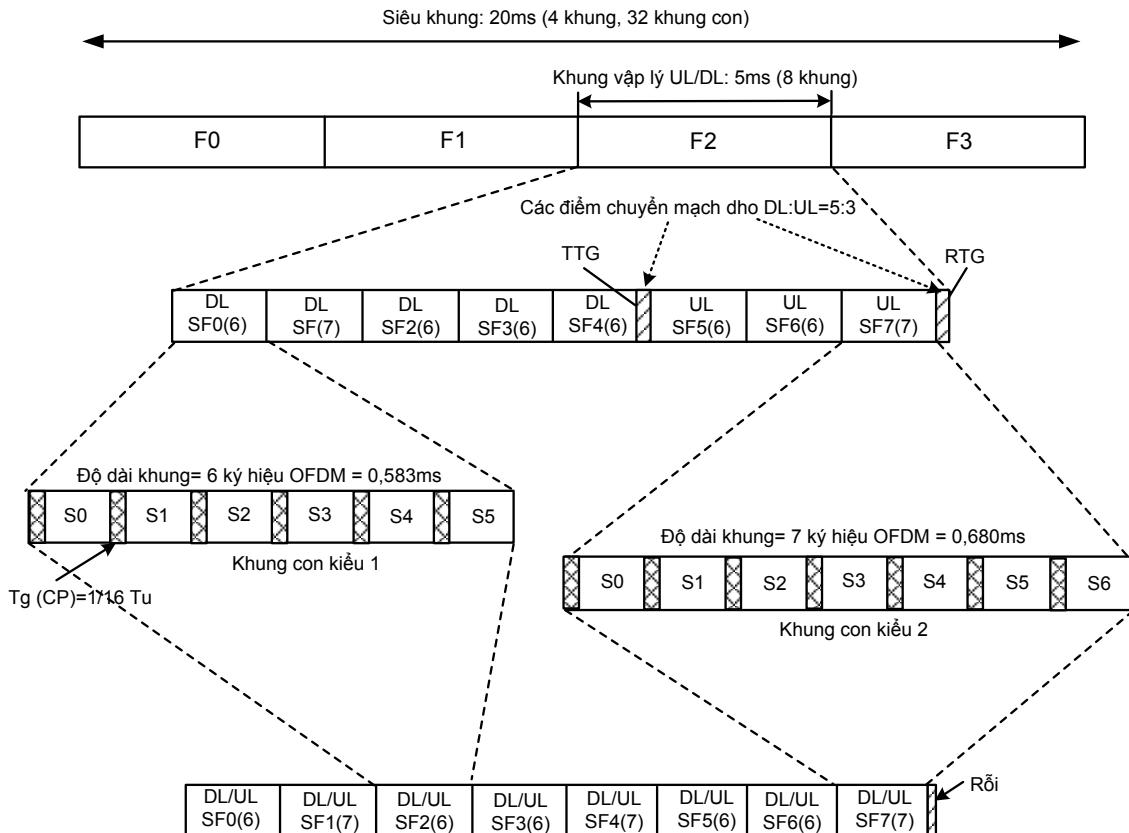


Hình 3.12. Cấu trúc khung TDD và FDD với CP bằng 1/8T<sub>u</sub> (Tỷ lệ DL trên UL bằng 5:3)

### 3.4.2.3. Cấu trúc khung CP=1/16T<sub>u</sub>

Đối với các băng thông chuẩn tắc 5, 10 và 20 MHz, một khung IEEE 802.16m với CP=1/16T<sub>u</sub> có năm khung con kiểu 1 và ba khung con kiểu 2 cho FDD, sáu khung con kiểu 1 và hai khung con kiểu 2 cho TDD. Khung con trước điểm chuyển mạch từ DL sang UL là khung con kiểu 1.

Hình 3.13 cho thấy thí dụ về cấu trúc khung TDD và FDD cho các băng thông 5, 10 và 20 MHz với CP = 1/16 Tu. Với thời gian một ký hiệu OFDM là 97,143μs, độ dài các khung con kiểu 1 và kiểu 2 là 0,583 ms và 0,680ms tương ứng. TTG và RTG có độ dài là 82,853μs và 60μs.



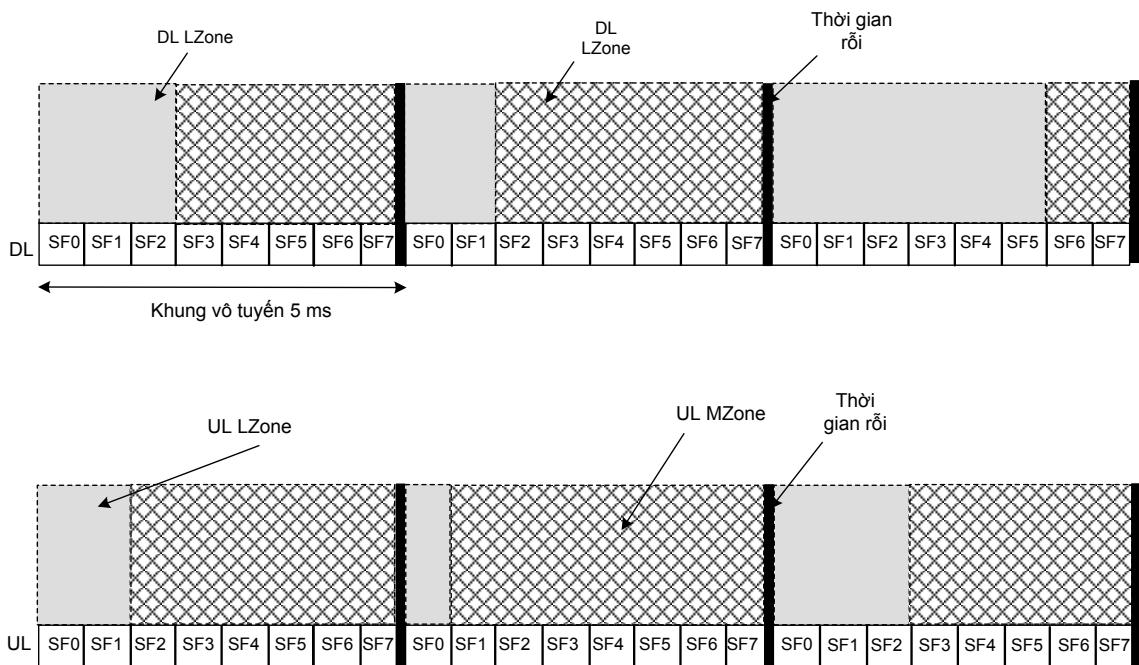
Hình 3.13. Cấu trúc khung cho TDD và FDD với CP= 1/16Tu (tỷ lệ DL trên UL là 5:3)

#### 3.4.2.4. Khái niệm vùng thời gian

Vùng thời gian được định nghĩa là một số nguyên lần (lớn hơn 0) của các khung con liên tiếp. Khái niệm vùng thời gian được áp dụng như nhau cho cả TDD và FDD. Các Mzone (vùng M, M ký hiệu cho IEEE 802.18m) và Lzone (vùng L, L ký hiệu cho IEEE 802.16 -2009 chứa 802.18e) là miền các vùng được ghép kênh theo thời gian (TDM) trên miền thời gian cho đường xuống. Đối với các truyền dẫn đường lên các phương pháp, TDM (ghép kênh theo thời gian) và FDM (ghép kênh theo tần số) được hỗ trợ để ghép kênh cho các R1 MS và các AMS. Lưu ý rằng lưu lượng DL/UL cho AMS có thể được lập biểu một trong hai miền tùy thuộc và chế độ (IEEE 802.16m hay IEEE Std 802.16-2009) mà với nó AMS được kết nối, nhưng không đồng thời cả hai miền, trong khi đó lưu lượng DL/UL cho R1 RS chỉ có thể được lập biểu cho LZone.

Khi không có hệ thống IEEE Std 802.16-2009, Lzone sẽ biến mất và toàn bộ khung sẽ được ấn định trong Mzone.

Hình 3.14 cho thấy thí dụ về ấn định các miền thời gian trong chế độ FDD khi triển khai đồng thời các đầu cuối hiện có (IEEE Std 802.16-2009) và các AMS mới (IEEE 802.16m).

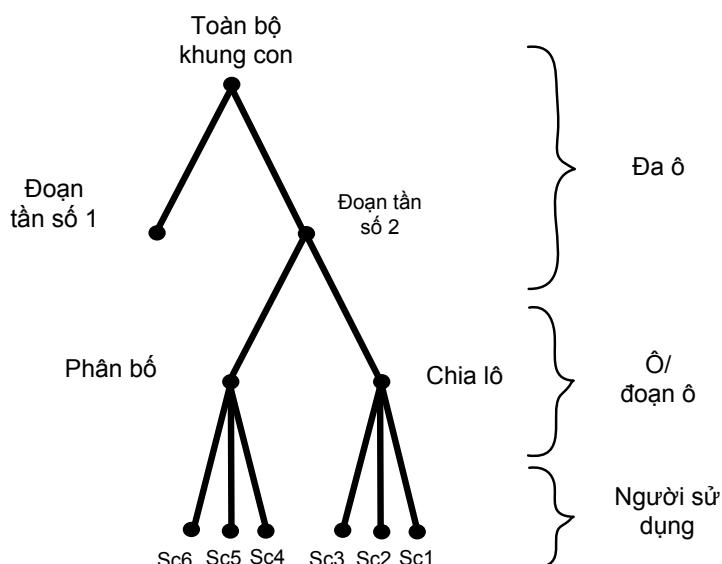


Hình 3.14. Thí dụ về các miền thời gian trong chế độ FDD

### 3.3. Cấu trúc vật lý đường xuống trong IEEE 802.16m

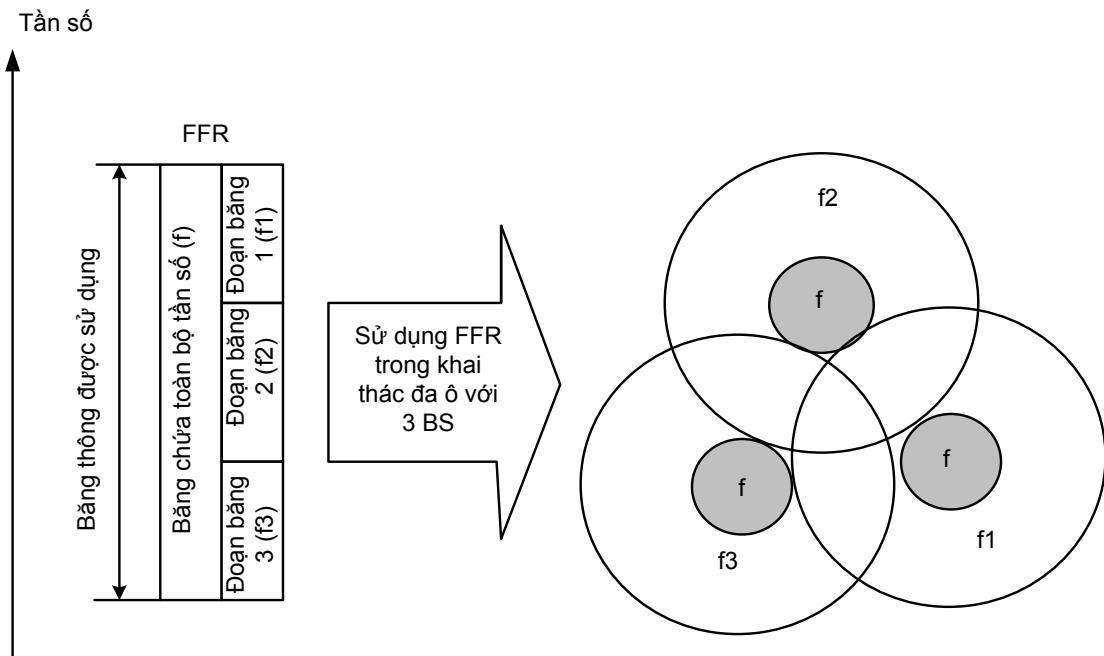
#### 3.3.1. Mở đầu

Khung con đường xuống được chia thành một số FP (Frequency Partition: đoạn tần số): tối đa bốn FP. Mỗi đoạn bao gồm một tập các PRU (Physical Resource Unit: đơn vị tài nguyên vật lý) trên toàn bộ số ký hiệu OFDM khả dụng trong khung con. Mỗi FP có thể chứa các PRU liên tục (chia lô) hoặc không liên tục (phân bố). Mỗi FP có thể được sử dụng cho các mục đích khác nhau như tái sử dụng tần số phân đoạn (FFR: Fractional Frequency Reuse) hay các dịch vụ đa phương và quảng bá (MBS: Multicast Broadcast Service). Hình 3.15 minh họa cấu trúc vật lý đường xuống với hai đoạn tần số trong đó đoạn tần số thứ hai bao gồm cả PRU liên tục (chia lô) và phân bố với Sc ký hiệu cho sóng mang con.



Hình 3.15. Thí dụ về cấu trúc vật lý đường xuống

Bằng cách chia các tần số được sử dụng vào các đoạn tần số, ta có thể tăng hệ số tái sử dụng tần số (FRF: Frequency Reuse Factor). Hình 3.16 minh họa hoạt động đa ô sử dụng FFR (Fractional Frequency Reuse) với FRF=3. Trên hình 3.16 các UE gần tâm ô được phân bổ tần số từ toàn bộ băng tần được sử dụng ( $f$ ) còn các UE tại biên ô chỉ được phân bổ tần số từ một đoạn băng tần ( $f_1$ ,  $f_2$  hoặc  $f_3$ ).

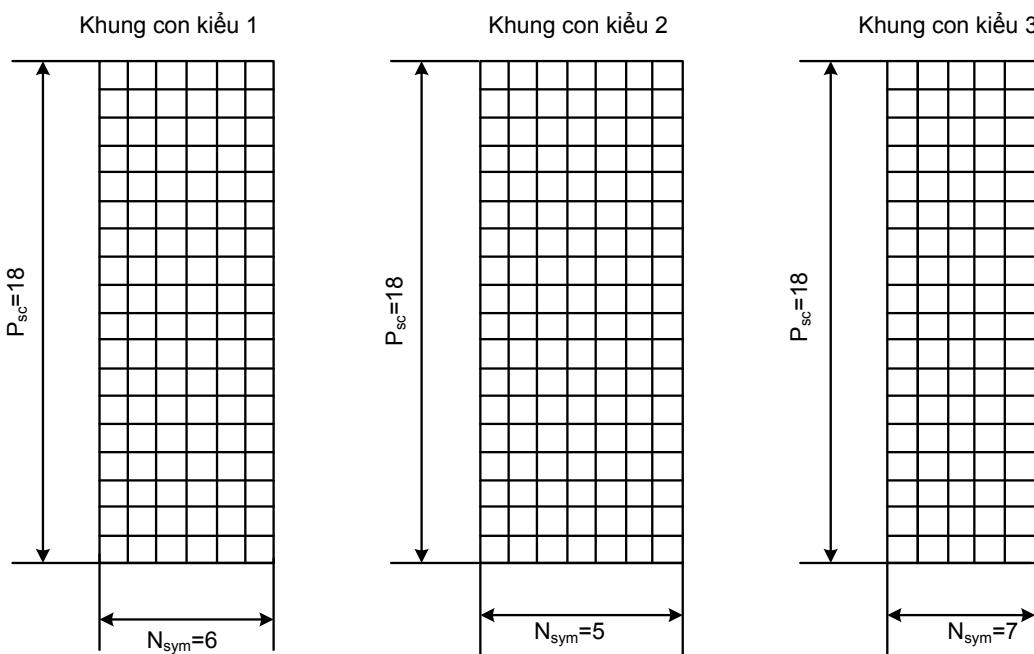


Hình 3.16. Khai thác đa ô với FFR (Fractional Frequency Reuse: tái sử dụng tần số một phần) trong đó FRF=3.

### 3.5.2. PRU và LRU

**PRU (Physical Resource Unit: đơn vị tài nguyên vật lý)** là đơn vị vật lý cơ sở để xác định tài nguyên. PRU bao gồm Psc sóng mang con liên tục với Nsym ký hiệu OFDM liên tục. Psc bao gồm 18 sóng mang con. Nsym gồm 6 ký hiệu OFDM đối khung con kiểu 1, 7 ký hiệu OFDM đối với khung con kiểu 2 và 5 ký hiệu OFDM đối với khung con kiểu 3. Hình 3.17 cho thấy UL PRU và DL PRU cho khung con kiểu 1, kiểu 2 và kiểu 3.

**LRU (Logical Resource Unit: đơn vị tài nguyên logic)** là đơn vị logic tối thiểu và cơ sở có cùng kích thước như PLU để xác định tài nguyên đường xuống và đường lên cho các nhóm phân bố và chia lô. LRU bao gồm PscxNsym, trong đó Psc=18 và Nsym=5,6,7 hay 9 ký hiệu liên tục. Chẳng hạn LRU gồm 18x8 sóng mang con cho các khung con kiểu 1, 18x7 sóng mang con cho các khung con kiểu 2 và 18x5 các sóng mang con cho các khung con kiểu 3.



Hình 3.17. UL PRU và DL PRU cho khung con kiểu 1, kiểu 2 và kiểu 3.

### 3.5.2.1. DLRU

DLRU (Distributed Logical Resource Unit: đơn vị tài nguyên logic phân bố) có thể được sử dụng để đạt được độ lợi phân tập tần số. DLRU bao gồm một nhóm các sóng mang con được trải rộng trên các tài nguyên phân bố trong một FP bằng cách hoán vị. Đơn vị tối thiểu để tạo nên một DLRU là một sóng mang hay một cặp sóng mang (được gọi là một cặp tone). Các DLRU đường xuống nhận được bằng cách hoán vị các sóng mang con số liệu của các DRU (Distributed Resource Unit: đơn vị tài nguyên phân bố). Kích thước DRU bằng kích thước PRU nghĩa là  $Rsc \times N_{sym}$ .

### 3.5.2.2. CLRU

Đơn vị tài nguyên logic còn được gọi là CLRU (Contiguous Logical Resource Unit: đơn vị tài nguyên logic liên tục) có thể được sử dụng để đạt được phân tập lập biếu chọn lọc tần số. CLRU chứa một nhóm các sóng mang liền kề trên toàn bộ nhóm chia lô trong một FP. CLRU bao gồm chỉ các sóng mang con số liệu trong đơn vị tài nguyên liên tục (CRU: Contiguous Resource Unit) . Kích thước của CRU bằng kích thước PRU:  $Psc \times N_{sym}$ . Có hai kiểu CLRU: 1) SLRU (Subband LRU: LRU băng con) và NLRU (Miniband LRU: LRU mini) tương ứng với hai kiểu CRU: CRU băng con và CRU mini.

### 3.5.3. Phân định kênh con và sắp xếp tài nguyên

#### 3.5.3.1. Cấu trúc ký hiệu cơ sở

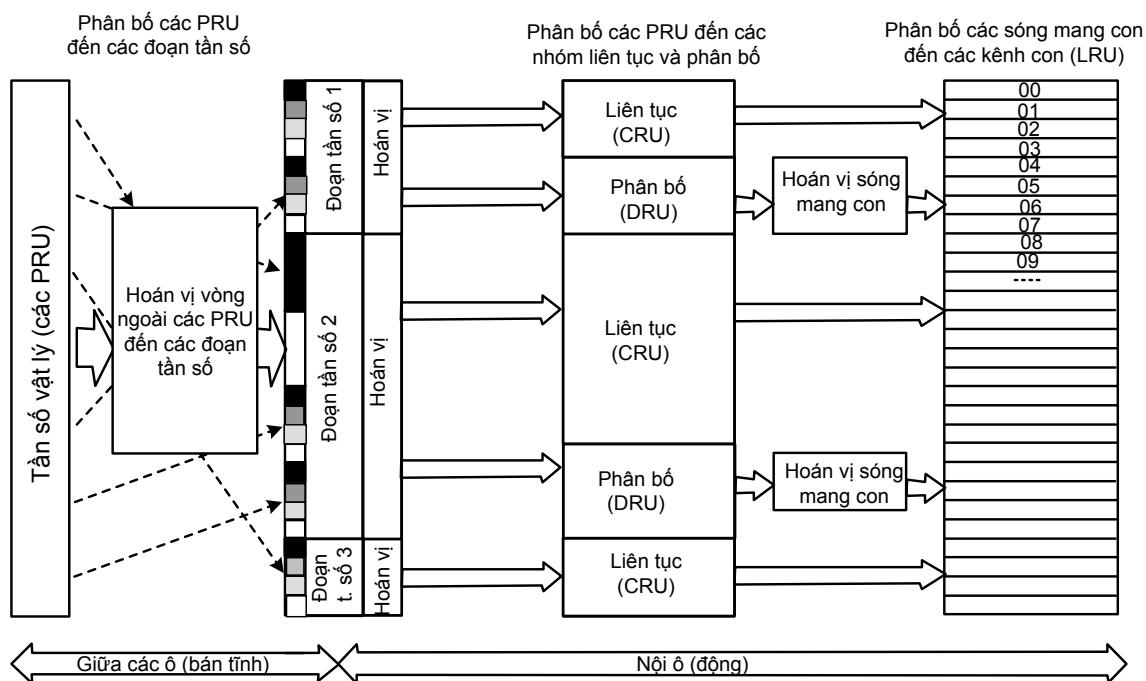
Các sóng mang con của một ký hiệu OFDM được chia thành  $N_{g, left}$  sóng mang con bảo vệ trái,  $N_{g, right}$  sóng mang con bảo vệ phải và  $N_{used}$  sóng mang con. Sóng mang con DC không dùng. Số sóng mang con được sử dụng cho hoa tiêu và số liệu phụ thuộc vào chế độ MIMO, cấp hạng và số các AMS được ghép cũng như kiểu khung con (kiểu 1, kiểu 2 hay kiểu 3).

#### 3.5.3.2. Sắp xếp đơn vị tài nguyên đường xuống

Trước hết các PRU được chia thành băng con và băng mini trong đó một băng con chứa  $N_1$  các PRU liền kề và một băng mini chứa  $N_2$  PRU liền kề, trong đó  $N_1=4$  và  $N_2=1$ . Các băng con phù hợp để xác định chọn lọc tần số vì chúng cung cấp xác định liên tục các PRU trong miền tần số. Các băng con mini phù hợp cho xác định phân tần tần số và thường được hoán vị theo tần số.

Sắp xếp sóng mang con đường xuống lên đơn vị tài nguyên được quy định như trên hình 3.18:

1. Hoán vị vòng ngoài được áp dụng cho các PRU trong  $N_1$  và  $N_2$  PRU, trong đó  $N_1=4$  và  $N_2=1$ . Sắp xếp trực tiếp cho hoán vị vòng ngoài chỉ áp dụng cho các CPU.
2. Các PRU sau sắp xếp lại được phân bố lên các đoạn tần số
3. Các đoạn tần số này được chia thành các xác định tài nguyên chia lô và phân bố. Kích thước của các nhóm chia lô/ phân bố này được lập cấu hình linh hoạt cho các đoạn ô. Các đoạn ô liền kề không cần có cùng cấu hình đối với các nhóm chia lô/phân bố.
4. Các đơn vị tài nguyên chia lô và phân bố này được sắp xếp tiếp vào các LRU bằng cách sắp xếp trực tiếp vào các CRU và bằng cách “hoán vị sóng mang con” vào các DRU.



Hình 3.18. Sắp xếp đơn vị tài nguyên đường xuống.

### 3.5.4. Phân định kênh con cho xác định tài nguyên phân bố đường xuống

Hoán vị sóng mang con được định nghĩa để xác định tài nguyên phân bố đường xuống. Các sóng mang con của DRU được trai rộng trên tất cả các xác định tài nguyên phân bố trong đoạn tần số. Sau khi sắp xếp tất cả các hoa tiêu, các sóng mang con còn lại được sử dụng để xác định các DRU. Để xác định các LRU các sóng mang con còn lại được ghép đôi vào các cặp sóng mang con liên tục. Mỗi LRU gồm một nhóm các cặp sóng mang.

Giả sử có  $N_{RU}$  DRU. Chuỗi hoán vị P cho nhóm phân bố được cung cấp và phân định kênh con để xác định tài nguyên phân bố đường xuống được thực hiện theo thủ tục sau:

Đối với ký hiệu thứ k trong khung con:

1. Giả sử  $n_k$  ký hiệu cho số tone hoa tiêu trong ký hiệu OFDM trong một PRU. Ân định  $n_k$  hoa tiêu trong ký hiệu OFDM thứ k trong mỗi PRU.
2. Giả sử  $N_{RU}$  ký hiệu cho số DRU trong đoạn tần số. Lưu ý rằng các sóng mang con số liệu còn lại  $N_{RU} \cdot (P_{sc} - n_k)$  có thứ tự từ 0 đến  $N_{RU} \cdot (P_{sc} - n_k) - 1$ .
3. Nhóm các sóng mang con liên tục này thành  $N_{RU} \cdot (P_{sc} - n_k) / 2$  cặp và đánh lại số cho chúng từ 0 đến  $N_{RU} \cdot (P_{sc} - n_k) / 2 - 1$
4. Áp dụng công thức hoán vị với chuỗi hoán vị P cho các cặp số sóng mang số liệu
5. Sắp xếp tập  $(P_{sc} - n_k)$  sóng mang con logic liên tục này vào các LRU phân bố (các kênh con) và tạo ra tổng số  $N_{RU}$  các LRU phân bố (DLRU)

### **3.5.5. Phân định kênh cho tài nguyên chia lô đường xuống**

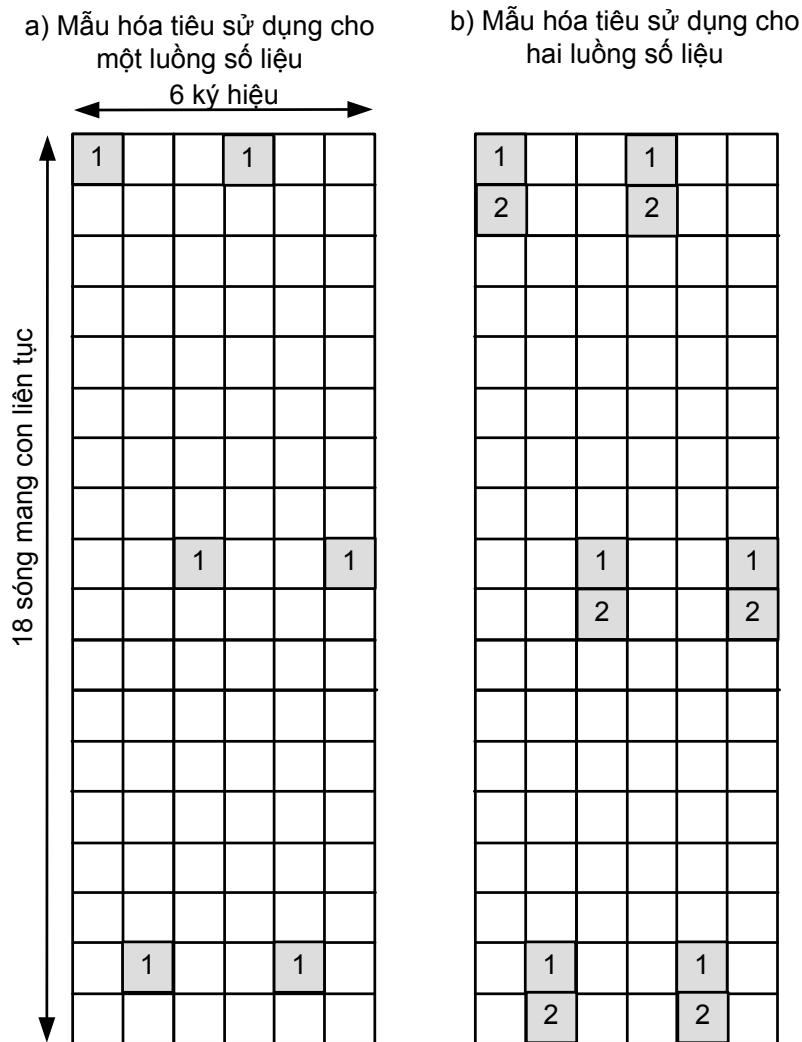
Đối với ân định tài nguyên chia lô đường xuống không sử dụng hoán vị sóng mang con. Các CRU được sắp xếp trực tiếp lên các LRU băng con và băng mini trong từng đoạn tần số.

### **3.5.6. Cấu trúc hoa tiêu**

Truyền dẫn các sóng mang hoa tiêu trên đường xuống cần thiết để có thể đánh giá kênh, đo đạc các chỉ thị chất lượng kênh như SINR, đánh giá dịch tần .... Để tối ưu hóa hiệu năng hệ thống trong các môi trường truyền sóng khác nhau và các ứng dụng khác nhau, IEEE 802.16m hỗ trợ cả hai cấu trúc hoa tiêu chung và hoa tiêu riêng. Các hoa tiêu chung và hoa tiêu riêng được phân loại theo sự sử dụng chúng. Tất cả các AMS có thể sử dụng các hoa tiêu chung. Có thể sử dụng các hoa tiêu riêng cho cả ân định chia lô lẫn ân định phân bố. Các hoa tiêu riêng liên quan đến các ân định đặc thù và các AMS được ân định tài nguyên đặc thù có thể sử dụng chúng. Vì thế các hoa tiêu riêng có thể được tiền mã hóa hoặc được tạo búp giống như đối với các sóng mang số liệu của tài nguyên đặc thù. Cấu trúc hoa tiêu được định nghĩa cho coa nhất là tám luồng (Tx) và thiết kế mẫu hoa tiêu thống nhất cho các hoa tiêu chung và riêng. Mật độ hoa tiêu trên mỗi luồng (Tx) là như nhau, tuy nhiên không nhất thiết mật độ hoa tiêu trên mỗi ký hiệu OFDM của mỗi khung con đường xuống phải như nhau. Ngoài ra trong cùng một khung con số hoa tiêu cho mỗi PRU của cụm số liệu ân định cho từng AMS đều bằng nhau.

Các mẫu hoa tiêu được đặc tả trong một PRU. Các mẫu hoa tiêu cơ sở được sử dụng cho một và hai luồng số liệu đường xuống trong các kịch bản hoa tiêu chung và hoa tiêu riêng được cho trên hình 3.19, trong đó chỉ số sóng mang tăng từ đỉnh đến đáy và chỉ số ký hiệu OFDM tăng từ trái sang phải. Các số trong vị trí hoa tiêu biểu thị cho luồng tương ứng.

Mẫu hoa tiêu của khung con kiểu 3 nhận được bằng cách xóa ký hiệu OFDM cuối cùng của khung con kiểu 1. Mẫu hoa tiêu của khung con kiểu 2 nhận được bằng cách bổ sung ký hiệu OFDM thứ nhất của khung con kiểu một vào cuối khung con kiểu 1.

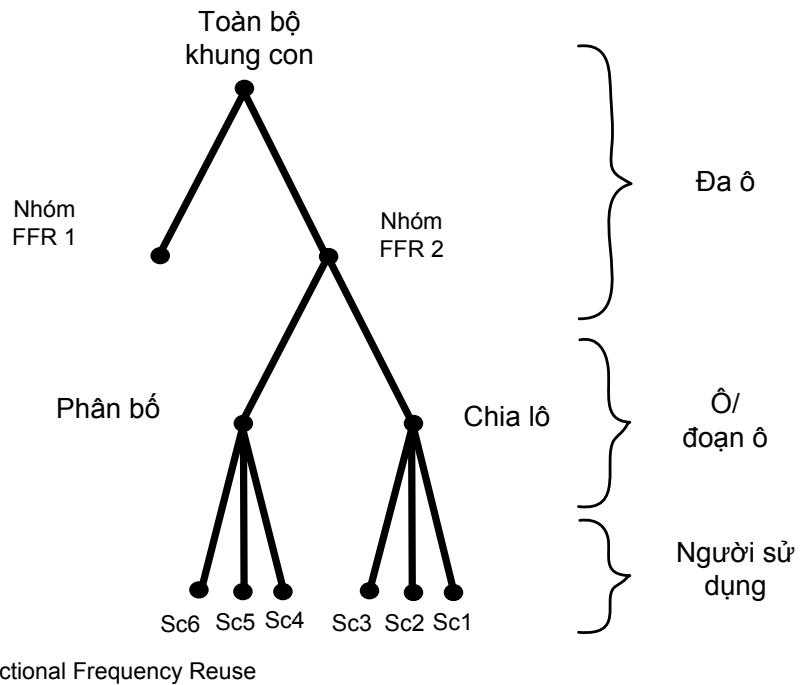


Hình 3.19. Mẫu hoa tiêu đường xuống : a) cho một luồng số liệu, b) cho hai luồng số liệu

### 3.6. Cấu trúc vật lý đường lên trong IEEE 802.16m

#### 3.6.1. Mở đầu

Mỗi khung con đường lên được chia thành một số FP (Frequency Partition: đoạn tần số): tối đa bốn FP. Mỗi đoạn bao gồm một tập các PRU (Physical Resource Unit: đơn vị tài nguyên vật lý) trên toàn bộ số ký hiệu OFDM khả dụng trong khung con. Mỗi FP có thể chứa các PRU liên tục (chia lô) hoặc không liên tục (phân bố). Mỗi FP có thể được sử dụng cho các mục đích khác nhau như tái sử dụng tần số phân đoạn (FFR: Fractional Frequency Reuse). Hình 3.20 minh họa cấu trúc vật lý đường lên với hai đoạn tần số trong đó đoạn tần số thứ hai bao gồm cả PRU liên tục (chia lô) và phân bố với Sc ký hiệu cho sóng mang con.



Hình 3.20. Thí dụ về cấu trúc vật lý đường lên

### 3.6.2. PRU và LRU

PRU (Physical Resource Unit: đơn vị tài nguyên vật lý) là đơn vị vật lý cơ sở để ấn định tài nguyên. PRU bao gồm Psc sóng mang con liên tục với Nsum ký hiệu OFDM liên tục. Psc bao gồm 18 sóng mang con. Nsym gồm 6 ký hiệu OFDM đối khung con kiểu 1, 7 ký hiệu OFDM đối với khung con kiểu 2 và 5 ký hiệu OFDM đối với khung con kiểu 3.

LRU (Logical Resource Unit: đơn vị tài nguyên logic) là đơn vị logic cơ sở cho các nhóm phân bổ và chia lô. LRU bao gồm PscxNsym: 18x8 sóng mang con cho các khung con kiểu 1, 18x7 sóng mang con cho các khung con kiểu 2 và 18x5 các sóng mang con cho các khung con kiểu 3. Số sóng mang con số liệu trong một LRU phụ thuộc và số hoa tiêu được ấn định và sự có mặt của kênh điều khiển.

#### 3.6.2.1. DLRU

DLRU (Distributed Logical Resource Unit: đơn vị tài nguyên logic phân bổ) có thể được sử dụng để đạt được độ lợi phân tần số. DLRU bao gồm ba lớp các sóng mang con được trải rộng trên các ấn định tài nguyên phân bổ trong một FPi. Đơn vị tối thiểu để tạo nên một DLRU đường lên là một lớp. Kích thước một lớp là  $6 \times N_{sym}$ , trong đó giá trị của  $N_{sym}$  bằng phụ thuộc vào kiểu khung con AA1. Một kích thước lớp 18x2 được quy định để tối ưu hóa công suất phát đường lên cho các nhóm phân bổ, các kích thước khác cũng đang được nghiên cứu.

#### 3.6.2.2. CLRU

Đơn vị tài nguyên logic còn được gọi là CLRU (Contiguous Logical Resource Unit: đơn vị tài nguyên logic liên tục) có thể được sử dụng để đạt được phân tần lập biếu chọn lọc tần số. CLRU chứa một nhóm các sóng mang liên tục trên các ấn định tài nguyên chia lô. CLRU bao gồm chỉ các sóng mang con số liệu trong đơn vị tài nguyên liên tục (CRU: Contiguous Resource Unit). Kích thước của CRU bằng kích thước PRU: PscxNsym.

### 3.6.3. Phân định kênh con và sắp xếp tài nguyên

#### 3.6.3.1. Cấu trúc ký hiệu cơ sở

Các sóng mang con của một ký hiệu OFDM được chia thành  $N_{g,\text{left}}$  sóng mang con bảo vệ trái,  $N_{g,\text{right}}$  sóng mang con bảo vệ phải và  $N_{\text{used}}$  sóng mang con khả dụng.. Sóng mang con DC không dùng.  $N_{\text{used}}$  sóng mang con được chia thành các PRU . Số sóng mang con được sử dụng cho hoa tiêu và số liệu phụ thuộc vào chế độ MIMO, cấp hạng và số các AMS được ghép và kiểu án định tài nguyên (án định phân bố hay chia lô) cũng như kiểu khung con (kiểu 1, kiểu 2 hay kiểu 3).

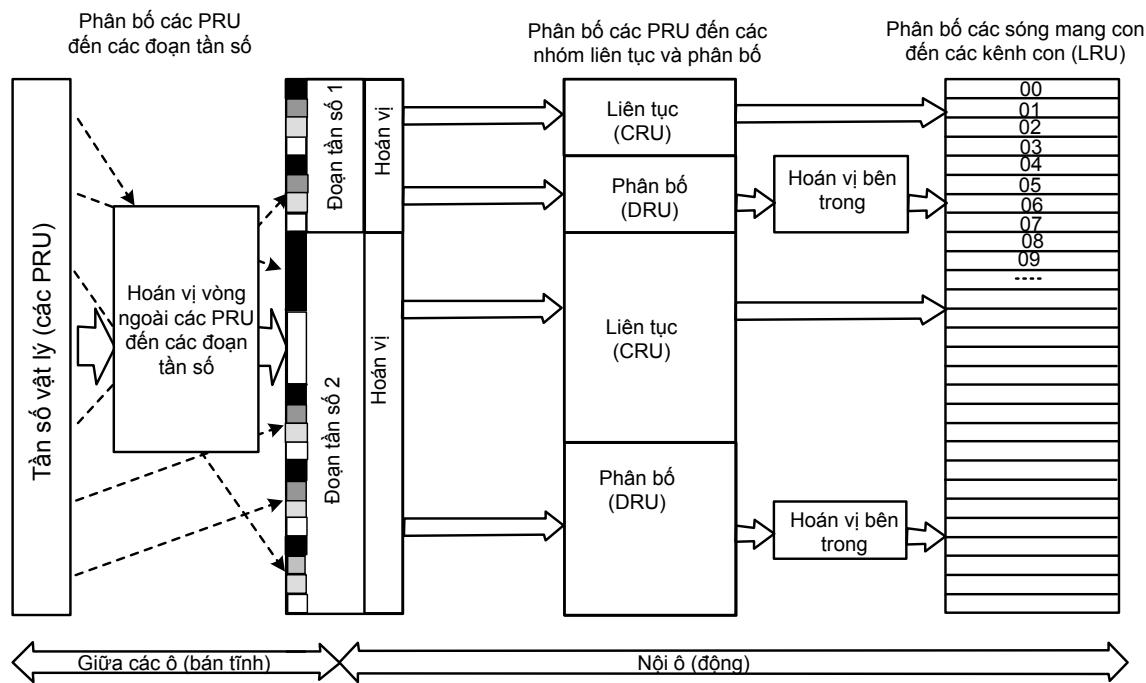
#### 3.6.3.2. Sắp xếp đơn vị tài nguyên đường lên

Trước hết các PRU được chia thành băng con và băng mini trong đó một băng con chứa  $N_1$  các PRU liền kề và một băng mini chứa  $N_2$  PRU liền kề, trong đó  $N_1=4$  và  $N_2=1$ . Các băng con phù hợp để án định chọn lọc tần số vì chúng cung cấp án định liên tục các PRU trong miền tần số. Các băng con mini phù hợp cho án định phân tần tần số và được hoán vị theo tần số.

Các tính năng chính của sắp xếp tài nguyên gồm:

1. Hỗ trợ các CRU và các DRU theo FDM (ghép kênh phân chia tần số)
2. Các DRU bao gồm nhiều lớp trải rộng trên các án định tài nguyên phân bố để nhận được phân tập tần số FFR có thể được áp dụng trên đường lên.

Quá trình sắp xếp đơn vị tài nguyên đường lên được minh họa trên hình 3.21 như sau:



Hình 3.21. Minh họa sắp xếp đơn vị tài nguyên đường lên

1. Hoán vị vòng ngoài được áp dụng cho các PRU trong  $N_1$  và  $N_2$  PRU, trong đó  $N_1=4$  và  $N_2=1$ . Sắp xếp trực tiếp cho hoán vị vòng ngoài chỉ áp dụng cho các CPU.
2. Các PRU sau sắp xếp lại được phân bổ lên các đoạn tần số

3. Các đoạn tần số này được chia thành các án định tài nguyên chia lô và phân bố. Hoán vị đặc thù đoạn ô có thể được hỗ trợ; sắp xếp trực tiếp các tài nguyên có thể được hỗ trợ cho các tài nguyên chia lô. Kích thước của các nhóm chia lô/ phân bố này được lập cấu hình linh hoạt cho các đoạn ô. Các đoạn ô liền kề không cần có cùng cấu hình đối với các nhóm chi lô/phân bố.
4. Các sóng mang trong các án định chia lô và phân bố này được sắp xếp tiếp vào các LRU bằng cách sắp xếp trực tiếp vào các CRU và bằng cách hoán vị lớp vào cho các DRU.

#### **3.6.4. Phân định kênh con đối với án định tài nguyên phân bố đường lên**

Hoán vị bên trong được định nghĩa cho các án định tài nguyên phân bố đường lên. Hoán vị này trải rộng các lớp của DRU trên tất cả các án định tài nguyên phân bố trong một đoạn tần số. Mỗi DRU của một đoạn tần số được chia thành ba lớp với 6 sóng mang con trên  $N_{sym}$  ký hiệu. Các lớp trong một đoạn tần số được hoán vị theo lớp để đạt được độ lợi phân tập tần số trên các tài nguyên được án định.

Hai kiểu án định tài nguyên phân bố được sử dụng để phân định kênh con phân bố đường lên: (1) án định phân bố chính tắc, (2) án định phân bố được tối ưu hóa theo điều khiển công suất phát đường lên. Trước tiên tài nguyên phân bố được tối ưu hóa theo công suất phát đường lên được án định trước. Tài nguyên tần số còn lại sau đó được án định cho án định phân bố chính tắc. Một chuỗi nhảy tần/hoán vị được định nghĩa cho án định được tối ưu hóa theo công suất để trải rộng các đơn vị này theo tần số.

#### **3.6.5. Phân định kênh con đối với tài nguyên chia lô đường lên**

Các kênh con chia lô chứa các sóng mang con liên tục theo tần số. Đối với án định tài nguyên chia lô đường lên không quy định hoán vị bên trong. Các CRU trực tiếp được xắp xếp lên các LRU trong mỗi đoạn tần số. Tiền mã hóa và (hoặc) khuếch đại áp dụng cho các sóng mang số liệu cũng có thể áp dụng cho cả các sóng mang hoa tiêu.

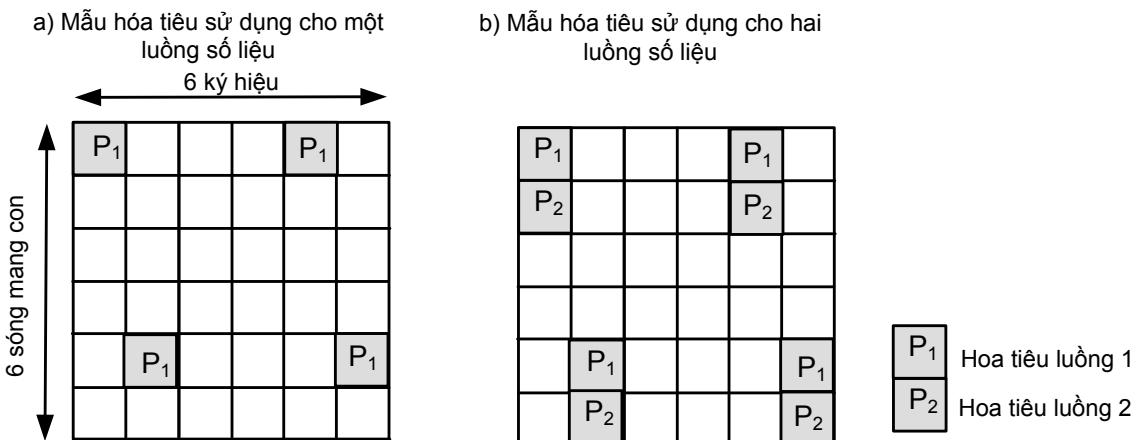
#### **3.6.6. Cấu trúc hoa tiêu**

Phát các sóng mang hoa tiêu đường lên cần thiết để có thể đánh giá kênh, đo các chỉ thị chất lượng kênh như SINR, dịch tần và đánh giá dịch thời gian ... Các hoa tiêu đường lên được dành riêng cho các đơn vị tài nguyên chia lô và phân bố và được tiền mã hóa bằng cách sử dụng tiền mã hóa giống như đối với các sóng mang con số liệu của án định tài nguyên. Cấu trúc hoa tiêu được định nghĩa cho bốn luồng Tx.

Cấu trúc hoa tiêu có thể hỗ trợ khuếch đại hoa tiêu thay đổi. Khi các hoa tiêu được khuếch đại, mỗi sóng mang số liệu có cùng công suất Tx trên tất cả các ký hiệu OFDM trong một khối tài nguyên.

Các mẫu hoa tiêu 18x6 đường xuống (khung con kiểu 1) và các mẫu hoa tiêu 18x7 đường xuống (khung con kiểu 2) đã xét ở trên cũng được sử dụng cho các mẫu hoa tiêu 18x6 đường lên (khung con kiểu 1) và các mẫu hoa tiêu 18x7 đường lên (khung con kiểu 2). Các mẫu hoa tiêu kết hợp không được sử dụng cho đường lên.

Mẫu hoa tiêu cho các ấn định tài nguyên với lớp 6x6 được cho trên hình 3.22 với chỉ số sóng mang con tăng từ đỉnh xuống đáy và chỉ số ký hiệu tăng từ trái sang phải trong đó số luồng Tx là 1 hoặc hai, tiền mã hóa cấp hạng 1 có thể sử dụng các hoa tiêu hai luồng..



Hình 3.22. Các mẫu hoa tiêu đường lên cho một và hai luồng

### 3.7. Điều chế và mã hóa

WiMAX di động hỗ trợ BPSK, QPSK, 16-QAM, 64 QAM được sắp xếp theo mã Gray. Các tùy chọn mã hóa kênh trong 802.16e-2005 như sau:

- Mã hóa lặp (2x, 4x, 6x) cho các tín hiệu điều khiển
- Mã hóa xoắn với độ dư tăng cường
- Mã hóa turbo xoắn (CTC: Convolutional Turbo Code) với độ dư tăng cường
- Mã hóa khối turbo
- Mã hóa kiểm tra chẵn lẻ mật độ thấp (LDPC: Low Density Parity Check)

Các dạng điều chế và mã hóa trong lớp vật lý được cho ở bảng 3.8.

Bảng 3.8. Các dạng điều chế và mã hóa được sử dụng ở lớp vật lý

		Đường xuống (DL)	Đường lên (UL)
Điều chế		QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Tỷ lệ mã	CC	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, 5/6
	CTC	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, 5/6
	Lặp	x2, x4, x6	x2, x4, x6

Bảng 3.9 cho thấy tốc độ số liệu vật lý cho các cấu trúc kênh vật lý OFDMA khác nhau đối với các kênh 5 MHz và 10MHz sử dụng các kênh con PUSC, trong đó chữ nghiêng biểu thị cho tùy chọn. Độ dài mỗi khung là 5ms. Mỗi khung có 48 ký hiệu OFDM, trong đó 44 ký hiệu dành cho truyền dẫn số liệu.

Tốc độ số liệu vật lý được tính như sau:

$$\text{Tốc độ số liệu vật lý} = (\text{Số sóng mang con số liệu} / \text{chu kỳ số liệu}) \times (\text{Số bit thông tin trên một ký hiệu})$$

Bảng 3.9. Tốc độ số liệu vật lý cho các kênh con PUSC

<b>Thông số</b>	<b>DL</b>	<b>UL</b>	<b>DL</b>	<b>UL</b>	
<b>Băng thông hệ thống</b>	5MHz		10 MHz		
<b>Kích thước FFT</b>	512		1024		
<b>Các sóng mang con rỗng</b>	92	104	184	184	
<b>Các sóng mang con hoa tiêu</b>	60	136	120	280	
<b>Các sóng mang con số liệu</b>	360	272	720	560	
<b>Các kênh con</b>	15	17	30	35	
<b>Thời gian ký hiệu, T</b>	102,9μs				
<b>Thời gian khung</b>	5ms				
<b>Số ký hiệu trên khung</b>	48				
<b>Số ký hiệu số liệu</b>	44				
<b>Chế độ điều chế</b>	<b>Tỷ lệ mã</b>	<b>Kênh 5MHz</b>		<b>Kênh 10MHz</b>	
		Tốc độ DL, Mbps	Tốc độ UL, Mbps	Tốc độ DL, Mbps	Tốc độ UL, Mbps
<b>QPSK</b>	1/2 CTC, 6x	0,53	0,38	1,06	0,78
	1/2 CTC, 4x	0,79	0,57	1,58	1,18
	1/2 CTC, 2x	1,58	1,14	3,17	2,35
	1/2 CTC, 1x	3,17	2,28	6,34	4,70
	3/4 CTC	4,75	3,43	9,50	7,06
<b>16 QAM</b>	1/2 CTC	6,34	4,57	12,67	9,41
	3/4 CTC	9,50	6,85	19,01	14,11
<b>64 QAM</b>	1/2 CTC	9,50	<b>6,85</b>	19,01	<b>14,11</b>
	2/3 CTC	12,67	<b>9,14</b>	25,34	<b>18,82</b>
	3/4 CTC	14,26	<b>10,28</b>	28,51	<b>21,17</b>
	5/6 CTC	15,84	<b>11,42</b>	31,68	<b>23,52</b>

\* Chữ nghiêng tô đậm biểu thị cho tùy chọn trên đường lên

DL hỗ trợ bắt buộc điều chế QPSK, 16QAM và 64QAM, trong khi đó UL chỉ hỗ trợ bắt buộc QPSK và 16QAM còn 64QAM chỉ hỗ trợ tùy chọn. Mã xoắn (CC: Convolutional Code), mã turbo xoắn (CTC: Convolutional Turbo Code) cùng với tỷ lệ mã khả biến và mã lặp được hỗ trợ tại lớp vật lý. Ngoài ra mã turbo khói và mã kiểm tra chẵn lẻ mật độ thấp (LDPC: Low Density Parity Check) có thể được sử dụng ở dạng tùy chọn.

H-ARQ trên cơ sở độ dư tăng cường sử dụng mẫu đục lỗ vì thế đối với mỗi lần phát lại khói được mã hóa không giống nhau. Tại máy thu, các tín hiệu thu được giải đục lỗ (hay đục lỗ) theo mẫu đục lỗ, sau đó được xử lý tại mức bit.

### 3.8. Các công nghệ đa anten trong IEEE 802.16e

Các công nghệ đa anten liên quan đến xử lý vectơ phirc hay ma trận đối với các tín hiệu đưa đến nhiều anten. OFDMA cho phép các xử lý này được thực hiện trên các sóng mang con vectơ phẳng. Không cần sử dụng các bộ cân bằng để bù trừ phađịnh chọn lọc. Vì thế OFDMA rất thích hợp cho việc sử dụng các công nghệ anten thông minh.

MIMO/OFDM/OFDMA được coi là nền tảng cho các hệ thống thông tin băng rộng thế hệ sau. WiMAX hỗ trợ tất cả các công nghệ anten thông minh khác nhau để tăng hiệu năng hệ thống. Các công nghệ anten thông minh bao gồm:

- Tạo búp. Với dụng tạo búp, hệ thống sử dụng nhiều anten phát đi các tín hiệu được đánh trọng số để cải thiện vùng phủ, dung lượng hệ thống và giảm xác suất quá ngưỡng
- Mã không gian thời gian (STC). Phân tập phát, chặng hạn mã Alamouti được hỗ trợ để đảm bảo phân tập không gian và giảm độ trễ pha định
- Ghép kênh không gian (SM). Ghép kênh không gian được hỗ trợ để phát huy ưu điểm của tốc độ đỉnh cao và tăng dung lượng. Với ghép kênh không gian, nhiều luồng được truyền trên nhiều anten. Nếu máy thu có nhiều anten, nó có thể phân tách các luồng khác nhau để đạt được thông lượng cao hơn so với hệ thống một anten. Với 2x2 MIMO, SM tăng tốc độ đỉnh lên hai lần bằng cách truyền đi hai luồng. Trên UL mỗi người sử dụng chỉ có một anten phát, hai người sử dụng có thể đồng thời phát trong cùng một khe thời gian nếu hai luồng này được ghép theo không gian. Ghép kênh này được gọi là ghép kênh không gian cộng tác.

MIMO/mã hóa không gian thì gian là tùy chọn cho cả đường lên và đường xuống. Vì số anten tại MSS bị giới hạn, nên chỉ 2xSTC được sử dụng cho đường lên trong khi đó STC cho đường xuống có thể 4x.

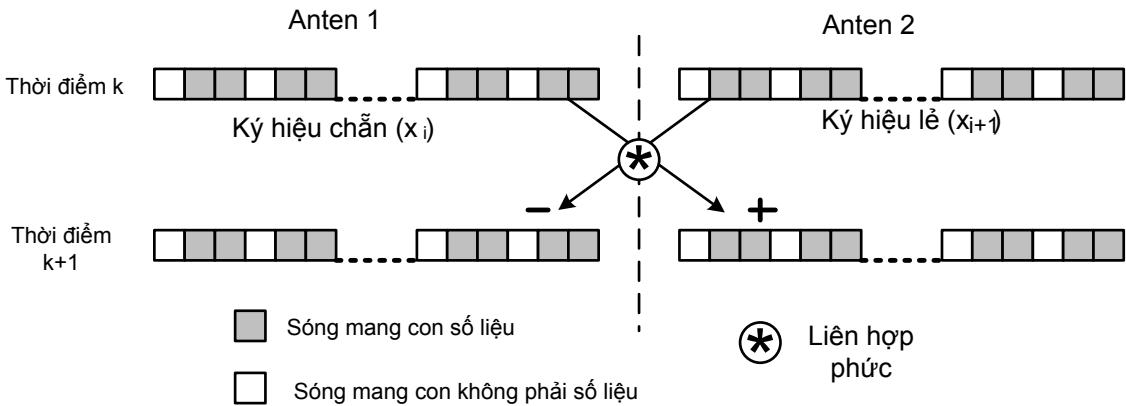
### 3.8.1. Sơ đồ phân tập phát sử dụng hai anten

Bộ xử lý mã không gian thời gian (STC) hoặc không gian (SM) cho phân tập phát được thể hiện bằng ma trận. Ma trận định nghĩa khuôn dạng truyền dẫn trong đó chỉ số hàng chỉ thị số anten còn chỉ số cột chỉ thị thời gian ký hiệu. Đối với đường xuống sử dụng hai anten phát, có thể sử dụng một trong hai ma trận sau cho sơ đồ vòng hở:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} x_i & -x_{i+1}^* \\ x_{i+1} & x_i^* \end{bmatrix}, \quad r=1 \quad (3.1)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} x_i \\ x_{i+1} \end{bmatrix}, \quad r=2 \quad (3.2)$$

Trong đó  $x_i$  và  $x_{i+1}$  là hai ký hiệu OFDM liên tiếp và các ma trận mã hóa không gian thời gian (ma trận A) hoặc không gian (ma trận B) được áp dụng trên toàn bộ ký hiệu OFDM (hình 3.23).

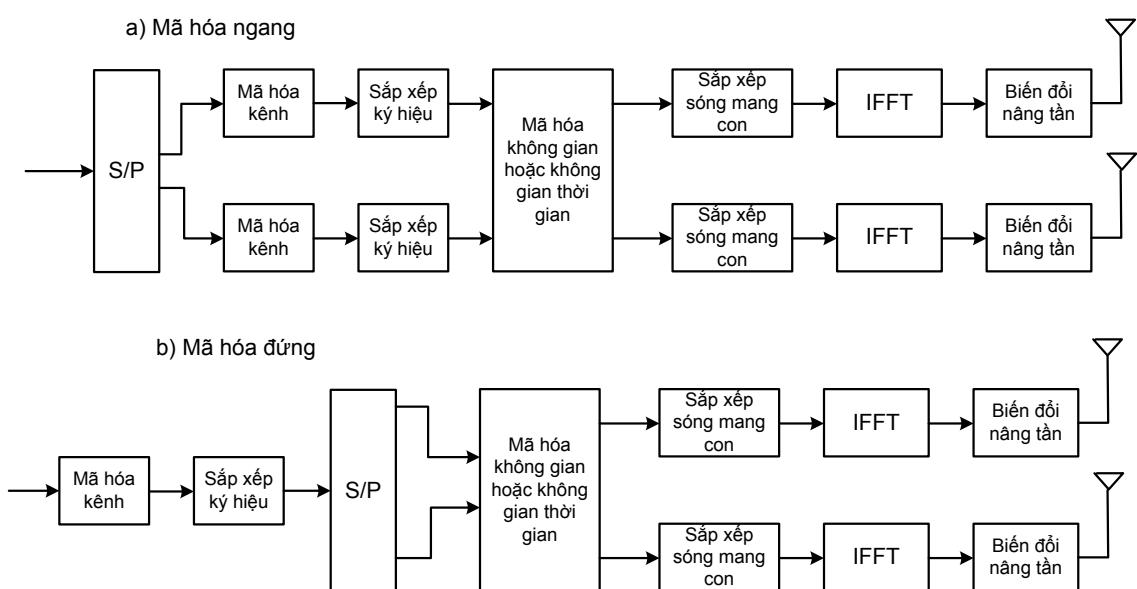


Hình 3.23. Sơ đồ phân tách phát sử dụng mã không gian (nửa trên hình vẽ) và không gian thời gian (tổng bộ hình vẽ).

Hai vùng tùy chọn với lát/bin mở rộng được định nghĩa cho hoạt động MIMO đường lên. Ngoài ra các đầu ra STC có thể được đánh trọng số (tạo búp) trước khi được sắp xếp lên các anten phát.

Trong các sơ đồ đa anten, có thể sử dụng cả mã hóa ngang lẫn mã hóa đứng (hình 3.24). Trong trường hợp mã hóa ngang, các luồng được mã hóa kênh và điều chế độc lập trước khi được đưa đến khối xử lý mã không gian hoặc khối xử lý mã không gian thời gian. Đối với sơ đồ mã hóa hóa đứng, các luồng được điều chế và mã hóa chung trước đi được đưa đến khối xử lý mã không gian hoặc khối xử lý mã không gian thời gian. Khi nhiều anten được sử dụng, máy thu phải ước tính đáp ứng xung kim kêtch từ các anten phát để tách tín hiệu. Trong WIMAX điều này đạt được bằng cách sử dụng các đoạn giữa hoặc phân bố các hoa tiêu giữa các anten phát khác nhau.

Vì số anten tại MS bị hạn chế do không gian chiếm, nên đường lên chỉ có thể sử dụng 2xSTC (mã STC với hai anten phát). 2xSTC Alamouti và ghép kênh không gian (SM) có thể được sử dụng trên UL PUSC và các vùng AMC để cải thiện hiệu năng hệ thống.



Hình 3.24. Sơ đồ mã hóa ngang (a) và đứng (b) cho hai anten phát.

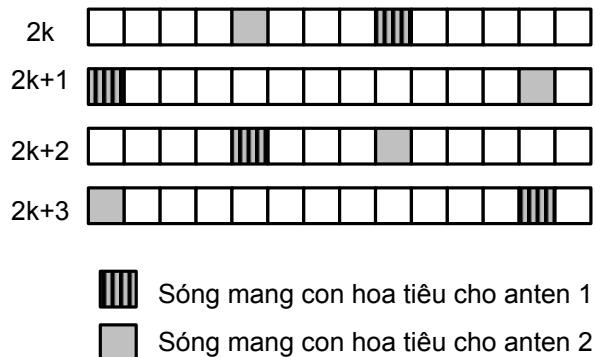
Khi sử dụng FUSC cho đa anten, các sóng mang con hoa tiêu trong từng ký hiệu được phân chia giữa các anten. Đối với hai anten, các hoa tiêu được phân chia như sau:

- ✓ Ký hiệu 0. Anten 1 sử dụng tập thay đổi 0 và tập không thay đổi 0 còn anten 2 sử dụng tập thay đổi 1 và tập không thay đổi 1
- ✓ Ký hiệu 1. Anten 1 sử dụng tập thay đổi 1 và tập không thay đổi 1, còn anten 2 sử dụng tập thay đổi 0 và tập không thay đổi 0.

Tương tự đối với bốn anten trong chế độ FUSC, phân chia hoa tiêu như sau:

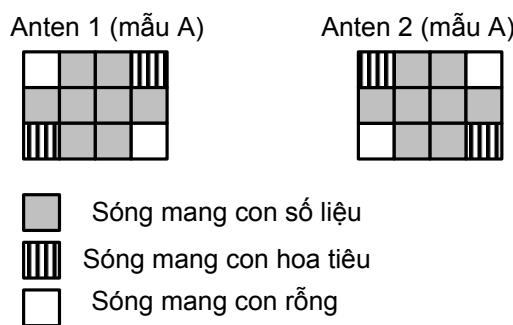
- ✓ Ký hiệu 0. Anten 1 sử dụng tập thay đổi 0 và tập không thay đổi 0 còn anten 2 sử dụng tập thay đổi 1 và tập không thay đổi 1
- ✓ Ký hiệu 1. Anten 3 sử dụng tập thay đổi 0 và tập không thay đổi 0 còn anten 4 sử dụng tập thay đổi 1 và tập không thay đổi 1
- ✓ Ký hiệu 2. Anten 1 sử dụng tập thay đổi 1 và tập không thay đổi 1 còn anten 2 sử dụng tập thay đổi 0 và tập không thay đổi 0
- ✓ Ký hiệu 3. Anten 3 sử dụng tập thay đổi 1 và tập không thay đổi 2 còn anten 4 sử dụng tập thay đổi 0 và tập không thay đổi 0

Đối với sơ đồ PUSC, cấu trúc cụm phân cách được áp dụng (hình 3.25) cho 2 anten phát đường xuống.



Hình 3.25. Cấu trúc PUSC cho hai anten phát đường xuống theo mã STC mẫu A.

Cấu trúc lát trong UL PUSC cho hai anten phát đường lên được cho trên hình 3.26.



Hình 3.26. Cấu trúc lát của UL PUSC cho hai anten phát đường lên theo STC mẫu A.

### 3.8.2. Sơ đồ đa anten phát cho đường xuống

Đường xuống có thể sử dụng các sơ đồ MIMO với 2xSTC (STC với hai anten phát), 3xSTC (STC ba anten phát, 4x STC (STC bốn anten phát) bao gồm cả OSTBC và SM. Ngoài ra STC có thể được đánh trọng số trước khi đưa lên các anten.

Các sơ đồ truyền dẫn tương ứng với các cấu hình anten khác nhau như sau:

- Sơ đồ truyền dẫn đường xuống BTS 2 anten được định nghĩa bằng các ma trận với hàng chỉ thị chỉ số anten còn cột chỉ thị thời gian ký hiệu OFDM. Các ma trận sau đây cho thể được sử dụng cho đường xuống.

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} x_i - x_{i+1}^* \\ x_{i+1} x_i^* \end{bmatrix}, r=1 \quad (3.3)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} x_i \\ x_{i+1} \end{bmatrix}, r=2 \quad (3.4)$$

$$\mathbf{C} = \frac{1}{\sqrt{1+a^2}} \begin{bmatrix} x_i + jax_{i+3} & ax_{i+1} + x_{i+2} \\ x_{i+1} - ax_{i+2} & jax_i + x_{i+3} \end{bmatrix}; a = \frac{-1 + \sqrt{5}}{2}, r=2 \quad (3.5)$$

- Đường xuống 4 anten có thể sử dụng các ma trận được định nghĩa dưới đây:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} x_i - x_{i+1}^* & 0 & 0 \\ x_{i+1} x_i^* & 0 & 0 \\ 0 & x_{i+2} - x_{i+3}^* & 0 \\ 0 & 0 & x_{i+3} x_{i+2}^* \end{bmatrix}, r=1 \quad (3.6)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} x_i - x_{i+1}^* & x_{i+4} - x_{i+6}^* \\ x_{i+1} x_i^* & x_{i+5} - x_{i+7}^* \\ x_{i+2} - x_{i+3}^* & x_{i+6} x_{i+4}^* \\ x_{i+3} x_{i+2}^* & x_{i+7} x_{i+5}^* \end{bmatrix}, r=2 \quad (3.7)$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} x_i \\ x_{i+1} \\ x_{i+2} \\ x_{i+3} \end{bmatrix}, r=4 \quad (3.8)$$

MIMO đòi hỏi các vùng riêng được đặc tả bởi IE trong DL-MAP.

Bảng 3.10 cho thấy tốc độ số liệu đối với các cấu hình SIMO/MIMO khác nhau.

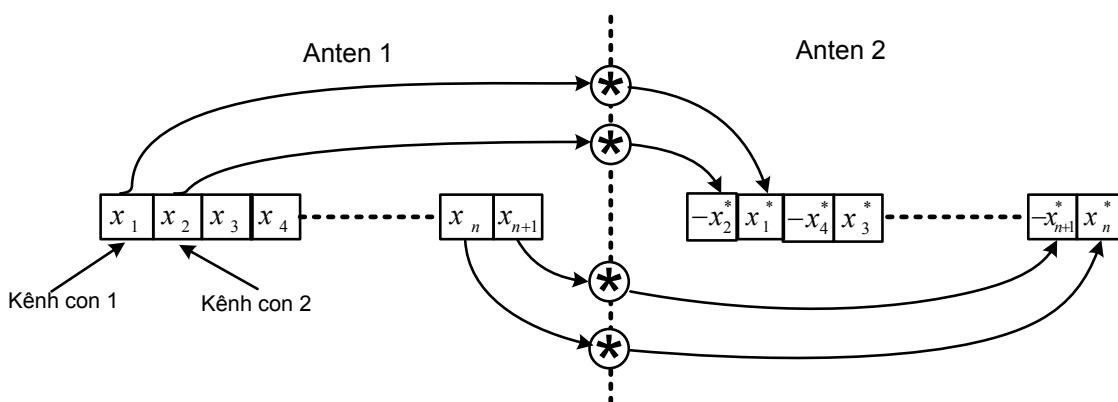
Bảng 3.10. Các tốc độ số liệu cho các cấu hình SIMO/MIMO khác nhau (cho kênh 10 MHz, khung 5ms, kênh con PUSC, 44 ký hiệu OFDM số liệu)

Tỷ lệ DL/UL			1:0	3:1	2:1	3:2	1:1	0:1
Tốc độ đỉnh của người sử dụng (Mbps)	SIMO (1x2)	DL	31,68	23,04	20,16	18,72	15,84	0
		UL	0	4,03	5,04	6,05	7,06	14,11
	MIMO (2x2)	DL	63,8	46,08	40,32	37,44	31,68	0
		UL	0	4,03	5,04	6,05	7,06	14,11

Tốc độ đỉnh của đoạn ô (Mbps)	SIMO (1x2)	DL	31,68	23,04	20,16	18,72	15,84	0
		UL	0	4,03	5,04	6,05	7,06	14,11
	MIMO (2x2)	DL	63,8	46,08	40,32	37,44	31,68	0
		UL	0	8,06	10,08	12,10	14,12	28,22

### 3.8.3. Mã phân tập nhảy tần

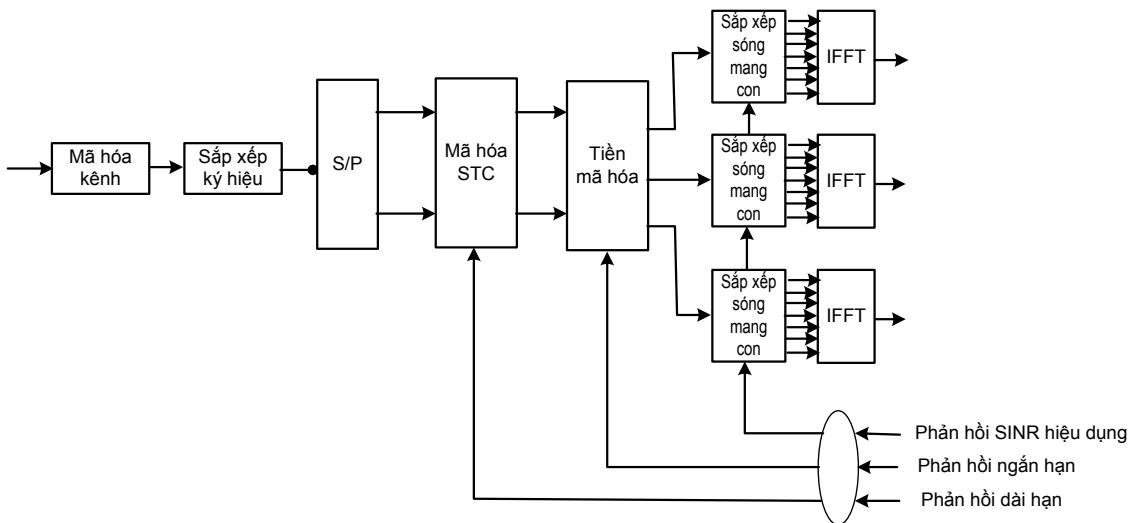
Ngoài các mã không gian/thời gian, WiMAX cũng định nghĩa phân tập nhảy tần (FHDC: Frequency Hopping Diversity Code: mã phân tập nhảy tần) trên cơ sở sử dụng hai anten với mã hóa trong miền thời gian và tần số (hình 3.27). Trong trường hợp này các ký hiệu được mã hóa không gian và tần số là các kênh con. Trong FHDC anten thứ nhất phát các ký hiệu không mã hóa (giống như truyền dẫn anten đơn), anten thứ hai phát ký hiệu được mã hóa trên hai kênh con liên tiếp trên cơ sở sử dụng ma trận Allamouti 2x2 theo công thức (3.1).



Hình 3.27. Mã phân tập nhảy tần, FHDC

### 3.8.4. MIMO vòng kín

Các sơ đồ phân tập phát và ghép kênh không gian của WiMAX được xét trong các phần trên không đòi hỏi thông tin trạng thái kênh (CSI) tại máy phát. Tuy nhiên hiệu năng của MIMO sẽ tăng lên nhiều nếu máy phát biết được CSI. CSI cho phép chọn chế độ MIMO phù hợp (số lượng anten, số luồng phát đồng thời, ma trận mã hóa không gian/thời gian) cũng như tính toán ma trận mã hóa tối ưu để đạt được dung lượng hệ thống cực đại. Máy phát có thể biết được CSI dựa trên tính đổi lắn của kênh truyền (kênh đường xuông giống kênh đường lên) trong trường hợp TDD hoặc bằng cách sử dụng kênh phản hồi trong trường hợp FDD. Bằng thông cần thiết để cung cấp đầy đủ CSI cho máy phát (để xây dựng được ma trận kênh cho tần sóng mang trong trường hợp FDD) là quá lớn và vì thế không thực tiễn đối với một hệ thống FDD MIMO vòng kín. Trong thực tế chỉ có thể gửi đi thông tin đã lượng tử hóa trên đường lên. Nguyên lý chung cho MIMO vòng kín của WiMAX được cho trên hình 3.28.



Hình 3.28. Sơ đồ khái niệm cho MIMO vòng kín của WiMAX

Sơ đồ hình 3.28 bao gồm tầng mã hóa không gian/thời gian giống như sơ đồ vòng hở và tầng tiền mã hóa trước. Ma trận tiền mã hóa là một ma trận phức có số dòng bằng số anten phát và số cột bằng số đầu ra của khói mã hóa không gian/thời gian. Ma trận tiền mã hóa tuyển tính trộn theo không gian các luồng song song giữa các anten kết hợp với điều chỉnh biên và pha tương ứng.

Để có thể xác định biên và pha cho các trọng số khác nhau, máy phát đòi hỏi một số phản hồi từ MS. Trong trường hợp MIMO vòng kín, thông tin phản hồi được chia làm hai loại chính: phản hồi dài hạn và phản hồi ngắn hạn. Phản hồi dài hạn cung cấp thông tin liên quan đến số lượng cực đại các luồng song song (hạng của ma trận tiền mã hóa) cần được sử dụng cho truyền dẫn đường xuống. Phản hồi ngắn hạn cung cấp thông tin liên quan đến các trọng số của ma trận tiền mã hóa cần sử dụng. IEEE 802.16e-2005 định nghĩa năm cơ chế để BS có thể ước tính ma trận tiền mã hóa cho hoạt động MIMO vòng kín:

- Lựa chọn anten.** MS chỉ dẫn BS nên sử dụng anten (các anten) nào cho truyền dẫn để đạt được dung lượng kênh cực đại hoặc cải thiện độ tin cậy đường truyền
- Chia nhóm anten.** MS chỉ dẫn BS để đạt được sắp xếp (hoán vị) tối ưu thứ tự các anten sẽ được sử dụng với ma trận mã hóa không gian/thời gian hiện thời
- Phản hồi dựa trên bảng mã.** MS chỉ dẫn BS cách đạt xây dựng ma trận tiền mã hóa tối ưu dựa trên các giá trị trong một bảng mã được định nghĩa trước.
- Phản hồi kênh lượng tử.** MS lượng tử hóa kênh MIMO và gửi các thông tin này cho BS trên các bản tin phản hồi MIMO (MIMO-Feedback). BS có thể sử dụng kênh MIMO lượng tử này để tính toán ma trận mã hóa trước tối ưu
- Thăm dò kênh.** BS sử dụng tín hiệu thăm dò kênh dành riêng được quy định trước để nhận được thông tin chính xác về CSI

#### 3.8.4.1. Chọn lọc anten

Khi số anten phát  $N_t$  lớn hơn số luồng song song  $N_A$  (hạng của ma trận tiền mã hóa dựa trên phản hồi tối ưu dài hạn) phản hồi chọn anten chỉ cho BS rằng anten nào trong số các anten khả dụng sẽ tối ưu cho truyền dẫn. MS tính toán dung lượng kênh MIMO cho từng tổ

hợp anten và chọn tổ hợp cho phép đạt được dung lượng kênh cực đại. Sau đó MS thông báo lựa chọn các anten này trên kênh phản hồi nhanh thứ cấp. Các MS có thể được ấn định các kênh phản hồi sơ cấp và thứ cấp. MS có thể sử dụng các kênh này ở dạng đơn hướng để gửi đi bản tin phản hồi nhanh. Mỗi kênh phản hồi nhanh sơ cấp bao gồm một khe thời OFDMA. MS sử dụng 48 sóng mang con của kênh con PUSC để mang tải tin 6 bit. Kênh phản hồi nhanh thứ cấp sử dụng 24 sóng mang con của kênh con PUSC để mang tải tin 4 bit. Do độ dư cao, nên chất lượng truyền các kênh phản hồi cao. Chọn lọc anten là một cơ chế phản hồi tiết kiệm băng thông và là tính năng rất hữu ích tại tốc độ di động cao khi tốc độ phản hồi khá cao. Ngoài ra chọn lọc anten có ưu điểm so với các chế độ MIMO vòng kín khác là chuỗi kênh thu vô tuyến chỉ bằng số các luồng  $N_A$ . Các sơ đồ MIMO vòng kín khác luôn luôn đòi hỏi tổng số máy phát phải bằng  $N_t$ , cho dù số luồng  $N_A$  có bằng bao nhiêu đi nữa.

### 3.8.4.2. Nhóm anten

Nhóm anten là một khái niệm cho phép BS sắp xếp (hoán đổi) thứ tự logic của các anten phát. Để minh họa ta xét các ma trận (3.9), (3.10) và (3.11) dưới đây.

$$\mathbf{A}_1 = \begin{bmatrix} x_1 & -x_2^* & 0 & 0 \\ x_2 & x_1^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_3 & -x_4^* \\ 0 & 0 & x_4 & x_3^* \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

$$\mathbf{A}_2 = \begin{bmatrix} x_1 & -x_2^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_3 & -x_4^* \\ x_2 & x_1^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_4 & x_3^* \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

$$\mathbf{A}_3 = \begin{bmatrix} x_1 & -x_2^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_3 & -x_4^* \\ 0 & 0 & x_4 & x_3^* \\ x_2 & x_1^* & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Giả sử ma trận  $\mathbf{A}_1$  được coi là có thứ tự thông thường, thì  $\mathbf{A}_2$  thể hiện rằng thứ tự logic của anten 2 và 3 được hoán đổi. Tương tự,  $\mathbf{A}_3$  thể hiện: (1) đầu tiên thứ tự logic anten 2 và 4 hoán đổi, (2) sau đó thứ tự logic anten 2 và 3 hoán đổi. MS chỉ ra cách hoán đổi và số anten phát cần sử dụng bằng cách sử dụng kênh phản hồi nhanh sơ cấp. Nhóm anten có thể được thực hiện bằng các ma trận mã hóa không gian/thời gian như đã xét tại các phần trước.

### 3.8.4.3. Phản hồi dựa trên bảng mã

Phản hồi dựa trên bảng mã cho phép MS xác định rõ ràng ma trận tiền mã hóa cần sử dụng cho truyền dẫn đường xuống. Tiêu chuẩn định nghĩa bảng mã khác nhau cho các tổ hợp khác nhau của số luồng  $N_b$  và số anten phát  $N_t$ . Đối với mỗi tổ hợp ( $N_b, N_t$ ) tiêu chuẩn định nghĩa hai bảng mã: bảng mã thứ nhất có 8 phân tử và bảng mã thứ hai có 64 phân tử. Nếu chọn ma trận tiền mã hóa có 8 phân tử, MS có thể thông báo điều này cho BS bằng cách sử

dụng một kênh phản hồi 3 bit. Trái lại nếu chọn bảng mã có 64 phần tử, MS có thể thông báo điều này cho BS bằng cách sử dụng kênh phản hồi 6 bit. Các chọn hai bảng mã cho phép hệ thống cân đối giữa hiệu năng và hiệu suất phản hồi. Đối với AMC, BS có thể chỉ dẫn MS để nó cung cấp hoặc một bộ tiền mã hóa duy nhất cho tất cả các bảng của các kênh con hay các bộ tiền mã hóa khác nhau cho N bảng tốt nhất. Chuẩn không nói rõ tiêu chí tối ưu nào MS phải chọn để tính toán ma trận tiền mã hóa tối ưu. Tuy nhiên có thể sử dụng hai trong số các tiêu phổ biến là cực đại hóa tổng dung lượng và cực tiểu hóa sai lỗi bình phương trung bình (MSE).

#### **3.8.4.4. Phản hồi kênh lượng tử**

Phản hồi kênh lượng tử cho phép MS thông báo rõ ràng cho BS về thông tin trạng thái kênh MIMO. MS lượng tử hóa các thành phần thực và ảo của kênh MIMO theo một số nhị phân 6 bit sau đó gửi thông tin này đến BS trên kênh kênh tiếp nhanh. Rõ ràng rằng hồi tiếp kênh lượng tử đòi hỏi băng thông lớn hơn nhiều so với phương pháp dựa trên bảng mã. Chẳng hạn đối với hệ thống có bốn anten phát và hai anten thu, kênh phản hồi lượng tử đòi hỏi  $16 \times 6$  bit cho tín hiệu phản hồi, trong khi đó phương pháp bảng mã chỉ cần 6 bit. Do đòi hỏi băng thông rộng, nên có lẽ chế độ phản hồi này chỉ có thể áp dụng cho các điều kiện đi bộ và dừng. Trong các điều kiện kênh biến đổi chậm này, tốc độ phản hồi từ MS là rất thấp. Chuẩn không chỉ rõ BS cần sử dụng tiêu chí nào để tính toán bộ tiền mã hóa tối ưu, nhưng có thể sử dụng hai tiêu chí trong số các tiêu chí phổ biến là: cực đại hóa dung lượng và cực tiểu hóa sai số bình phương trung bình (MSE).

#### **3.8.4.5. Thăm dò kênh**

Trong chế độ TDD, thăm dò kênh bao gồm việc MS phát một tín hiệu tất định để BS đánh giá kênh đường lên. Nếu các kênh đường lên và đường xuống được hiệu chỉnh đúng, BS có thể sử dụng kênh đường lên để ước tính kênh đường xuống do tín hiệu lẩn của hai kênh này. Bằng bản tin UL-MAP, BS thông báo cho MS rằng vùng thăm dò kênh đường lên có được xác định cho người sử dụng trong khung được xét hay không. Khi nhận được chỉ dẫn này, MS gửi tín hiệu thăm dò kênh trong vùng thăm dò được xác định. Các sóng mang con trong vùng thăm dò được chia thành các băng tần thăm dò cách biệt với mỗi băng chứa 18 sóng mang con liên tục. BS có thể chỉ dẫn MS thực hiện thăm dò kênh trên tất cả các sóng mang con được phép hay chỉ một tập con. Chẳng hạn khi 2048 sóng mang con được sử dụng, số sóng mang con khả dụng là 1728. Như vậy toàn bộ băng thông được chia thành  $1728/18=96$  băng tần thăm dò. Để có thể đánh giá kênh đường xuống trong môi trường di động, BS có thể chỉ dẫn MS thực hiện thăm dò kênh định kỳ. Tùy chọn thăm dò kênh cho hoạt động MIMO vòng kín là cơ chế đòi hỏi băng thông rộng nhất, tuy nhiên nó cho BS có được ước tính kênh chính xác nhất và vì thế cung cấp độ lợi dung lượng cực đại so với chế độ vòng hở.

#### **3.8.5. Sơ đồ thích ứng mã không gian/thời gian và tạo búp**

Các tính năng sử dụng anten tiên tiến của WiMAX di động bao gồm tạo búp và mã hóa không gian thời gian được liệt kê trong bảng 3.11.

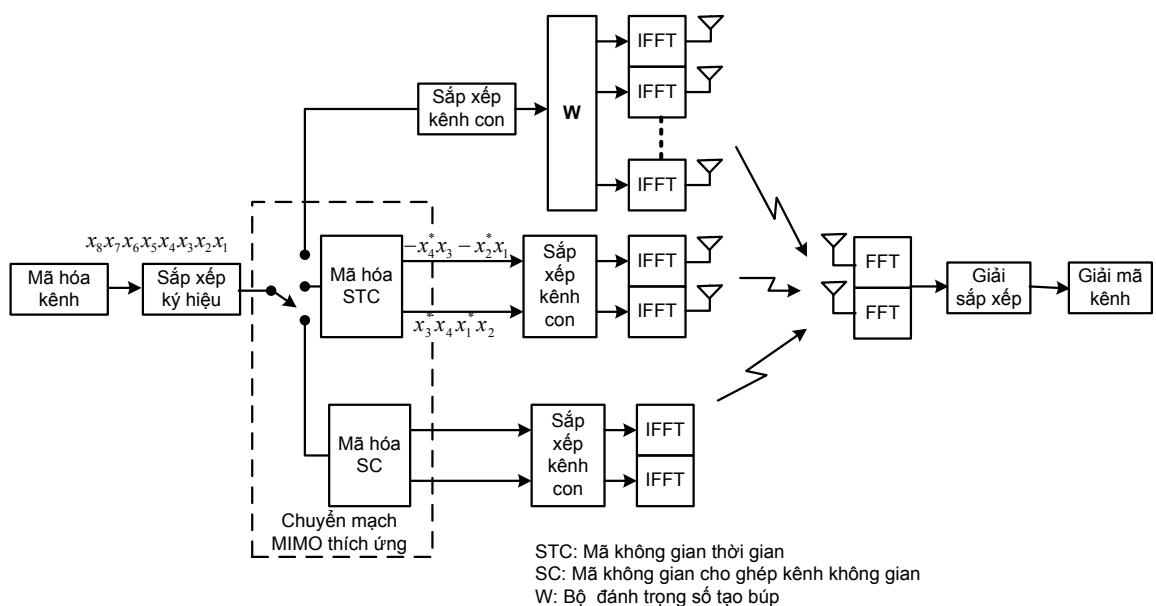
Bảng 3.11. Các tính năng tùy chọn anten tiên tiến

Đường truyền	Tạo búp	Mã hóa không gian thời gian (STC)	Ghép kênh không gian
--------------	---------	-----------------------------------	----------------------

Đường xuống	$n_t \geq 2, n_r \geq 1$	$n_t \geq 2, n_r \geq 1$ , Ma trận A	$n_t = 2, n_r \geq 2$ Ma trận B, mã hóa đứng
Đường lên	$n_t \geq 1, n_r \geq 2$	Không áp dụng	$n_t = 2, n_r \geq 2$ SM cộng tác hai người sử dụng

trong đó  $n_t$  và  $n_r$  là số các anten phát và các anten thu tương ứng.

WiMAX di động cho phép chuyển mạch thích ứng giữa các tùy chọn nói trên để đạt được lợi ích của việc sử dụng các công nghệ anten thông minh tốt nhất trong các điều kiện kênh khác nhau. Chẳng hạn SM cho phép đạt dung lượng đỉnh. Tuy nhiên khi điều kiện kênh xấu, tỷ lệ lỗi gói (PER: Packet Error Rate) có thể cao vì thế vùng phủ đáp ứng PER đích bị giới hạn. STC có thể được sử dụng để đảm bảo vùng phủ rộng nhưng giảm dung lượng. WiMAX di động hỗ trợ chuyển mạch MIMO thích ứng (AMS: Adaptive MIMO Switching) giữa các chế độ MIMO để đạt được hiệu suất sử dụng phổ tần cực đại mà không làm giảm vùng phủ. Hình 3.29 cho thấy kiến trúc hỗ trợ các tính năng anten thông minh. Bảng 3.12 tổng kết các tốc độ số liệu lý thuyết đỉnh cho các tỷ lệ DL/UL khác nhau với giả thiết băng thông kênh 10MHz, thời gian khung 5ms, 44 ký hiệu OFDM (trong số 48 ký hiệu OFDM) và phân kênh con kiểu PUSC. Tốc độ đỉnh lý thuyết thường được sử dụng làm số đo để so sánh, nhưng trong thực tế tốc độ số liệu đạt được thường thấp hơn tùy theo điều kiện truyền sóng và nhiễu. Với 2x2MIMO, tốc độ số liệu người sử dụng và đoạn ô DL tăng gấp đôi. Tốc độ đỉnh số liệu đoạn ô trong trường hợp này đạt 63,36 Mbps (so với 31 Mbps cho SIMO) khi tất cả các ký hiệu đều dành cho DL (tỷ lệ DL/UL bằng 1:0). Với SM cộng tác, tốc độ số liệu đỉnh đoạn ô UL tăng gấp đôi trong khi tốc độ đỉnh của người sử dụng không đổi. Tốc độ số liệu đỉnh người sử dụng và tốc độ đỉnh đoạn ô UL bằng 14,11 Mbps và 28,22 Mbps tương ứng khi tất cả các ký hiệu số liệu đều dành cho đường lên (tỷ lệ DL/UL bằng 0:1). Bằng cách áp dụng các tỷ lệ DL/UL khác nhau, ta có thể điều chỉnh băng thông giữa đường lên và đường xuống để đáp ứng các mẫu lưu lượng khác nhau. Cần lưu ý rằng các trường hợp đặc biệt trong đó băng thông được dành toàn bộ cho DL hoặc UL hiếm khi xảy ra. Tiêu chuẩn WiMAX hỗ trợ các tỷ lệ DL/UL từ 3:1 đến 1:1 để đáp ứng chuẩn lưu lượng khác nhau.



Hình 3.29. Chuyển mạch thích ứng cho các chế độ MIMO

Bảng 3.12. Các tốc độ số liệu cho các cấu hình SIMO/MIMO khác nhau (cho kênh 10 MHz, khung 5ms, kênh con PUSC, 44 ký hiệu OFDM số liệu)

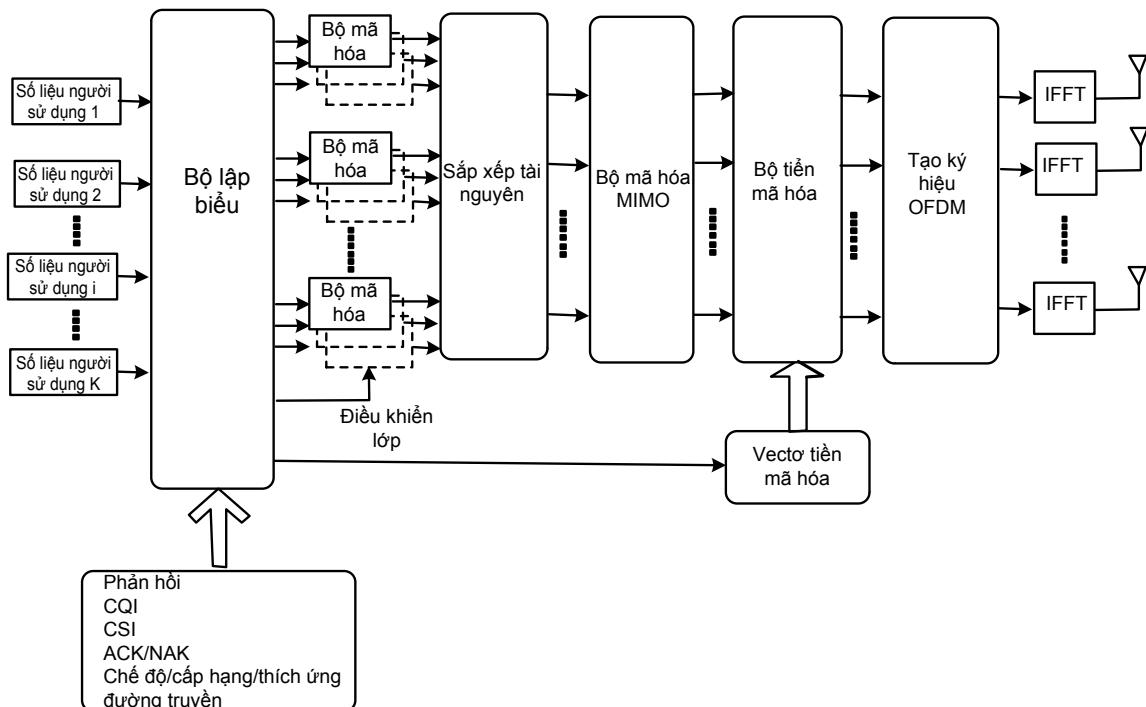
Tỷ lệ DL/UL		1:0	3:1	2:1	3:2	1:1	0:1
Tốc độ đỉnh của người sử dụng (Mbps)	SIMO (1x2) DL	31,68	23,04	20,16	18,72	15,84	0
	SIMO (1x2) UL	0	4,03	5,04	6,05	7,06	14,11
	MIMO (2x2) DL	63,8	46,08	40,32	37,44	31,68	0
	MIMO (2x2) UL	0	4,03	5,04	6,05	7,06	14,11
Tốc độ đỉnh của đoạn ô (Mbps)	SIMO (1x2) DL	31,68	23,04	20,16	18,72	15,84	0
	SIMO (1x2) UL	0	4,03	5,04	6,05	7,06	14,11
	MIMO (2x2) DL	63,8	46,08	40,32	37,44	31,68	0
	MIMO (2x2) UL	0	8,06	10,08	12,10	14,12	28,22

### 3.9. Sơ đồ truyền dẫn MIMO trong IEEE 802.16m

#### 3.9.1. Kiến trúc MIMO và xử lý số liệu đường xuống

##### 3.9.1.1. Kiến trúc

Kiến trúc MIMO đường xuống tại phía phát được cho trên hình 3.30.



Hình 3.30. Kiến trúc MIMO đường xuống

Khối mã hóa MIMO sắp xếp  $L$  ( $\geq 1$ ) lớp lên  $M_t$  ( $\geq L$ ) luồng cho khối tiền mã hóa. Lớp được định nghĩa là một tuyến điều chế và mã hóa được đưa đến đến bộ mã hóa MIMO như là một đầu vào. Luồng được định nghĩa là đầu ra của bộ mã hóa MIMO được đưa đến bộ tiền mã hóa. Đối với SU-MIMO, mỗi người sử dụng được lập biểu lên một khối tài nguyên (RU: Resource Unit) và chỉ có một khối mã hóa sửa lỗi trước (FEC) tại đầu vào của bộ mã hóa MIMO (mã hóa MIMO thẳng đứng hay SFBC tại phía phát). Đối với MU-MIMO, nhiều người sử dụng có thể được lập biểu đồng thời lên một RU và nhiều khối FEC tồn tại tại đầu

vào của bộ mã hóa MIMO (mã hóa MIMO ngang tại phía phát). Khối tiền mã hóa sắp xếp các luồng đến anten bằng cách tạo ra các ký hiệu số liệu đặc thù anten tùy theo chế độ MIMO được lựa chọn. Khối phản hồi chứa thông tin phản hồi CQI và CSI từ AMS.

Khối lập biểu lập biểu người sử dụng đến các RU và quyết định mức MCS, các thông số MIMO (chế độ MIMO, cấp hạng). Khối này chịu trách nhiệm đưa ra một số quyết định liên quan đế từng ấn định tài nguyên, gồm:

1. **Kiểu ấn định:** ấn định sẽ được phát theo ấn định phân bố hay chia lô
2. **SU hay MU-MIMO:** ấn định tài nguyên sẽ hỗ trợ SU hay MU-MIMO
3. **Chế độ MIMO:** Sơ đồ MIMO sẽ vòng kin (CL: Closed Loop) hay vòng hở (Open Loop)
4. **Định nhóm người sử dụng:** Đối với MU-MIMO các người sử dụng nào sẽ được ấn định đến cùng một khối tài nguyên
5. **Cấp hạng:** Đối với các chế độ ghép kênh không gian trong SU-MIMO, số luồng sẽ được sử dụng cho người sử dụng được ấn định đến đơn vị tài nguyên
6. **Mức MSC trên một lớp:** điều chế và tỷ lệ mã sẽ được sử dụng cho mỗi lớp
7. **Khuếch đại:** các giá trị khuếch đại công suất sẽ sử dụng trên các sóng mang số liệu và hoa tiêu
8. **Chọn băng:** Vị trí của ấn định tài nguyên chia lô trong băng tần

### 3.9.1.2. Cấu hình anten

Cấu hình anten được ký hiệu là ( $N_T, N_R$ ) trong đó  $N_T$  ký hiệu cho số anten phát của ABS và  $N_R$  ký hiệu cho số anten thu của AMS ABS sử dụng tối thiểu hai anten phát và hỗ trợ các cấu hình anten với  $N_t = 2, 4$  và  $8$ . AMS sử dụng tối thiểu hai anten thu và hỗ trợ các cấu hình anten với  $N_R \geq 2$ .

### 3.9.1.3. Sắp xếp lớp vào luồng

Sắp xếp lớp vào luồng được thực hiện bởi bộ mã hóa MIMO. Bộ mã hóa MIMO là một bộ xử lý dãy ký hiệu (Batch Processor) thực hiện xử lý đồng thời  $M$  ký hiệu đầu vào.

Đầu vào bộ mã hóa MIMO là một vectơ  $M \times 1$  được biểu diễn như sau:

$$\mathbf{s} = \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1 \\ \mathbf{s}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{s}_M \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Trong đó  $s_i$  là ký hiệu  $s_i$  trong dãy.

Bộ sắp xếp ký hiệu vào từ lớp vào luồng trước hết được thực hiện theo chiều không gian. Đầu ra của bộ mã hóa MIMO là một ma trận  $M_t \times N_F$  MIMO STC (Space Time Code) được biểu diễn theo phương trình (2) và là đầu vào của bộ tiền mã hóa :

$$\mathbf{x} = \mathbf{S}(\mathbf{s}) \quad (3.13)$$

Trong đó  $M_t$  là số luồng,  $N_F$  là số sóng mang con của một khối MIMO,  $x$  là đầu ra của bộ mã hóa MIMO,  $s$  là vectơ lớp đầu vào,  $S(s)$  là ma trận STC, và:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{1,1} & \mathbf{x}_{1,2} & \dots & \mathbf{x}_{1,N_{1,N_F}} \\ \mathbf{x}_{2,1} & \mathbf{x}_{2,2} & \dots & \mathbf{x}_{2,N_F} \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \mathbf{x}_{M,1} & \mathbf{x}_{M,2} & \dots & \mathbf{x}_{M,N_F} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Đối với SU-MIMO, tỷ lệ STC (tỷ lệ số ký hiệu vào trên số ký hiệu ra) được định nghĩa theo phương trình sau:

$$R = \frac{M}{N_F} \quad (3.15)$$

Đối với SU-MIMO tỷ lệ STC bằng 1 hoặc bằng 2.

Tồn tại bốn khuôn dạng mã hóa MIMO (MEF: MIMO Encoder Format):

- Mã hóa khối không gian tần số (SFBC: Space Frequency Block Code)
- Mã hóa đứng (VE: Vertical Encoding)
- Mã hóa ngang (HE: Horizontal Encoding)
- Lặp số liệu liên hiệp (CDR: Conjugate Data Repetition)

Đối với SU-MIMO, mã hóa MIMO cho phép các sơ đồ ghép kênh không gian và phát phân tập. MIMO ghép kênh không gian sử dụng mã hóa đứng trong một lớp (từ mã). Phân tập không gian sử dụng hoặc mã hóa đứng với một luồng hoặc mã hóa khối không gian tần số.

Đối với MU-MIMO, mã hóa ngang nhiều lớp (các từ mã) được sử dụng tại trạm gốc, trong khi đó chỉ một luồng được phát đến từng trạm di động.

Đối với phân tập phát vòng hở sử dụng mã hóa SFBC, đầu vào bộ mã hóa MIMO được thể hiện ở dạng vectơ 2x1:

$$\mathbf{s} = \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1 \\ \mathbf{s}_2 \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

Bộ mã hóa MIMO tạo ra ma trận SFBC:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1 & -\mathbf{s}_2^* \\ \mathbf{s}_2 & \mathbf{s}_1^* \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

Ma trận SFBC  $\mathbf{x}$  chiêm hai sóng mang liên tục.

Đối với phân tập phát vòng hở sử dụng mã hóa CDR, đầu vào bộ mã hóa MIMO là một vectơ 1x1:

$$\mathbf{s} = \mathbf{s} \quad (3.18)$$

Bộ mã hóa MIMO tạo ra ma trận CDR:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1 & \mathbf{s}_2^* \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Trong đó ma trận  $\mathbf{x}$  chiếm hai sóng mang con.

Đối với mã hóa ngang và mã hóa đứng, vectơ đầu vào và đầu ra của bộ mã hóa MIMO là một vectơ  $M \times 1$ :

$$\mathbf{x} = \mathbf{s} = \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1 \\ \mathbf{s}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{s}_M \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

Trong đó  $s_i$  là ký hiệu thứ  $i$  trong dãy.

Đối với mã hóa đứng,  $s_1, \dots, s_M$  thuộc cùng một lớp (từ mã). Đối với mã hóa ngang,  $s_1, \dots, s_M$  thuộc các lớp (các từ mã) khác nhau).

Số luồng phụ thuộc vào:

- Đối với ghép kênh không gian SU-MIMO vòng hở và vòng kín, số luồng là  $M_t \leq \min(N_T, N_R)$ , trong đó  $M_t$  không lớn hơn 8,  $N_T$  và  $N_R$  là số anten phát và anten thu tương ứng
- Đối với phân tập phát vòng hở,  $M_t$  phụ thuộc vào sơ đồ mã hóa không gian thời gian của bộ mã hóa MIMO
- MU-MIMO có nhiều nhất hai luồng với hai anten Tx và cực đại bốn luồng với bốn anten Tx và 8 anten Tx

#### 3.9.1.4. Sắp xếp luồng lên anten

Sắp xếp luồng lên anten được thực hiện bởi bộ tiền mã hóa. Đầu ra của bộ mã hóa MIMO được nhân với ma trận  $W$  kích thước  $N_T \times M_t$  của bộ tiền mã hóa. Đầu ra bộ tiền mã hóa được ký hiệu là ma trận  $\mathbf{z}$  kích thước  $N_T \times N_F$  như sau:

$$\mathbf{z} = \mathbf{w} \mathbf{x} = \begin{bmatrix} z_{1,1} & z_{1,2} & \dots & z_{1,N_F} \\ z_{2,1} & z_{2,2} & \dots & z_{2,N_F} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{N_t,1} & z_{N_t,2} & \dots & z_{N_t,N_F} \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

Trong đó  $N_t$  là số anten phát,  $N_F$  là số sóng mang con của một khối MIMO và  $z_{j,k}$  là ký hiệu đầu ra được phát trên anten  $j$  và sóng mang con  $k$ .

Tiền mã hóa không thích ứng và tiền mã hóa thích ứng đều được hỗ trợ:

- Tiền mã hóa không thích ứng được sử dụng cùng với các chế độ OL SU-MIMO và OL MU-MIMO (OL: Open Loop: vòng hở)
- Tiền mã hóa thích ứng được sử dụng với các chế độ CL SU-MIMO và CL MU-MIMO (CL: Closed Loop: vòng kín).

Đối với tiền mã hóa không thích ứng trên một sóng mang con k, ma trận  $W_k$  được chọn từ bảng mã đơn nhất quy định trước.  $W_k$  thay đổi sau u.Psc sóng mang con và v khung con để đảm bảo phân tập không gian bổ sung. Giá trị u và v phụ thuộc và sơ đồ MIMO và kiểu đơn vị tài nguyên.

Đối với tiền mã hóa thích ứng, dạng và rút ra ma trận tiền mã hóa tổng hợp,  $W_f = [w_{1,f}, \dots, w_{K,f}]$ , là đặc thù của nhà sản xuất. Vector tiền mã hóa trên sóng mang con f đối với luồng j được rút ra tại ABS từ phản hồi từ AMS. Tạo búp được thực hiện bằng cơ chế tiền mã hóa này. Nếu các cột của ma trận tiền mã hóa tổng hợp trực giao với nhau, thì nó được định nghĩa là tiền mã hóa đơn nhất. Nếu khác thì nó được định nghĩa là tiền mã hóa không đơn nhất. Tiền mã hóa không đơn nhất chỉ được cho phép đối với CL MU-MIMO.

Trong CL SU-MIMO và MU-MIMO đường xuống, tất cả các hoa tiêu điều chế được tiền mã hóa giống như số liệu không phụ thuộc vào anten phát, kiểu ấn định và chế độ truyền dẫn MIMO. Ma trận tiền mã hóa được thông báo đến AMS thông qua tiền mã hóa các hoa tiêu điều chế.

### 3.9.1.5. Các chế độ MIMO đường xuống

Có sáu chế độ MIMO đường xuống được cho trong bảng 3.13.

Bảng 3.13. Danh sách chế độ MIMO

Chỉ số chế độ	Mô tả	Khuôn dạng mã hóa MIMO	Tiền mã hóa MIMO
Chế độ 0	OL SU-MIMO (phân tập Tx)	SFBC	Không thích ứng
Chế độ 1	OL SU-MIMO (SM)	Mã hóa đứng	Không thích ứng
Chế độ 2	CL SU-MIMO (SM)	Mã hóa đứng	Thích ứng
Chế độ 3	OL SU-MIMO (SM)	Mã hóa ngang	Không thích ứng
Chế độ 4	CL SU-MIMO (SM)	Mã hóa ngang	Thích ứng
Chế độ 5	OL SU-MIMO (phân tập Tx)	CDR	Không thích ứng

SM: Spatial Multiplex: ghép kênh không gian

### 3.9.1.6. SU-MIMO

SU-MIMO (Single User MIMO: MIMO đơn người sử dụng) được sử dụng để cải thiện hiệu năng đường truyền bằng cách cung cấp phana tập không gian hai độ lợi ghép kênh không gian lớn và tốc độ số liệu đỉnh hay độ lợi tạo búp cao cho một AMS.

Đối với OL SU-MIMO, cả hai sơ đồ ghép kênh không gian và phân tập phát đều được hỗ trợ. Trong trường hợp OL SU-MIMO, phản hồi CQI và cấp hạng vẫn được phát để hỗ trợ BS quyết định thích ứng cấp hạng, chuyển mạch chế độ phát và thích ứng tốc độ. Phản hồi CQI và cấp hạng có thể thường xuyên hoặc không thường xuyên.

Đối với CL SU-MIMO, tiền mã hóa dựa trên bảng mã được hỗ trợ cho cả TDD và FDD. Phản hồi CQI, PMI và cấp hạng được phát từ MS để gõ trợ trạm gốc lập biếu, ấn định tài nguyên và quyết định thích ứng tốc độ. Phản hồi CQI, PMI và cấp hạng có thể thường xuyên hoặc không thường xuyên.

Đối với CL SU-MIMO, tiền mã hóa dựa trên thăm dò được hỗ trợ cho các hệ thống TDD.

### 3.9.1.7. MU-MIMO

MU-MIMO (Multi User MIMO: MIMO đa người sử dụng) được sử dụng để cho phép ấn định cùng một tài nguyên cho truyền dẫn số liệu đến hai hay nhiều AMS. MU-MIMO tăng cường dung lượng hệ thống.

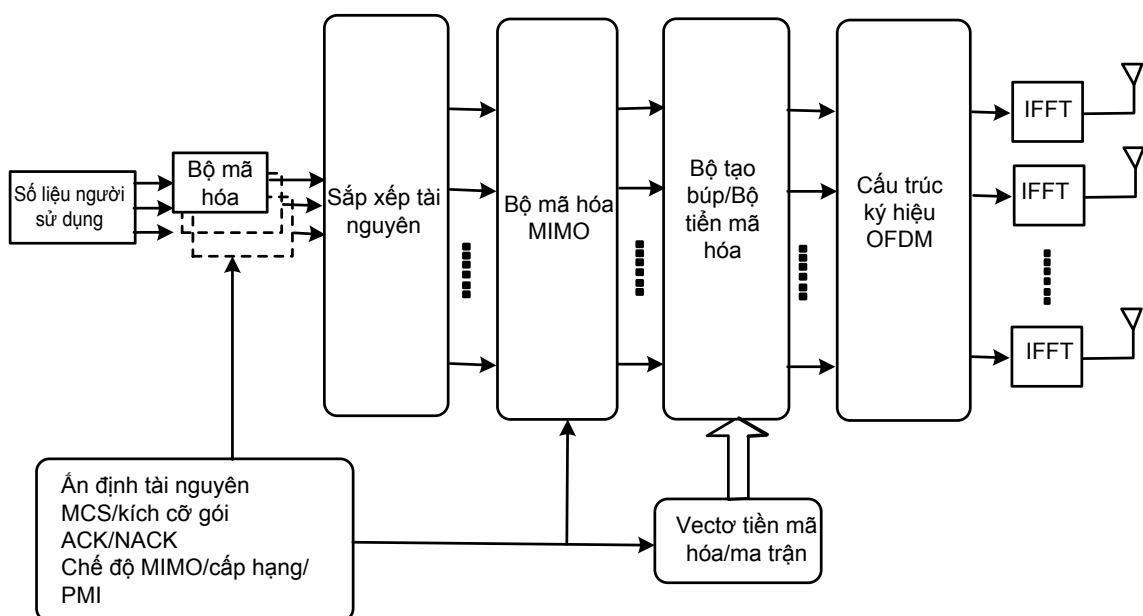
Truyền dẫn đa người sử dụng với cực đại hai luồng trên một người sử dụng được hỗ trợ cho MU-MIMO. MU-MIMO gồm cả cấu hình MIMO hai anten Tx để hỗ trợ cực đại hai người sử dụng và 4 anten TX hay 8 anten Tx để hỗ trợ cực đại bốn người sử dụng. Cả hai kỹ thuật tiền mã hóa tuyến tính MU-MIMO đơn nhất và không đơn nhất đều được hỗ trợ.

Đối với OL MU-MIMO, phản hồi CQI và chỉ số luồng ưu việt có thể được phát đến hỗ trợ trạm gốc lập biểu, chuyển mạch chế độ và thích ứng tốc độ. CQI phụ thuộc vào tần số.

### 3.9.2. Sơ đồ truyền dẫn MIMO đường lên

#### 3.9.2.1. Kiến trúc MIMO đường lên

Kiến trúc MIMO đường lên tại phía phát được trình bày trên hình 3.31.



Hình 3.31. Kiến trúc MIMO đường lên

Bộ mã hóa MIMO sắp xếp một lớp ( $L=1$ ) lên  $M$  luồng ( $M_i \geq L$ ) để đưa đến khối tiền mã hóa.

Đối với SU-MIMO và ghép kênh không gian cộng tác, chỉ có một khối mã hóa sửa lỗi trước (FEC) trong RU được ấn định (mã hóa MIMO đứng)

Khối tiền mã hóa sắp xếp các luồng lên anten bằng cách tạo ra các ký hiệu số liệu đặc tù anten theo chế độ MIMO được chọn.

Khi AMS chỉ có một anten phát, bộ mã hóa MIMO và bộ tiền mã hóa không được sử dụng.

Quyết định liên quan đến từng án định tài nguyên, gồm:

1. **Kiểu án định:** án định sẽ được phát theo án định phân bổ hay chia lô
2. **SU hay MU-MIMO:** án định tài nguyên sẽ hỗ trợ đơn người sử dụng hay đa người sử dụng
3. **Chế độ MIMO:** Sơ đồ MIMO sẽ vòng kin (CL: Closed Loop) hay vòng hở (Open Loop)
4. **Định nhóm người sử dụng:** Đối với MU-MIMO các người sử dụng nào sẽ được án định đến cùng một khối tài nguyên
5. **Cấp hạng:** Đối với các chế độ ghép kênh không gian trong SU-MIMO, số luồng sẽ được sử dụng cho người sử dụng được án định đến đơn vị tài nguyên
6. **Mức MSC trên một lớp:** điều chế và tỷ lệ mã sẽ được sử dụng cho mỗi lớp
7. **Khuếch đại:** các giá trị khuếch đại công suất sẽ sử dụng trên các sóng mang số liệu và hoa tiêu
8. **Chọn băng:** Vị trí của án định tài nguyên chia lô trong băng tần

### 3.9.2.2. Cấu hình anten

Cấu hình anten được ký hiệu là  $(N_T, N_R)$  trong đó  $N_T$  ký hiệu cho số anten phát của AMS và  $N_R$  ký hiệu cho số anten thu của ABS. Đường lên có cấu hình anten với  $N_T=1, 2$  và  $4$  và  $N_R \geq 2$ .

Có năm chế độ MIMO đường lên được cho trong bảng 3.14.

Bảng 3.14. Danh sách chế độ MIMO

Chỉ số chế độ	Mô tả	Khuôn dạng mã hóa MIMO	Tiền mã hóa MIMO
Chế độ 0	OL SU-MIMO (phân tập Tx)	SFBC	Không thích ứng
Chế độ 1	OL SU-MIMO (SM)	Mã hóa đứng	Không thích ứng
Chế độ 2	CL SU-MIMO (SM)	Mã hóa đứng	Thích ứng
Chế độ 3	Ghép kênh không gian kết hợp OL (MU-MIMO)	Mã hóa đứng	Không thích ứng
Chế độ 4	Ghép kênh không gian kết hợp CL (MU-MIMO)	Mã hóa đứng	Thích ứng

SM: Spatial Multiplex: ghép kênh không gian

## 3.10. Các tính năng tăng cường của lớp vật lý WIMAX di động

Để tăng cường vùng phủ và dung lượng, lớp vật lý của WiMAX được tăng cường các tính năng tiên tiến khác như:

- Mã hóa và điều chế thích ứng (AMC: Adaptive Modulation and Coding)

- Yêu cầu phát lại tự động linh hoạt (HARQ: Hybrid Automatic Repeat Request)
- Phản hồi kênh nhanh bằng kênh CQICK (CQICH: Channel Quality Information Channel)
- Tái sử dụng tần số một phần

### 3.10.1. Mã hóa kênh thích ứng và CQICH

AMC (Adaptive Modulation and Coding: mã hóa và điều chế thích ứng) trong WiMAX cho phép hệ thống thay đổi chế độ điều chế và tỷ lệ mã phù hợp với điều kiện truyền sóng. Bộ lập biếu trạm gốc xác định tốc độ số liệu phù hợp (lý lịch cụm) cho từng từng ẩn định cụm trễ cơ sở kích cỡ bộ đệm, điều kiện truyền sóng tại máy thu. Kênh chỉ thị chất lượng khung (CQICH) được sử dụng để cung cấp trạng thái từ đầu cuối của người dùng cho bộ lập biếu BS. Các thông tin hồi tiếp do CQICH cung cấp bao gồm: tỷ số tín hiệu trên tạp âm cộng nhiễu (CINR), CINR hiệu dụng, chọn lựa chế độ MIMO và chọn lựa kênh con chọn lọc tần số. Khi sử dụng TDD, thích ứng đường truyền còn có thể sử dụng tính đổi lắn đường lên và đường xuống để cung cấp chính xác hơn điều kiện kênh.

### 3.10.2. Mã hóa turbo, LDPC và đan xen

#### 3.10.2.1. Mã turbo xoắn, CTC

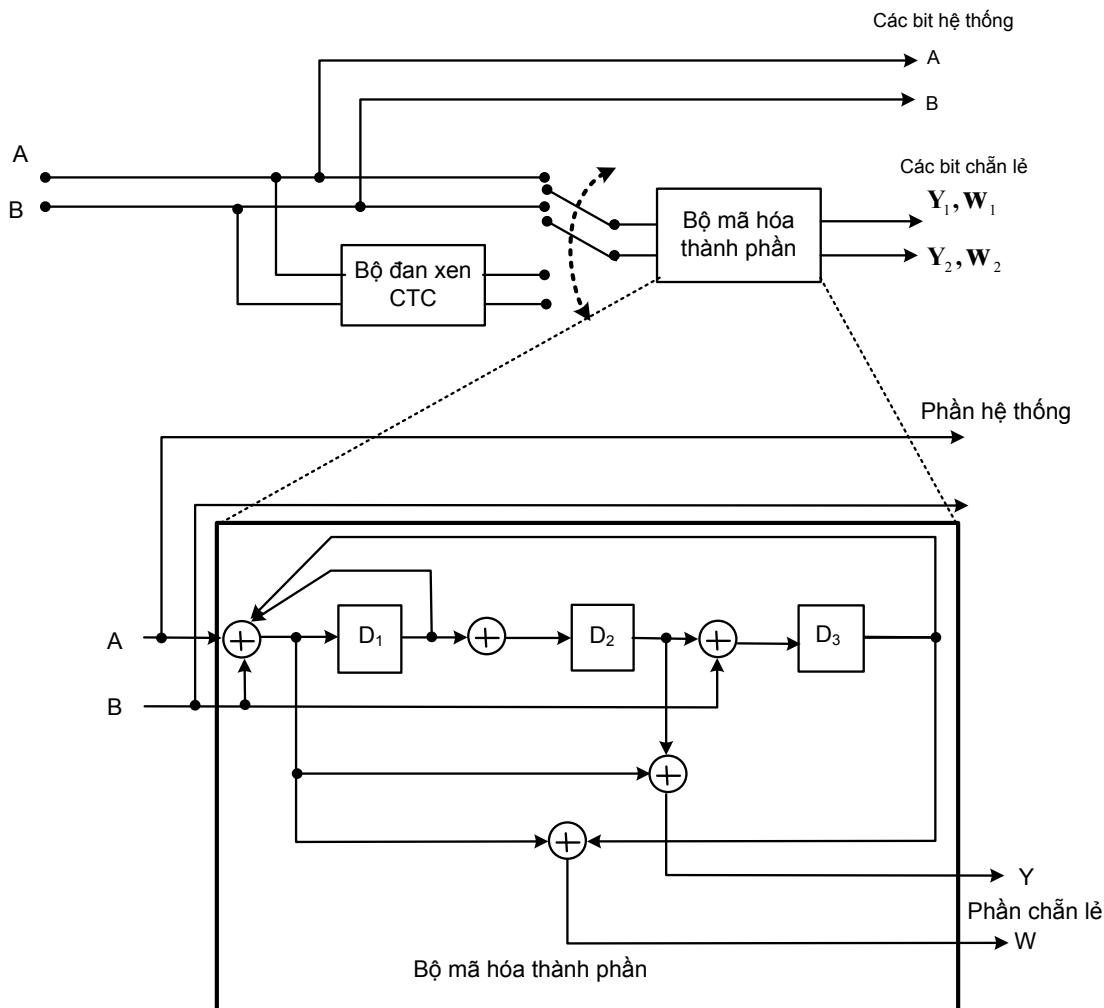
##### 1. Mã hóa turbo

Ngoài một số sơ đồ mã hóa kênh thường được sử dụng, WiMAX IEEE 802.16e-2005 còn sử dụng một số sơ đồ mã cho hiệu quả hoạt động tốt hơn như: mã turbo nhị phân kép cho mã turbo xoắn (CTC: Convolutional Turbo Code) và mã kiểm tra chẵn lẻ mật độ thấp (LDPC: Low Density Parity Check). Trong phần này ta sẽ xét sơ đồ mã hóa turbo trong WiMAX. Hình 3.32 cho thấy sơ đồ mã turbo xoắn được sử dụng trong WiMAX.

Bộ mã hóa CTC sử dụng bộ mã hóa turbo nhị phân kép được xây dựng trên cơ sở hai tạo mã:  $1+D^2+D^3$  và  $1+D^3$  để tạo ra mã tỷ lệ mã  $r=1/3$ . Vì hai bit đầu vào được sử dụng đồng thời nên bộ mã hóa có bốn chuyển đổi trạng thái. Sau đó đục lỗ mã mẹ được sử dụng để tạo ra các tỷ lệ khác nhau (các gói con) để sử dụng cho trueyenf dẫn HARQ. Các bộ mã hóa thành phần có tỷ lệ mã  $r=2/4$  và quá trình mã hóa như sau:

- Các bit thông tin (A và B) được đặt vào đâu vào
- Bước thứ nhất, Avaf B được đưa đến bộ mã hóa thành phần để tạo ra các bit chẵn lẻ  $Y_1$  và  $W_1$
- Bước hai, A và B được đưa vào bộ mã hóa thành phần sau khi được ddan xen để tạo ra các bit chẵn lẻ  $Y_2$  và  $W_2$
- Các bit đầu ra sẽ là  $ABY_1W_1Y_2W_2$

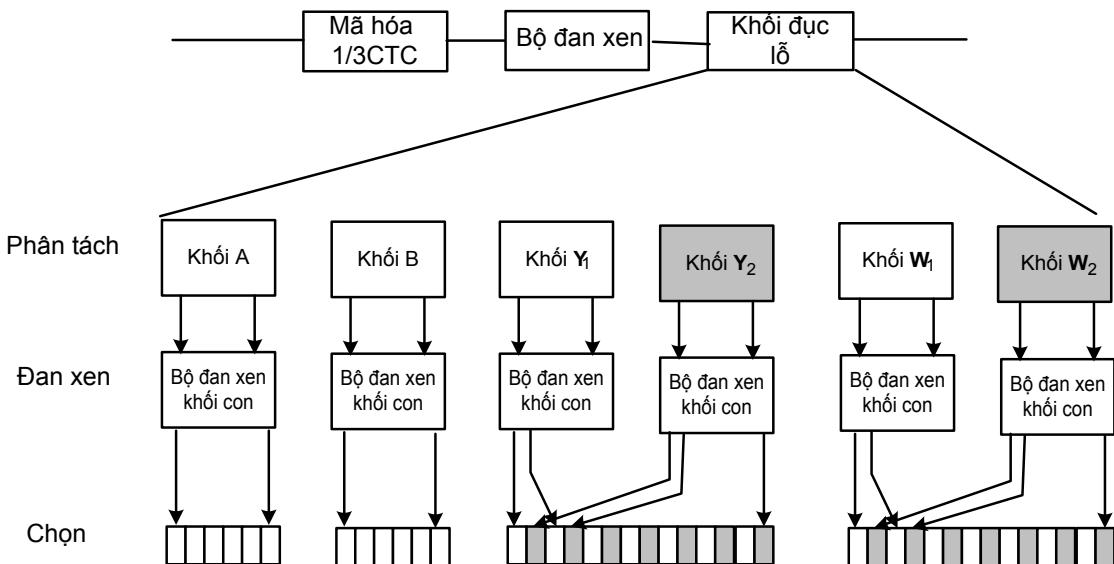
Các ký hiệu sau mã hóa được đục lỗ và được phân thành sáu khối con sau đó được xử lý để tạo ra các khối con như trên hình 3.33.



Hình 3.32. Bộ mã hóa turbo trong hệ thống WiMAX

## 2. Đan xen và tạo ra các khối con

Đan xen cho luồng số liệu sau mã hóa turbo được thực hiện như sau (hình 3.33). Đầu ra của bộ mã hóa turbo tỷ lệ  $r=1/3$  được chia thành sáu khối ( $A, B, Y_1, Y_2, W_1, W_2$ ), trong đó  $A$  và  $B$  chứa các bit hệ thống (các bit không mã hóa), còn các bit  $Y_1, W_1$  và  $Y_2, W_2$  là các bit chẵn lẻ (được mã hóa) được tạo ra từ các bộ mã hóa thành phần với đầu vào không đan xen và đầu vào được đan xen tương ứng. Từng khối trong số sáu khối được đan xen độc lập và các khối chứa các bit chẵn lẻ được đục lỗ để đạt được tốc độ bit yêu cầu (hình 3.33). Mỗi bộ đan xen khối gồm hai tầng: (1) tầng 1 chứa các bit cần đan xen ở dạng các ký hiệu (mỗi ký hiệu gồm hai bit), (2) tầng thứ hai thực hiện hoán vị vị trí của các ký hiệu. Để đạt được tốc độ bit cần thiết, các khối  $Y_1, Y_2, W_1, W_2$  của bộ đan xen được đục lỗ theo các mẫu đục lỗ quy định. Khi sử dụng HARQ, các mẫu đục lỗ các bit chẵn lẻ có thể thay đổi tại các lần phát lặp điểu này cho phép tạo ra các đánh giá LLR (Log Likelihood Ratio: log tỷ lệ xác suất) với nhiều bit chẵn lẻ hơn trong mỗi lần phát lại.



Hình 3.33. Đan xen và tạo ra các khối con

Bộ mã hóa turbo nhị phân kép có các ưu điểm sau so với các bộ mã hóa nhị phân thông thường:

- ✓ *Hội tụ tốt hơn*
- ✓ *Khoảng cách tối thiểu lớn hơn*
- ✓ *Ít nhảy cảm với các mẫu đục lỗ hơn*
- ✓ *Giải mã chắc chắn hơn*

### 3.10.2.2. Mã LDPC

LDPC được định nghĩa trong WiMAC như là một sơ đồ mã hóa kênh tùy chọn, nhưng khả năng sử dụng là rất ít. Sở dĩ như vậy vì hầu hết các nhà sản xuất thiết đã quyết định sử dụng các mã turbo xoắn do nó cho phép đạt được hiệu năng cao hơn các sơ đồ mã hóa khác. Mã LDPC được định nghĩa trong WiMAX IEEE 802.16e-2005 được xây dựng trên cơ sở một hay nhiều mã LDPC cơ sở, trong đó mỗi mã LDPC cơ sở là một mã khối tuyến tính hệ thống hỗ trợ các tỷ lệ mã và các kích thước gói khác nhau.

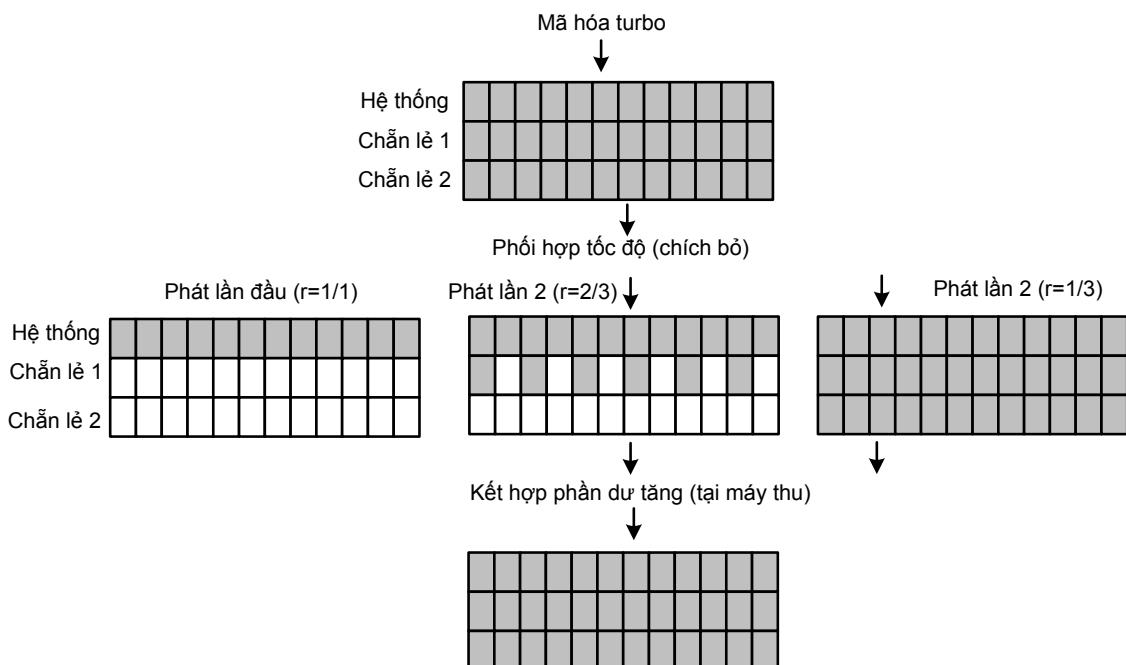
### 3.10.3. HARQ

WiMAX di động cũng đảm bảo HARQ. HARQ cho phép sử dụng giao thức N kênh "dừng và đợi" để phản ứng nhanh các lỗi gói và mở rộng biên giới phủ sóng. Kết hợp bám đuôi và gia tăng độ dư cũng cho phép cải thiện độ tin cậy phát lại. Đường lên cũng có kênh ACK (công nhận) riêng cho báo hiệu HARQ ACK/NACK (công nhận/phủ nhận HARQ). Khai thác nhiều kênh HARQ cũng được sử dụng. ARQ dừng-đợi đa kênh với số lượng kênh nhỏ là một giao thức đơn giản, hiệu quả để giảm thiểu bộ nhớ đối với HARQ và ngừng đột ngột. WiMAX đảm bảo báo hiệu hoàn toàn dị bộ. Hoạt động dị bộ cho phép trễ thay đổi giữa các lần phát lại. HARQ kết hợp với CQICH và AMC tạo nên đường truyền ổn định trong môi trường di động tại tốc độ xe ô tô cao hơn 120km/giờ.

WiMAX hỗ trợ hai kiểu HARQ: HARQ kiểu I và HARQ kiểu II. Kiểu I được gọi là "kết hợp săn bắt" (Chase Combining), kiểu II được gọi là "kết hợp phần dư tăng" (Incremental Redundancy). Trong kiểu thứ nhất các phát lại đều giống nhau và giống phát lần đầu: mẫu

bit dư và đục lỗ không đổi trong lần phát đầu và các lần phát lại. Máy thu kết hợp các lần phát đầu và các lần phát lại khôi số liệu để giải mã nó. Sau mỗi lần phát lại độ tin cậy của các bit được cải thiện vì thế giảm xác suất lỗi trong quá trình giải mã. Quá trình này tiếp đến cho đến khi khôi số liệu được giải mã không còn lỗi (sau kiểm tra CRC) hoặc đạt đến số lần phát lại HARQ cho phép cực đại. Trong trường hợp không thể giải mã khôi số liệu mà không mắc lỗi khi số lần phát lại đạt giá trị cho phép cực đại, một lớp cao hơn (lớp MAC hay TCP/IP) sẽ phát lại khôi số liệu này. Trong trường hợp này tất cả các lần phát trước đó sẽ bị xoá và quá trình HARQ khởi động lại.

Trong kiểu thứ hai phát lại với phần dư (chẵn lẻ) có số bit tăng (thay đổi mẫu đục lỗ hay trích bõ) (hình 3.34), điều này không chỉ cải thiện LLR của các bit chẵn lẻ mà còn giảm tỷ lệ lỗi sau mỗi lần phát lại. Mẫu đục lỗ sử dụng trong từng HARQ được chỉ dẫn bởi số nhận dạng gói con (SPID: Subpacket ID). Mặc định SPID của lần phát đầu tiên luôn bằng 0 để chỉ thị rằng tất cả các bit hệ thống đều được phát, chỉ các bit chẵn lẻ là bị đục lỗ và truyền dẫn không có mã hóa. Các SPID lần sau được chọn tùy ý. Mặc dù rằng một cách tự nhiên SPID có thể tăng như sau: 0,1,2 nhưng điều này không bắt buộc. tuy nhiên trong mọi trường hợp SPID khởi đầu từ 0. Sơ đồ kết hợp phân dư tăng cho phép giảm tỷ số lỗi bit (BER) và tỷ số lỗi khôi (BLER: Block Error Rate) so với sơ đồ kết hợp mềm.



Hình 3.34. HARQ kiểu II với phần dư tăng

### 3.11. Các tính năng tiên tiến của WIMAX di động

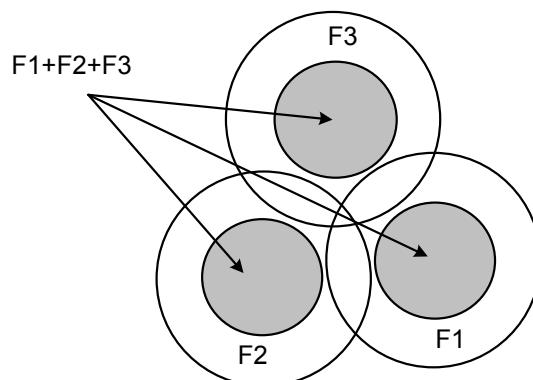
#### 3.11.1. Tái sử dụng tần số một phần

WiMAX di động hỗ trợ thừa số tái sử dụng tần số bằng 1, có nghĩa là tất cả các ô/đoạn ô đều làm việc trên một kênh tần số để đạt được hiệu suất sử dụng phổ tần cực đại. Tuy nhiên khi sử dụng tái sử dụng tần số bằng một, do nhiễu đồng kênh (CCI: Co-channel Interference) quá lớn, các người sử dụng tại biên ô có thể bị giảm chất lượng kết nối. Trong WiMAX di động, các người sử dụng làm việc trên các kênh con và các kênh con này chỉ chiếm một phần

của toàn bộ băng thông kênh. Vấn đề nhiễu biên ô có thể giải quyết dễ dàng bằng cách lập cấu hình sử dụng các kênh con mà không cần áp dụng quy hoạch tần số truyền thống.

Trong WiMAX di động, việc tái sử dụng kênh linh hoạt được hỗ trợ bằng cách sử dụng vùng sáp xếp và phân đoạn kênh con. Một đoạn là một nhóm các kênh con OFDM khả dụng (một đoạn cũng có thể chứa tất cả các kênh con). Đoạn được sử dụng để triển khai một trường hợp của MAC.

Mẫu tái sử dụng kênh con có thể được lập cấu hình sao cho các người sử dụng gần BS làm việc trên vùng chứa tất cả các kênh con khả dụng. Trong khi đó các người sử dụng biên ô hay đoạn ô chỉ làm việc trên vùng chứa một phần các kênh con khả dụng. Trên hình 3.35, F1, F2, F3 thể hiện các tập khác nhau của các kênh con trong cùng một kênh tần số. Với cấu hình này, tái sử dụng tần số bằng một phần của toàn bộ tải được duy trì cho các người sử dụng tại tâm ô để đạt được hiệu suất sử dụng phổ tần cực đại, trong khi tái sử dụng tần số một phần được sử dụng cho các người sử dụng biên để đảm bảo chất lượng kết nối và cho người sử dụng biên và dung lượng.



Hình 3.35. Tái sử dụng tần số một phần

Tùy thuộc vào tải mạng và điều kiện nhiễu trong mỗi khung, kế hoạch tái sử dụng tần số có thể được tối ưu hóa động trên các đoạn ô và các ô. Vì thế tất cả các ô và các đoạn ô có thể hoạt động trên cùng một kênh tần số mà không cần quy hoạch tần số.

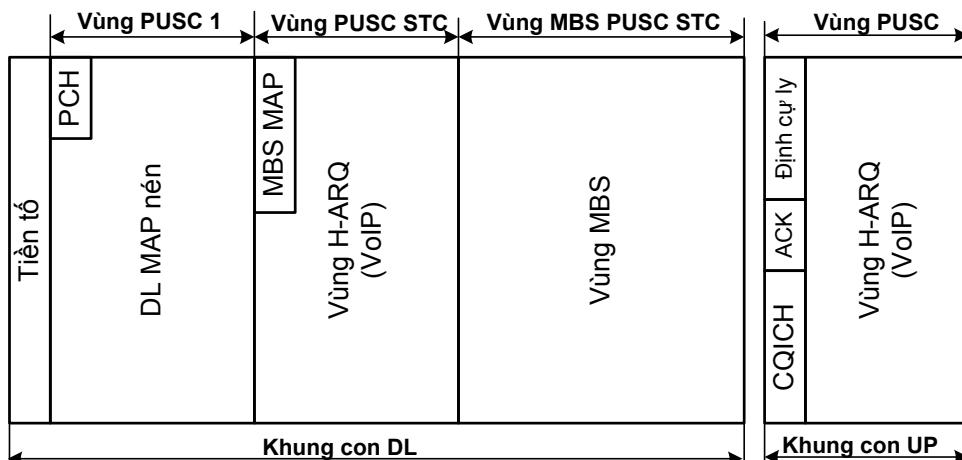
### 3.11.2. Dịch vụ đa phương và quảng bá (MBS)

Dịch vụ đa phương và quảng bá (MBS: Multicast and Broadcast) được WiMAX di động hỗ trợ để kết hợp các tính năng tốt nhất của DVB-H, MediaFLO và 3GPP E-UTRA và thỏa mãn các đòi hỏi sau:

- Tốc độ số liệu cao và vùng phủ sử dụng mạng một tần số (SFN: Single Frequency Network)
- Ánh định tài nguyên vô tuyến linh hoạt
- Tiêu thụ công suất MS thấp
- Hỗ trợ quảng bá số liệu bổ xung cho các luồng video và audio
- Thời gian chuyển mạch kênh ngắn

Chuẩn WiMAX di động phát hành 1 định nghĩa hộp công cụ để chuyển phát dịch vụ MBS ban đầu. Dịch vụ MBS có thể được hỗ trợ bằng cách cấu trúc các vùng MBS riêng biệt

trong khung DL cùng với dịch vụ đơn phương (nhưng trong MBS) hay toàn bộ khung có thể được dành riêng cho MBS (chỉ cho đường xuống) đối với dịch vụ MBS đứng riêng. Hình 3.36 cho thấy cấu trúc vùng DL/UL khi trộn dịch vụ đơn phương và MBS. Vùng MBS hỗ trợ chế độ MBS cho nhiều BS bằng khai thác mạng đơn tần số (SFN) và thời gian linh hoạt của các vùng MBS cho phép ổn định khả định cỡ các tài nguyên vô tuyến cho lưu lượng MBS. Lưu ý rằng cũng có thể thực hiện nhiều vùng MBS. Chỉ có một mô tả phần tử thông tin của giao thức truy nhập phương tiện (MAP IE: Media Access Protocol Information Element) trên một vùng MBS. MS truy nhập DL MAP để bắt đầu nhận dạng các vùng MBS và các vị trí của các MBS MAP liên quan trong từng vùng. Sau đó MS có thể đọc các MBS MAP mà không cần tham khảo DL MAP cho đến khi mất đồng bộ với MBS MAP. MBS MAP IE đặc tả cấu hình vật lý của vùng và định nghĩa vị trí của mỗi vùng MBS thông qua thông số dịch vụ OFDMA (OFDMA Offset). MBS MAP được đặt tại kênh con thứ nhất của ký hiệu thứ nhất của vùng MBS liên quan. MBS của nhiều BS không đòi hỏi MS phải đăng ký đến bất kỳ BS nào. MS trong chế độ rỗng có thể truy nhập MBS, nhờ vậy tiêu thụ công suất sẽ thấp. Việc kết hợp linh hoạt MBS với Unicast (đơn phương) cho phép mở rộng các ứng dụng.



Hình 3.36. Hỗ trợ MBS nhúng bằng các vùng MBS

### 3.12. Định cự ly, điều khiển công suất và đo chất lượng kênh

#### 3.12.1. Định cự ly

Truy nhập lần đầu, đồng bộ định kỳ, chuyển giao và các yêu cầu về băng thông được thực hiện bởi MS thông qua kênh định cự ly (Ranging). Định cự ly là một phương tiện quan trọng để MS đồng bộ với BTS trong lần đầu.

Trong IEEE 802.16e, định cự ly là các thủ tục lớp vật lý để duy trì chất lượng và độ tin cậy đường truyền vô tuyến giữa BS và MS. Khi thu được truyỀn dẫn định cự ly từ MS, BS xử lý tín hiệu thu được để đánh giá các thông số đường truyền vô tuyến như đáp ứng xung kim khenh, SINR, và thời gian tới. Dựa trên đánh giá này, BS chỉ thị MS điều chỉnh công suất phát và dịch thời tương đối với BS. Định cự ly có thể là khởi đầu và định kỳ. Định cự ly cho phép BS và MS thực hiện đồng bộ công suất và thời gian.

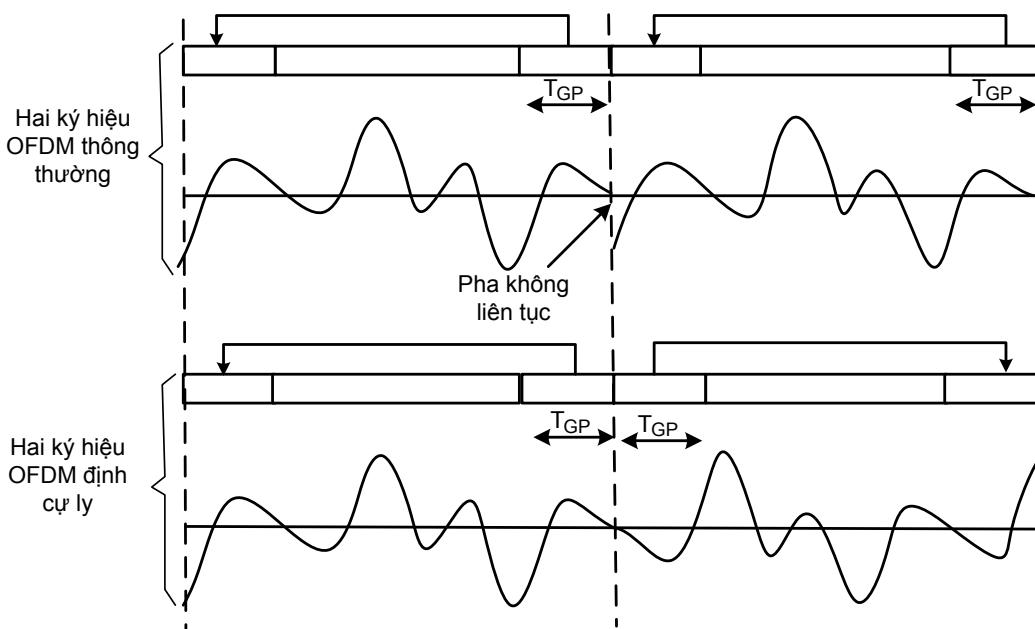
Kênh định cự ly (Ranging Channel) bao gồm một hay nhiều nhóm sáu kênh con liền kề nhau. Tùy chọn, kênh định cự ly có thể bao gồm tám kênh con liền kề. 256 mã nhị phân được

nhóm vào bốn nhóm con như sau: (1) định cực ly lần đầu, (2) định cự ly định kỳ, (3) các yêu cầu băng thông, (2) định cự ly chuyển giao. Mỗi người sử dụng chọn ngẫu nhiên một mã định cự ly từ bảng các mã nhị phân quy định. Sau đó các mã này được điều chế BPSK trên các sóng mang con trong các kênh định cự ly: một bit trên một sóng mang con. Trong quá trình định cự ly có thể xảy ra va chạm và các tín hiệu định cự ly được phân tách bằng giải thuật phân giải va chạm.

BS sẽ sử dụng tín hiệu định cự ly thu được để đánh giá dịch thời và công suất của MS để có thể điều chỉnh phù hợp trước khi cho phép MS truy nhập mạng. Các khả năng xử lý kênh định cự ly bao gồm:

- *Phát hiện.* BS cần nhận dạng mọi MS phát trên kênh định cự ly. Trong trường hợp nhiều MS cùng phát trên một kênh định cự ly và gây sự cố phát hiện, BS sẽ thông báo va chạm
- *Đánh giá dịch thời.* Dịch thời phát của MS so với tham chuẩn thời gian của MS cần được đánh giá trong quá trình định cự ly
- *Do công suất.* MS phát tín hiệu định cự ly theo công suất phát được đánh giá từ điều khiển công suất vòng hở. BS sẽ đo công suất của tín hiệu định cự ly thu được để thực hiện điều khiển công suất vòng kín.

Thủ tục định cự ly bao gồm phát một chuỗi quy định trước (mã định cự ly) được phát lặp trên hai ký hiệu OFDM trong kênh định cự ly như cho trên hình 3.37. Trong quá trình định cự ly, BS xác định các thông số định cự ly bằng cách so sánh tương quan giữa tín hiệu định cự ly thu được với mã định cự ly kỳ vọng mà nó biết trước. Để thực hiện quá trình so sánh tương quan đối với toàn bộ tín hiệu định cự ly bao gồm hai ký hiệu OFDM, cần đảm bảo tính liên tục pha giữa hai ký hiệu này. Vì thế hai ký hiệu OFDM định cự ly được cấu trúc như sau. Ký hiệu OFDM đầu tiên của các kênh con định cự ly được tạo ra giống như một ký hiệu OFDM bình thường: thực hiện IFFT cho mã định cự ly sau đó lấy đoạn cuối dài  $T_{GD}$  gắn thêm và đầu. Ký hiệu thứ hai được tạo ra bằng cách thực hiện IFFT cho mã định cự ly, sau đó lấy phần đầu dài  $T_{GD}$  gắn thêm vào cuối. Bằng các kết cấu này ký hiệu định cự ly có pha liên tục (hình 3.35). Cấu trúc này cho phép BS thu được chính xác yêu cầu từ một MS chưa được định cự ly có sự không đồng bộ về thời gian lớn hơn tiền tố chu trình (CP), điều này thường xảy ra khi tìm mạng lần đầu.



Hình 3.37. Cấu trúc ký hiệu định cự ly

MS có thể tự chọn sử dụng hai mã định cự ly phát liên tiếp trên bốn ký hiệu OFDM. Tùy chọn này giảm xác suất sụt cống và tăng dung lượng định cự ly để hỗ trợ nhiều MS định cự ly đồng thời. Tùy chọn định cự ly bốn ký hiệu cũng cho phép thời gian mất đồng bộ giữa BS và MS lớn hơn. Điều này đặc biệt có ích khi bán kính ô lớn. Thông thường kênh định cự ly bao gồm sáu kênh con và có đến năm ký hiệu OFDM liên tiếp, trong đó chỉ số của các ký hiệu OFDM trong miền thời gian và miền tần số được chứa trong bản tin của kênh FCH. Kênh định cự ly tuân theo chỉ dẫn của bản tin FCH và có thể không được ấn định trong tất cả các khung con đường lê.

Để xử lý yêu cầu định cự ly khởi đầu, một mã định cự ly được phát lặp hai lần trên hai ký hiệu OFDM liên tiếp có pha liên tục. Các mã định cự ly trong IEEE 802.16e -2005 là các chuỗi PN (giả tạp âm) có độ dài 114 được chọn từ một tập 256 mã. Trong số các mã khả dụng, N mã đầu tiên được dành cho định cự ly khởi đầu, M mã tiếp theo được dành cho định cự ly định kỳ, O mã tiếp sau được dành cho yêu cầu băng thông và S mã còn lại được dành cho định cự ly chuyển giao. Các giá trị N, M, O, S được BS quyết định một cách ngẫu nhiên và phát trên các kênh điều khiển. Trong quá trình định cự ly, MS chọn ngẫu nhiên một mã trong số các chuỗi mã PN được BS cho phép. Điều này đảm bảo rằng ngay cả khi hai MS va chạm nhau trong quá trình định cự ly, BS có thể phân tách được chúng. Chuỗi PN lựa chọn được điều chế BPSK và được phát trên các kênh con và các ký hiệu OFDM dành cho kênh định cự ly.

### 3.12.2. Điều khiển công suất

Để duy trì chất lượng đường truyền giữa BS và MS và điều chỉnh tham số toàn hệ thống, một cơ chế điều khiển công suất đường lê được hỗ trợ cùng với thủ tục hiệu chỉnh ban đầu và điều chỉnh định kỳ. BS sử dụng kênh định vị đường lê phát đi từ các MS khác nhau để ước tính các điều chỉnh ban đầu và định kỳ cho điều khiển công suất. BS sử dụng các bản tin quản lý MAC để chỉ dẫn các điều chỉnh công suất cần thiết cho MS. Các yêu cầu cơ sở đối với điều chỉnh công suất như sau:

- ✓ Điều khiển công suất phải có khả năng đảm bảo sự thăng giáng công suất 30dB/s với các độ sâu ít nhất là 10 dB.
- ✓ BS xét đến ảnh hưởng của các đặc điểm cụm khác nhau lên độ bão hòa của bộ khuyếch đại khi phát các lệnh điều khiển công suất, vì PAPR phụ thuộc và đặc điểm cụm
- ✓ MS duy trì mật độ công suất phát như nhau không phụ thuộc vào số lượng các kênh con tích cực được xác định. Khi số các kênh con được xác định đến một MS tăng hoặc giảm, mức công suất phát phải tăng giảm tỷ lệ mà không cần các bản tin điều khiển công suất bổ sung.

Để duy trì mật độ phổ công suất và SINR phù hợp với điều chế và tỷ lệ mã được sử dụng, BS có thể điều chỉnh mức công suất và (hoặc) điều chế và tỷ lệ mã truyền dẫn. Trong một số trường hợp MS có thể điều chỉnh tạm thời mức công suất, điều chế và tỷ lệ mã của mình mà không cần hướng dẫn từ BS. MS báo cáo cho BS về công suất khả dụng tối ưu và công suất phát mà BS có thể sử dụng để xác định tối ưu đặc điểm cụm và các kênh con cho truyền dẫn đường lên. Công suất cực đại khả dụng cho QPSK, 16QAM và 64QAM phải xét đến độ lùi cần thiết do PAPR của các điều chế này.

Trên đường xuống, không có hỗ trợ rõ ràng về điều khiển công suất vòng kín và vấn đề này để mở cho các nhà sản xuất thiết bị. Khi cần thiết điều khiển công suất đường xuống có thể được thực hiện dựa trên hồi tiếp chất lượng kênh do MS cung cấp.

### 3.12.3. Đo chất lượng kênh

Quá trình điều khiển công suất và thích ứng điều chế cũng như tỷ lệ mã được thực hiện dựa trên các kết quả đo chất lượng kênh gồm; chỉ thị cường độ tín hiệu thu (RSSI: Received Signal Strength Indicator) và SINR được MS cung cấp cho BS theo yêu cầu. MS sử dụng phản hồi chỉ thị chất lượng kênh (CQI) để cung cấp thông tin này cho BS. Dựa trên CQI, MS có thể:

- ✓ Thay đổi điều chế và tỷ lệ mã truyền dẫn; thay đổi đặc điểm cụm
- ✓ Thay đổi mức công suất của các truyền dẫn đường xuống liên quan

Do tính thay đổi của kênh vô tuyến, cả giá trị trung bình và lệch chuẩn của RSS và SINR đều được định nghĩa trong CQI. Theo quy định của IEEE 802.16e -2005, máy thu không cần giải điều chế tín hiệu, vì thế giảm được khối lượng xử lý. Khi BS yêu cầu, MS sẽ đo giá trị tức thời của RSS. Sau đó dãy các giá trị đo tức thời của RSSI được sử dụng để tính toán giá trị trung bình và lệch chuẩn của RSSI. Giá trị trung bình và lệch chuẩn của RSSI trong báo cáo đo thứ k được xác định theo phương trình sau:

$$\mu_{RSSI}[k] = (1-\alpha)\mu_{RSSI}[k-1] + \alpha RSSI[k] \quad (3.23)$$

$$\chi^2_{RSSI}[k] = (1-\alpha)\chi^2_{RSSI}[k-1] + \alpha |RSSI[k]|^2 \quad (3.24)$$

$$\sigma_{RSSI}[k] = \sqrt{\chi^2_{RSSI}[k] - \chi^2_{RSSI}[k-1]} \quad (3.25)$$

Trong đó  $RSS[k]$  là giá trị RSS được đo tại thời điểm  $k$ ,  $\alpha$  là một thông số trung bình đặc thù thực hiện, có thể thích ứng và phụ thuộc vào thời gian nhất quán của kênh (phụ thuộc và tần số Doppler của kênh). Các giá trị trung bình và lệch chuẩn sau đó được chuyển vào dB và được báo cáo cho BS.

Khác với đo RSS, đo SINR đòi hỏi giải điều chế tín hiệu và thường cho chỉ thị chất lượng kênh tốt hơn. Tương tự như đo RSSI giá trị trung bình và lệch chuẩn của SINR trong lần báo cáo kết quả đo thứ k như sau:

$$\mu_{SINR}[k] = (1 - \alpha)\mu_{RSSI}[k-1] + \alpha RSSI[k] \quad (3.26)$$

$$\chi^2_{SINR}[k] = (1 - \alpha)\chi^2_{SINR}[k-1] + \alpha |SINR[k]|^2 \quad (3.27)$$

$$\sigma_{SINR}[k] = \sqrt{\chi^2_{SINR}[k] - \chi^2_{SINR}[k-1]} \quad (3.28)$$

Các giá trị trung bình và lệch chuẩn sau đó được chuyển vào dB và được báo cáo cho BS.

### 3.13. Tổng kết

Chương này trình bày lớp vật lý của WiMAX di động được xây dựng trên hai chuẩn IEEE 802.16e và IEEE 802.16m. Trước hết chương này trình bày mô hình lớp vật lý của WiMAX di động IEEE 802.16e. Mô hình S-OFDMA, cấu trúc máy thu phát, cấu trúc khung cũng như các tính năng khác của WIMAX IEEE 802.16e đã được trình bày trong chương này. Sau đó cấu trúc vật lý đường xuống và đường lên của IEEE 802.16 m được trình bày. Tiếp theo chương trình bày các kỹ thuật đa anten cho IEEE 802.16e và IEEE 802.16m. Những phần cuối chương đề cập đến các tính năng tăng cường, các kỹ thuật tiên tiên và các vấn đề về định cự ly, điều khiển công suất, đo đặc trong WiMAX di động.

### Câu hỏi chương 3

1. WiMAX di động được xây dựng trên các chuẩn nào của IEEE
2. Các ứng dụng của WiMAX di động
3. Trình bày cấu trúc lớp vật lý của WiMAX di động
4. Trình bày các thông số S- OFDMA và cấu trúc tín hiệu OFDM của IEEE 802.16e
5. Trình bày các cấu hình kênh DL FUSC và sắp xếp kênh con theo DL FUSC
6. Trình bày các cấu hình kênh DL PUSC và sắp xếp kênh con theo DL PUSC
7. Trình bày các cấu hình kênh UL PUSC và sắp xếp kênh con theo UL PUSC
8. Trình bày sắp xếp kênh con AMC
9. Trình bày Khe và cấu trúc khung TDD
10. Trình bày các thông số OFDM của IEEE 802.16m
11. Trình bày cấu trúc khung tổng quát của IEEE 802.16m
12. Trình bày cấu trúc khung cho  $CP=1/8T_u$
13. Trình bày cấu trúc khung  $CP=1/16T_u$
14. Định nghĩa khái niệm vùng thời gian
15. Trình bày cấu trúc vật lý đường xuống
16. Định nghĩa PRU và LRU đường xuống
17. Trình bày quá trình sắp xếp đơn vị tài nguyên đường xuống

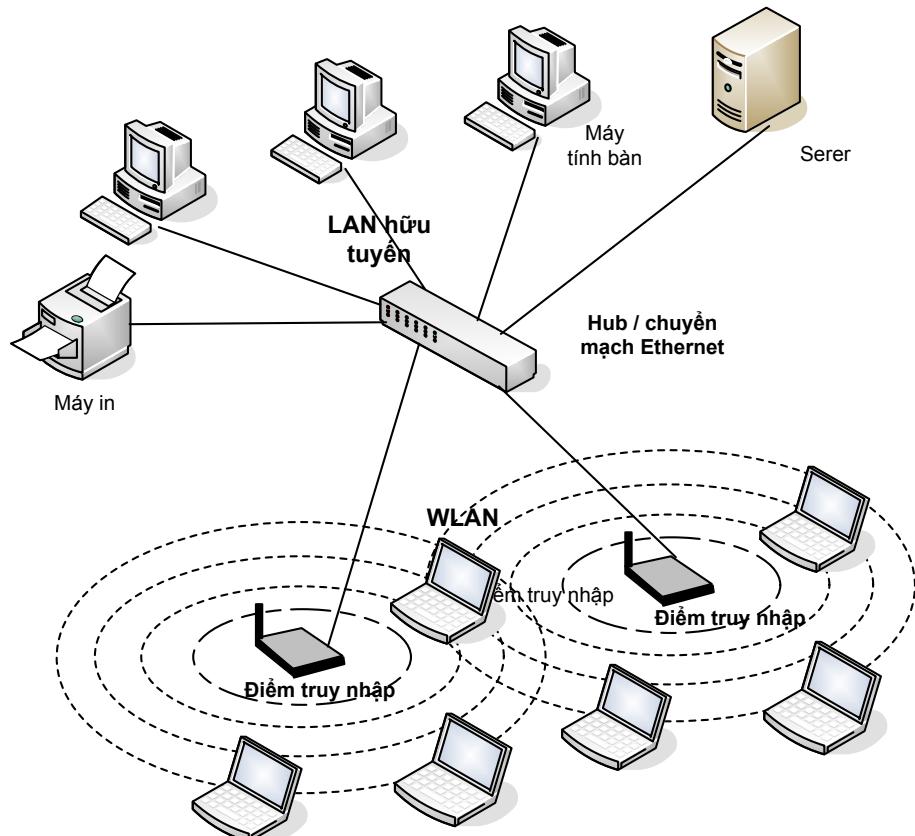
18. Trình bày mẫu hoa tiêu đường xuống
19. Trình bày cấu trúc vật lý đường lên
20. Định nghĩa PRU và LRU đường lên
21. Trình bày quá trình sắp xếp đơn vị tài nguyên đường lên
22. Trình bày mẫu hoa tiêu đường lên
23. Trình bày các sơ đồ điều chế và mã hóa
24. Các sơ đồ MIMO gì được sử dụng cho IEEE 802.16e
25. Trình bày sơ đồ phân tập phát sử dụng hai anten
26. Trình bày sơ đồ phân tập phát sử dụng FHDC
27. Trình bày sơ đồ khối tổng quát cho MIMO vòng kín trong IEEE 802.16e
28. Trình bày sơ đồ MIMO đường xuống trong IEEE 802.16m
29. Trình bày sơ đồ MIMO đường lên trong IEEE 802.16m
30. Trình bày mã hóa CTC
31. Trình bày HARQ
32. Trình bày định cự ly
33. Trình bày tái sử dụng tần số một phần.

## CHƯƠNG 4

### WLAN và WIFI

#### 4.1 Mở đầu

Mạng vùng nội hạt không dây (WLAN: Wireless Local Area Network) là một hệ thống thông tin trong đó người sử dụng kết nối đến một mạng vùng nội hạt (LAN: Local Area Network) bằng cách sử dụng công nghệ vô tuyến. WLAN được thiết kế như là một giải pháp thay thế cho LAN hữu tuyến để giảm thiểu sự cần thiết phải kết nối hữu tuyến. WLAN kết hợp kết nối số liệu với khả năng di động của người sử dụng. Các chức năng của WLAN tương tự như một hệ thống tổ ong. Như thấy trên hình 4.1, mỗi điểm truy nhập (AP: Access Point) là một trạm gốc để truyền số liệu giữa WLAN và cơ sở hạ tầng hữu tuyến. Một điểm truy nhập có thể hỗ trợ một nhóm người sử dụng và cung cấp vùng phủ với cự ly bằng bán kính. Các điểm truy nhập được nối đến mạng hữu tuyến qua một Hub hay một chuyển mạch Ethernet. Người sử dụng truy nhập đến mạng WLAN qua các bộ thích ứng WLAN. Bộ thích ứng này có thể được lắp bên trong máy tính xách tay hay được bổ sung vào các phiên của máy tính PC. Các người sử dụng trong WLAN có thể chuyển động giữa các điểm truy nhập mà không bị mất các kết nối của mình.



Hình 4.1. WLAN và LAN

WLAN phát triển rất mạnh trong một số thị trường bao gồm cả y tế, các trường đại học, các cửa hàng, các khách sạn và các nhà máy công nghiệp. Bằng WLAN, các người sử dụng có thể truy nhập đến các thông tin dùng chung tại mọi nơi trong vùng phủ của WLAN. Các nhà quản trị mạng có thể thiết lập hoặc bổ sung các mạng mà không cần lắp đặt các kết nối hữu tuyến mới. Hỗ trợ di động, linh hoạt trong lắp đặt và sự đơn giản đảm bảo các cơ hội dịch vụ mới và giá thành là ưu thế của WLAN so với các mạng khác.

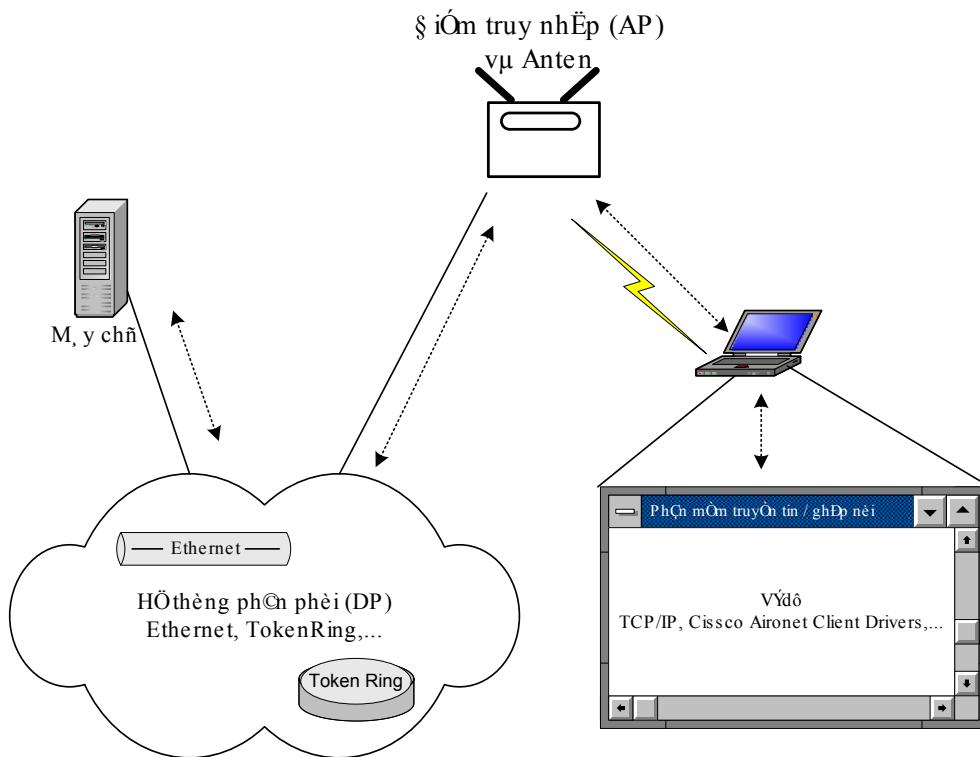
Các công nghệ cho các mạng WLAN được đặc tả trong các tiêu chuẩn IEEE 802.11 và thường được gọi là Wi-Fi (Wireless Fidelity: không dây chất lượng cao) do liên minh WiFi (Wi-Fi Alliance) hỗ trợ. WiFi Alliance là một liên minh quốc tế phi lợi nhuận được thành lập vào năm 1999. Liên minh này chịu trách nhiệm cấp chứng chỉ về tính tương tác của các sản phẩm WLAN sản xuất theo chuẩn 802.11 trên toàn cầu. Hiện nay liên minh này đã có 2000 các công ty thành viên trên toàn cầu và đã cấp chứng chỉ và logo WiFi cho hàng nghìn sản phẩm.

Ngoài WLAN, Bluethooth là công nghệ của WPAN (Wireless Personal Area Network: mạng vùng cá nhân vô tuyến) được phát triển bởi nhóm Bue (Bluetooth Special Interest Group: nhóm quan tâm đặc biệt Bluetooth) được thành lập vào năm 1996 bởi Ericsson, IBM, Intel, Nokia và Toshiba. Tên Bluetooth bắt nguồn từ nhà vua Haral Blatan (Bluetooth) của Đan Mạch. Bluetooth là một tiêu chuẩn mở cho truyền dẫn thoại và số liệu số cự ly ngắn giữa thiết bị di động (máy tính xách tay, các máy hỗ trợ số cá nhân, điện thoại,...) và các thiết bị để bàn. Nó đảm bảo truyền số liệu 720 kbps trên cự ly 10m và 100 m nếu có bộ tăng cường công suất. Bluetooth phát trong băng tần 2,4 GHz không cần xin phép và sử dụng kỹ thuật nhảy tần.

IrDA (Infrared Data Association: liên minh số liệu hồng ngoại) là một công nghệ truy nhập không dây khác được sử dụng để truyền dẫn trên cự ly rất ngắn giữa hai thiết bị. IrDA là một tổ chức gồm nhiều thành viên được thành lập vào năm 1993. IrDA chịu trách nhiệm định nghĩa các đặc tả các giao thức cho thông tin không dây hồng ngoại. Bằng các cửa IrDA, một thiết bị di động (máy tính xách tay hay PDA) có thể trao đổi số liệu với máy tính bàn hay sử dụng máy in mà không cần cáp nối. IrDA đòi hỏi truyền dẫn tầm nhìn thẳng giống như bộ điều khiển TV từ xa. IrDA đảm bảo truyền số liệu lên đến 115,2 kbps. Có thể mở rộng tốc độ lên đến 4Mbps.

## 4.2. Kiến trúc một mạng WLAN

Kiến trúc một mạng WLAN hoàn thiện gồm một số thiết bị và cấu trúc chính, các thiết bị và cấu trúc này không được các chuẩn IEEE 802.11 định nghĩa đầy đủ. Để thoả mãn các yêu cầu của người sử dụng và ứng dụng thì cần phải có các thành phần khác. Hình 4.2 là một hệ thống vô tuyến và các thành phần bổ sung. Một số thành phần có thể sử dụng trong ứng dụng cụ thể. Nhìn chung, hầu hết các vị trí đều có các hệ thống phân phối (DS). Các DS này có thể là Ethernet, Token Ring,... và có thể bao gồm kết nối WAN và LAN.



Hình 4.2. Hệ thống WLAN

Cách tốt nhất để chỉ ra các chức năng này là phải mô tả cấu trúc mạng. Cấu trúc này mô tả các giao thức, phần cứng chính và phần mềm cấu thành mạng. Một cấu hình mạng đều phải được xét trên hai khía cạnh là logic và vật lý.

Như thấy từ hình vẽ, các hệ thống vô tuyến đều có các thành phần vật lý và logic, rất nhiều các thành phần này không được mô tả trong các chuẩn IEEE 802.11. Một số các thành phần không được đưa ra bởi chuẩn 802.11 là các hệ thống phân tán, phần mềm kết nối (các ổ đĩa và các tiện ích của khách hàng vô tuyến) và các giao thức thông tin (TCP/IP, IPX, ...).

#### 4.2.1. Mô hình tham chuẩn OSI

Các thành phần logic và vật lý của một hệ thống vô tuyến áp dụng các chức năng của các lớp mạng, liên kết số liệu và vật lý của mô hình tham chiếu OSI để đáp ứng chức năng cần thiết trong các mạng LAN, WAN và MAN.

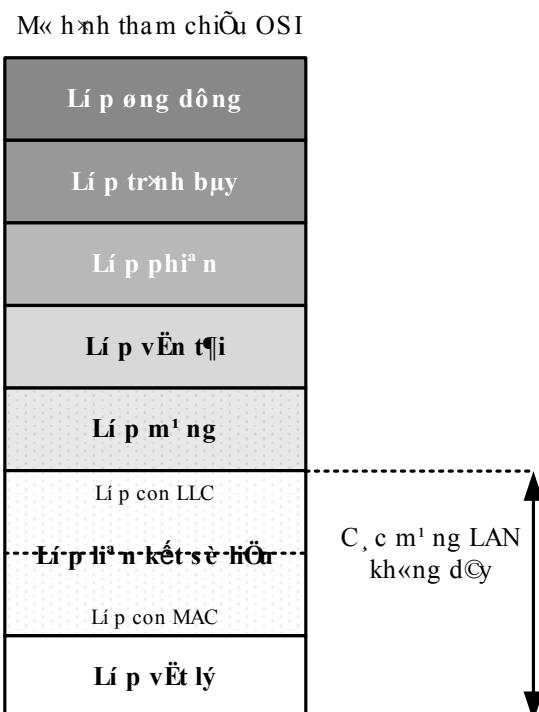
Mô hình tham chiếu OSI cung cấp một cái nhìn tổng quan về kết nối mạng máy tính. Được định nghĩa bởi ISO, mô hình tham chiếu OSI chia khái niệm kết nối mạng máy tính thành 7 lớp. Mỗi lớp thực hiện một chức năng khác nhau được yêu cầu để trao đổi số liệu giữa hai hệ thống. Mỗi lớp riêng lẻ hỗ trợ các chức năng của lớp ở phía trên nó. Bảng 4.1 tóm tắt các lớp và các chức năng của chúng.

Bảng 4.1. Mô hình tham chiếu OSI

Số lớp	Tên lớp	Mô tả
Lớp 7	Lớp ứng dụng (Application)	Lớp ứng dụng định nghĩa các ứng dụng mạng, người sử dụng quan sát được các ứng dụng này.
Lớp 6	Lớp trình bày	Lớp trình bày làm đơn giản hóa cấu trúc số liệu

	(Presentation)	cho lớp ứng dụng. Nó thực hiện các nhiệm vụ như nén văn bản, chuyển đổi hình ảnh thành các chuỗi bit.
Lớp 5	Lớp phiên (Session)	Lớp phiên tạo, điều khiển và kết cuối các phiên giữa các ứng dụng mạng.
Lớp 4	Lớp vận tải (Transport)	Lớp vận tải thiết lập thông tin điểm - điểm tin cậy giữa hai thiết bị mạng. Nó sử dụng các bản tin thông báo và truyền lại để đảm bảo trao đổi số liệu một cách tin cậy. TCP là giao thức hoạt động trong lớp này
Lớp 3	Lớp mạng (Network)	Lớp mạng định tuyến số liệu qua mạng. IP là giao thức hoạt động trong lớp này.
Lớp 2	Lớp liên kết số liệu (Data Link)	Lớp đoạn nối số liệu mô tả số liệu truyền giữa các thiết bị mạng như thế nào. Nó đồng bộ giữa các thiết bị và phát hiện lỗi để đảm bảo sao cho số liệu được truyền tới đích một cách chính xác.
Lớp 1	Lớp vật lý (Physical)	Lớp vật lý định nghĩa kết nối thực tế giữa hai thiết bị. Ví dụ, các tín hiệu điện được truyền dọc theo dây dẫn tương ứng với hoạt động của lớp vật lý.

Hình 4.3 cho thấy m hình OSI và các giao thức cho mạng WLAN.



Hình 4.3. Mô hình OSI và các giao thức cho mạng WLAN

#### 4.2.2. Các thành phần logic của hệ thống không dây

Các thành phần logic của hệ thống vô tuyến là các chức năng và các phân hệ được yêu cầu để thực hiện kết nối mạng trong hệ thống vô tuyến. Không được nhầm với phần cứng thực tế được sử dụng trong các môi trường, các thành phần logic điển hình được xây dựng trên cơ sở trên phần mềm. Nhìn chung, rất nhiều chức năng logic được yêu cầu của các mạng hữu tuyến như Ethernet và Token Ring cũng cần có trong hệ thống vô tuyến. Phần lớn chúng phải phù hợp với các chuẩn mà nhờ đó các mạng hữu tuyến được xây dựng. Các mạng vô tuyến phải tuân theo các chuẩn này nhằm tích hợp với các mạng hữu tuyến.

#### **4.2.2.1. Hệ thống phân phối**

Thuật ngữ hệ thống phân phối (DS: Distribution System) để nói về cấu hình topo của mạng hữu tuyến mà người sử dụng có thể kết nối tới để truy nhập các dịch vụ và các ứng dụng. Rõ ràng, nếu tất cả các dịch vụ mạng và các ứng dụng mà người sử dụng yêu cầu đặt trong các hệ thống vô tuyến truy nhập trực tiếp thì không cần DS. Ví dụ về một mạng vô tuyến mà không yêu cầu DS là mạng ad-hoc, trong mạng này các trạm vô tuyến thông tin trực tiếp và truy nhập các dịch vụ và ứng dụng một cách tương hỗ. Một hệ thống phân phối là hoàn toàn cần thiết nếu các thành phần như các cơ sở số liệu, các ứng dụng, và các dịch vụ in ấn đặt trong các hệ thống truy nhập chỉ từ mạng hữu tuyến. Các nhà thiết kế chuẩn 802.11 tránh định nghĩa của một hệ thống phân phối cụ thể cho kết nối các AP để cho phép các nhà thiết kế hệ thống tự do áp dụng 802.11 - các mạng dựa trên các yêu cầu của mỗi ứng dụng. Điều này cho phép thiết kế hệ thống vô tuyến hiệu quả và kinh tế nhất. Vì thế các nhà thiết kế cần quyết định các công nghệ, các sản phẩm nào sẽ cấu thành hệ thống phân phối nếu cần nhiều AP để mở rộng vùng phủ của hệ thống vô tuyến hoàn thiện.

Trong mọi trường hợp, có thể đặc tả một mạng đường trực LAN hữu tuyến để hoạt động như một hệ thống phân phối. Đặc biệt, các nhà cung cấp bán các AP có khả năng kết nối mạng Ethernet của IEEE hoặc các mạng LAN Token Ring. Hơn nữa có thể cần các thành phần WAN để kết nối các mạng LAN cách biệt ở các khoảng cách xa hơn..

#### **4.2.2.2. Kỹ thuật truy nhập môi trường**

Các kỹ thuật truy nhập môi trường tạo điều kiện thuận lợi cho việc chia sẻ môi trường chung. Thành phần này được mô tả trong chuẩn 802.11 của IEEE.

#### **4.2.2.3. Đồng bộ và kiểm soát lỗi**

Các cơ chế đồng bộ và kiểm soát lỗi đảm bảo cho mỗi liên kết truyền nguyên vẹn số liệu. Lớp liên kết số liệu của mô hình tham chiếu OSI được sử dụng để xử lý chức năng này của hệ thống vô tuyến logic. Chuẩn 802 của IEEE mô tả MAC để được sử dụng cho các mạng WLAN.

#### **4.2.2.4. Các cơ chế định tuyến**

Các cơ chế định tuyến chuyển số liệu từ nguồn ban đầu tới nguồn mong muốn. Các cơ chế này làm việc tại lớp mạng của mô hình tham chiếu OSI.

#### **4.2.2.5. Giao diện ứng dụng**

Giao diện ứng dụng kết nối thiết bị (ví dụ như máy tính xách tay hoặc máy quét mã) tới phần mềm ứng dụng được đặt tại máy chủ. Chương trình e-mail trong máy tính xách tay là

một ví dụ của giao diện ứng dụng. Các giao diện này cũng bao gồm sự giao tiếp của bạn và phần mềm kết nối như TCP/IP và các ổ đĩa của khách hàng vô tuyến.

#### **4.2.3. Các thành phần vật lý của hệ thống vô tuyến**

Để hiểu sâu hơn về cấu trúc vô tuyến, cần nhận biết các thành phần vật lý của hệ thống vô tuyến được sử dụng trong các ứng dụng vô tuyến. Phần này sẽ liệt kê các thuật ngữ chung của các thành phần vật lý trong cấu trúc mạng WLAN và đưa ra một mô tả ngắn gọn về chúng. Ngoài ra phần này cũng đưa ra tổng quan về vị trí của các thành phần trong toàn bộ sơ đồ vô tuyến.

##### **4.2.3.1. Môi trường**

Môi trường truyền dẫn là một thành phần vật lý của mạng đường trực LAN hữu tuyến. Đây là một phần của hệ thống phân phối của hệ thống không dây. Ví dụ, cáp đồng, cáp đồng trực, cáp sợi quang là các thành phần vật lý của các cấu hình topo được định nghĩa như là DS.

##### **4.2.3.2. Điểm truy nhập (AP)**

Một AP (Access Point) là một thiết bị vô tuyến. Các AP là các điểm trung tâm trong một mạng hoàn toàn vô tuyến hoặc là các điểm kết nối giữa một mạng vô tuyến và một mạng hữu tuyến. Có thể đặt nhiều AP để cho phép các người sử dụng có trang bị các bộ thích ứng WLAN di chuyển tự do trong một vùng mở rộng mà vẫn duy trì truy nhập liên tục đến toàn bộ các tài nguyên mạng.

##### **4.2.3.3. Anten**

Anten cùng với không gian có thể được xem là phương tiện truyền dẫn cho các mạng vô tuyến ở bên ngoài DS. Nó là thành phần vật lý phát xạ tín hiệu được điều chế vào không gian sao cho trạm đích có thể thu được. Các loại anten khác nhau về mẫu truyền sóng, hệ số khuếch đại và công suất phát.

##### **4.2.3.4. Trạm vô tuyến**

Trạm vô tuyến là một thiết bị giao tiếp với môi trường truyền dẫn vô tuyến và hoạt động như một thiết bị đầu cuối. Trạm vô tuyến là giao diện của người sử dụng với hệ thống vô tuyến. Các ví dụ về các trạm vô tuyến là máy tính cá nhân và các PDA có các mạch giao diện mạng vô tuyến (các mạch vô tuyến) được lắp đặt các bộ đọc mã vạch và các bộ tập trung (hub) vô tuyến. Các Hub vô tuyến cho phép bổ sung thiết bị mạng hữu tuyến như là các máy chủ in hoặc các máy tính có các mạch giao diện mạng hữu tuyến truyền thông để chúng có thể truy nhập được tới mạng vô tuyến.

##### **4.2.3.5. Server**

Mặc dù không cần thiết trực tiếp kết nối với một mạng vô tuyến, các Server vẫn là thành phần quan trọng trong một hệ thống vô tuyến. Trong nhiều trường hợp, các trạm vô tuyến cần phải truy nhập các máy chủ để in và gửi e-mail, chia sẻ các file và truy nhập ứng dụng.

## 4.3. Cấu hình topo của WLAN

### 4.3.1. Cấu hình WLAN

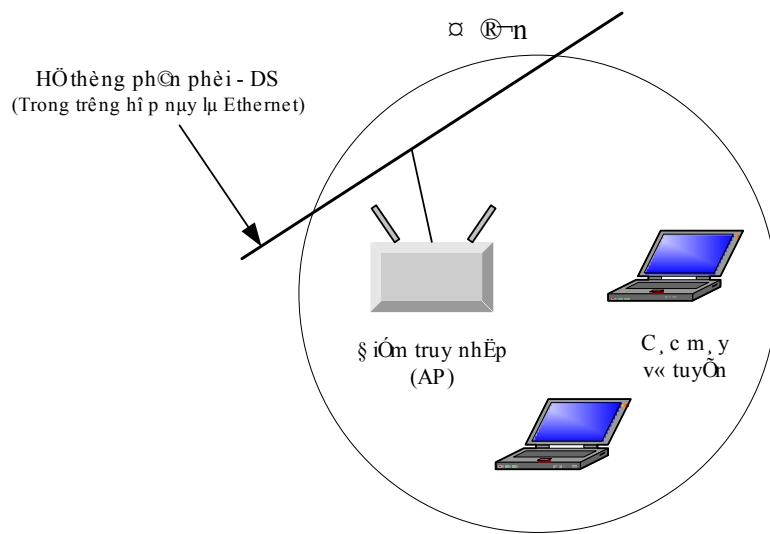
Cấu hình topo của một mạng Ijoong dây là động. Do vậy, địa chỉ đích không luôn luôn phù hợp với vị trí của đích. Điều này đặt ra một vấn đề khi nào gửi các khung qua mạng để truyền tới đích mong muốn.

Cấu hình topo IEEE 802.11 có các thành phần, được gọi là "các tập" (TA: Set), để đảm bảo một mạng WLAN có thể cung cấp khả năng di động trong suốt cho một trạm. Chuẩn 802.11 hỗ trợ 3 tập cấu hình sau:

1. Các mạng tập dịch vụ cơ sở (BSS: Base Service Set)
2. Các mạng tập dịch vụ cơ sở độc lập (IBSS: Independent Basic Service Set)
3. Các mạng tập dịch vụ mở rộng (ESS: Extended Service Set)

#### 4.3.1.1. Các mạng tập dịch vụ cơ sở (BSS: Base Service Set)

Tập cấu trúc topo cơ sở của các hệ thống 802.11 là tập dịch vụ cơ sở (BSS). BSS gồm có ít nhất một AP được kết nối đến mạng cố định và một tập hợp các trạm đầu cuối vô tuyến (hình 4.4). Các cấu hình BSS dựa vào AP hoạt động như một máy chủ logic cho một ô hoặc một kênh WLAN đơn. Thông tin giữa hai trạm đầu cuối thực chất là truyền từ một trạm tới một AP và từ một AP tới một trạm khác.

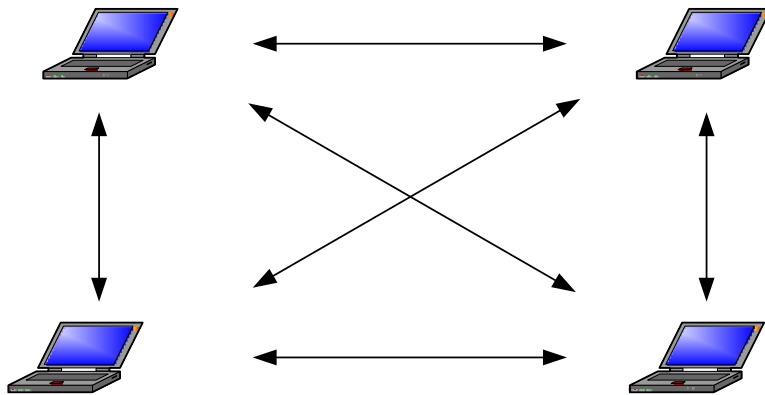


Hình 4.4. Mạng BSS

#### 4.3.1.2. Các mạng tập dịch vụ cơ sở độc lập (IBSS: Independent Basic Service Set)

Các mạng IBSS cũng được xem như một cấu hình độc lập hoặc mạng ad-hoc. Tuy nhiên, cấu hình IBSS là rất giống mạng cơ quan hay mạng gia đình đồng cấp trong đó không cần có một nút làm nhiệm vụ server (hình 4.5). Các tập giao thức IBSS gồm nhiều trạm đầu cuối vô tuyến thông tin trực tiếp với một trạm khác mà không có AP xen vào hoặc bất kỳ kết nối nào tới một mạng cố định. Điều này hiệu quả cho việc thiết lập một mạng không dây nhanh chóng và dễ dàng ở bất kỳ nơi nào mà cơ sở hạ tầng không dây không tồn tại hoặc không được yêu cầu cho các dịch vụ như các phòng họp tại các khách sạn, sân bay hoặc triển lãm thương mại,

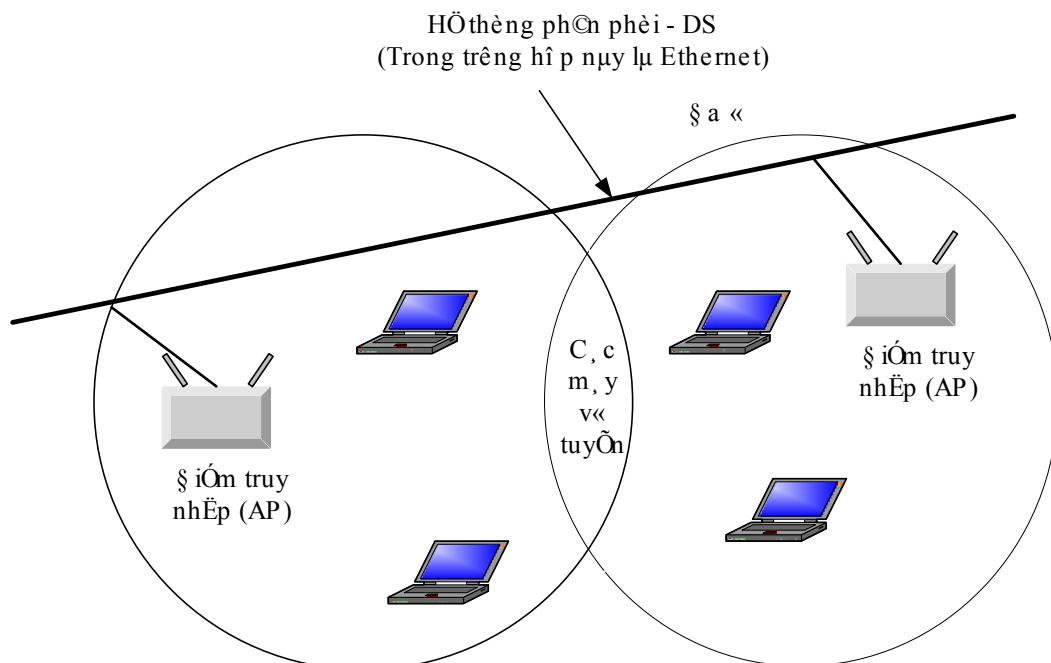
hoặc truy nhập tới mạng hìalu tuyến bi cámm (ví dụ như cho các cò ván tại máy khách hàng). Nhìn chung, các ứng dụng ad-hoc bao phủ một vùng nhỏ và không được kết nối tới bất kỳ mạng nào.



Hình 4.5. Mạng IBSS

#### 4.3.1.3. Các mạng tập dịch vụ mở rộng (ESS: Extended Service Set)

Các cấu hình topo ESS gồm một loạt các bộ BSS chồng lấn lên nhau (mỗi BSS có một AP), các bộ BSS thường được coi như các ô. Các ô này thường được kết nối với nhau bởi môi trường hìalu tuyến (là DS đã xét trong phần cấu trúc vô tuyến) (hình 4.6). Mặc dù DS có thể là bất kỳ loại mạng nào nhưng nó hầu như là một Ethernet LAN. Các trạm đầu cuối di động có thể chuyển vùng giữa các AP để tạo nên một vùng phủ rộng liên tục của ESS. Do hầu hết các mạng WLAN thành phần đều yêu cầu truy nhập đến mạng LAN hìalu tuyến để nhận các dịch vụ (các server file, các máy in, các đường kết nối Internet) nên chúng sẽ hoạt động trong một cấu hình topo BSS/ESS.



Hình 4.6. Mạng ESS

Các mạng này sử dụng một khái niệm cơ bản: Chuẩn 802.11 được xem như BSS, cung cấp vùng phủ mà trong đó các trạm của BSS (hoặc ESS) luôn được kết nối. Trạm tự do di chuyển trong BSS, nhưng nó sẽ không còn thông tin trực tiếp với các trạm khác nếu rời khỏi BSS/ESS.

Vấn đề hấp dẫn khi triển khai mạng WLAN là với 802.11, các người sử dụng có thể tự do di chuyển mà không cần phải lo lắng phải chuyển mạch các kết nối mạng bằng nhân công. Nếu chúng ta hoạt động với một BSS đơn thì việc di chuyển này sẽ bị giới hạn vùng phủ của một AP. Thông qua ESS, kiến trúc 802.11 của IEEE cho phép các người sử dụng có thể di chuyển giữa nhiều BSS. Trong một ESS các AP thông tin với nhau bằng cách gửi lưu lượng từ một BSS này đến một BSS khác cũng như là chuyển mạch các thiết bị chuyển vùng từ một BSS này đến một BSS khác.

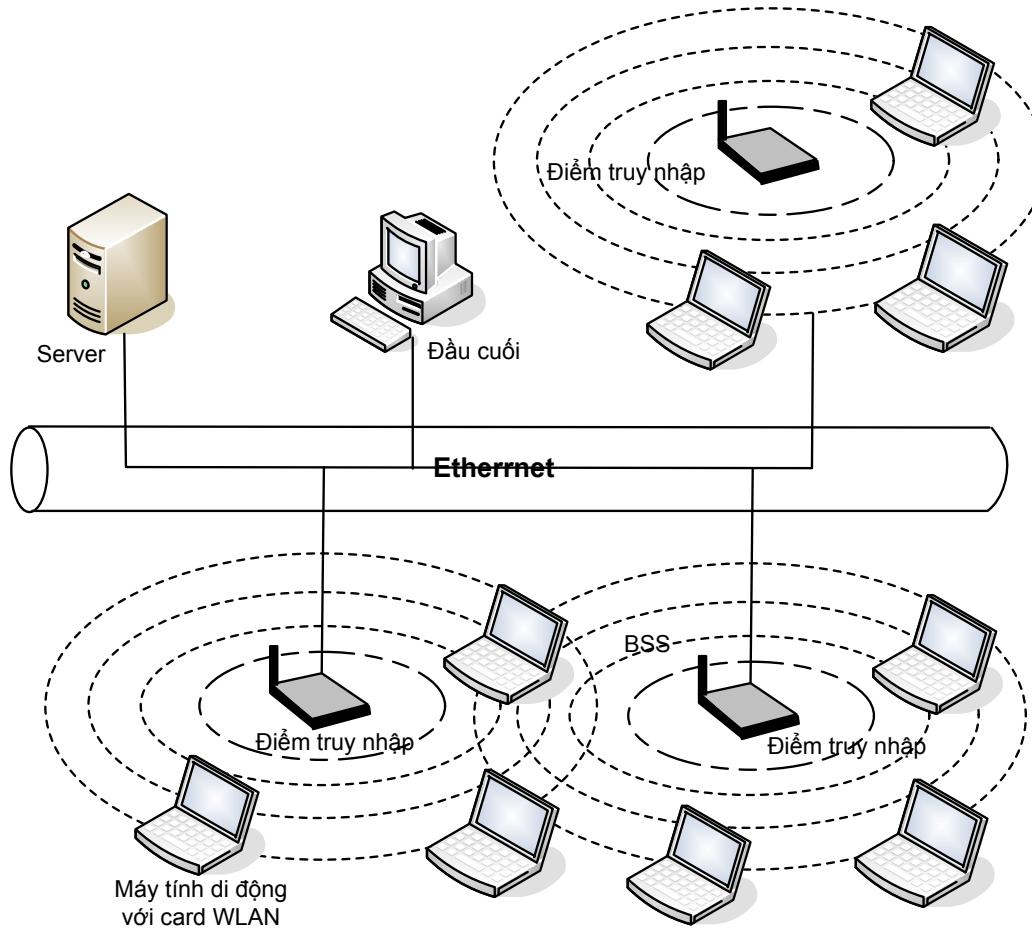
Điều làm cho mạng WLAN trở nên độc đáo là sự tương tác vô hình giữa các thành phần của một tập dịch vụ mở rộng. Các thành phần của thiết bị trên mạng hữu tuyến không hề biết việc chúng đang trao đổi thông tin với một thiết bị WLAN di động cũng như các chuyển mạch đang xảy ra khi thiết bị vô tuyến thay đổi từ một AP này tới một AP khác. Đối với mạng hữu tuyến, điều duy nhất mà nó biết được là một địa chỉ MAC cố định mà nó cần nối tới, hoàn toàn giống như MAC trên các nút của mạng hữu tuyến.

Vì các AP tồn tại trong mô hình này nên các thiết bị vô tuyến không trao đổi thông tin theo kiểu đồng cấp nữa. Thay vào đó, tất cả các lưu lượng từ một thiết bị đến một thiết bị khác được chuyển tiếp qua AP. Thậm chí mặc dù có vẻ như điều này sẽ làm tăng thêm gấp đôi lượng lưu lượng trên mạng WLAN, nhưng nó cũng đảm bảo nhớ đệm lưu lượng trên AP khi một thiết bị đang hoạt động ở chế độ công suất thấp.

#### 4.3.2. Kiến trúc sở và chế độ khai thác mạng đối với hệ thống 802.11

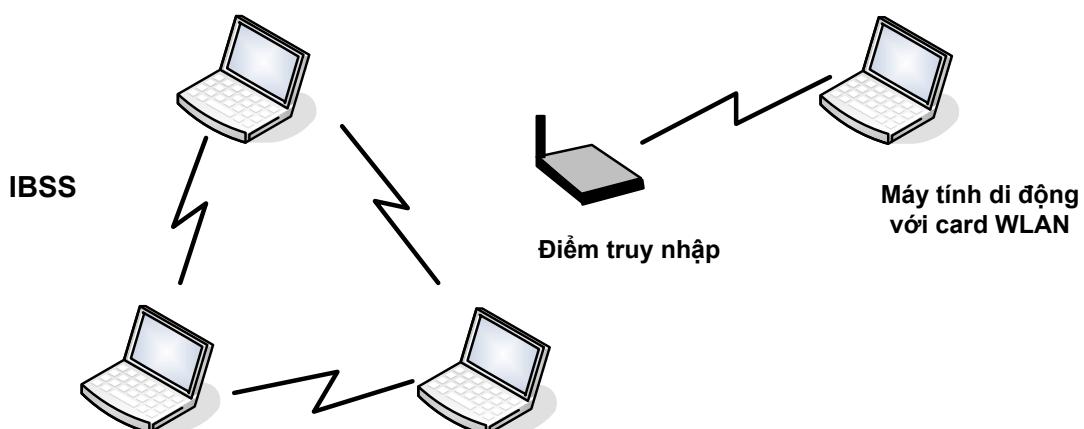
Tồn tại hai kiến trúc cơ sở hay còn gọi là hai chế độ khai thác đối với một hệ thống 802.11 là: chế độ hạ tầng và chế độ “ad-hoc”.

Trong chế độ hạ tầng (xem hình 4.7), các thiết bị không dây liên lạc với WLAN qua các điểm truy nhập. Mỗi mỗi điểm truy nhập và các thiết bị không dây là một BSS. Một tập dịch vụ mở rộng (ESS: Extended Service Set) bao gồm hai hay nhiều BSS trong cùng một mạng con. Các điểm truy nhập không chỉ cung cấp các đường thông giữa các WLAN mà còn quản lý cả lưu lượng số liệu không dây. Nhiều điểm truy nhập có thể đảm bảo một vùng phủ sóng rộng lớn cho toàn bộ tòa nhà hoặc khuôn viên. Chế độ hạ tầng cho phép các người sử dụng không dây chia sẻ hiệu quả tài nguyên mạng.



Hình 4.7. Chế độ cơ sở hạ tầng của WLAN

Chế độ “ad-hoc” còn được gọi là chế độ đồng cấp được thể hiện trên hình 4.8. Đây là một cấu hình WLAN đơn giản nhất. Trong chế độ “ad-hoc”, các thiết bị không dây có thể liên lạc trực tiếp với nhau và không cần sử dụng điểm truy nhập. Chế độ này có cấu hình IBSS (Independent Base Service Set: tập phục vụ độc lập). Các mạng độc lập này thường không đòi hỏi quản trị hay lập cấu hình trước. Các điểm truy nhập có thể mở rộng cực ly của “ad-hoc” WLAN thông qua chức năng hoạt động như một bộ lặp để tăng khoảng cách giữa các thiết bị.

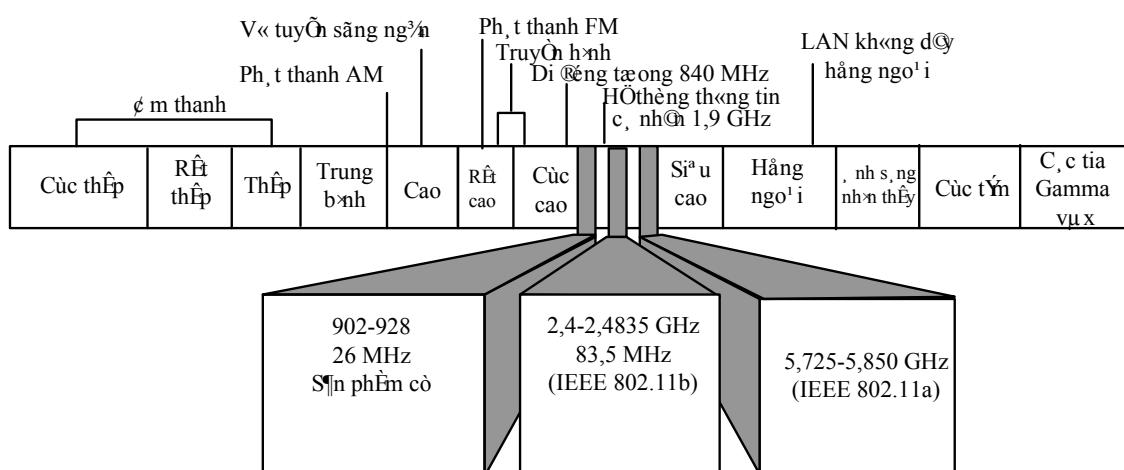


Hình 4.8. Chế độ Ad-Hoc của WLAN.

#### 4.4. Các băng tần của WLAN

Nhằm tránh nhiễu từ các tín hiệu vô tuyến ở Mỹ, Uỷ ban thông tin liên bang (FCC: Federal Communications Commission) có trách nhiệm phân bổ các bộ phận của phổ vô tuyến cho các mục đích cụ thể, khi đó các tần số được phân bổ này được gọi là các tần số được cấp phép. Để phát quảng bá các tín hiệu tại các tần số này, phải nộp đơn đến FCC để xin một giấy phép. FCC đã phân bổ các băng tần vô tuyến cách biệt như là các băng tần sử dụng công cộng cho phép thiết bị sử dụng một số phổ tần vô tuyến mà không cần phải xin phép. Các tần số này được gọi là các băng tần ISM, ISM (Industrial Scientific and Medical) là từ viết tắt của dải tần sử dụng cho mục đích y học, khoa học và công nghiệp.

Có 3 dải tần không cần cấp phép trong băng tần ISM. Chúng là các tần số 900 MHz, 2,4 GHz và 5,8 GHz (hình 4.9). Gần đây, FCC cũng mở ra băng tần 5,2 GHz cho sử dụng không cần cấp phép các thiết bị thông tin số liệu tốc độ cao được gọi là UNII (Umlicensed National Information Infrastructure: Cơ sở hạ tầng thông tin quốc gia không cần cấp phép). Băng tần 5,2 GHz cũng là băng tần được sử dụng cho tiêu chuẩn HiperLAN của ETSI. Bảng 4.1 liệt kê các băng tần 802.11b bỗ xung.



Hình 4.9. Các băng tần ISM không cần cấp phép

Bảng 4.1. Các băng tần vô tuyến 802.11b theo vùng địa lý

Kênh số	Tần số (GHz)	Bắc Mỹ	Châu Âu	Tây Ban Nha	Pháp	Nhật
1	2,412	X	X			
2	2,417	X	X			
3	2,422	X	X			
4	2,427	X	X			
5	2,432	X	X			
6	2,437	X	X			
7	2,442	X	X			
8	2,447	X	X			
9	2,452	X	X			
10	2,457	X	X	X	X	
11	2,462	X	X	X	X	

12	2,467		X		X	
13	2,472		X		X	
14	2,483					X

Tổng số kênh được phân bổ cho một vùng địa lý có rất quan trọng. Chuẩn IEEE 802.11 có thể đa dạng hơn đối với các khu vực mà các kênh bổ sung được phân bổ. Có được ưu điểm này là do có thể triển khai nhiều kênh hơn. Khả năng nhiễu từ các thiết bị vô tuyến khác sẽ giảm hoặc được loại bỏ bằng cách cho phép nhiều kênh được triển khai trong một vùng.

## 4.5. Các tiêu chuẩn WLAN

Như đã thấy ở các mục trước, sự phối hợp của công nghệ vô tuyến và các chức năng của công nghệ này là yếu tố chính cho sự tin cậy và thành công của hệ thống vô tuyến. Nhiều nhà cung cấp đã xây dựng và kết hợp với các tổ chức tiêu chuẩn để tạo ra phần cứng và công nghệ WLAN hiện nay. Do các tiêu chuẩn được đưa ra bởi sự kết hợp này nên chúng ta có thể có được các hệ thống vô tuyến tin cậy, hiệu quả với chi phí thấp.

Các tổ chức tiêu chuẩn là một nhóm người quan tâm đến việc phát triển và kết hợp các quy tắc đánh giá số lượng, trọng lượng, qui mô, giá trị hoặc chất lượng của một công nghệ hoặc một ý tưởng được đưa ra nhằm để phát triển một mô hình hoặc một thử nghiệm cho một ý tưởng hoặc công nghệ. Đến lượt mình, đánh giá này lại cho phép những người khác có thể xây dựng mô hình hoặc thử nghiệm và cải tiến kỹ thuật hoặc công nghệ hiện có, hoặc trong một số trường hợp, phát triển các ý tưởng và công nghệ mới. Trong mạng vô tuyến, các tổ chức tiêu chuẩn đã có một tác động mạnh trong việc cho phép các công nghệ vô tuyến mới áp dụng từ lý thuyết tới thực tiễn với tốc độ rất nhanh. Do các tiêu chuẩn được sử dụng như là một cơ sở cho công nghệ vô tuyến mà hầu hết các nhà cung cấp đều sử dụng nên các người sử dụng có thể thu được lợi nhuận từ khả năng phối hợp hoạt động, độ tin cậy và hiệu quả.

Các tiêu chuẩn vô tuyến đã được phát triển ở cả Mỹ và các nước khác và những tiến bộ giúp cho việc sử dụng các tiêu chuẩn này trở thành hiện thực đang hình thành nên ngành công nghiệp vô tuyến. Để hiểu một cách đầy đủ các nguyên lý cơ sở về vô tuyến, kiến trúc và các xem xét thiết kế, ta cần phải hiểu các tiêu chuẩn hiện có nào là dành cho WLAN và tổ chức nào đã đưa ra các tiêu chuẩn nào.

### 4.5.1. Viện công nghệ điện và điện tử (IEEE)

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers: viện công nghệ điện và điện tử) là một tổ chức phát triển các chuẩn cho hầu hết các vấn đề có liên quan đến điện và điện tử. Không chỉ giới hạn ở các vấn đề liên quan đến máy tính, IEEE nghiên cứu các vấn đề liên quan đến thực tế kỹ thuật, từ ngành công nghiệp ô tô đến ngành hàng hải, từ các mạng nơron đến các cấu kiện siêu dẫn. Với 36 hiệp hội kỹ thuật bao trùm, các chuyên ban xử lý các vấn đề chuyên sâu cho một công nghệ đặc thù hoặc nhiều công nghệ để phát triển các chuẩn nhằm thúc đẩy tiến bộ công nghệ.

Chuyên ban tiêu chuẩn 802 LAN/WAN của IEEE phát triển các chuẩn LAN và các chuẩn MAN. Các chuẩn được sử dụng rất rộng rãi cho họ Ethernet, Token Ring, WLAN, và các mạng LAN được liên kết ảo. Tất cả các chuẩn được tạo ra bởi chuyên ban này được ký

hiệu là 802. “80” trong 802 ký hiệu cho năm thành lập chuyên ban và “2” ký hiệu cho tháng thành lập. Các nhóm nghiên cứu và các nhóm tư vấn kỹ thuật trong chuyên ban được ký hiệu bởi dấu chấm và số “.#”. Ví dụ các chuẩn 802.11 ký hiệu cho nhóm nghiên cứu WLAN trong hội đồng các chuẩn LAN/WAN. Các chữ sau đó là các ký hiệu thể hiện các phiên bản hay thay đổi so với các chuẩn ban đầu của nhóm nghiên cứu. Các nhóm này gặp nhau một vài lần trong năm để thảo luận các xu thế mới trong lĩnh vực của họ và để tiếp tục quá trình hoàn thiện chuẩn hiện tại.

Trước khi tiếp nhận chuẩn 802.11, các nhà cung cấp kết nối mạng số liệu không dây đã chế tạo thiết bị dựa trên công nghệ bản quyền. Lo ngại phải ràng buộc với một nhà cung cấp thiết bị, các khách hàng vô tuyến chuyển sang các công nghệ hữu tuyến được chuẩn hóa cao hơn. Như vậy, việc triển khai các mạng không dây đã không xảy ra trên phạm vi rộng và vẫn là một phương tiện đắt tiền dành cho các công ty lớn có ngân quỹ lớn.

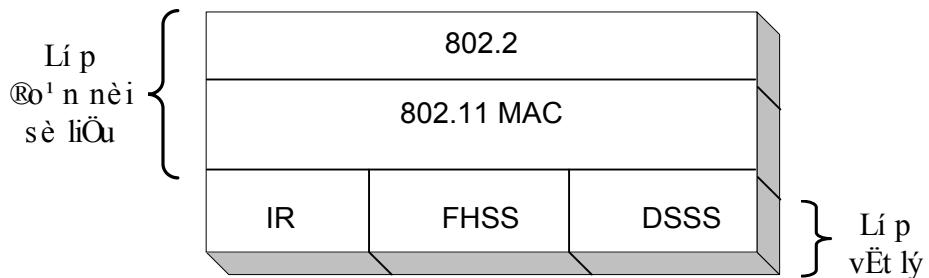
Cách duy nhất để các mạng WLAN được chấp nhận là các phần cứng liên quan có giá thành thấp và trở thành các mặt hàng thông thường như các bộ định tuyến và thiết bị chuyển mạch. Nhận thấy rằng cách duy nhất để làm được điều này là phải có một chuẩn kết nối mạng số liệu không dây, nhóm 802 của IEEE đã đảm nhiệm thách thức lần thứ 11 của họ. Do rất nhiều thành viên của nhóm nghiên cứu 802.11 là người làm việc cho các nhà cung cấp các công nghệ vô tuyến nên đã có nhiều bước tiến trong việc đạt được các chức năng cụ thể trong bản ghi chi tiết kỹ thuật cuối cùng. Mặc dù điều này đã làm chậm quá trình hoàn thành 802.11 nhưng nó cũng đã tạo đà cho một chuẩn phong phú cho mở rộng tương lai.

Vào ngày 26 tháng 6 năm 1997, IEEE đã thông báo hoàn thiện chuẩn 802.11 cho các mạng WLAN. Do tại thời điểm đó, các chi phí trong việc triển khai mạng dựa trên chuẩn 802.11 giảm nén các mạng WLAN nhanh chóng được triển khai rộng rãi tại các trường học, doanh nghiệp và nhà ở.

Như được đề cập trước đó, lý do chính mà các mạng WLAN không được chấp nhận rộng rãi là thiếu chuẩn. Do vậy vấn đề đặt ra là liệu các nhà cung cấp có chấp nhận chuẩn khai thác không độc quyền, trong khi họ cạnh tranh để sản xuất các sản phẩm khác biệt và duy nhất. Mặc dù 802.11 đã chuẩn hóa các lớp điều khiển truy nhập môi trường (MAC), lớp vật lý (PHY), các tần số để phát và thu, các tốc độ truyền dẫn..., nhưng không hoàn toàn đảm bảo rằng các sản phẩm của các nhà cung cấp khác nhau sẽ tương thích 100%. Thực tế, một số nhà cung cấp đã đưa các đặc điểm tương thích ngược vào các sản phẩm 802.11 của họ nhằm hỗ trợ các khách hàng hợp pháp của họ. Các nhà cung cấp khác đưa ra các mở rộng bản quyền (ví dụ, tương thích tốc độ bit và mật mã tốt hơn) vào các đề nghị của 802.11.

#### 4.5.2. Chuẩn 802.11

Trong tất cả các chuẩn 802.x, đặc tả của 802.11 bao gồm hoạt động của các lớp PHY và MAC. Như thấy trong hình 4.10, 802.11 định nghĩa một phân lớp của MAC, các dịch vụ và các giao thức của MAC và 3 lớp vật lý.



Hình 4.10. Khuôn dạng khung của 802.11.

Ba lựa chọn lớp vật lý cho 802.11 là PHY băng tần cơ sở hồng ngoại và hai PHY vô tuyến. Do các giới hạn nhìn thẳng, nên PHY hồng ngoại được triển khai rất ít. Lớp vật lý bao gồm FHSS và DSSS trong băng tần 2,4 GHz. Tất cả 3 lớp vật lý hoạt động tại 1 hoặc 2 Mb/s. Hầu hết các ứng dụng của 802.11 sử dụng phương pháp DSSS.

FHSS hoạt động thông qua việc gửi các cụm số liệu qua nhiều tần số. Như tên của phương pháp này đã thể hiện rõ nó nhảy giữa các tần số. Cụ thể, các thiết bị sử dụng tới 4 tần số đồng thời để phát thông tin và chỉ trong một khoảng thời gian ngắn trước khi nhảy tới các tần số khác. Các thiết bị sử dụng FHSS phù hợp với các tần số đang được sử dụng. Thực tế, do sử dụng chu kỳ thời gian của tần số ngắn và sự phù hợp của các tần số của thiết bị nên nhiều mạng độc lập có thể cùng tồn tại trong cùng một không gian vật lý.

DSSS có chức năng chia số liệu thành các phần nhỏ và gửi đồng thời các phần số liệu này trên nhiều tần số ở mức cho phép, không giống như FHSS chỉ gửi trên một số tần số đã được định trước. Quá trình này cho phép các tốc độ truyền dẫn cao hơn FHSS nhưng nó dễ bị nguy hiểm khi có mặt nhiều can nhiễu. Lý do là do tại một thời điểm cho trước số liệu trải trên một phần khá lớn của phổ tần so với FHSS. Thực chất, DSSS chiếm toàn bộ phổ tần tại một thời điểm trong khi đó FHSS phát có lựa chọn một số tần số xác định.

Việc hoàn thành chuẩn IEEE 802.11 vào năm 1997 cho các mạng WLAN là bước quan trọng đầu tiên trong quá trình phát triển vượt bậc của các công nghệ kết nối mạng vô tuyến. Chuẩn này được phát triển để tối đa hóa sự tương tác giữa các loại mạng WLAN khác nhau cũng như đưa ra một loạt các cải tiến và lợi ích.

PAR (Yêu cầu nhận thực dự án) 802.11 phát biểu rằng "... phạm vi của chuẩn được đề trình [WLAN] là để phát triển một đặc tả kỹ thuật cho kết nối vô tuyến đối với các trạm chuyển động, xách tay, cố định trong một vùng nội hạt". PAR còn phát biểu thêm rằng "... mục đích của chuẩn là để cung cấp kết nối vô tuyến đến các máy và thiết bị tự động hoặc các trạm yêu cầu sự triển khai nhanh, chúng có thể là các thiết bị xách tay, cầm tay hoặc chúng có thể được gắn trên các phương tiện đang chuyển động trong một vùng nội hạt".

Chuẩn đạt được cuối cùng, thường được gọi là chuẩn IEEE để đặc tả truy nhập môi trường (MAC) và lớp vật lý (PHY) của WLAN. Nó định nghĩa các giao thức phía không gian cần thiết để hỗ trợ cho việc kết nối mạng trong một vùng nội hạt.

#### 4.5.3. Chuẩn 802.11b

Tiêu chuẩn 802.11b còn được gọi là WiFi, là một bộ phận của các tiêu chuẩn IEEE 802.11 WLAN. Đặc tả 802.11b được hoàn thiện vào năm 1999. Đây là hệ thống WLAN thương mại đầu tiên và được sử dụng rộng rãi trên toàn thế giới. Nó tương thích ngược với 802.11 và có thể cung cấp tốc độ số liệu từ 1 đến 11 Mbps trong một WLAN chia sẻ.

Thế hệ đầu tiên của chuẩn 802.11 WLAN hỗ trợ ba đặc tả lớp vật lý: FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum: trả phỏng nhảy tần), DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum: trai phỏng chuỗi trực tiếp) và IR (Infrared: tia cực tím). Trong băng tần 2,4MHz, tốc độ số liệu ban đầu được thiết kế là 1-2Mbps.

Ngày 16/9/1999, IEEE đã cho ra một phiên bản chuẩn 802.11 được gọi là 802.11b tốc độ cao (HR/DSSS). Chuẩn này cho phép cung cấp tốc độ số liệu cao hơn rất nhiều mà vẫn giữ lại những giao thức cơ bản của chuẩn 802.11. Những cấu trúc, dịch vụ và các đặc tính cơ bản của chuẩn 802.11b được kế thừa từ chuẩn 802.11 và chỉ có sự thay đổi ở lớp vật lí cho phép tăng tốc độ số liệu và khả năng kết nối bền vững.

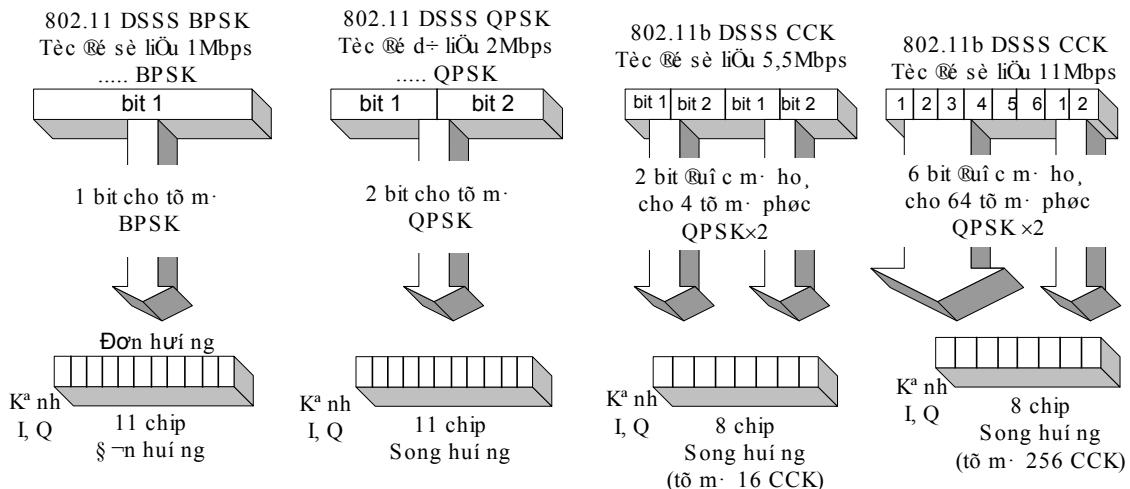
Những đóng góp của chuẩn 802.11b vào tiêu chuẩn WLAN là việc chuẩn hoá lớp vật lí hỗ trợ cho 2 tốc độ mới: 5,5 Mbps và 11 Mb/s. Để đạt được điều này, người ta đã phải chọn DSSS là kỹ thuật duy nhất cho lớp vật lí vì kỹ thuật nhảy tần không thể hỗ trợ tốc độ cao mà không gây vi phạm quy định FCC hiện tại. Vi phạm này là ở chỗ hệ thống 802.11b hoạt động tương tác ở tốc độ 1 Mbit/s và 2 Mbit/s với hệ thống 802.11 DSSS, nhưng không làm việc ở tốc độ đó với hệ thống 802.11 FHSS. Bởi vì chuẩn 802.11b không cung cấp cho hệ thống FHSS, hầu hết các nhà cung cấp dịch vụ đều áp dụng DSSS với tiêu chuẩn 802.11b. Nó cho phép sự chuyển đổi dễ dàng từ hệ thống 802.11 DSSS 2 Mbit/s lên hệ thống 802.11b 11 Mbit/s vì sơ đồ điều chế cơ bản giống nhau. Hệ thống 802.11 DSSS 2 Mb/s có thể cùng tồn tại với hệ thống 802.11b cho phép sự chuyển dịch lên hệ thống tốc độ cao được thuận tiện. Điều này tương tự như việc chuyển dịch hệ thống Ethernet 10 Mb/s lên hệ thống Ethenet 100 Mb/s cho phép cải thiện hiệu năng trong khi vẫn giữ lại các giao thức cũ. Để chuyển đổi hệ thống FHSS 1 Mb/s, 2 Mb/s sang hệ thống DSSS 11Mb/s cần thay thế toàn bộ thiết bị vô tuyến trong các vùng hiện đang sử dụng FHSS dẫn đến chi phí cao.

802.11b hoạt động trong băng tần ISM (Industrial , Scentific and Medical: công nghiệp, khoa học và y tế). Băng ISM là một đoạn phổ trong đó mọi người có thể sử dụng mà không cần xin phép trong phần lớn các nước trên thế giới. Trước đây sơ đồ điều chế được sử dụng trong 802.11 là PSK. Phương pháp điều chế được lựa chọn cho 802.11b là CCK (Complementary Code Keying: khóa chuyển mã bù) cho phép đạt được tốc độ số liệu cao hơn và nhạy cảm với truyền sóng đa đường.

CCK (Complementary Code Keying) là một chuẩn điều chế dựa trên kỹ thuật điều chế chuyển khoá trực giao Mary (MOK). Không giống như BPSK và QPSK, kỹ thuật này không phải là kỹ thuật điều chế được định nghĩa trong chuẩn IEEE 802.11 ban đầu cho các mạng WLAN. CCK là một kỹ thuật điều chế mới để vượt qua các giới hạn tốc độ mang 2 Mb/s trong các chuẩn trước đó. Kỹ thuật này được chấp nhận trong chuẩn IEEE 802.11b mới và hiện được sử dụng bởi hầu hết các nhà cung cấp.

CCK là điều chế QPSK được mã hoá, trong đó các bit số liệu ban đầu được sắp xếp vào ký hiệu số liệu được sửa đổi tương ứng, 8 bit cho một ký hiệu 8 bít. Sau đó ký hiệu số liệu

được đưa vào các pha khác nhau của dạng sóng tương tự như trong các điều chế khoá chuyển pha. Dạng sóng thu được tương tự như điều chế QPSK 2 Mb/s, nhưng tốc độ số liệu là 11 Mb/s. CCK sử dụng một tập các hàm được biết đến như là các mã bù để gửi số liệu bổ sung trong dạng sóng. CCK cung cấp một bít bổ sung cho mỗi kênh đồng pha (kênh I) và pha vuông góc (kênh Q) bằng việc đảo dạng sóng đi 90 độ và sử dụng các phiên bản chưa được sửa đổi của hàm trai phỏ. Có một tập mã và một chuỗi nắp đậy để định nghĩa dạng sóng. Kiểu ký hiệu mới này mang 6 bít và được điều chế QPSK để mang thêm 2 bít. Kết quả là mỗi ký hiệu sẽ truyền 8 bít, nên một dạng sóng sẽ chứa 16 bit phức. Đây là lý do tại sao tốc độ số liệu cho hệ thống trai phỏ chuỗi trực tiếp DSSS sử dụng điều chế CCK có thông lượng là 11 Mb/s thay vì 2 Mb/s. CCK hỗ trợ cho cả điều chế 5,5 Mb/s và 11 Mb/s và nó có tương thích ngược với điều chế 1-2 Mb/s. Cấu trúc bít số liệu của một từ mã đối với BPSK, QPSK, CCK được chỉ ra trong hình 4.11. Một trong số những ưu điểm của CCK so với các kỹ thuật điều chế tương tự là nó chịu ít nhiễu đa đường hơn các hệ thống chỉ dựa trên QPSK và BPSK.



Hình 4.11. Các kỹ thuật điều chế

Một tín hiệu số được tạo ra bằng cách sử dụng bất kỳ một trong các kỹ thuật trên sẽ điều chế dòng điện để mang tín hiệu trong sóng vô tuyến. Nói cách khác, điều chế để lấy thông tin số vô tuyến phục vụ cho truyền dẫn. Ngay sau khi được hoàn thành, tín hiệu số có thể được truyền qua không gian cùng với một kỹ thuật điều chế khác giống như trai phỏ dịch tần và trai phỏ chuỗi trực tiếp.

802.11b cung cấp tốc độ số liệu từ 1Mbps đến 11Mbps với cự ly phủ sóng vài chục m. Tốc độ truyền dẫn phụ thuộc vào khoảng cách. Khoảng cách giữa máy phát và máy thu càng lớn thì tốc độ bit trong hệ thống 802.11b càng thấp. Các tốc độ số liệu và sơ đồ điều chế trong một hệ thống 802.11b được tổng kết trong bảng 1.

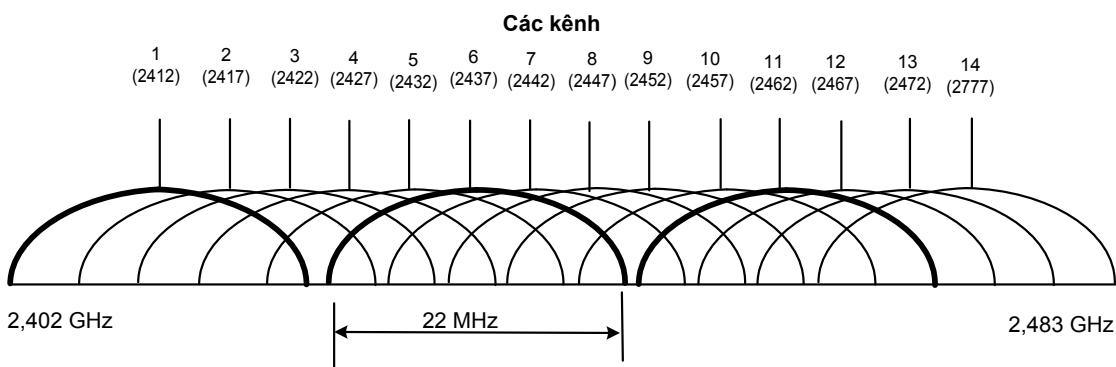
Bảng 4.1. Tốc độ số liệu và sơ đồ điều chế trong 802.11b.

Tốc độ số liệu (Mbps)	Sơ đồ điều chế	Mã hóa
1	BPSK	Barker (11 chip)
2	QPSK	Barker (11 chip)

5,5	QPSK	CCK (8 chip)
11	QPSK	CCK (8 chip)

Giống như các chuẩn 802.11, 802.11b sử dụng giao thức MAC (Medium Access Control: điều khiển truy nhập mô tròn) dựa trên CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance: truy nhập cảm nhận sóng mang với tráng va chạm). Một trạm không dây có gói cần truyền trước hết nghe ngóng môi trường không dây xem có trạm nào khác hiện đang phát hay không (đây là phần cảm nhận sóng mang của CSMA-CA). Nếu môi trường hiện đang được sử dụng, trạm không dây sẽ tính toán một thời gian trễ lùi ngẫu nhiên. Chỉ sau khi hết thời hạn trễ lùi này, trạm không dây mới có thể lại nghe để xem có ai phát hay không. Bằng cách đưa ra một thời hạn trễ lùi, các trạm đang đợi phát sẽ không có găng tìm cách phát đồng thời (đây là phần tránh và chạm của CSMA/CA).

Đối với các mạng WLAN sử dụng DSSS, tổng cộng có 11 kênh có thể được sử dụng cho truyền dẫn vô tuyến (Hình 2.9). Mỗi kênh có độ rộng 22 MHz và tất cả các kênh được gộp lại với nhau sẽ bao phủ toàn bộ phổ tần mà có thể được sử dụng cho các mạng WLAN 802.11- trong trường hợp dải tần 2,4 GHz của các băng ISM. Khi thiết kế các mạng WLAN, nhiều kênh trở thành vấn đề chỉ khi yêu cầu vùng phủ chồng lên nhau và đây sẽ là một vấn đề trong hầu hết các thiết kế. Khi 2 điểm truy nhập (AP: Access Point) có vùng phủ chồng lấn nhau thì mỗi AP phải sử dụng một kênh khác nhau để máy trạm có thể phân biệt được sự khác nhau giữa tần số vô tuyến của mỗi AP. Hình 4.12 chỉ ra rằng chỉ có 3 kênh là không chồng lấn đồng thời: Kênh 1, 6 và 11.



Hình 4.12. 14 kênh băng thông 22 MHz (11 kênh theo FCC) với ba kênh không chồng lấn: 1, 6, 11

802.11b WLAN sử dụng chuyển đổi tốc độ động, cho phép tốc độ số liệu tự động điều chỉnh bù vào mức độ nhiễu và tổn hao trên kênh vô tuyến. Một cách lí tưởng, khách hàng có thể đạt được tốc độ 11 Mbit/s. Tuy nhiên, khi các thiết bị di chuyển xa bán kính tối ưu của phạm vi hoạt động 11 Mbit/s hay có nhiễu thì tốc độ cho phép của các thiết bị lúc này là thấp, có thể là 5,5Mb/s, 2Mb/s hay 1 Mb/s. Và khi các thiết bị di chuyển trở lại khu vực truyền dẫn tốc độ cao hơn thì kết nối đó lập tức có sự tự động điều chỉnh tốc độ trở lại. Việc chuyển đổi tốc độ là cơ chế của lớp vật lý trong suốt đối với người dùng và các lớp cao hơn của ngăn xếp giao thức.

Có rất nhiều thiết bị khác nhau cạnh tranh trong băng tần vô tuyến 2,4 GHz. Không may, hầu hết các thiết bị gây nhiễu lại phổ biến trong môi trường trong nhà ví dụ như điện thoại

không dây hay lò vi sóng. Hệ thống 802.11b có thể tồn tại hay không thì phụ thuộc vào số lượng những sản phẩm nói trên có đặt gần các thiết bị hệ thống hay không.

Gần đây, một chuẩn nữa cũng liên quan đến phổ tần của chuẩn 802.11b là chuẩn vô tuyến Bluetooth. Mặc dù là thiết kế cho hệ thống truyền dẫn tầm ngắn nhưng các thiết bị Bluetooth sử dụng phương thức FHSS để thông tin với nhau. Nó quay vòng hàng ngàn tần số trong một giây và điều này tạo nhiễu rất lớn cho chuẩn 802.11. Các nghiên cứu cụ thể theo sê xác định chính xác xem Bluetooth có gây nhiễu hay không và gây nhiễu như thế nào đối với các mạng 802.11b.

Các dạng nhiễu này sẽ trực tiếp ảnh hưởng đến người dùng nếu họ có ý định thiết lập một mạng LAN vô tuyến mà trong vùng lân cận lại có sử dụng các loại thiết bị gây nhiễu đó. Thời gian se mách bao cho chúng ta liệu chuẩn 802.11b có thể chống lại những kẻ thù này và đứng vững trên thị trường hay không.

#### 4.5.4. Chuẩn 802.11a.

Các thành phần của 802.11a hoạt động ở tần số 5 GHz trong băng tần U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure: hạ tầng thông tin quốc gia không cần cấp phép) và hỗ trợ tốc độ số liệu lên tới 54 Mb/s. FCC đã áp định 300 MHz băng tần vô tuyến cho các hoạt động không cần đăng ký ở băng tần 5 GHz, 200 MHz của băng 5,15 – 5,35 GHz (UNII) và 100 MHz ở băng 5,725 – 5,825 GHz (ISM). Ngoài ra các nhà chức trách còn áp định công suất phát liên quan trực tiếp đến vùng phủ vô tuyến mà thiết bị phát có thể đạt được. Dải phổ 5 GHz được chia thành 3 vùng làm việc. băng “thấp” 100 MHz đầu tiên hoạt động tại miền tần thấp nhất (5,15 đến 5,25 MHz) thì bị giới hạn công suất phát là 50 mW, 100 MHz tiếp theo của băng “giữa” (5,25 đến 5,35 MHz) có quỹ công suất phát là 250 mW, còn 100 MHz cuối cùng (5,725 đến 5,825 MHz) sử dụng cho các ứng dụng ngoài trời thì bị giới hạn công suất ra là 1W. Băng U-NII ít phổ biến hơn 2,4 GHz ISM và ít bị các tín hiệu nhiễu từ các thiết bị không dây hơn. Ngoài ra băng thông 300MHz của băng này lớn gấp bốn lần băng thông của băng ISM và có thể hỗ trợ tốc độ số liệu cao hơn.

Tại Mỹ, các thuê bao của 802.11b lại có thể bức xạ lên tới 1W. Tuy nhiên, hầu hết các thuê bao mới của hệ thống này chỉ dùng một phần của công suất cho phép đó (khoảng 30 mW). Lý do chủ yếu là vấn đề duy trì nguồn nuôi và sự tỏa nhiệt của thiết bị. Mặc dù bị phân đoạn nhưng tổng băng tần hiện có cho ứng dụng 802.11b gần như gấp 4 lần dải tần 83 MHz của băng 2,4 GHz.

802.11a là sự mở rộng của lớp vật lý theo tiêu chuẩn 802.11. Nó không dùng kỹ thuật trai phổ mà sử dụng kỹ thuật mã hóa OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex: Ghép kênh phân chia theo tần số trực giao). Tất cả có 8 kênh không chồng lấn lên nhau được định nghĩa cho hai băng thấp, mỗi kênh có băng thông 20 MHz. Mỗi kênh này con được chia thành 52 sóng mang con với độ rộng băng thông của từng sóng mang con là 300 MHz. Các bit thông tin trong từng sóng mang con được mã hóa và được điều chế và sau đó 52 sóng mang con được ghép chung và được truyền “đồng thời”. Vì thế tốc độ số liệu cao đạt được nhờ kết hợp nhiều sóng mang con có tốc độ số liệu thấp. Truyền dẫn bằng nhiều sóng mang con hay băng nhiều kênh làm cho mạng dễ định cỡ hơn các kỹ thuật khác. Để chống lỗi và cải thiện chất lượng truyền dẫn, hiệu chỉnh lỗi trước (FEC: Forward Error Correction) được sử dụng

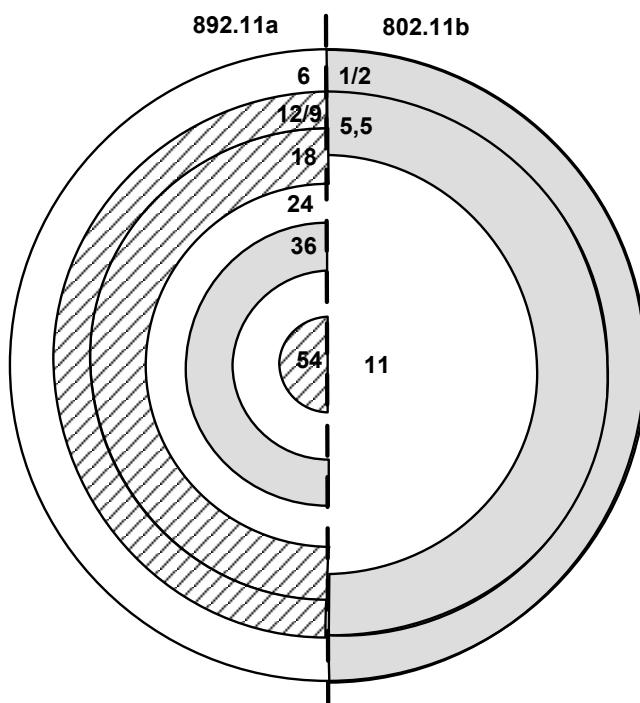
trong 802.11a. Ngoài việc cung cấp tốc độ số liệu cao hơn và tính khả định cỡ tốt hơn, một ưu điểm đáng kể nữa của kỹ thuật OFDM là nó cải thiện khả năng kháng nhiễu đối với pha định đa đường.

Chuẩn 802.11a đòi hỏi các thiết bị hỗ trợ tốc độ số liệu 6, 12 và 24 Mbps. Các tốc độ số liệu khác lên đến 54 Mbps là tùy chọn. Các tốc độ số liệu khác nhau này dẫn đến việc sử dụng các sơ đồ điều chế và mã hóa kênh khác nhau (bảng 4.2). Vùng phủ sóng do 802.11a cung cấp giống như vùng phủ sóng do 802.11b cung cấp, nhưng với tốc độ số liệu cao hơn nhiều. Hình 4.13 so sánh tốc độ số liệu và vùng phủ giữa 802.11b và 802.11a.

Bảng 4.2. Sơ đồ điều chế và mã hóa trong chuẩn 802.11a

Tốc độ số liệu	Sơ đồ điều chế	Tỷ lệ mã hóa kênh
6*	BPSK	Mã xoắn 1/2
9	BPSK	Mã xoắn 3/4
12*	QPSK	Mã xoắn 1/2
18	QPSK	Mã xoắn 3/4
24*	16 QAM	Mã xoắn 1/2
36	16 QAM	Mã xoắn 3/4
48	64 QAM	Mã xoắn 2/3
54	64 QAM	Mã xoắn 3/4

\* Tốc độ số liệu bắt buộc



Hình 4.13. So sánh ốc độ số liệu và phủ sóng

Khi IEEE phê chuẩn các tiêu chuẩn mạng vô tuyến 802.11a, 802.11b vào năm 1999 thì mục đích của họ là muốn tạo ra một chuẩn công nghệ cơ sở mà có thể mở rộng nhiều kiểu mã hoá vật lý trên nhiều tần số cho nhiều ứng dụng theo cùng cách mà chuẩn Ethenet 802.3 đã ứng dụng thành công các công nghệ 10 Mbit/s, 100 Mbit/s, 1 Gbit/s trên sợi quang và cáp đồng.

Giống như Ethernet và Fast Ethernet, chuẩn 802.11b và 802.11a sử dụng lớp MAC giống hệt nhau Tuy vậy, trong khi Fast Ethernet sử dụng cùng kỹ thuật mã hoá lớp vật lý giống như Ethernet thì cách mã hoá của 802.11a lại hoàn toàn khác với 802.11b: OFDM

Một nhược điểm khi sử dụng MAC của 802.11b là 802.11a cũng sẽ kế thừa sự không hiệu quả của 802.11b. Lớp MAC của 802.11b chỉ đạt hiệu quả khoảng 70%. Hiện tại khả năng cực đại của hệ thống 11Mbit/s 802.11b đạt được là khoảng 5,5 Mb/s đến 6 Mb/s. Do đó đầu là hệ thống 54 Mb/s 802.11a thì cũng chỉ đạt được khoảng 30 – 35 Mb/s bởi vì vấn đề hiệu năng và các thông tin ở phần tiêu đề gắn thêm vào tại lớp vật lí. Không như chuẩn 802.11b, 802.11a không truyền các phần tiêu đề tại tốc độ 1 Mbit/s vì vậy mà dung lượng thực tế mà nó đạt được là hiệu quả hơn 802.11b khoảng 5%.

Vì hai hệ thống 802.11 a và 802.11b hoạt động ở các tần số khác nhau nên hoàn toàn không xảy ra hiện tượng nhiễu lẫn nhau. Rõ ràng, nếu muốn mở rộng thêm các kênh thì chỉ cần mở rộng thêm băng tần, tuy nhiên việc thiết kế tổng thể cho sự dịch chuyển từ hệ thống 802.11b sang hệ thống 802.11a là cần thiết. Việc tồn tại hai hệ thống cùng một lúc là hoàn toàn có thể vì không hề có sự gây nhiễu tín hiệu lẫn nhau. Mỗi khi cần tăng băng thông chúng ta chỉ cần thiết lập thêm hệ thống 802.11a ăn khớp với hệ thống 802.11b. Và nếu muốn đạt tới tốc độ 54 Mb/s thì ta cần lắp thêm các AP.

#### 4.5.5. Chuẩn 802.11g

802.11g cung cấp tốc độ lên đến 54 Mbps ngang bằng với 802.11a. Điều quan trọng nhất là 802.11g đảm bảo tương thích ngược với 802.11b.

802.11b làm việc trong băng tần 2,4 GHz ISM. Nó hỗ trợ tốc độ số liệu cao sau đây: 6, 9, 18, 36, 48 và 54 MHz giống như tốc độ mà 802.11a hỗ trợ. Để tương thích ngược với 802.11b, 802.11g cũng hỗ trợ mã Barker và điều chế CCK để cung cấp tập tốc độ số liệu: 1, 2, 5,5 và 11 Mbps. Trong số các tốc độ số liệu nói trên các tốc độ số liệu sau đây là bắt buộc: 1, 2, 5,5, 11, 6, 12 và 24 Mbps. Tương tự như 802.11b, 802.11g chỉ có ba kênh không chồng lấn và có lớp vật lý mới được gọi là ERP (Extended Rate Physical: lớp vật lý tốc độ mở rộng).

802.11g sử dụng cùng kỹ thuật MAC, CSMA-CA, như 802.11b và 802.11a. Mỗi gói 802.11 bao gồm tiền tố, tiêu đề và tải tin. Trong chuẩn 802.11b, tiền tố dài (120 $\mu$ s) là bắt buộc còn tiền tố ngắn (96 $\mu$ s) là tùy chọn. Trong 802.11g, cả hai tiền tố dài và ngắn đều được hỗ trợ để cải thiện hiệu quả truyền dẫn và duy trì tương thích ngược.

Thời gian khe đối với các hệ thống 802.11b và 802.11g khác nhau. 802.11g sử dụng thời gian khe ngắn hơn (9 $\mu$ s) so với thời gian khe 20 $\mu$ s được sử dụng trong 802.11b. Thời gian khe ngắn hơn cho phép cải thiện dung lượng hệ thống. Tuy nhiên để tương thích ngược, 802.11g hỗ trợ cả thời gian khe dài hơn.

Đặc tả lớp vật lý trong 802.11g hầu như giống với 802.11a. Vì thế có vẻ như cả hai có dung lượng và hiệu năng giống nhau. Tuy nhiên trong thực tế, hiệu năng 802.11g khác với hiệu năng 802.11a vì các lý do sau:

1. 802.11g chia sẻ cùng một phô tần 2,4 GHz với 802.11b. Khi cả hai thiết bị 802.11b và 802.11g đều được sử dụng, cần phải quản lý và điều phối đúng giữa hai thiết bị này để tránh nhiễu và xung đột. Ví thế nếu không áp dụng bảo vệ, ảnh hưởng hiệu năng lên thiết bị 802.11g có thể đáng kể. Trong khi đó 802.11a sử dụng khố tần khác vì thế không cần điều phối đối với các người sử dụng WLAN khác.
2. Để duy trì tương thích ngược, 802.11g cần sử dụng khe thời gian  $20\mu s$  giống như 802.11b, nên sử dụng khe thời gian  $9\mu s$  là tùy chọn. Trong 802.11a khe thời gian  $9\mu s$  được sử dụng vì thế hiệu quả hơn.
3. Phô 2,4GHz ISM được 802.11g sử dụng bị nghẽn cao hơn phô 5 GHz U-NII được 802.11a sử dụng. Vì thế các thiết bị 802.11g phải chịu đựng nhiều nguồn nhiễu hơn như: các lò vi sóng, các thiết bị Bluetooth, điện thoại không dây và các thiết bị vô tuyến y tế .... Đôi với các thiết bị 802.11a, phô 5 GHz không chồng lấn với băng ISM vì thế ít nguồn nhiễu từ các thiết bị ngoài hơn.

#### 4.5.6. Chuẩn 802.11n

802.11n bao gồm nhiều tăng cường để tăng vùng phủ WLAN, độ tin cậy và thông lượng. Tại lớp vật lý (PHY) các kỹ thuật điều chế và xử lý tín hiệu số tiên tiến được bổ sung để khai thác đa anten và các kênh. Tại lớp MAC, các mở rộng giao thức cho phép sử dụng băng thông hiệu quả hơn. Các tăng cường trên cho phép tăng tốc độ số liệu lên đến 600 Mbps nhiều hơn 10 lần so với tốc độ 54 Mbps của 802.11a/g. Các thiết bị 802.11n sử dụng các kênh có độ rộng 20 MHz và 40 MHz trong băng tần ISM hoặc U-NII. Trong băng tần 2,4MHz, 802.11n chỉ có thể sử dụng một băng thông 40MHz, băng còn lại là 20MHz. Băng 5MHz U-NII có 12 kênh 20MHz, vì thế số kênh 40MHz có thể được tổ chức nhiều hơn.

802.11n hỗ trợ công nghệ MIMO, nó định nghĩa nhiều cấu hình anten “MxN” từ: “1x1” đến “4x4”, trong đó M ký hiệu cho số anten phát còn N ký hiệu cho số anten thu. Chẳng hạn một AP có thể có cấu hình anten 2x3 với hai anten phát và 3 anten thu. Công nghệ MIMO trong 802.11n cho phép hỗ trợ các sơ đồ ghép kênh không gian cho nhiều luồng không gian, mã hóa khối không gian thời gian (STBC) và tạo búp phát.

Các 802.11n AP và các trạm cần đảm phán khả năng thông tin như: số luồng không gian và độ rộng kênh. Ngoài ra chúng cũng cần thoả hiệp về kiểu điều chế, tỷ lệ mã hóa và khoảng bảo vệ được sử dụng. Tổng hợp các yếu tố này quyết định tốc độ lớp vật lý thay đổi từ: 6,5 Mbps đến 600 Mbps. 802.11 n định nghĩa 77 khả năng kết hợp các yếu tố trên để đạt được tốc độ số liệu cần thiết. Mỗi tổ hợp được thể hiện bởi một chỉ số MSC (Modulation and Coding Scheme: sơ đồ điều chế và mã hóa). Bảng 4.3 cho thấy thí dụ về các chỉ số MSC và các yếu tố tương ứng thường được hỗ trợ bởi 802.11n.

Bảng 4.3. Các MCS thường được hỗ trợ trong 802.11n

Chỉ số	Kiểu	Tỷ lệ mã	Luồng	Tốc độ số liệu kênh	Tốc độ số liệu kenh
1	QPSK	1/2	1	6,5 Mbps	6,5 Mbps

MCS			không	800ns	800ns	800ns	400ns
0	BPSK	1/2	1	6,50	7,20	13,50	15,00
1	QPSK	1/2	1	13,00	14,40	27,00	30,00
2	QPSK	3/4	1	19,50	21,70	40,50	45,00
3	16QAM	1/2	1	26,00	28,90	54,00	60,00
4	16QAM	3/4		39,00	43,30	81,00	90,00
5	64QAM	2/3	1	52,00	57,80	108,00	120,00
6	64QAM	3/4	1	58,50	65,00	121,50	135,00
7	64QAM	5/6	1	65,00	73,20	135,00	150,00
8	BPSK	1/2	2	13,00	14,40	27,00	30,00
9	QPSK	1/2	2	26,00	28,90	54,00	60,00
10	QPSK	3/4	2	39,00	43,30	81,00	90,00
11	16QAM	1/2	2	52,00	57,80	108,00	120,00
12	16QAM	3/4	2	78,00	86,70	162,00	180,00
13	64QAM	2/3	2	104,00	115,60	216,00	240,00
14	64QAM	3/4	2	117,00	130,00	243,00	270,00
15	64QAM	5/6	2	130,00	144,40	270,00	300,00
16	BPSK	1/2	3	19,50	21,70	40,50	45,00
....	....	....	....	....	....	....	....
31	64QAM	5/6	4	260,00	288,90	540,00	600,00

SGI (Symbol Guard Interval: khoảng bảo vệ ký hiệu) là khoảng thời gian giữa được chèn vào các ký hiệu để giảm ảnh hưởng giảm ISI (Intersymbol Interference) do phaddinh đa đường gây ra. Khoảng bảo vệ trong các tiêu chuẩn trước 802.11a/g là 800μs, tuy nhiên 802.11n có thêm tùy chọn 40μs. Khoảng bảo vệ càng dài thì càng chống ISI tốt hơn nhưng làm giảm băng thông và tiêu phí công suất. Khoảng bảo vệ ngắn hơn của 802.11n cho phép tăng tốc độ số liệu lên 11 % nhưng vẫn đủ cho hầu hết các môi trường.

802.11n hỗ trợ điều chế không cân bằng trong đó các luồng có thể sử dụng các sơ đồ điều chế và tỷ lệ mã khác nhau. Các giá trị MSC từ 0 đến 31 định nghĩa điều chế cân bằng trong đó MSC được sử dụng như nhau cho tất cả các luồng. Các MSC từ 32 đến 77 sử dụng điều chế không cân bằng. Chẳng hạn MSC 33 sử dụng điều chế 16QAM trên luồng không gian 1 và QPSK trên luồng không gian 2

Các 802.11n phải hỗ trợ ít nhất là các giá trị MSC từ 0 đến 15, còn các trạm phải hỗ trợ ít nhất các giá trị MSC từ 0 đến 7. Tất cả các giá trị khác bao gồm cả các giá trị liên quan đến các kênh 40MHz, SGI, điều chế không cân bằng đều là tùy chọn.

802.11n cũng đưa ra một số tăng cường nhằm giảm chi phí bổ sung cho lớp MAC. Các tăng cường này bao gồm:

- **Công nhận khồi (Block Acknowledgement)** cho phép giảm số Ack mà máy thu phải gửi đến máy phát để khẳng định việc truyền khung. Các máy phát của các hệ thống 802.11a/g chờ đợi ACK (hầu như ngay lập tức) cho từng khung quảng bá hoặc không đa phương. Nhưng 802.11n cũng có thể chấp nhận các Block ACK khẳng định thu được nhiều khung. Chẳng hạn thay vì gửi đi 8 ACK như trong các hệ thống trước đây để khẳng định các khung từ 1 đến 8 và 10, máy thu 802.11n có thể thông báo được điều này bằng cách chỉ gửi đi chỉ một Block ACK..
- **Ghép khung** để tăng phần tải tin của từng khung 802.11 nhờ vậy giảm chi phí bổ sung cho MAC từ 83% xuống còn 53% (bằng cách sử dụng A-MSDU). Các thiết bị 802.11a/g chỉ có thể phát không quá 2304 byte trong một tải tin trên một khung, trong khi đó các thiết bị 802.11n có tùy chọn cho phép ghép nhiều khung cho truyền dẫn vì thế tăng kích thước tải tin và giảm đáng kể chi phí cho phân cách giữa các khung và tiền tố. Có hai tùy chọn ghép:
  - ✓ A-MSDU (MAC Service Data Unit Aggregation: ghép đơn vị số liệu dịch vụ MAC) thực hiện nhóm các gói điều khiển liên kết (MSDU) có cùng chất lượng dịch vụ 802.11e (802.11e QoS) không phụ thuộc nguồn phát hoặc nơi nhận. Khung MAC nhận được chứa một tiêu đề MAC tiếp sau là 7935 byte MSDU.
  - ✓ A-MPDU (MAC Protocol Data Unit Aggregation: ghép đơn vị số liệu giao thức MAC) xảy ra sau đó, sau khi các tiêu đề MAC đã được ghép cho từng MSDU. Các khung MAC đầy đủ sau đó được nhóm vào các tải tin PHY với số byte lên đến 65535

Để triển khai mới 802.11n hoặc triển khai 802.11n đồng tồn tại với các thiết bị 802.11a/g hiện đang phổ biến, các 802.11n AP có thể hoạt động trong ba chế độ sau: (1) HT (High Throughput: thông lượng cao), (2) non-HT (không HT) và (3) HT hỗn hợp.

**Chế độ HT.** Một 802.11n AP sử dụng chế độ HT, hay còn là chế độ xanh (Green Field), khi giả thiết không có các trạm của hệ thống cũ sử dụng cùng một băng tần. Chế độ HT là tùy chọn.

**Chế độ không HT.** Một 802.11n AP sử dụng chế độ không HT khi nó phát đi tất cả các khung trong khuôn dạng 802.11a/g, vì thế các trạm 802.11a/g có thể hiểu đợc chúng. AP này phải sử dụng kênh 20MHz và không sử dụng bất kỳ tính năng HT nào. Tất cả các sản phẩm 802.11n phải đảm bảo tương thích ngược, nhưng một 802.11n sử dụng non-HT phải cho hiệu năng tốt hơn 802.11a/g.

**Chế độ hỗn hợp HT.** Đây là chế độ bắt buộc trong các 802.11n AP phổ biến nhất. Trong chế độ này các tăng cường HT có thể được sử dụng đồng thời với các cơ chế bảo vệ HT để cho phép thông tin với các trạm cũ. Chế độ HT hỗn hợp cho phép tương thích ngược nhưng phải trả giá về thông lượng so với chế độ HT. Tại lớp vật lý, bảo vệ HT đòi hỏi các thiết bị 802.11n phải phát tiền tố có khuôn dạng cũ cùng với một tiền tố khuôn dạng HT đi sau. Tiền tố này là một chuỗi bit để máy thu xem xét cho việc khóa vào phần còn lại của

truyền dẫn. Tiềm tố cũ cho phép các trạm 802.11a/g tránh phát trên các khung mà các trạm 802.11n phát và thu. Tiềm tố kép sẽ tăng chi phí và giảm thông lượng, nhưng các trạm 802.11n vẫn có được các tính năng HT.

Tại lớp MAC, bảo vệ HT đòi hỏi các thiết bị 802.11n công bố về ý định phát của mình bằng cách gửi đi các khung CTS-self (tự thông qua gửi) hay RTS/CTS (Request to Send/Clear to Send: yêu cầu gửi/ thông qua gửi) theo khuôn dạng cũ. Các khung này cho phép các thiết bị 802.11a/g ở gần (bao gồm cả các thiết bị không kết nối với AP của bạn) cảm nhận được khi nào có thể sử dụng kênh để tránh các xung đột. Ngay cả khi các khung RTS/CTS ngắn, vẫn mất nhiều thời gian để truyền chúng tại tốc độ 6Mbps cũ so với thời gian phát 500 byte tại tốc độ số liệu mới 600 Mbps. Bảo vệ HT làm giảm đáng kể tổng thông lượng của 802.11n WLAN.

#### 4.5.5. Các nhóm công tác có liên quan khác

Từ khi 802.11 được thông qua lần đầu tiên vào năm 1997, đã có rất nhiều sáng kiến để cải thiện. Các sáng kiến này được nghiên cứu bởi một nhóm công tác. Mỗi nhóm công tác được liệt kê dưới đây đều rất nỗ lực phát triển cho chuẩn 802.11 để nó an toàn, hiệu quả và có khả năng truy nhập toàn cầu trên cơ sở giữ nguyên lớp MAC nhưng có thể khiến cho hệ thống này hiệu quả, an toàn và dễ truy nhập hơn.

- Nhóm nghiên cứu 802.11d đã tập trung vào việc phát triển các thiết bị của 802.11 WLAN để có thể phát triển trên thị trường mà không hoàn toàn phụ thuộc vào tiêu chuẩn hiện tại của nó (Tiêu chuẩn hiện tại của 802.11 là WLAN chỉ phục vụ cho riêng tại một số quốc gia)
- Nhóm nghiên cứu IEEE 802.11e tạo ra những khả năng ưu việt hơn cho chuẩn 802.11 nhưng vẫn giữ lại sự tương thích với chuẩn 802.11a, 802.11b. Các tính năng phát triển ở đây gồm: khả năng đa phương tiện và vấn đề an ninh số liệu. Liệu điều này có ý nghĩa gì với các nhà cung cấp dịch vụ? Điều này có nghĩa là các nhà cung cấp dịch vụ có thể cung cấp các dịch vụ VOD, AOD, VoIP và dịch vụ truy nhập Internet tốc độ cao. Còn đối với người sử dụng, nó cho phép cung cấp các dịch vụ đa phương tiện chất lượng cao và ở dạng MPEG2, âm thanh chất lượng CD và định nghĩa lại sử dụng điện thoại truyền thông bằng VoIP. QoS là bổ sung chức năng quan trọng bởi 802.11e. Nó cung cấp chức năng cần thiết cho các ứng dụng nhạy cảm thời gian như video và âm thanh. QoS bao gồm hàng đợi, các công cụ định hình lưu lượng, và lập biểu. Những đặc tính này cho phép mức ưu tiên cho các dịch vụ. Ví dụ, các dịch vụ mà không yêu cầu thời gian thực thì mức ưu tiên không bằng các dịch vụ yêu cầu thời gian thực. Với những cải thiện này, nối mạng vô tuyến đã phát triển đáp ứng các yêu cầu của người dùng ngày nay.
- Nhóm nghiên cứu 802.11f phát triển thủ tục các điểm truy nhập chéo vì các AP do các nhà sản xuất khác nhau khó có thể thực hiện chuyển ô (roaming) lẫn nhau. Thủ tục này cho phép các thiết bị vô tuyến có thể chuyển ô giữa các AP khác nhau do các nhà sản xuất khác nhau.
- Nhóm nghiên cứu 802.11g phát triển tốc độ số liệu trên băng tần vô tuyến 2,4 GHz.

- Nhóm nghiên cứu 802.11h phát triển, mở rộng quản lý phô và công suất cho tiêu chuẩn 802.11a để sử dụng trong khu vực châu Âu.

## 4.6. Các dịch vụ và các cơ chế hỗ trợ cho 802.11

### 4.6.1. Các dịch vụ hỗ trợ cho 802.11

Chín dịch vụ khác nhau hỗ trợ cho kiến trúc 802.11. Trong số 9 dịch vụ này thì có 4 dịch vụ nằm trong nhóm các dịch vụ trạm và 5 dịch vụ còn lại nằm trong nhóm các dịch vụ phân phối.

Bốn dịch vụ trạm (nhận thực, giải nhận thực, phân phát số liệu, và bảo mật) cung cấp chức năng ngang bằng với chức năng của mạng hữu tuyến theo chuẩn 802.3.

Dịch vụ nhận thực định nghĩa đặc điểm chính để nhận dạng của thiết bị vô tuyến. Thiết bị không được phép truy nhập vào mạng WLAN nếu không có nhận dạng riêng.

Nhận thực cũng có thể được thực hiện đối với một danh sách các MAC được phép sử dụng mạng. Danh sách các địa chỉ MAC được phép này có thể có tại AP hoặc ở một cơ sở số liệu nào đó trong mạng hữu tuyến. Cùng một lúc, một thiết bị vô tuyến có thể nhận thực chính mình tới nhiều AP. Kiểu "nhận thực trước" này cho phép thiết bị chuẩn bị các AP khác để truy nhập vào không gian của chúng.

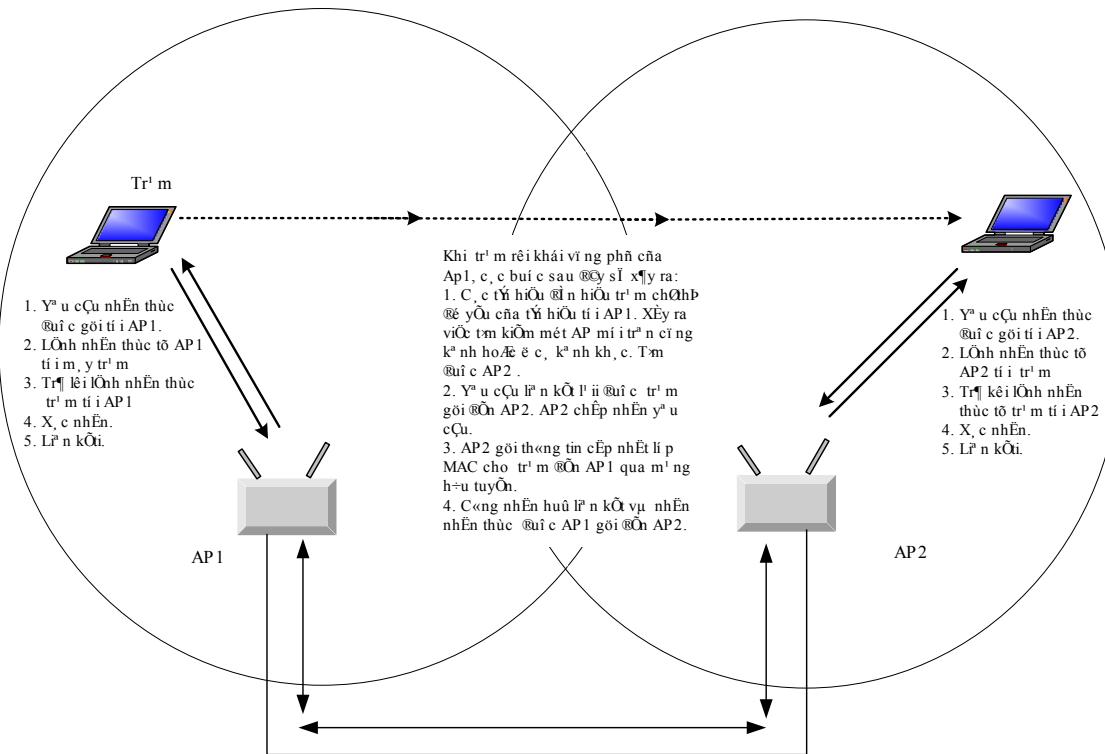
Dịch vụ huỷ nhận thực được sử dụng để huỷ bỏ sự nhận dạng trạm được biết trước đó. Ngay sau khi dịch vụ huỷ nhận thực được bắt đầu, thiết bị vô tuyến không còn có thể truy nhập được vào WLAN nữa. Dịch vụ này được kích hoạt khi thiết bị vô tuyến tắt hoặc khi nó chuyển sang vùng phủ ngoài sự kiểm soát của AP. Do vậy sẽ giải phóng các tài nguyên trong AP cho các thiết bị khác.

Tương tự như chuẩn hữu tuyến, chuẩn 802.11 đặc tả dịch vụ phân phát số liệu để đảm bảo rằng các khung số liệu được truyền tin cậy từ một MAC này tới một MAC khác. Chúng ta sẽ xem xét sự phân phát số liệu này khá chi tiết ở các phần sau.

Dịch vụ bảo mật được sử dụng để bảo vệ số liệu khi chúng được truyền qua mạng WLAN. Mặc dù dịch vụ sử dụng sơ đồ bảo mật dựa trên RC-4 nhưng nó không được dự định để mật mã cho bảo mật đầu cuối đến đầu cuối hoặc là một phương pháp duy nhất bảo mật số liệu. Nó được thiết kế để cung cấp mức bảo vệ tương đương mạng hữu tuyến.

Giữa lớp LLC và lớp MAC, 5 dịch vụ phân phối quyết định cần chuyển các khung số liệu 802.11 đến đâu. Như ta sẽ thấy, các dịch vụ phân phối này sẽ quyết định chuyển ô khi thiết bị vô tuyến đang chuyển động. Năm dịch vụ là liên kết, liên kết lại, huỷ liên kết, tích hợp và phân phối.

Thiết bị vô tuyến sử dụng dịch vụ liên kết ngay sau khi nó kết nối tới AP. Dịch vụ này thiết lập một kết nối logic giữa các thiết bị và xác định đường mà DS cần để nối đến thiết bị vô tuyến. Nếu thiết bị vô tuyến không có một liên kết được tạo với một AP thì DS sẽ không biết thiết bị này ở đâu hoặc làm thế nào để chuyển các khung số liệu đến nó. Như ta thấy trong hình 4.14, thiết bị vô tuyến có thể được nhận thực tới nhiều AP cùng một lúc, nhưng nó sẽ không bao giờ được làm việc với nhiều hơn một AP.



Hình 4.14. Nhận thực, liên kết, liên kết lại của 802.11.

Đôi khi thiết bị vô tuyến sẽ không được kết nối liên tục tới cùng một AP. Khi này dịch vụ liên kết lại (re-assocation) được sử dụng để tránh mất bất kỳ thông tin phiên mạng nào mà thiết bị vô tuyến có. Dịch vụ này tương tự như dịch vụ liên kết nhưng bao gồm cả thông tin hiện tại về thiết bị vô tuyến. Trong trường hợp chuyển vùng, thông tin này cho AP hiện tại biết AP trước đó mà các thiết bị vô tuyến đã liên kết. Điều này cho phép AP hiện tại liên lạc được với AP trước đó để tiếp nhận bất kỳ các khung số liệu nào đang chờ thiết bị vô tuyến và chuyển chúng tới đích của chúng.

Dịch vụ huỷ liên kết được sử dụng để huỷ liên kết giữa AP và thiết bị vô tuyến. Điều này có thể là do thiết bị đang di chuyển ra khỏi vùng phủ của AP, AP đang tắt, hoặc do rất nhiều các lý do khác. Để duy trì thông tin với mạng, thiết bị vô tuyến sẽ phải sử dụng dịch vụ liên kết để tìm AP mới.

Dịch vụ phân phối được các AP sử dụng xác định xem có nên gửi khung số liệu tới AP khác và thiết bị vô tuyến khác có thể hoặc không nêu chuyển khung từ WLAN vào mạng hữu tuyến.

Dịch vụ tích hợp cũng được đặt tại các AP. Dịch vụ này thực hiện việc chuyển đổi số liệu từ khuôn dạng khung 802.11 thành khuôn dạng khung của mạng hữu tuyến. Nó cũng thực hiện ngược lại: tiếp nhận số liệu gửi đến WLAN và định dạng nó vào khuôn dạng 802.11.

#### 4.6.2. Cơ chế CSMA-CA

Cơ chế truy nhập cơ sở cho 802.11 là đa truy nhập cảm nhận sóng mang/ tránh xung đột (CSMA/CA: Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance) với cơ chế giảm theo hàm số mũ hai. Cơ chế này rất giống như đa truy nhập cảm nhận sóng mang/phát hiện xung đột (CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access With Collision Detect) mà chúng ta đã biết khi xem xét chuẩn 802.3 (Ethernet), nhưng nó cũng có một số điểm khác nhau chính.

Trong khi Ethernet gửi số liệu và chờ phát hiện xung đột hay không, thì CSMA/CA rất cẩn thận khi phát, trừ phi không có thiết bị khác phát hoặc có sự lưu ý của máy thu. Điều này được gọi là nghe trước khi nói (LBT).

Trước khi một gói được gửi, thiết bị vô tuyến sẽ nghe xem có bất kỳ thiết bị nào đang phát hay không. Nếu có một quá trình truyền đang diễn ra thì thiết bị sẽ đợi trong một khoảng thời gian được xác định ngẫu nhiên và sau đó nghe tiếp. Nếu không có thiết bị nào đang sử dụng đường truyền thì thiết bị sẽ bắt đầu gửi. Ngược lại nó sẽ đợi tiếp một khoảng thời gian ngẫu nhiên trước khi nghe một lần nữa.

#### 4.6.3. DCF/PCF 802.11 và các cơ chế RTC/CTS

Để giảm thiểu rủi ro của một thiết bị vô tuyến truyền tại cùng một thời điểm với một thiết bị vô tuyến khác, nhóm nghiên cứu 802.11 đã thiết kế hai chức năng DCF và PCF, sử dụng cơ chế yêu cầu để gửi/ thông qua gửi (RTS/CTS: Request to Send/ Clear to Send).

Chức năng điều khống đặt phân tán (DCF: Distributed Coordination Function) được tất cả các cấu hình topo của thành phần sử dụng để xác định thời điểm một trạm có thể phát khi xảy ra va chạm trong mạng và là một hệ thống truyền nỗ lực nhất. Nếu nó cảm nhận thấy kênh đang được dùng ở trạng thái rỗi, thì nó sẽ khởi đầu một khoảng thời gian "đợi" trước khi cho phép trạm phát thực sự.

Trong PCF (Chức năng điều phối điểm), một điểm đơn trong mạng (thường là một AP mạng) hoạt động như một "cảnh sát điều hành giao thông tập trung" thông báo cho các trạm khi nào có thể đưa gói vào mạng. Nói cách khác, AP định kỳ "bật đèn hiệu" cho các trạm liên kết với để thăm dò các trạm này xem có thông tin cần phát hay không. Cách ứng dụng nhạy cảm với thời gian như thoại và video sử dụng chức năng này để cho phép truyền dẫn tốc độ phụ thuộc, cố định.

Trong cả DCF và PCF, RTS/CTS được sử dụng như là cơ chế để thực hiện các chức năng này. Ví dụ, nếu số liệu đã đến tại một AP được dành riêng cho một nút vô tuyến thì AP sẽ gửi một khung RTS tới nút vô tuyến yêu cầu một lượng thời gian để phân phát số liệu cho nó. Nút vô tuyến này sẽ trả lời bằng một khung CTS để thông báo rằng nó sẽ giữ các quá trình thông tin khác cho tới khi AP hoàn thành việc gửi số liệu. Các nút vô tuyến khác "nghe" thấy đang xảy ra thực hiện giao dịch và hoàn phát của mình cho đến khi AP hoàn thành gửi số liệu. Trong phương pháp này, có thể truyền số liệu được truyền giữa các nút với khả năng một thiết bị gây ra xung đột trên đường truyền là cực tiểu.

Cơ chế này cũng loại bỏ vấn đề về mạng WLAN, đó là nút ẩn. Trong một mạng với nhiều thiết bị, xảy ra vấn đề là một nút vô tuyến có thể không biết tất cả các nút khác đang ở trong mạng WLAN. Nhờ RTS/CTS mà mỗi nút nghe các yêu cầu để phát số liệu tới các nút khác và do vậy có thể biết các thiết bị khác đang hoạt động trong BSS như thế nào.

#### 4.6.4. Thông báo đã nhận số liệu 802.11

Khi gửi số liệu được truyền bằng một tín hiệu vô tuyến, nó luôn bị đe doạ bởi nhiễu. Khả năng mất gói trong mạng vô tuyến luôn cao hơn trong mạng hữu tuyến. Trong cả hai mạng để tránh mất số liệu, người ta sử dụng công nhận (ACK). Phần công nhận của bản tin CSMA/CA cho thấy rằng khi khi nơi nhận thu được được một gói nó gửi trả lời thông báo công nhận

(ACK) đến phía phát. Nếu phía phát không nhận được ACK, nó biết rằng gói chưa được nhận và phát lại gói.

Mọi thủ tục này được thực hiện ở lớp MAC. Khi thấy không thu được ACK máy phát có thể chiếm đoạt môi trường vô tuyến trước khi bất kỳ máy nào khác có thể và nó sẽ gửi lại gói tin. Điều này cho phép khôi phục từ nhiễu và người sử dụng đầu cuối không hề biết rằng đã xảy ra lỗi truyền tin.

#### 4.6.5. Phân đoạn 802.11

Trong một môi trường nhiễu nhiễu, có thể xảy ra một hoặc nhiều bit lỗi khi thông tin. Không phụ thuộc vào số lượng bit bị hỏng, gói phải được phát lại.

Khi hoạt động trong vùng có nhiễu nhưng cần truyền các gói nhỏ hơn các gói được tìm thấy trong mạng hữu tuyến. Điều này cho phép thực hiện quá trình truyền lại gói nhanh hơn.

Nhược điểm khi thực hiện điều này là trong trường hợp không có các gói bị lỗi, thì chi phí để gửi nhiều gói nhỏ sẽ lớn hơn chi phí để gửi các gói lớn. Rất may là chuẩn 802.11 đã đưa ra tính năng cho phép lập lại cấu hình. Bằng cách này, nhà quản trị mạng có thể quy định các gói nhỏ trong một số khu vực và các gói lớn hơn trong các khu vực thông thoáng và không bị nhiễu.

#### 4.6.6. Quản lý công suất 802.11

Do toàn bộ thiết bị của các mạng WLAN là di động, nên các thiết bị di động trước hết (như máy tính xách tay hoặc PDA) cần có nguồn ác qui hiệu quả để cấp nguồn cho kênh thông tin. IEEE đã nhận ra điều này và đã đưa ra một dịch vụ quản lý công suất cho phép khách hàng di động di chuyển trong chế độ "ngủ" để tiết kiệm công suất mà không mất kết nối với mạng vô tuyến.

Sử dụng khung thăm dò tiết kiệm nguồn 24 byte (PS-Poll), thiết bị vô tuyến gửi một bản tin đến AP để báo rằng nó sẽ làm việc ở chế độ tiết kiệm nguồn, và AP cần để nhớ đệm tất cả các gói được dành riêng cho thiết bị cho đến khi nó trở lại trạng thái trực tuyến. Định kỳ chu kỳ, thiết bị vô tuyến sẽ "tỉnh giấc" và xem có gói nào đang đợi nó trong AP hay không. Nếu không có thì một khung PS-Poll khác được gửi và thiết bị tiếp tục ở trạng thái ngủ. Lợi ích của cách làm này là người sử dụng di động có thể sử dụng mạng WLAN trong lâu hơn mà không ảnh hưởng đến tuổi thọ của acqui.

#### 4.6.7. Chuyển vùng đa ô 802.11

Lợi ích khác của các mạng WLAN là khả năng di chuyển từ ô này đến ô khác khi ta di chuyển trong cơ quan, khu học xá hoặc ở nhà mà không cần phải thay đổi các dịch vụ mạng. Chuyển ô giữa các AP trong ESS là một phần rất quan trọng của tiêu chuẩn 802.11. Chuyển ô dựa trên khả năng của thiết bị vô tuyến xác định chất lượng của tín hiệu vô tuyến tới AP mà nó nói đến, và quyết định chuyển mạch thông tin tới một AP khác nếu như AP này có một tín hiệu khoẻ hơn và sạch hơn. Điều này chủ yếu dựa vào một thực thể được gọi là tỉ số nhiễu trên tạp âm (S/N). Các AP phát đi các bản tin đèn hiệu chưa thông tin cùng với số liệu đo đường truyền. Thiết bị vô tuyến theo dõi những bản tin đèn hiệu này và quyết định xem AP nào có tín hiệu rõ nhất. Sau đó, thiết bị vô tuyến gửi thông tin nhận thực và thử lên kết lại với

AP mới. Quá trình liên kết lại sẽ chỉ cho AP mới AP được liên kết trước đó. AP mới thu thập các khung số liệu còn sót lại tại AP cũ và thông báo AP cũ rằng không cần nhận các bản cho thiết bị vô tuyến nữa. nhờ vậy giải phóng các nguồn tài nguyên trên AP cũ cho các client khác của nó.

Mặc dù chuẩn 802.11 phủ hết các khái niệm thông tin giữa AP và DS, nhưng nó không định nghĩa chính xác quá trình thông tin này phải xảy ra như thế nào. Điều này là do có thể thực hiện quá trình thông tin này bằng nhiều cách khác nhau. Mặc dù điều này tạo ra tính linh hoạt cho nhà cung cấp khi thiết kế AP/DS, nhưng có thể có các tình huống các AP từ các nhà cung cấp khác nhau có thể không thể cùng hoạt động qua một hệ thống phân phối do các sự khác nhau trong việc các nhà cung cấp này áp dụng các tương tác AP/DS. Hiện nay, có một nhóm nghiên cứu của 802.11 (802.11f) phát triển giao thức điểm liên truy nhập. Trong tương lai giao thức này sẽ hỗ trợ rất nhiều cho các công ty đầu tư vào các sản phẩm của một nhà cung cấp có thể tích hợp các AP và các thiết bị từ các nhà cung cấp khác vào các ESS của họ.

#### 4.6.8. An ninh 802.11

Một trong số các mối quan tâm lớn nhất mà các nhà quản trị mạng phải đối mặt khi áp dụng mạng WLAN là an ninh số liệu. Trong môi trường hữu tuyến, việc không thể truy nhập vào môi trường vật lý có thể ngăn kẻ lạ đó xâm nhập vào ngôi nhà của bạn và kết nối vào mạng nội bộ của bạn. Trong trường hợp mạng WLAN, AP không thể biết người đang vận hành thiết bị vô tuyến đang ở trong nhà của bạn hay không hoặc họ đang ngồi trong một ô tô đang đỗ ở bên ngoài cơ quan bạn. Nhận thấy việc truyền số liệu qua một tuyến vô tuyến không tin cậy có thể dẫn đến khả năng không an toàn nên chuẩn IEEE 802.11 cung cấp 3 cách để cung cấp mức an toàn cho số liệu truyền qua mạng WLAN. Chấp nhận bất kỳ cơ chế nào (hoặc cả 3) trong các cơ chế này sẽ làm giảm khả năng tiết lộ an ninh ngẫu nhiên.

Phương pháp đầu sử dụng số nhận dạng tập dịch vụ 802.11 (SSID: Service Set Identifier). SSID có thể được liên kết với một hoặc nhiều AP để tạo ra nhiều đoạn WLAN trong BSS. Những đoạn này có thể được liên hệ tới các tầng của một tòa nhà, các đơn vị kinh doanh, hoặc các tập định nghĩa số liệu khác. Bởi vì SSID được trình trong quá trình nhận thực, nó hoạt động như mật mã thô. Bởi vì hầu hết các người sử dụng thiết bị đầu cuối đều thiết lập các thiết bị vô tuyến, nên những SSID này có thể được chia sẻ cho các người dùng và do đó điều này đã làm giảm tính hiệu quả của họ. Một nhược điểm khác đối với việc sử dụng SSID như là một dạng nhận thực duy nhất là nếu SSID buộc phải thay đổi (do một thói quen của nhân viên hoặc do một sự kiện khác) thì tất cả các thiết bị vô tuyến và AP phải phản ánh sự thay đổi này. Trên một mạng WLAN cỡ trung bình việc quay các SSID thậm chí trên cơ sở 2 lần trong một năm có thể là một nhiệm vụ vất vả và tốn thời gian.

Như đã được đề cập trước đây trong phần các dịch vụ trạm, AP cũng có thể nhận thực một thiết bị vô tuyến trong danh sách địa chỉ MAC. Danh sách này có thể đặt ngay tại AP hoặc nhận thực có thể được kiểm tra dựa trên một cơ sở số liệu gồm các địa chỉ MAC đặt trong mạng hữu tuyến. Điều này thường đem lại mức bảo mật tốt và được sử dụng tốt nhất với các mạng WLAN nhỏ. Với các mạng WLAN lớn hơn, việc quản lý danh sách các địa chỉ

MAC cho phép sẽ yêu cầu một số dịch vụ để giảm thời gian cần thiết khi thêm vào hoặc loại bỏ ra khỏi danh sách.

Cơ chế thứ ba của 802.11 cho phép bảo vệ số liệu đi qua mạng WLAN cũng được đề cập trước đó trong phần các dịch vụ trạm. Dịch vụ bảo mật sử dụng sơ đồ mật mã dựa trên RC-4 để thu gọn phần tải tin của các khung số liệu 802.11, sơ đồ này được gọi là giao thức tương đương hữu tuyến (WEP: Wireless Equivalent Protocol). WEP mô tả một khoá mật mã 40 bit, mặc dù một số nhà cung cấp áp dụng khoá 104 bit. Như được đề cập trước đó, WEP không được sử dụng như một giải pháp mật mã đầu cuối - đầu cuối. Các khoá WEP trong các AP và các thiết bị vô tuyến có thể được quay vòng, nhưng do chuẩn 802.11 không mô tả giao thức quản lý khoá nên việc quay vòng khoá được thực hiện hoàn toàn bằng nhân công. Tương tự như SSID, quay vòng khoá WEP sẽ ảnh hưởng tới tất cả các AP và các người sử dụng và cần sự cố gắng của nhà quản trị mạng.

Một số người thiết kế mạng xem các mạng WLAN thuộc nhóm như các thiết bị dịch vụ truy nhập vô tuyến (RAS), và họ cho rằng cách bảo vệ tốt nhất là đặt kiến trúc mạng WLAN bên cạnh một bức tường lửa hoặc một thiết bị mạng riêng ảo (VPN). Điều này sẽ buộc các khách hàng phải nhận thực với VPN hoặc bức tường lửa sử dụng phần mềm từ phía thứ ba (trên WEP). Ưu điểm ở đây là phần lớn việc nhận thực sẽ tuỳ thuộc vào thiết bị không phải của WLAN và sẽ không yêu cầu thêm việc bảo dưỡng AP.

Các ứng dụng của các mạng 802.11 có thể thấy từ các vùng trong nhà cho đến các vùng công cộng (như trường học và thư viện) và các khuôn viên của các công ty. Khả năng triển khai mạng giá thấp mà không cần phải có dây ở mọi nơi sẽ cho phép các mạng vô tuyến được triển khai rộng rãi tại các khu vực mà việc triển khai các mạng hữu tuyến sẽ rất đắt tiền. Các dịch vụ 802.11 cho phép thiết bị vô tuyến có chức năng tương tự như mạng hữu tuyến, điều này cung cấp cho người sử dụng khả năng di chuyển trong toàn mạng WLAN.

#### 4.7. Lớp vật lý của 802.11

Chuẩn IEEE 802.11 ban đầu khuyến nghị ba kiểu thực hiện lớp vật lý:

- Trải phổ nhảy tần (FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum)
- Trải phổ chuỗi trực tiếp (DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum)
- Tia hồng ngoại (IR)

Trong các hệ thống FHSS, tần số mang dữ liệu thay đổi theo một mẫu được biết cả ở máy phát lẫn máy thu. Số liệu được truyền trên một tần số cho trước tại một khoảng thời gian cố định cho trước (được gọi là Dwell Time: thời gian cư ngụ), sau đó số liệu được chuyển sang một tần số khác tại một khoảng thời gian cố định khác. Tại Mỹ và châu Âu, cực đại có 79 tần số trong tập nhảy tần. Nhảy tần được đặc tả trong 802.11 là nhảy tần chậm vì thay đổi tần số chậm so với thời gian một ký hiệu truyền dẫn. Chuẩn đặc tả ba tập mẫu nhảy tần khác nhau với 26 mẫu trong mỗi tập. Các mẫu nhảy tần khác nhau cho phép nhiều BSS đồng tồn tại trong cùng một vùng địa lý giáp nhau.

Trong các hệ thống DSSS, ký hiệu số liệu gốc được điều chế bởi một chuỗi trải phổ băng rộng. Tại các máy thu không chủ định, tín hiệu DSSS thể hiện như tạp âm băng rộng công

suất thấp. Máy thu chủ định biết được chuỗi trai phô và có thể khôi phục lại ký hiệu gốc từ tạp âm băng rộng. Chẳng hạn trong 802.1b, chuỗi số liệu gốc 1 Mbps được điều chế (BPSK chẵng hạn) sau đó được trai phô bằng một chuỗi Barker 11 chip. Tổng băng thông bị hệ thống chiếm sẽ bằng 11MHz.

Trong hệ thống IR, bước sóng truyền dẫn có dải từ 850 đến 950 nm. Băng IR được thiết kế dành cho môi trường trong nhà. Sơ đồ điều chế cho truyền dẫn IR là điều chế vị trí xung (PPM: Position Pulse Modulation).

Lúc đầu nhóm công tác IEEE 802.11 cho phép thiết kế nhiều lớp vật lý để khai thác được các ưu điểm của chúng.. Tuy nhiên điều này dẫn đến sự khả năng tương tác khó khăn và tăng giá thành khi phát triển nhiều lớp vật lý.

Trong các tiêu chuẩn sau này chỉ một lớp vật lý được đặc tả. Trong 802.11b, lớp vật lý sử dụng công nghệ DSSS. Đối với tốc độ số liệu 1 Mbps và 2 Mbps, mã Barker được sử dụng để trai phô và mã hóa. Đối với tốc độ số liệu 5,5 Mbps và 11 Mbps, CCK được sử dụng để bảo vệ chống lại nhiễu đa đường tốt hơn. Trong 802.11a, lớp vật lý sử dụng công nghệ OFDM. Trong 802.11g, lớp vật lý sử dụng công nghệ OFDM nhưng cũng hỗ trợ DSSS để tương thích với 802.11b. Phương pháp lai ghép CCK và OFDM là một tùy chọn của 802.11g. Tiêu đề CCK sẽ cảnh báo các thiết bị 802.11b rằng đang xảy ra cuộc truyền.

Vì tất cả các chuẩn 502.11 đều sử dụng cùng một thiết kế MAC (nghĩa là CSMA-CA), nên lớp MAC sẽ được ta xét trong chương sau.

## 4.8. Chuẩn 802.11 MAC

### 4.8.1. Mở đầu

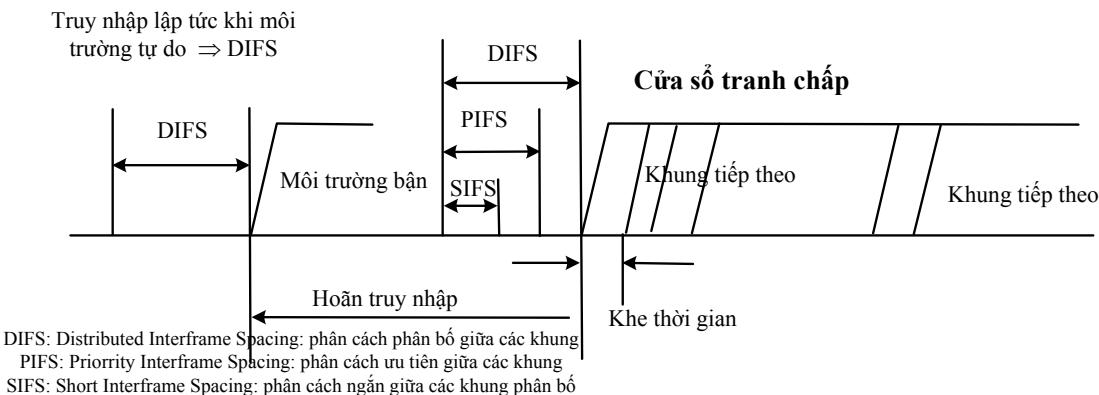
Phiên bản cuối cùng của chuẩn 802.11 đưa ra các đặc tả chi tiết về lớp vật lý (PHY) và lớp điều khiển truy nhập môi trường (MAC). Trong nhiều năm trước đây 802.11 WLAN đã được triển khai rộng rãi. Lớp vật lý tốc độ cao được xây dựng trên OFDM đã được phát triển để mở rộng tiêu chuẩn WLAN hiện có đến băng tần 5 MHz U-NII. Như đã xét trong chương 6, 802.11a có thể hỗ trợ 8 chế độ PHY với tốc độ số liệu từ 6 Mbps đến 54 Mbps. 802.11a không tương thích ngược với 802.11b. Vì thế một chuẩn khác, 802.11 được đề xuất để tương thích ngược với 802.11b. 802.11g hỗ trợ tốc độ số liệu từ 11 đến 22 Mbps. Trong 802.11 hai giao thức truy nhập môi trường khác nhau được đặc tả: (1) cơ chế truy nhập cơ sở được gọi là DCF (Distributed Coordination Function: chức năng điều phối phân bổ) được xây dựng dựa trên cơ sở CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance: đa truy nhập cảm nhận sóng mang tránh xung đột) và (2) cơ chế truy nhập điều khiển trung tâm được gọi là PCF (Point Coordination Function: chức năng điều phối điểm).

Trong các phần dưới đây trước hết ta sẽ trình bày phương pháp truy nhập cơ sở và cơ chế RST/CTS (yêu cầu phát/thông qua gửi) của DCF (chức năng điều phối phân bổ). Sau đó ta sẽ xét chức năng điều phối điểm (PCF).

### 4.8.2. Chức năng điều phối phân bố của 802.11

Chuẩn 802.11b định nghĩa hai phương pháp truy nhập: DCF (chức năng điều phối truy nhập) và CSMA/CA (đa truy nhập cảm nhận sóng mang/ tránh xung đột) để cho phép người sử dụng tranh chấp môi trường và PDF (chức năng điều phối điểm) cho phép truy nhập không tranh chấp thông qua trọng tài được thực hiện bởi một bộ điều phối điểm đặt trong điểm truy nhập (AP: Access Point). DCF đảm bảo dịch vụ nỗ lực nhất còn PCF đảm bảo dịch vụ bị hạn chế thời gian. Cả hai phương pháp có thể đồng tồn tại: cứ một chu kỳ tranh chấp thì tiếp sau là một chu kỳ không tranh chấp. PCF thích hợp cho các dịch vụ thời gian thực, nhưng hầu hết các sản phẩm 802.11 hiện nay không thực hiện phương pháp này.

Phương pháp truy nhập DCF (hình 4.15) được xây dựng trên cơ sở CSMA/CA.



Hình 4.15. Phương pháp truy nhập cơ sở

Một máy chủ (Host) muốn phát trước hết phải cảm nhận kênh và và đợi một khoảng thời gian được gọi là DIFS (Distributed Interframe Spacing: phân cách phân bố giữa các khung) và sau đó nếu môi trường vẫn yên lặng thì nó sẽ phát. Khi sử dụng DCF trạm phải tuân theo hai quy tắc truy nhập: (1) trạm chỉ được phát nếu cơ chế cảm nhận sóng mang xác định rằng môi trường đã rõ ràng trong khoảng thời gian DIFS và (2) để giảm xác suất xung đột giữa các trạm, sau khi thực hiện một cuộc truyền dẫn thành công trạm này phải chọn một khoảng thời gian lùi ngẫu nhiên trước khi lại tìm cách phát. Nếu gói được thu thành công, máy chủ thu sẽ gửi đi ACK sau một khoảng thời gian cố định khác được gọi SIFS (Short Interframe Spacing: phân cách ngắn giữa các khung). SIFS được thiết kế nhỏ hơn DIFS để đạt được ưu tiên cho khung ACK cao hơn DIFS. Nếu máy chủ phát không nhận được ACK, nó coi rằng đã xảy ra xung đột. Nó sẽ tìm cách phát lại gói sau khi khung rõ ràng trong khoảng thời gian bằng tổng của DIFS và thời gian lùi ngẫu nhiên.

Thời gian ngay sau một DIFS rõ ràng được chia thành các khe và trạm chỉ có thể phát tại đầu của từng khe. Kích thước của từng khe được đặt bằng thời gian cần thiết cho mỗi trạm để nó phát hiện được truyền dẫn gói từ một trạm bất kỳ. Giá trị của thời gian khe phụ thuộc vào lớp vật lý (xem bảng 4.2) thời gian trễ truyền sóng, thời gian chuyển mạch từ trạng thái thu sang trạng thái phát v.v...

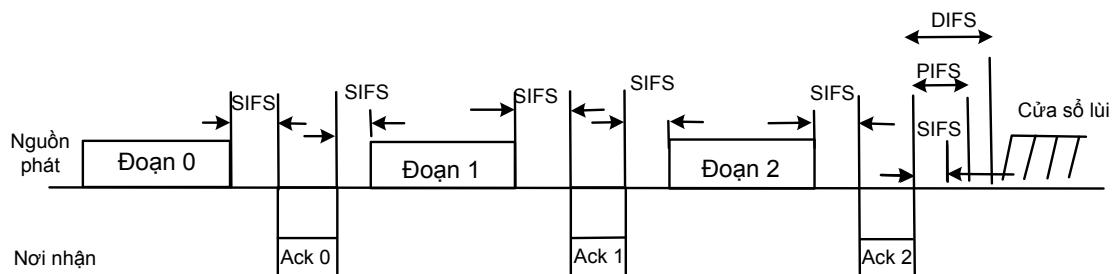
Bảng 4.2. Khe thời gian, CWmin, CWmax cho ba đặc tả PHY

PHY	Thời gian khe	CWmin	CWmax
FHSS	50μs	16	1024

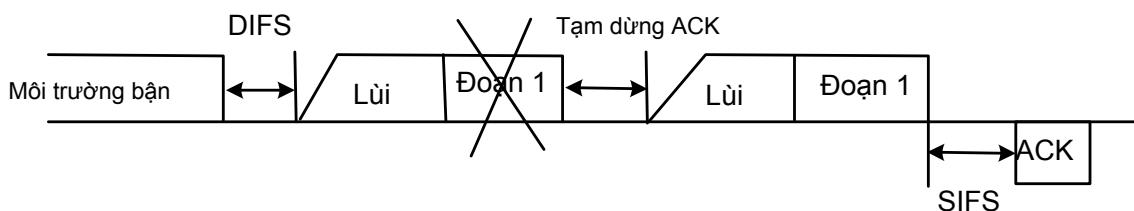
DSSS	20μs	32	1024
IR	8μs	64	1024

DCF cũng tiếp nhận sơ đồ lùi hàm mũ. Tại mỗi lần phát gói, thời gian lùi được chọn bằng nhau trong khoảng  $(0, w-1)$ . Giá trị  $w$  được gọi là cửa sổ va chạm. Tại lần thứ phát đầu tiên,  $w$  được đặt bằng CWmin (cửa sổ va chạm tối thiểu). Sau mỗi lần phát không thành công,  $w$  được nhân đôi cho đến khi đạt giá trị cực đại bằng CWmax. Các giá trị CWmin và CWmax được đặc tả trong bảng 7.1.

Một gói của mạng lớn có thể được chia thành các khung MAC nhỏ hơn trước khi được phát. Quá trình này được gọi là phân đoạn. Phân đoạn tạo nên các MPDU (MAC Protocol Data Unit: đơn vị số liệu dịch vụ MAC) có độ dài nhỏ hơn độ dài của MSDU (Mac Service Data Unit: đơn vị số liệu dịch vụ MAC) gốc. Mỗi đoạn được gửi đi như một cuộc truyền độc lập và được công nhận riêng rẽ. Mỗi khi đã tranh chấp được môi trường, trạm sẽ tiếp tục gửi đi các đoạn cùng với một khoảng trống SIFS giữa thụ ACK và khởi đầu đoạn tiếp theo cho đến khi hoặc tất cả các đoạn của một MSDU được gửi hết hoặc không nhận được ACK. Nếu một cuộc truyền cho một đoạn bị thất bại, trạm sẽ tìm cách phát lại đoạn bị truyền thất bại sau một thủ tục lùi. Các biểu đồ thời gian cho truyền dẫn các đoạn được thể hiện trên các hình 4.16 và 4.17.



Hình 4.16. Biểu đồ thời gian cho trường hợp truyền dẫn các đoạn thành công

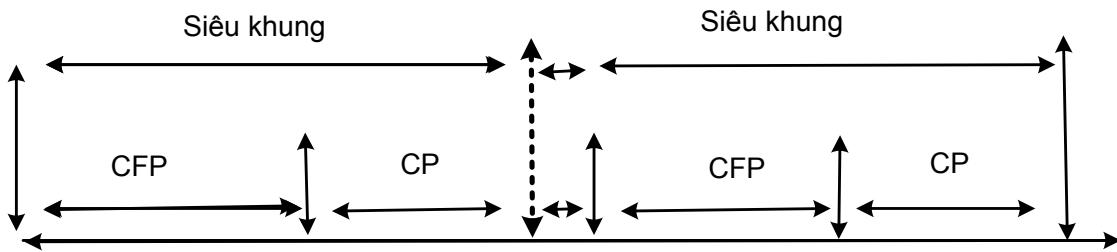


Hình 4.17. Biểu đồ thời gian cho trường hợp truyền đoạn thất bại và phát lại

Ngoài cơ chế bắt tay hai chiều cơ sở, 802.11 DCF còn đặc tả cơ chế bắt tay bốn chiều được gọi là RTS/CTS. Một trạm muốn phát gói phải đợi đến khi kênh được cảm nhận là rõ ràng với DIFS, sau quy tắc lùi nói trên. trạm phát một khung ngắn với tên gọi là RTS (Request to Send: yêu cầu gửi). Nếu trạm thu phát hiện được khung RTS, sau khoảng thời gian SIFS, nó sẽ trả lời bằng khung CTS (Clear to Send: thông qua gửi). Trạm phát sẽ được phép phát hối số liệu của mình nếu nó nhận được khung CTS chính xác. Các khung RTS/CTS mang thông tin về độ dài của gói cần phát. Bất kỳ trạm nào nghe được thông tin này đều sẽ cập nhật một vectơ phân định mạng (NAV: Network Allocation Vector) chứa thông tin về khoảng thời gian mà tại đó kênh vẫn bị bận. Vì thế khi một trạm hoặc không nhìn thấy hoặc trạm phát hoặc trạm thu, nó có thể tránh phát gói để tránh va chạm.

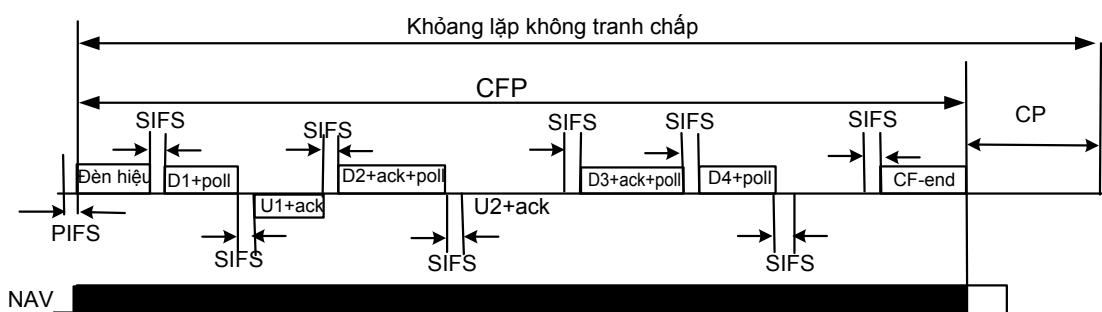
### 4.8.3. Chức năng điều phối điểm

Khi được điều phối trung tâm, cơ chế truy nhập của IEEE 802.11 MAC được gọi là PCF (Point Coordination Function: chức năng điều phối điểm) sẽ sử dụng giao thức dò hỏi và trả lời (Polling-and- Response) để điều khiển truy nhập cho môi trường không dây dùng chung. Khoảng thời gian hoạt động của PCF được gọi là chu kỳ không tranh chấp (CFP: Contention-free Period). Tiếp theo CFP là chu kỳ tranh chấp (CP: Contention Period). Tổng của hai chu kỳ này được gọi là siêu khung và được thể hiện trên hình 4.18. Như thấy trên hình 4.18, có thể xảy ra trường hợp trong đó một trạm bắt đầu phát khung ngay trước khi kết thúc CP, vì thế kéo dài siêu khung hiện thời và rút ngắn siêu khung tiếp sau.



Hình 4.18. Biểu đồ thời gian cho siêu khung vao gồm CFP và CP.

Điểm truy nhập thực hiện chức năng bộ điều phối điểm (PC: Point Coordinator). PC duy trì một danh sách các trạm cần thăm dò. PC tìm cách đạt được điều khiển môi trường tại khởi đầu CFP bằng cách cảm nhận xem môi trường có rối hay không trong một chu kỳ PIFS. Ngay khi PC (bộ điều phối điểm) có được điều khiển môi trường, nó bắt đầu phát lưu lượng xuống các trạm. Một giải pháp khác, PC cũng có thể gửi các khung thăm dò không tranh chấp (CF-Poll) đến các trạm đã yêu cầu dịch vụ không tranh chấp cho lưu lượng đường lên của chúng. Khi nhận được một thăm dò, trạm sẽ phát số liệu của nó sau khoảng SIFS nếu có lưu lượng đường lên cần gửi. Trái lại nó sẽ gửi đi trả lời với NULL (đây là một khung số liệu không có tải tin). Để sử dụng môi trường hiệu quả hơn trong thời gian CFP, các khung số liệu có thể công theo cả công nhận (CF-Ack) và các khung CF-Poll.



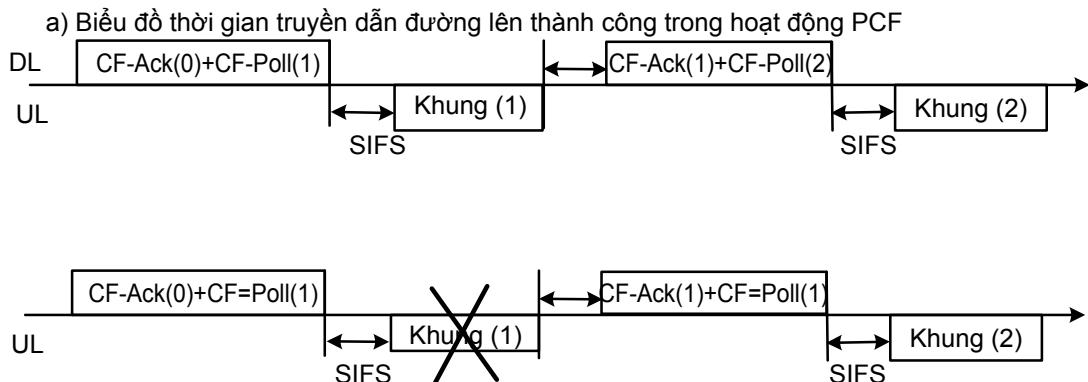
Dx: Các khung do PC gửi đi  
Ux: Các khung do các trạm được thăm dò gửi đi

Hình 4.19. Biểu đồ thời gian của các cuộc truyền thành công trong hoạt động PCF.

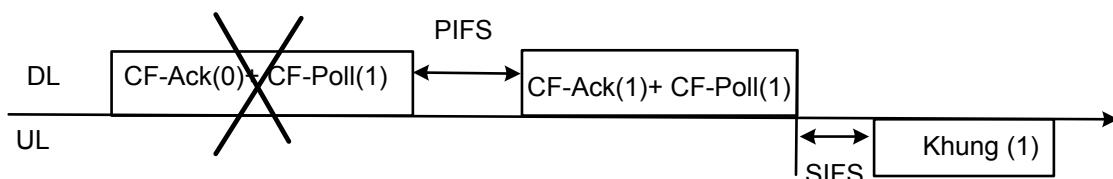
Hình 4.19 cho thấy hoạt động PCF chi tiết trong đó PC (Bộ điều phối điểm) phát quang bá một đèn hiệu mỗi khung một lần (còn được gọi là khoảng lặp của chu kỳ không tranh chấp) và phát khung đường xuống cũng như thăm dò mọi lưu lượng đường lên đối với từng trạm trong danh sách thăm dò của nó. Nếu có lưu lượng đường lên, trạm sẽ phát lưu lượng đường

lên công theo một ACK về khung đường xuống đã thu được. Bản tin CF-End được phát để thông báo cho các trạm về kết thúc chu kỳ không tranh chấp và chúng có thể tranh chấp trong chu kỳ tranh chấp.

Ta đi xét một thí dụ về truyền khung số liệu đường lên. Trước hết PC phát đi CF-Poll đến trạm không dây và đợi khung số liệu đường lên. Như thấy trên hình 4.20a, nếu khung số liệu được thu đúng trong khoảng thời gian SIFS, PC sẽ phát khung CF-ack+CF-Poll để cho phép truyền khung số liệu đường lên tiếp theo. Nếu khung số liệu bị thu sai, được xác định bởi FCS (Frame Check Sequence: chuỗi kiểm tra khung) sai, PC sẽ gửi đi một CF-Poll yêu cầu phát lại như thấy trên hình 4.20b. Tuy nhiên nếu trong khoảng thời gian SIFS không nhận được trả lời (có thể do thu sai khung CF-Poll trước đó của trạm được thăm dò), PC sẽ reclaim môi trường và gửi đi CF-Poll tiếp theo sau khoảng thời gian PIFS như thấy trên hình 4.21. Trong trường hợp này PC sẽ không nhầm với kịch bản trong đó trạm được thăm dò không có gì để phát do khung Null được kỳ vọng trong hoàn cảnh này. PC có thể chọn thăm dò lại trạm thay vì nhảy sang thăm dò trạm tiếp theo trong danh sách thăm dò.



Hình 4.20. Biểu đồ thời gian của một cuộc truyền đường lên thành công và không thành công trong hoạt động PCF.



Hình 4.21. Biểu đồ thời gian phát lại CF-Poll

## 4.9. Dung lượng và hiệu năng của hệ thống 802.11

### 4.9.1. Vùng phủ và hiệu năng thông lượng

Có thể áp dụng mô hình truyền Óong và tổn hao đường truyền truyền thống của các hệ thống tổ ong cho các hệ thống WLAN. Vì hầu hết WLAN làm việc trong môi trường trong nhà, nên có thể sử dụng mô hình tổn hao đường truyền với hai độ dốc có điểm gãy. Tổn hao đường truyền được mô hình bằng hai đường thẳng có độ dốc khác nhau và cắt nhau tại điểm gãy. Khi khoảng cách nhỏ hơn điểm gãy tổn hao trong không gian tự do được xác định như sau:

$$L_p = 20 \lg \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad (4.1)$$

Trong đó  $L_p$  suy hao trong không gian tự do tính theo dB,  $d$  là khoảng cách và  $\lambda$  là bước sóng. Khi khoảng cách lớn hơn điểm gãy, tốn hao đường truyền phụ thuộc vào môi trường truyền sóng và có thể được trình bày như sau:

$$L_p = L_{p-b} + 10 \cdot \alpha \cdot \left( \frac{d}{d_b} \right) \quad (4.2)$$

Trong đó  $L_{p-b}$  là tốn hao tại điểm gãy  $d_b$  và  $\alpha$  là mū của tốn hao đường truyền. Điểm gãy phụ thuộc vào chiều cao anten, khoảng hở vùng Fressnel thứ nhất, tần số phát và  $\alpha$  phụ thuộc vào môi trường truyền sóng. Thông thường có thể chọn giá trị  $d_b$  và  $\alpha$  như sau:  $d_b=10$  m và  $\alpha=3,2$  (môi trường văn phòng với chướng ngại trung bình).

Ngoài tốn hao đường truyền không gian tự do, đa đường và che tối ảnh hưởng đáng kể lên các hệ thống WLAN. Có thể lập mô hình che tối bằng một biến ngẫu nhiên phân bố log chuẩn tắc với dịch chuẩn là 8dB.

Các thiết bị 802.11b và 802.11g hoạt động trong cùng một băng tần, nên mô hình tốn hao đường truyền và phadding sẽ như nhau cho cả hai hệ thống. Nhưng 802.11a làm việc trong băng tần khác nên ảnh hưởng của tốn hao đường truyền sẽ khác so với các hệ thống 802.11b/g. Nếu mô hình tốn hao không gian tự do là chuẩn, thì hiệu số tốn hao giữa thiết bị 802.11a và 802.11b/g sẽ vào khoảng:

$$\begin{aligned} \Delta L_p &= 20 \lg \left( \frac{4\pi d}{\lambda_1} \right) - 20 \lg \left( \frac{4\pi d}{\lambda_2} \right) \\ &= 20 \lg \left( \frac{f_1}{f_2} \right) = 20 \lg \left( \frac{5}{2,4} \right) = 6,4 \text{ dB} \end{aligned} \quad (4.3)$$

Trong đó  $f_1$  và  $f_2$  là tần số của băng U-NII và ISM. Vì thế tốn hao đường truyền đối với các thiết bị 802.11b/g sẽ thấp hơn các thiết bị 802.11a 6,4dB.

Tốc độ số liệu của hệ thống 802.11 phụ thuộc vào khoảng cách. Tốc độ số liệu được chọn dựa trên cường độ tín hiệu thu đáp ứng được chất lượng truyền dẫn cho phép. Giải thuật giảm lùi (Fallback) được thiết kế để chọn tốc độ số liệu truyền dẫn dựa trên khoảng cách và môi trường truyền sóng. Tiêu chuẩn lựa chọn thường dựa trên tỷ lệ lỗi gói. 10% tỷ lệ lỗi gói thường được chọn làm ngưỡng giảm lùi. Tại điểm này, hệ thống sẽ giảm tốc độ số liệu xuống mức thấp hơn tiếp sau trong tập tốc độ khả dụng.

Cả mô phỏng lẫn đo đã đều đã được tiến hành để đánh giá vùng phủ và hiệu năng tốc độ số liệu cho hệ thống 802.11. Bảng 4.3 tổng kết tốc độ số liệu phụ thuộc vào khoảng cách cho các hệ thống WLAN khác nhau.

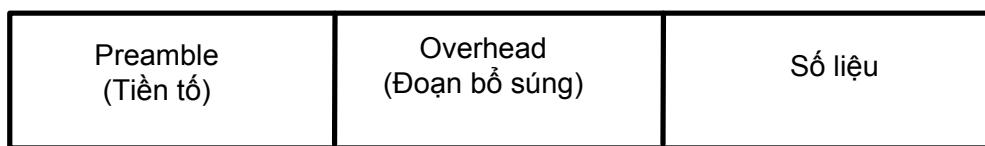
Bảng 4.3. Tốc độ phụ thuộc khoảng cách cho các hệ thống 802.11 khác nhau

802.11a		802.11b		802.11g	
Tốc độ số liệu (Mbps)	Khoảng cách (m)	Tốc độ số liệu (Mbps)	Khoảng cách (m)	Tốc độ số liệu (Mbps)	Khoảng cách (m)
54	7,2	11	34,5	54	12,6
48	10,5	5,5	54	48	14,1
36	24,9	2	67,5	36	19,5
24	26,4			24	25,5
18	39,9			18	32,1
12	51			12	40,5
6	67,5			6	54

Từ phân tích bảng 4.3 ta thấy:

- 802.11a có thể đảm bảo phủ sóng tương đương với 802.11b lên đến 67,4 m trong môi trường văn phòng điển hình
- Tốc độ số liệu 802.11a gần gấp 2 đến 5 lần so với 802.11b tại cùng một khoảng cách
- 802.11g có thể đảm bảo tốc độ số liệu như 802.11a
- Tốc độ số liệu 802.11g trong một ô đơn cao hơn 802.11a vì tốn hao đường truyền phụ thuộc tần số tốt hơn.

Một số đo hiệu năng quan trọng khác là thông lượng cảm nhận thực tế của người sử dụng. Thông lượng được định nghĩa là tỷ số giữa các bit thông tin được phát với thời gian truyền dẫn. Đây là tốc độ thực tế của các bit thông tin được phát khi có xét đến các chi phí bổ sung. Hình 4.22 cho thấy khuôn dạng khung đã được đơn giản hóa của một gói số liệu 802.11. Gói số liệu đầy đủ bao gồm ba đoạn. Đoạn thứ nhất được gọi là tiền tố (Preamble) được dùng để phát hiện tín hiệu, bắt thông tin định thời/tần số và đồng bộ. Đoạn thứ hai được gọi là đoạn bổ sung (Overhead) chứa thông tin về tốc độ số liệu, độ dài gói và các địa chỉ. Đoạn thứ ba được gọi là đơn vị số liệu giao thức MAC (MPDU: MAC Protocol Data Unit) chứa các bit thông tin thực sự.



Hình 4.22. Cấu trúc khung được đơn giản hóa của một gói số liệu 802.11

Kết hợp của tiền tố và đoạn bổ sung được gọi là trường PLCP (Physical Layer Convergence Protocol: giao thức hộ tụ lớp vật lý) trong một gói 802.11.

Thông lượng phụ thuộc vào một số yếu tố khác nhau: tốc độ truyền dẫn số liệu, đoạn bổ sung giao thức, hiệu quả MAC, tiền tố và kích thước gói. Các yếu tố khác như các va chạm giữa các người sử dụng, phát lại do xung đột và hiệu suất của các lớp cao hơn (TCP/IP cũng có thể ảnh hưởng lên thông lượng). Như vậy thông lượng cảm nhận thực tế của người sử dụng thấp hơn nhiều so với tốc độ số liệu truyền dẫn. Chẳng hạn trong một gói số liệu 802.11b, tiề

tô có 144 bit và đoạn bổ sung có 192 bit. Tiền tố và đoạn bổ sung được truyền tại tốc độ 1Mbps vì thế cần chi phí thêm 192 μs. Tốc độ truyền dẫn số liệu thực thụ là một trong số các tốc độ số liệu có thể được định nghĩa. Tổng chi phí bổ sung vào khoảng 50%. Thông lượng vào khoảng 5Mbps đối với tốc độ số liệu 11 Mbps trong 802.11b và 30Mbps đối với tốc độ số liệu 54Mbps trong 802.11g.

#### 4.9.2. Ảnh hưởng của nhiễu đồng kênh lên dung lượng hệ thống

Phần trên chỉ nhấn mạnh đến quỹ đường truyền trong đó chỉ trình bày hiệu năng giữa hai nút (điểm truy nhập đến trạm di động và ngược lại). Dung lượng hệ thống là một số đo quan trọng thường được sử dụng để đánh giá hiệu năng hệ thống. Dung lượng hệ thống thường được coi là tổng thông lượng của toàn bộ hệ thống WLAN bao gồm nhiều ô và nhiều người sử dụng.

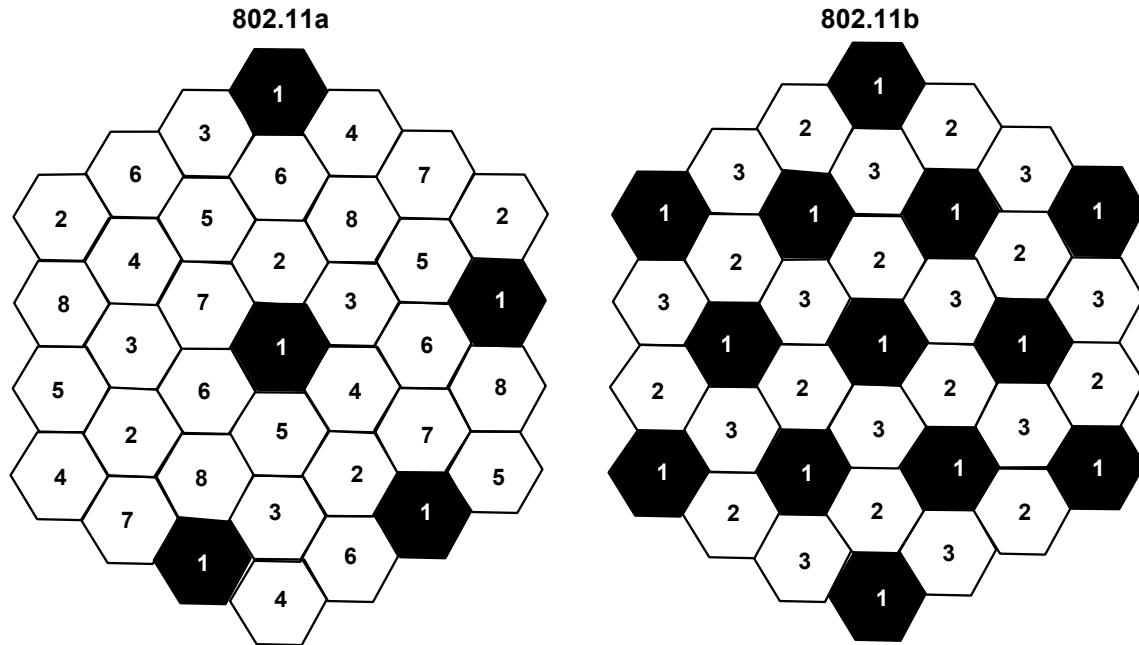
Khi triển khai một ô đơn và nếu chỉ có một người sử dụng, dung lượng hệ thống tương đương với thông lượng mà trạm di động nhận được. Đối với nhiều trạm di động, dung lượng hệ thống bằng thông lượng trung bình ô của tất cả các trạm di động. Trạm di động nằm gần điểm truy nhập hơn sẽ có thông lượng cao hơn, còn trạm di động nằm tại biên ô sẽ có thông lượng thấp hơn. Thông lượng ô trung bình bằng tổng thông lượng chia cho số trạm di động với giả thiết là thông lượng tổng này chia đều cho tất cả các tạm di động trong ô. Dựa trên các kết quả đo, thông lượng ô trung bình của hệ thống 802.11b với bán kính ô 67,5 m bằng 3,1 Mbps. Thông lượng ô trung bình của hệ thống 802.11a vào khoảng 9,4Mbps, gấp ba lần thông thương ô của 802.11b. Đối với ô bán kính 19,5m, thông lượng ô trung bình đối với 802.11a gấp 5 lần 802.11b nghĩa là bằng 23Mbps so với 5Mbps.

Trong triển khai nhiều ô, nhiều từ các ô khác sẽ gây ảnh hưởng đáng kể lên dung lượng hệ thống. Trong các hệ thống 802.11b, vì chỉ có ba kênh khả dụng, nên kênh tần số phải được tái sử dụng cho từng cụm ba ô. Các ô dung chung tần số sẽ gây nhiễu cho nhau và giảm dung lượng hệ thống. Hệ thống 802.11a có 8 kênh khả dụng, nên ảnh hưởng của nhiều đồng kênh sẽ ít nghiêm trọng hơn so với hệ thống 802.11b. Hình 4.23 minh họa quy hoạch ba lớp (57 ô) và án định kênh cho các hệ thống 802.11a và 802.11b. Đối với hệ thống 802.11b, thừa số tái sử dụng tần số là 3. Mỗi ô có ít nhất là một ô lân cận chia sẻ cùng một tần số và sẽ gây nhiễu đồng kênh trung bình là 1,67. Đối với hệ thống 802.11a, thừa số tái sử dụng tần số là 8, vì thế không có nhiễu trong lớp thứ nhất và lớp thứ hai.

Có thể sử dụng mô phỏng hệ thống để đánh giá thông lượng ô do ảnh hưởng của nhiều đồng kênh. Hai mô hình ảnh hưởng của nhiễu đồng kênh lên dung lượng hệ thống đã được đề xuất cho mô phỏng. Phương pháp CCA (Clear Channel Assessment: đánh giá kênh rõ) lập mô hình giảm thông lượng trong đó điểm truy nhập trong một ô phải đợi cho đến khi có kênh cho truyền dẫn. Phương pháp thứ hai được gọi là “ô ẩn” lập mô hình giảm thông lượng khi phát từ các ô không phát hiện được làm hỏng các truyền dẫn khác.

Để đánh giá nhiễu đồng kênh, thông số kháng nhiễu CCI (Co-Channel Interference: nhiễu đồng kênh) được định nghĩa bằng tỷ số giữa song mang trên nhiễu như sau:

$$CCI = \frac{P_{carrier}}{P_{inter}} \quad (4.4)$$



Hình 4.23. Các ô gây nhiễu đồng kênh trong 802.11a và 802.11b

Để đảm bảo một mức chất lượng dịch vụ nhất định (tỷ lệ lỗi gói PER<10% chặng hạn) cần đảm bảo kháng nhiễu CCI trên toàn bộ ô. Sơ đồ CCA cung cấp phương pháp để phát hiện mọi mức CCI được phép. Trong sơ đồ CCA, ngưỡng CCA được định nghĩa là mức nhiễu được phép rút ra từ kháng nhiễu CCI:

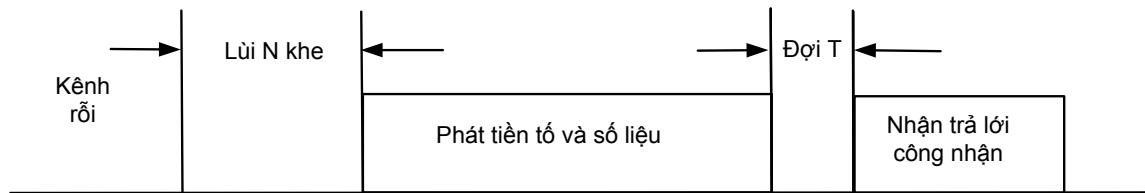
$$P_{cca-t} = P_{cell-edge} - CCI_{immunity} \text{ (dB)} \quad (4.5)$$

Trong đó  $P_{cell-edge}$  là mức công suất thu được tại biên ô. Cần đảm bảo rằng máy phát phải có khả năng phát hiện được ngưỡng nhiễu cho phép cực tiểu  $P_{t-CCA}$  bởi sơ đồ CCA. Ngưỡng được định nghĩa trong phương trình (4.5) là một giá trị lý tưởng. Trong thực tế, mức công suất song mang phải lớn hơn mức cảm nhận song mang tối thiểu, vì thế ngưỡng CCA thực tế được đặt như sau:

$$P_{cca-t} = \max(P_{cell-edge}, P_{min-carrier-sense}) - CCI_{immunity} \quad (4.6)$$

#### 4.9.3. Hiệu năng của các hệ thống hỗn hợp 802.11g và 802.11b

Mặc dù hỗ trợ tốc độ di động cao và tương thích ngược với các thiết bị 802.11b, vẫn còn có một số nguyên nhân làm giảm hiệu năng nhất là trong môi trường hỗn hợp 802.11g và 802.11b. Để phát gói số liệu, các thiết bị 802.11 cần truy nhập kênh theo giao thức MAC. Lớp 802.11 MAC sử dụng CSMA-CA để tránh việc hai thiết bị phát cùng một lúc. Một thiết bị chỉ có thể phát số liệu khi không có thiết bị nào khác đang phát để tránh xung đột. Như thấy trên hình 4.24, khi một thiết bị phát hiện kênh rỗng, nó sẽ đợi trong một khoảng thời gian ngẫu nhiên trước khi phát số liệu. Nhờ vậy giảm xác suất mà một thiết bị khác sẽ tìm cách phát đồng thời. Khoảng thời gian ngẫu nhiên này được gọi là thời gian lùi (Backoff). Sau khi phát gói số liệu, thiết bị phải đợi trả lời công nhận trước khi phát gói tiếp theo.



Hình 4.24. Truy nhập kênh gói của 801.11

Trong thủ tục truy nhập kênh, thời gian được tính theo đơn vị thời gian khe. Giá trị của thời gian khe phụ thuộc vào khuôn dạng tạo khung của lớp vật lý, tốc độ truyền dẫn và cấu trúc máy phát/máy thu. Trong 802.11b, thời gian khe được quy định là  $20\mu s$ . Trong 802.11a, thời gian khe được quy định là  $9\mu s$ . 802.11g sử dụng cả hai thời gian khe nói trên. Tại lớp MAC, va chạm truy nhập và đơn vị thời gian lùi ngẫu nhiên đều dựa trên khe. Thời gian khe càng ngắn thì càng ít chi phí cho truyền dẫn và vì thế cải thiện hiệu suất. Tuy nhiên trong kịch bản pha trộn 803.11b và 802.11g, tuy nhiên các thiết bị 802.11g phải sử dụng khe thời gian dài hơn ( $20\mu s$ ) để cạnh tranh công bằng với các thiết bị 802.11b. Điều này là cần thiết để tránh xử lý thiên vị đối với các thiết bị hỗ trợ thời gian khe ngắn hơn. Vì thế các thiết bị 802.11g hoạt động trong cùng một mạng với 802.11b phải sử dụng thời gian khe  $20\mu s$ . Việc sử dụng thời gian khe dài hơn sẽ giảm độ lợi thông lượng trong 802.11g. So sánh hệ thống 802.11a với hệ thống chỉ có 802.11g, giảm thông lượng khi sử dụng thời gian khe dài hơn sẽ lên đến 20% phụ thuộc vào tốc độ số liệu mà thiết bị phát.

Các thiết bị 802.11b không thể phát hiện được các tín hiệu OFDM do các thiết bị 802.11g phát. Các thiết bị 802.11b sẽ nhận định nhầm rằng môi trường không có truyền dẫn. Vì thế dẫn đến xung đột và giảm thông lượng. Để không xảy ra điều này và cải thiện hiệu năng, chuẩn 802.11 đòi hỏi các thiết bị phải áp dụng cơ chế bảo vệ trong môi trường hỗn hợp 802.11g/802.11b. Chuẩn đặc ta hai cơ chế bảo vệ: RTS/CTS (Request to Send/Clear to Send: yêu cầu gửi/ thông qua để phát) và CTS-to-self (tự thông qua gửi).

Trong sơ đồ CTS-self, điểm truy nhập sẽ gửi đi bản tin CTS khi nó cần phát đi một gói mà không thu trước bản tin RTS.

Cả hai cơ chế RTS/CTS và CTS-self đều được sử dụng để giảm xung đột trong truyền dẫn gói. Tuy nhiên các cơ chế này đòi hỏi thời gian truyền dẫn cùng một lượng số liệu dài hơn và vì thế giảm thông lượng hiệu dụng. Giảm thông lượng trong trường hợp này có thể lên đến 30%.

#### 4.10. Kết luận

Trước hết chương này đã xét tổng quan các vấn đề liên quan đến mạng nội bộ không dây WLAN và WiFi. Chương đã xét cấu trúc của một mạng WLAN và kết hợp giữa nó với mạng LAN hữu tuyến. Các chuẩn khác nhau của 802.11 đã và các tần số áp dụng cho WiFi đã được xét trong chương này. Chương đã xét các giao thức truy nhập của 802.11 như DCF dựa trên CSMA/CA và PCF. Cuối cùng chương xét đến các vấn đề liên quan đến dung lượng và hiệu năng của hệ thống 802.11.

## Câu hỏi chương 4

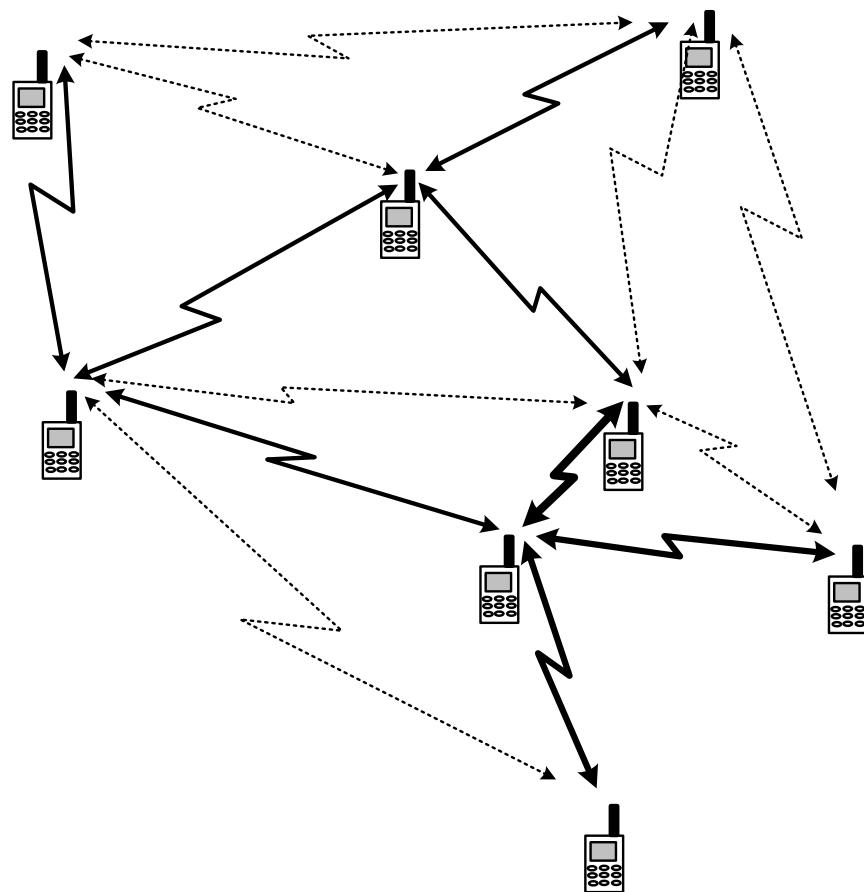
1. Trình bày quan hệ giữa LAN và WLAN
1. Trình bày kiến trúc một mạng WLAN
2. Trình xét giao thức theo mô hình tam chuẩn các lớp giao thức mang
3. Trình bày các thành phần logic của WLAN
4. Trình bày cấu hình topo của mạng WLAN
5. Trình bày kiến trúc sở và chế độ khai thác mạng đối với hệ thống 802.11
6. Trình bày các băng tần của WLAN
7. Trình bày các tiêu chuẩn vô tuyến của mạng không dây
8. Trình bày các dịch vụ và các cơ chế hỗ trợ cho 802.11
9. Trình bày lớp vật lý của 802.11
10. Trình bày các chức năng phương pháp truy nhập DCF của 802.11
11. Trình bày các chức năng phương pháp truy nhập PCF của 802.11
12. Trình bày dung lượng và hiệu năng của hệ thống 802.11.

## CHƯƠNG 5

### CÁC MẠNG ADHOC KHÔNG DÂY

#### 5.1 Mở đầu

Mạng ad hoc không dây là tập hợp các nút không dây tự lập cấu hình để tạo nên một mạng mà không cần sự hỗ trợ của bất cứ một hạ tầng được thiết lập trước (hình 5.1). Không cần hạ tầng, các máy di động tự mình xử lý điều khiển cũng như các nhiệm vụ nội mạng cần thiết (thường thông qua các giải thuật điều khiển phân bố).



Các đường không liên tục biểu thị cho không kết nối được do SINR thấp.  
Độ rộng các đường càng lớn thì mức SINR càng cao.

Hình 5.1. Mạng ad hoc

Định tuyến đa chặng trong đó các nút trung gian làm nhiệm vụ chuyển tiếp các gói đến nơi nhận cuối cùng cho phép cải thiện thông lượng mạng và hiệu suất nguồn. Có thể đưa ra hai định nghĩa liên quan đến ad hoc: 1) “được tạo ra hay được sử dụng cho các vấn đề đặc thù hay tức thì và (2) “được cấu thành từ bất cứ thứ gì khả dụng tức thì”. Các định nghĩa này thể hiện được hai lợi chính của các mạng ad hoc là chúng có thể được tạo ra cho các ứng dụng đặc thù và từ bất cứ nút mạng khả dụng. Các mạng không dây ad hoc cũng có các tính năng khác như không đòi hỏi lắp đặt và bảo dưỡng mạng hạ tầng tốn kém. Ngoài ra chúng

cũng rất bền vững do tinh chất phân bố, dự phòng nút và không có các điểm sự cố đơn. Chúng có thể được lắp đặt và lập lại cấu hình dễ dàng. Các đặc tính này đặc biệt quan trọng cho các ứng dụng quân sự và vì thế rất nhiều nghiên cứu đã được hỗ trợ bởi (DARPA: (Defense) Advanced Research Projects agency). Rất nhiều nguyên lý thiết kế mang tính đột phá cho các mạng ad hoc đã được định nghĩa và nghiên cứu. Tuy nhiên mặc dù đã đạt được rất nhiều tiến bộ trong các thập niên gần đây trong thông tin không dây nói chung và trong các mạng ad hoc nói riêng, hiệu năng thiết kế tối ưu và hiểu biết về các khả năng cơ bản của các mạng này vẫn còn ít.

Phần này trước hết xét tổng quan các ứng dụng của mạng không dây ad hoc. Sau đó trình bày các nguyên lý thiết kế cơ sở và các thách thức của các mạng ad hoc. Tiếp theo phần này sẽ xét khái niệm phân lớp giao thức cùng với tương tác lớp và các lợi ích của thiết kế lớp tương tác chéo. Cuối cùng chương này xét các giới hạn dung lượng và các luật định cõi cho các mạng này.

## 5.2. Ứng dụng của các mạng Ad HOC không dây

Phần này sẽ mô tả một số ứng dụng quan trọng nhất của các mạng không dây ad hoc. Bản chất tự lập cấu hình và không cần hạ tầng khiến cho các mạng không dây ad hoc trở nên hấp dẫn đối với nhiều ứng dụng mặc dù điều này có thể phải trả giá bằng giảm cấp hiệu năng rất lớn. Không cần hạ tầng là một mong muốn rất lớn đối với các hệ thống thương mại giá thành thấp, vì nó tránh được đầu tư lớn cho xây dựng và vận hành mạng, nhất là giá thành triển khai tăng cùng với sự thành công của mạng. Không cần hạ tầng cũng rất cần cho các hệ thống quân sự trong đó các mạng thông tin phải được lập cấu hình nhanh chóng khi xuất hiện các yêu cầu này, thường là trong các vùng hẻo lánh. Các ưu điểm khác của các mạng không dây ad hoc là dễ dàng lập lại cấu hình và giảm chi phí bảo dưỡng. Tuy nhiên cũng cần cân đối các ưu điểm này cũng với sự trả giá về hiệu năng do phải định tuyến đa trạm và điều khiển phân bố.

Dưới đây ta sẽ tập trung lên ba ứng dụng sau: các mạng số liệu, các mạng gia đình, các mạng thiết bị, các mạng cảm biến và các hệ thống điều khiển phân bố. Tất nhiên đây chưa phải là danh sách đầy đủ và trong thực tế sự thành công của các mạng ad hoc xoay quanh việc làm cho chúng đủ linh hoạt để có thể có các thành công tình cờ. Điều này nằm ở lĩnh vực thiết kế đối với các mạng này. Nếu mạng được thiết kế để đạt được tính linh hoạt cao nhất cho việc hỗ trợ nhiều ứng dụng (một kích cỡ phù hợp cho tất cả các mạng) thì rất khó làm cho mạng này phù hợp với các yêu cầu ứng dụng khác nhau. Điều này dẫn đến hiệu năng kém đỏi với một số ứng dụng nhất là các ứng dụng đòi hỏi tốc độ số liệu cao và yêu cầu trễ nghiêm ngặt. Một khác nếu mạng được xây dựng để phù hợp với một số ít các ứng dụng đặc thù thì các nhà thiết kế phải dự báo trước được các “các ứng dụng nguy hiểm” này sẽ là gì – rủi do đè xuất. Lý tưởng, mạng không dây ad hoc phải đủ linh hoạt để hỗ trợ nhiều ứng dụng khác nhau trong khi vẫn thích ứng được hiệu năng của nó cho các ứng dụng trong hoạt động tại mọi thời điểm cho trước. Thiết kế lớp chéo thích ứng có thể đảm bảo được tính linh hoạt này cùng với khả năng làm cho thiết kế giao thức phù hợp với các hạn chế năng lượng trong một nút.

### 5.2.1. Các mạng số liệu

Các mạng số liệu không dây ad hoc trước hết hỗ trợ trao đổi số liệu giữa các máy tính xách tay, máy tính cầm tay, các PDA và thiết bị thông tin khác. Nói chung các mạng số liệu này nằm trong ba loại dựa trên vùng phủ: các mạng LAN, các mạng MAN và các mạng WAN. Các mạng LAN dựa trên hạ tầng mạng rất phổ biến hiện nay và cung cấp hiệu năng tốt với giá thành thấp. Tuy nhiên các mạng số liệu không dây ad hoc có một số ưu điểm so với các mạng số liệu dựa trên hạ tầng. Trước tiên vì chỉ cần một điểm truy nhập kết nối đến hạ tầng hữu tuyến đường trực nên sẽ giảm giá thành và các yêu cầu lắp đặt. Ngoài ra trong khi không hiệu quả khi các nút phải kết nối qua một điểm truy nhập hay trạm gốc trong các mạng không dây dựa trên hạ tầng, thì các thiết bị không dây cạnh nhau trong mạng ad hoc không dây có thể trao đổi thông tin trực tiếp chứ không cần định tuyến qua một nút trung gian.

MAN không dây thường yêu cầu phải định tuyến đa chặng để phủ các vùng rộng lớn. Thách thức đối với các mạng này là phải hỗ trợ tốc độ số liệu cao với chi phí hiệu quả trên nhiều chặng, trong khi chất lượng từng chặng khác nhau và thay đổi theo thời gian. Không có điều khiển trung tâm và khả năng cho các người sử dụng di động tốc độ cao làm phức tạp thêm các mục tiêu này. Các chương trình quân sự như DARPA's GLOMO (Global mobile information systems) đã đầu tư nhiều thời gian và tiền của để xây dựng các MAN không dây hỗ trợ đa phương tiện với thành công hạn chế. Các MAN không dây ad hoc đã được đưa vào thương mại mà Meritcom là một thí dụ điển hình. Metricon truyền tốc độ số liệu khá cao trên một số khu vực đô thị, nhưng do không có nhu cầu lớn nên cuối cùng Metricom phải tuyên bố phá sản.

Các WAN không dây ad hoc cần thiết cho các ứng dụng trong đó hạ tầng mạng cần thiết để bao phủ các vùng rộng lớn quá tốn kém hoặc không thể triển khai. Chẳng hạn các mạng cảm biến có thể rơi vào các vùng xa xôi trong đó không thể phát triển hạ tầng. Ngoài ra các mạng đòi hỏi phải được xây dựng và rờ bờ nhanh chóng, chẳng hạn cho các ứng dụng quân sự và cứu trợ thiên tai, chỉ có thể được thực hiện theo cách tiếp cận ad hoc.

### 5.2.2. Các mạng nhà

Các mạng nhà được dự kiến để hỗ trợ thông tin giữa các máy tính PC, laptop, PDA, điện thoại không dây, các thiết bị thông minh, các thiết bị giám sát và an ninh, các thiết bị điện tử dân dụng và các hệ thống giải trí tại mọi vị trí bên trong và xung quanh nhà. Các mạng này có thể tạo nên các phòng thông minh có thể cảm biến con người và sự di động cùng như điều chỉnh ánh sáng, sưởi ấm một cách phù hợp, cũng như tạo ra các "căn nhà khôn tri" trong đó các bộ cảm biến và các máy tính của mạng được sử dụng để hỗ trợ cuộc sống của các người già và người khuyết tật. Mạng nhà cũng bao gồm cả: (1) các hệ thống video hay các hệ thống giám sát bằng cảm biến thông minh để kết hợp, giải nghĩa số liệu và cảnh báo cho chủ nhà cũng như cảnh sát hay lực lượng cứu hỏa về các hiện tượng bất thường, (2) các thiết bị thông minh cộng tác với nhau sử dụng internet để điều khiển từ xa, cập nhật phần mềm và lập lịch bảo dưỡng và (3) các hệ thống giải trí cho phép truy nhập đầu VCR, bộ chuyển đổi truyền hình hay PC từ mọi hệ thống video và dàn âm thanh stereo trong nhà. Đối với các mạng này tồn tại một số thách thức thiết kế. Một trong số các thách thức lớn nhất là cần hỗ trợ các yêu cầu chất lượng dịch vụ (QoS) khác nhau cho các ứng dụng nối mạng nhà khác nhau.

QoS trong trường hợp này đề cập đến các yêu cầu của một ứng dụng, điển hình là tốc độ số liệu và các quy định về độ trễ (các quy định này có thể rất chặt chẽ đối với các hệ thống giải trí nhà). Các thách thức khác bao gồm giá thành và yêu cầu chuẩn hóa, vì tất cả các thiết bị được cản hổ trợ bởi mạng nhà phải tuân thủ cùng một tiêu chuẩn nối mạng. Cần lưu ý rằng các thiết bị truy nhập mạng nhà khác nhau có các hạn chế công suất nguồn điện khác nhau: một số có nguồn cố định và có thể không bị hạn chế, trong khi đó một số có nguồn acqui hạn chế và có thể phải nạp lại. Như vậy một trong số các thách thức lớn nhất khi thiết kế mạng nhà là phải tận dụng công suất nguồn trong các thiết bị không bị hạn chế cho tải nối mạng và thông tin cao để đáp ứng được các yêu cầu đối với tất cả các nút bắt chấp các hạn chế về nguồn của chúng.

### 5.2.3. Các mạng thiết bị

Các mạng thiết bị hỗ trợ các kết nối không dây cự ly ngắn giữa các thiết bị. Các mạng này được dự kiến trước hết là để thay thế các kết nối bất tiện bằng cáp bằng các kết nối không dây. Như vậy sẽ loại bỏ được cáp nối và các conector giữa và máy di động, modem, đầu nghe, PDA, máy tính, máy in, máy chiếu, các điểm truy nhập mạng và các thiết bị khác. Các công nghệ động lực cho các mạng này là các công nghệ vô tuyến giá thành thấp có khả năng nối mạng như Bluetooth, Zigbee và UWB (Ultra-wide Band). Các công nghệ vô tuyến được tích hợp trong các thiết bị điện tử thương mại để cung cấp khả năng nối mạng giữa các thiết bị. Một số ứng dụng thường gặp là đầu nghe của điện thoại di động, USB không dây hay connecter RS232, các card PCMCIA không dây và các hộp chuyển đổi không dây.

### 5.2.4. Các mạng cảm biến

Các mạng cảm biến bao gồm các nút nhỏ có khả năng cảm biến, tính toán và nối mạng vô tuyến, như vậy các mạng này quy tụ của ba công nghệ quan trọng. Các mạng cảm biến có tiềm năng rất lớn cho các ứng dụng dân sự và quân sự. Các nhiệm vụ quân sự đòi hỏi các bộ cảm biến và các cơ chế thu tập dữ liệu thông minh khác đặt gần các mục tiêu chủ định. Độ dọa tiềm năng đối với các cơ chế này là rất cao, vì thế công nghệ được sử dụng phải có khả năng dự phòng cao và đòi hỏi sự can thiệp của con người ít nhất. Giải pháp hiện nhiên nhất cho các hạn chế này là các mảng bộ cảm biến điện tử, quang, hóa học và sinh học. Các bộ cảm biến này có thể được sử dụng để nhận dạng và theo dõi các mục tiêu và cũng có thể được sử dụng như là tuyến đầu tiên phát hiện các kiểu tấn công khác nhau. Các mạng này cũng có thể hỗ trợ sự chuyển động của các xe không người lái. Chẳng hạn các mạng cảm biến quang có thể đảm bảo điều hướng được nối mạng, định tuyến các xe quân sự vòng qua các chướng ngại tiến vào vị trí phòng vệ hoặc tấn công. Các nghiên cứu thiết kế cho một số ứng dụng công nghiệp cũng rất giống đối với các nghiên cứu thiết kế cho các ứng dụng công nghiệp. Đặc biệt các mảng cảm biến có thể được triển khai sử dụng cho cảm biến từ xa trong các nhà máy năng lượng hạt nhân, hàm mỏ và các địa điểm công nghiệp khác.

Các thí dụ về các mạng cảm biến cho môi trường nhà bao gồm: các công tơ điện, khi đốt và nước cho phép đọc được từ xa bằng các kết nối không dây. Sự sử dụng rộng rãi các thiết bị đo đơn giản trong nhà có thể hỗ trợ nhận dạng và điều chỉnh các thiết bị trong nhà như: điều hòa không khí, lò sưởi bằng nước nóng, là các thiết bị tiêu thụ nhiều điện và khí ga. Chẳng hạn một người sử dụng từ một đầu cuối (máy tính chẩn đoán) có thể theo dõi các kiểu thông

tin khác nhau về tiêu thu năng lượng trong nhà. Bằng cách tương tự ta cũng có thể điều khiển sử dụng máy thu hình cũng như chương trình tv từ xa. Một ứng dụng trong nhà quan trọng nữa là các bộ phát hiện khói (hỏa hoạn). Mạng cảm biến nhà không chỉ giám sát các phần khác nhau của căn nhà mà còn theo dõi được sự lan tỏa của hỏa hoạn. Thông tin này có thể được chuyển đến trạm cứu hỏa địa phương cùng với sơ đồ thiết kế căn nhà trước khi lính cứu hỏa đến. Tương tự, mạng cảm biến có thể được sử dụng để phát hiện sự xảy ra và lan tỏa của rò rỉ khí ga hay các khói độc khác. Các mảng cảm biến cũng có tiềm năng lớn để sử dụng tại các địa điểm thường xảy ra tai nạn. Chẳng hạn sử dụng để cảm biến từ xa cho các hoạt động cứu hộ khi xảy ra đổ nhà. Các mảng cảm biến có thể được triển khai nhanh chóng tại nơi tai nạn và sử dụng để theo dõi nhiệt độ, khí tự nhiên và các hóa chất độc hại.

Các bộ cảm biến thường được triển khai với pin không nạp lại. Vì lý do tuổi thọ của pin trong các thiết bị cảm biến, các công nghệ vô tuyến lấy năng lượng từ môi trường (thường được gọi là Energy-Harvesting: thu hoạch năng lượng) có kích thước cực nhỏ thường được sử dụng. Các nghiên cứu trong lĩnh vực này cho thấy có thể sử dụng các hệ thống vô tuyến nhỏ hơn một cm khối, trọng lượng 100 gam và tiêu thụ công suất  $100 \mu\text{W}$ . Mức tiêu thụ công suất thấp cho phép các nút lấy đủ công suất từ môi trường ngoài để duy trì hoạt động lâu dài. Các công nghệ vô tuyến này mở ra các ứng dụng mới để triển khai bộ cảm biến trong các tòa nhà., các căn nhà và thậm chí trên cơ thể người.

### 5.2.5. Hệ thống điều khiển phân tán

Mạng Ad hoc không dây cũng cho phép các ứng dụng điều khiển phân tán bằng các máy móc, các bộ cảm biến và các bộ dẫn động từ xa liên kết với nhau thông qua các kênh thông tin không dây. Các mạng như vậy cho phép điều phối các khối di động không người điều khiển và giám đáng kể chi phí bảo trì và lập lại cấu hình so với các hệ thống điều khiển phân tán sử dụng các kết nối thông tin hữu tuyến. Mạng ad hoc không dây có thể được sử dụng để hỗ trợ điều khiển phối hợp nhiều xe trong một hệ thống đường cao tốc tự động, điều khiển từ xa quá trình sản xuất và các quá trình công nghiệp và phối hợp các xe quân sự được vận chuyển bằng hàng không (Airborne Vehicle) không người điều khiển.

Các thiết kế điều khiển phân tán hiện nay cung cấp hiệu năng tuyệt vời và cũng bền vững đối với các thay đổi thông số mô hình. Tuy nhiên, các thiết kế được xây dựng trên cơ sở quá trình hoạt động vòng kín, mà kiến trúc tập trung, các hệ thống đồng bộ và cấu hình cố định áp dụng. Do đó, các hệ thống này yêu cầu tín hiệu từ các bộ cảm biến và thiết bị truyền động phải được chuyển đến bộ điều khiển với một độ trễ nhỏ cố định. Mạng Ad hoc không dây không thể cung cấp bất kỳ một sự đảm bảo nào về hiệu năng liên quan đến tốc độ số liệu, độ trễ và mất gói: trễ thường ngẫu nhiên và các gói có thể bị mất. Tuy nhiên đa phần các bộ điều khiển phân tán không bền vững đối với các kiểu lỗi thông tin này và các amhr hướng của các trễ nhỏ có thể dẫn đến thảm họa. Vì thế cần phải thiết kế lại các bộ điều khiển phân tán để chống lại các trễ ngẫu nhiên và tổn thất gói cố hữu trong các mạng không dây. Lý tưởng có thể thiết kế các mạng ad hoc không dây kết hợp với bộ điều khiển để đạt được hiệu năng đầu cuối tốt nhất.

### 5.3. Các nguyên lý và các thách thức thiết kế

Đặc điểm căn bản nhất của một mạng ad hoc không dây là không có hạ tầng và vì thế hầu hết các nguyên lý thiết kế cũng như các thách thức bắt nguồn từ đặc điểm này. Ta có thể minh họa sự không có hạ tầng này bằng cách so sánh với các mạng không dây phổ biến khác như: các mạng tổ ong và các mạng WLAN. Các hệ thống tổ ong chia vùng địa lý thành các ô và các đầu cuối di động trong một ô kết nối thông tin với một trạm gốc đặt tại tâm ô được nối đến mạng hữu tuyến đường trục. Vì thế không có kết nối trực tiếp giữa các đầu cuối di động. Tất cả kết nối thông tin đều phải qua trạm gốc theo định tuyến một chặng. Các trạm gốc và mạng đường trục thực hiện các chức năng nối mạng bao gồm nhận thực, định tuyến cuộc gọi và chuyển giao. Hầu hết các mạng WLAN đều có kiến trúc một chặng tập trung: các nút di động kết nối thông tin trực tiếp với điểm truy nhập tập trung được nối đến mạng internet đường trục, và điểm truy nhập thực hiện tất cả các chức năng điều khiển và nối mạng cho tất cả các nút di động. Trái lại mạng ad hoc không dây có kết nối thông tin đồng cấp, các chức năng điều khiển và nối mạng được phân bố trong tất cả các nút mạng và định tuyến có thể sử dụng các nút mạng trung gian để chuyển tiếp.

Mạng ad hoc có thể tạo nên một cấu trúc hay một phân cấp nút, hoặc cố định hoặc động. Chẳng hạn để cải thiện độ tin cậy, khả năng định cỡ và dung lượng, rất nhiều mạng ad hoc không dây tạo nên một hạ tầng đường trục từ một tập con các nút trong mạng. Nếu một nút trong tập con đường trục này rời mạng, mạng có thể lập lại được cấu hình đường trục. Như vậy, mạng ad hoc không dây có thể tạo lập kết cấu để cải thiện hiệu năng mạng tuy nhiên kết cấu này không phải là yêu cầu thiết kế căn bản của mạng. Việc không có cấu trúc chuẩn cũng phổ biến trong các mạng hữu tuyến. Tất nhiên hầu hết các mạng vùng đô thị (MAN) và các mạng vùng rộng (WAN) bao gồm cả internet có cấu trúc ad hoc. Tuy nhiên tính chất quang vía của các kênh vô tuyến trong các mạng ad hoc không dây làm nên điểm khác biệt so với các mạng hữu tuyến. Đặc biệt, nếu đủ công suất phát, mọi nút đều có thể phát tín hiệu trực tiếp đến một nút khác. Nếu công suất cố định, thông thường SINR của liên kết giữa hai nút thông tin sẽ giảm khi khoảng cách giữa các nút này giảm, ngoài ra SINR thay đổi ngẫu nhiên do điều kiện truyền sóng và nhiễu. SINR của liên kết quyết định hiệu năng thông tin của liên kết: tốc độ số liệu và xác suất mất gói hay BER. Thông thường các liên kết có SINR rất thấp không được sử dụng do hiệu năng qua kém dẫn đến chỉ có kết nối một phần trong mạng như thấy trên hình 5.1. Tuy nhiên các nút có thể thích ứng với SINR bằng cách sử dụng điều chế thích ứng hay điều khiển công suất. Các giá trị SINR của các liên kết khác nhau được minh họa bằng các đường có độ rộng khác nhau trên hình 5.1. Như vậy về mặt lý thuyết tất cả các nút đều có thể thông tin trực tiếp đến một nút khác bất kỳ. Tuy nhiên nếu khoảng cách giữa các nút mạng quá xa hoặc điều kiện truyền sóng không tốt hoặc nhiễu mạnh. Thì có thể chúng không thể kết nối trực tiếp với nhau. Kết nối mạng cũng có thể thay đổi nếu các nút mạng nhập hoặc rời mạng và có thể điều khiển được sự kết nối này bằng cách thích ứng công suất phát của mạng hiện thời khi xuất hiện của một nút mới. Tính linh hoạt trong kết nối liên kết nhận được từ việc thay đổi các thông số liên kết như công suất và tốc độ số liệu liên quan rất lớn đến qua trình định tuyến. Các nút có thể gửi trực tiếp các gói đến nơi nhận cuối cùng thông qua định tuyến một chặng chừng nào SINR còn lớn hơn một ngưỡng tối thiểu nào đó. Tuy nhiên thông thường đối với định tuyến một chặng SINR rất kém vì thế phương pháp này

có thể gây ra nhiều quá lớn đến các nút xung quanh. Trong hầu hết các mạng không dây ad hoc các gói thường được gửi từ một nút mạng đến nơi nhận cuối cùng thông qua định tuyến nhiều chặng bằng cách chuyển tiếp qua các nút trung gian. Vì tốn hao đường truyền tỷ lệ với khoảng cách theo hàm mũ, nên việc sử dụng các chuyển tiếp trung gian có thể giảm đáng kể tổng công suất phát (tổng công suất phát cần thiết cho nút nguồn và các nút chuyển tiếp) để truyền dẫn một gói từ đầu cuối đến đầu cuối. Định tuyến đa chặng sử dụng các nút trung gian là tính năng then chốt của một mạng không dây ad hoc: nó cho phép thông tin giữa các nút nằm phân tán theo vùng địa lý và hỗ trợ khả năng định cỡ cũng như điều khiển phân bố. Tuy nhiên điều này sẽ dẫn đến việc hỗ trợ tốc độ số liệu cao và trễ nhỏ khó khăn hơn nhiều so với các kênh không dây đơn chặng trong các hệ thống tổ ong và các mạng WLAN. Đây là một trong số các khó khăn khi cần hỗ trợ các yêu cầu tốc độ số liệu cao và trễ nhỏ (như video) trên mạng không dây ad hoc.

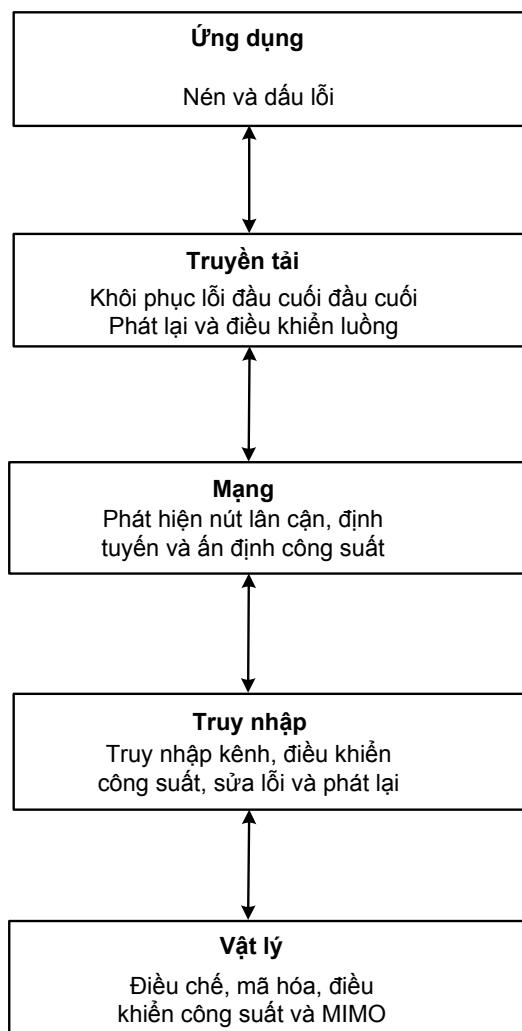
Các mạng không dây ad hoc với số lượng các nút lớn cần phải có khả năng định cỡ. Chìa khóa cho định cỡ là các giải thuật điều khiển mạng phân bố: các giải thuật điều chỉnh hiệu năng tại chỗ theo điều kiện địa phương. Để loại bỏ việc sử dụng thông tin và các tài nguyên điều khiển tập trung, các giao thức phải có thể định cỡ khi mạng phát triển, vì chúng chỉ dựa trên thông tin địa phương. Nghiên cứu khả định cỡ giao thức trong các mạng không dây ad hoc chủ yếu tập trung lên tự tổ chức, định tuyến phân bố, quản lý di động và an ninh. Cần lưu ý rằng các giao thức phân bố thường tiêu thụ khá nhiều năng lượng trong quá trình xử lý tại chỗ và trao đổi bản tin. Vì thế cần cân nhắc giữa khối lượng xử lý tại chỗ và phát thông tin đến vị trí trung tâm để xử lý. Vấn đề này đặc biệt rõ ràng trong các mạng cảm biến nơi mà các nút mạng gần nhau có các số liệu tương quan và cũng cộng tác trong việc định truyền số liệu qua mạng. Hầu hết các nghiên cứu thực nghiệm về khả năng định cỡ đều tập trung lên các mạng khá nhỏ (ít hơn 100 nút), trong khi đó rất nhiều các ứng dụng mạng ad hoc đặc biệt là các mạng cảm biến có đến hàng trăm hoặc hàng nghìn nút và thậm chí nhiều hơn nữa. Vì thế khả năng của các giao thức mạng không dây định cỡ đến các mạng kích cỡ lớn vẫn còn chưa rõ.

Hạn chế năng lượng là một thách thức lớn khác trong mạng không dây ad hoc. Các hạn chế này xuất phát từ việc các nút mạng được cấp nguồn từ pin không thể nạp lại (chẳng hạn các mạng cảm biến). Các hạn chế năng lượng ảnh hưởng lớn lên lớn lên các xem xét khi thiết kế. Trước hết không còn khái niệm tốc độ số liệu vì chỉ một số lượng bit hữu hạn là có thể được phát tại từng nút mạng trước khi pin chết. Cũng cần cân nhắc giữa độ dài bit và tiêu thụ năng lượng sao cho bằng cách gửi đi các bit chậm hơn sẽ duy trì năng lượng phát lâu hơn. Khai thác chờ có thể tiêu tốn khá nhiều năng lượng, vì thế cần áp dụng chế độ ngủ để bảo toàn năng lượng, nhưng việc có các nút chuyển vào chế độ ngủ sẽ phức tạp hóa điều khiển và định tuyến. Thực chất theo một cách nào đó, hạn chế năng lượng ảnh hưởng lên tất cả các giao thức mạng và vì thế cần tối ưu hóa tiêu thụ năng lượng cho tất cả các khía cạnh thiết kế mạng.

#### 5.4. Các lớp giao thức

Phân lớp giao thức là một khái niệm trừu tượng phổ biến trong thiết kế mạng. Phân lớp giao thức đảm bảo tính modul thiết kế cho các giao thức mạng vì thế hỗ trợ cho việc tiêu chuẩn hóa và thực hiện. Tuy nhiên luận điểm phân lớp không hoạt động tốt trong các mạng ad hoc không dây nơi mà rất nhiều các vấn đề thiết kế giao thức đan quyền với nhau. Trong phần này ta sẽ xét phân lớp giao thức và áp dụng nó cho các mạng không dây cũng như các tương tác giữa các lớp giao thức dẫn đến sự cần thiết thiết kế lớp chéo.

Mô hình OSI đã được nghiên cứu làm chương trình khung cho việc phân lớp trong các mạng số liệu. Mô hình OSI chia các chức năng cần thiết của mạng thành bảy lớp: lớp ứng dụng, lớp trình bày, lớp phiên, lớp truyền tải, lớp mạng, lớp điều khiển liên kết số liệu và lớp vật lý. Mỗi lớp chịu trách nhiệm cho một tập các nhiệm vụ riêng biệt cùng với một giao diện cố định giữa các lớp để trao đổi số liệu và thông tin điều khiển. Triết lý cơ bản đằng sau mô hình OSI là các giao thức được thiết kế tại một lớp cho trước bất kỳ có thể tương tác với các giao thức được thiết kế tại các lớp khác mà không cần biết chi tiết về sự thực hiện giao thức của các lớp khác. Chẳng hạn lớp ứng dụng không cần biết việc định tuyến qua mạng số liệu được thực hiện như thế nào hoặc các kỹ thuật điều chế và mã hóa nào được sử dụng trong một liên kết cho trước. Tập các giao thức liên kết với tất cả các lớp được gọi là ngăn xếp giao thức mạng.



Hình 5.2. Mô hình năm lớp để thiết kế giao thức mạng

Internet đã thúc đẩy việc thực hiện phân lớp thực tế được xây dựng xung quanh giao thức điều khiển truyền tải (TCP) cho lớp truyền tải và giao thức internet (IP) cho định tuyến tại lớp mạng. Vì thế trong hầu hết các mạng, mô hình phân lớp OSI được thay thế bằng mô hình năm lớp với tên gọi mô hình TCP/IP được định nghĩa bởi các chức năng chính của các giao thức TCP và IP. Năm lớp này bao gồm lớp ứng dụng, lớp truyền tải, lớp mạng, lớp truy nhập và lớp vật lý. Các lớp này được thể hiện trên hình 5.2 cùng với các chức năng sơ cấp trong vav mạng không dây. Các chức năng này sẽ được mô tả chi tiết dưới đây. Lưu ý rằng điều khiển công suất nằm tại hai lớp: lớp vật lý và lớp truy nhập và bộ phận xác định tài nguyên nằm tại lớp vật lý. Vì thế điều khiển công suất trải rộng trên nhiều lớp. Hầu hết các thiết kế mạng ad hoc không dây không sử dụng giao thức IP để định tuyến vì định tuyến qua mạng ad hoc không dây rất khác với trong internet. Ngoài ra đánh địa chỉ và phân chia mạng con trong giao thức IP không phù hợp cho các mạng ad hoc không dây. Các giao thức truyền tải cũng không cần phải sử dụng TCP. Tuy nhiên mô hình năm lớp là sự trừu tượng hóa chung để thiết kế theo modul cho các giao thức trong các mạng không dây.

Nguyên lý phân lớp cho thiết kế giao thức cũng khá giống như trong mạng hữu tuyến (Internet), trong đó các số liệu liên quan đến lớp vật lý có thể vượt quá Gbps và các gói hiếm khi bị mất. Tuy nhiên ngay cả trong khung cảnh như vậy, phân lớp vẫn gây khó trong việc hỗ trợ các ứng dụng tốc độ số liệu cao với quy định về trễ nghiêm ngặt (chẳng hạn video và thậm chí thoại). Các mạng không dây có thể có các tốc độ lớp vật lý rất thấp với các xác suất mất gói và lỗi bit rất cao. Trong khung cảnh như vậy, phân lớp giao thức có thể dẫn đến rất không hiệu quả và cũng dẫn đến cản trở tương tác giữa các lớp giao thức để được hiệu năng tốt hơn. Thiết kế lớp chéo xem xét đồng thời nhiều lớp giao thức của ngăn xếp giao thức, hay thiết kế chúng với trao đổi thông tin giữa các lớp. Thiết kế lớp chéo có thể thể hiện cá ưu điểm hiệu năng rất lớn so với quan điểm phân lớp chẽ của mô hình năm lớp. Dưới đây trước hết ta xem xét mô hình năm lớp, các chức năng của chúng trong các mạng thông tin không dây. Sau đó ta sẽ xem các nguyên lý thiết kế lớp chéo và các ưu điểm hiệu năng của nó so với thiết kế chẽ.

#### 5.4.1. Thiết kế lớp vật lý

Thiết kế lớp vật lý trước hết xét đến phát các bit trên một liên kết điểm đến điểm vì thế nó cũng được coi là lớp liên kết. Các xem xét thiết kế lớp này bao gồm các kỹ thuật điều chế, mã hóa, phân tập, thích ứng, MIMO, cân bằng, điều chế đa sóng mang, trải phổ. Tuy nhiên các xem xét thiết kế cho một liên kết (là một phần của mạng ad hoc không dây) ảnh hưởng lên các lớp giao thức bên trên lớp vật lý. Trong thực tế, rất ít khía cạnh thiết kế lớp vật lý trong mạng ad hoc không dây không ảnh hưởng lên một cách nào đó lên các giao thức liên quan đến các lớp cao hơn. Dưới đây ta sẽ đưa ra một số thí dụ về sự tương tác này để lựa chọn thiết kế lớp vật lý liên quan đến tỷ lệ lỗi gói, đa anten và điều khiển công suất. Các lựa chọn thiết kế tại lớp vật lý cùng với các điều kiện kênh và nhiễu sẽ quyết định tỷ lệ lỗi gói. Rất nhiều giao thức lớp truy nhập phát lại gọi là lỗi, vì thế thiết kế lớp vật lý dựa trên PER (lỗi gói) ảnh hưởng lân cận các yêu cầu phát lại tại lớp truy nhập. Tương tự đa anten cũng đòi hỏi cân nhắc ghép kênh/phân tập/tạo búp: các anten có thể được sử dụng để tăng tốc độ bit trên liên kết, để đảm bảo phân tập đối với pha định nhằm giảm BER trung bình hay đảm bảo tính hướng cao để giảm pha định và nhiễu từ tín hiệu khác. Độ lợi phân tập sẽ giảm PER dẫn đến giảm số lần

phát lại. Ghép kênh không gian sẽ tăng tốc độ bit dẫn đến giảm nghẽn và trễ trên kết nối để đạt được lợi ích mà định tuyến đa chặng đem lại. Tạo búp (tăng tính hướng giảm nhiễu đến các liên kết khác) vì thế cải thiện hiệu năng của chúng. Vì thế rõ ràng rằng để sử dụng tốt nhất đa anten không thể chỉ đặt trên một mình lớp vật lý; trong thực tế nó tác động đồng thời lên các lớp vật lý, truy nhập, mạng và truyền tải.

Công suất phát của một nút tại lớp vật lý có có tầm ảnh hưởng rộng trên nhiều lớp của ngăn xếp giao thức. Tăng công suất phát tại lớp vật lý dẫn đến giảm PER, vì thế ảnh hưởng lên các phát lại cần thiết rại lớp truy nhập. Trong thực tế, bhai nút bất kỳ trong mạng có thể thông tin trực tiếp với công suất đủ lớn để để đạt được kết nối liên kết. Tuy nhiên công suất phát lớn tại một nút trong mạng sẽ gây nhiễu lớn đến các nút khác, vì thế giảm cấp hiệu năng của chúng và cắt đứt kết nối của chúng đến các nút khác. Đặc biệt hiệu năng kết nối trong một mạng ad hoc không dây chịu ảnh hưởng bởi SINR, vì thế công suất phát của tất cả các nút sẽ ảnh hưởng lên hiệu năng của tất cả các nút. Nói rộng hơn, công suất phát cũng với điều chế ché và mã hóa thích ứng cho một nút cho trước sẽ quyết định vùng lân cận – các nút có thể nối đến trực tiếp (đơn chặng) và vì thế định nghĩa ngữ cảnh trong đó truy nhập, định tuyến và các giao thức cao hơn hoạt động. Vì thế công suất phát của tất cả các nút phải được tối ưu hóa với tất cả các lớp cao hơn mà nó ảnh hưởng.

#### 5.4.2. Thiết kế lớp truy nhập

Lớp truy nhập điều khiển cách thức các người sử dụng chia sẻ phổ khả dụng và đảm bảo thu thành công các gói được phát đi trên phổ được chia sẻ này. Việc xác định tải nguyên cho các người sử dụng khác nhau được thực hiện hoặc bằng cách đa truy nhập hoặc bằng truy nhập ngẫu nhiên. Đa truy nhập chia tài nguyên thành các kênh dành riêng thông qua các phương pháp định kênh trực giao và không trực giao. Các phương pháp phổ biến nhất là FDMA, TDMA , CDMA và OFDMA. Lớp truy nhập phải cung cấp chức năng điều khiển để xác định các kênh cho các người sử dụng và từ chối truy nhập đối với các người sử dụng khi hệ thống không đủ kênh. Trong truy nhập ngẫu nhiên, các kênh được xác định động cho các người sử dụng tích cực và trong các mạng đa chặng các giao thức này phải tranh chấp với các đầu cuối thấy được và không thấy được. Phần lớn các phương pháp truy nhập ngẫu nhiên phổ biến nhất đều là các dạng khác nhau của ALOHA, CSMA và lập lịch. Các phương pháp truy nhập ngẫu nhiên này hợp nhất xác định kênh và từ chối truy nhập vào giao các thức của chúng. Như đã xét ở trên, công suất phát liên quan đến một nút ảnh hưởng lên các nút khác. Như vậy điều khiển công suất trên tất cả các nút mạng là một phần của chức năng lớp truy nhập. Vai trò chủ yếu của điều khiển công suất là đảm bảo đáp ứng được các đích SINR của tất cả các liên kết trong mạng. Tuy nhiên điều này là không thể (sẽ xét chi tiết sau). Ta có thể mở rộng giải thuật điều khiển công suất để đáp ứng các đích SINR trong các hệ thống đa truy nhập và tổng cho các mạng ad hoc không dây như sau. Coi rằng một mạng ad hoc không dây có K nút và N liên kết giữa các cặp phát-thu khác nhau. SINR trên liên kết k được xác định như sau:

$$\gamma_k = \frac{g_{kk} P_k}{n_k + \rho \sum_{j \neq k} g_{kj} P_j}, \quad k, j \in \{1, 2, \dots, N\}$$
(5.1)

Trong đó  $g_{kj} > 0$  là độ lợi công suất kênh từ máy phát của liên kết thứ  $j$  đến máy thu liên kết thứ  $k$ ,  $P_k$  là công suất của máy phát trên liên kết thứ  $k$ ,  $n_k$  là công suất tạp âm của máy thu trên liên kết thứ  $k$ , và  $\rho$  là giảm nhiễu do xử lý tín hiệu, chẳng hạn  $\rho \approx 1 / G$  cho CDMA với  $G$  là xử lý độ lợi và  $\rho = 1$  trong TDMA. Giả sử rằng các liên kết thứ  $k$  đòi hỏi một SINR  $\gamma_k^*$ , được xác định, chẳng hạn, bởi các yêu cầu kết nối và tốc độ số liệu đối với liên kết đó. Khi này, các hạn chế SINR cho tất cả các liên kết có thể được trình bày trong dạng ma trận sau:

$$(\mathbf{I} - \mathbf{F})\mathbf{P} \geq \mathbf{u} \text{ với } \mathbf{P} > \mathbf{0} \quad (5.2)$$

Trong đó  $\mathbf{P} = (P_1, P_2, \dots, P_N)^T$  là vectơ của công suất phát của các máy phát tương ứng trên  $N$  liên kết,

$$\mathbf{u} = \left( \frac{\gamma_1^* n_1}{g_{11}}, \frac{\gamma_2^* n_2}{g_{22}}, \dots, \frac{\gamma_N^* n_N}{g_{NN}} \right)^T \quad (5.3)$$

là vectơ cột của công suất tạp âm được nhân với các tỷ số hạn chế SINR trên độ lợi kênh,  $\mathbf{F}$  là một ma trận có

$$F_{kj} = \begin{cases} 0 & k = j \\ \frac{\gamma_k g_{kj} \rho}{g_{kk}} & k \neq j \end{cases} \quad (5.4)$$

với  $k, j \in \{1, 2, \dots, N\}$ .

Giống như các vấn đề điều khiển công suất đường lên trong các hệ thống tổng, nếu các giá trị eigen của  $\mathbf{F}$  nhỏ hơn 1, thì tồn tại vectơ  $\mathbf{P} > \mathbf{0}$  (hay  $P_k > 0$  đối với mọi  $k$ ) mà ở đó thỏa mãn các yêu cầu SINR của tất cả liên kết với  $\mathbf{P}^* = (\mathbf{I} - \mathbf{F})^{-1}\mathbf{u}$  là lời giải tối ưu Pareto. Nói một cách khác  $\mathbf{P}^*$  thỏa mãn tất cả các yêu cầu với công suất trên tất cả các liên kết nhỏ nhất. Ngoài ra có thể chỉ ra rằng một giải thuật điều khiển công suất phân bố lặp, trong đó máy phát trên liên kết thứ  $k$  cập nhật công suất tại thời điểm  $i+1$  bằng

$$P_k(i+1) = \frac{\gamma_k^*}{\gamma_k(i)} P_k(i) \quad (5.5)$$

hội tụ đến lời giải tối ưu.

Đây là giải thuật điều khiển công suất phân bố rất đơn giản trong mạng ad hoc không dây vì chỉ cần máy phát trên liên kết biết thứ  $k$  được SINR của liên kết này. Khi này nếu SINR thấp hơn đích, máy phát tăng công suất và nếu cao hơn đích máy phát giảm công suất. Tuy vậy khi độ lợi kênh không tĩnh, các hạn chế SINR không còn được đáp ứng một cách chắc chắn và vì thế rất khó phát triển các giải thuật đáp ứng đích hiệu năng. Đặc biệt, giải thuật

theo phương trình (5.5) có thể thể hiện sự thăng giáng SINR của liên kết lớn khi các độ lợi kênh thay đổi theo thời gian. Quan trọng hơn, thường không thể đáp ứng các hạn chế SINR cho tất cả các nút đồng thời ngay cả khi độ lợi các liên kết tĩnh do số nguồn nhiễu lớn và dài các độ lợi kênh liên quan đến tất cả các tín hiệu trong mạng. Khi không thể đáp ứng được các hạn chế SINR, giải thuật điều khiển công suất phân kỳ đến mức tất cả các nút sẽ phát công suất cực đại và vẫn không đáp ứng được các hạn chế SINR. Rõ ràng đây là trạng thái khai thác không mong muốn đặc biệt đối với các nút bị hạn chế bởi năng lượng.

Trong một số nghiên cứu, giải thuật điều khiển công suất phân bố với giải thiết các độ lợi tĩnh được mở rộng để bao hàm cả điều khiển cho phép phân bố. Điều khiển cho phép đảm bảo việc bảo vệ các SINR đích khi một người sử dụng mới nhập mạng. Trong sơ đồ này các các liên kết tĩnh có đích SINR hơi cao hơn đích cần thiết. Bộ đệm này được sử dụng sao cho khi một người sử dụng mới có ý định truy nhập hệ thống, liên kết tĩnh sẽ không bị giảm xuống thấp hơn các đích tối thiểu nếu người mới này phát tại một mức công suất thấp. Người sử dụng mới này sẽ từng bước tăng công suất phát và kiểm tra xem đã đạt đến gần đích SINR của mình hay chưa. Nếu người sử dụng có thể vào hệ thống mà không vi phạm các hạn chế SINR của các liên kết hiện có thì giải thuật phân bố với tăng từng bước này cuối cùng sẽ hội tụ đến một  $P^*$  thỏa mãn các hạn chế SINR của các liên kết mới và hiện có. Tuy nhiên nếu người sử dụng không thể nhập hệ thống thì người này không tiến đến gần được SINR yêu cầu và cuối cùng sẽ bị yêu cầu rời hệ thống. Cần lưu ý rằng tiêu chuẩn để từ chối truy nhập rất khó tối ưu hóa trong các kênh thay đổi theo thời gian. Ý tưởng này được kết hợp với lập biếu truyền dẫn để cải thiện hiệu suất nguồn và giảm nhiễu. Cũng có thể cải tiến giải thuật điều khiển công suất để xét đến cả các hạn chế về trễ. Tuy nhiên trễ liên quan đến định tuyến đa chặng của một gói, vì thế điều khiển công suất phải kết hợp với các giao thức lớp mạng để đảm bảo đáp ứng các hạn chế trễ trên toàn tuyến.

Lớp truy nhập chịu trách nhiệm để phát lại các gói bị thu lỗi trên liên kết vô tuyến (thường được gọi là giao thức ARQ). Các gói thường có mã phát hiện lỗi cho phép máy thu kiểm tra lỗi gói. Đối với các gói bị phát hiện lỗi, thông thường máy thu hủy nó và phản hồi cho máy phát để phát lại gói. Tuy nhiên thay vì hủy gói, lớp truy nhập có thể ghi nhớ nó và giống như phân tập kết hợp nó với gói được phát lại để có thể sửa gói thành công hơn. Ngoài ra, thay vì việc phát lại toàn bộ gói, máy phát có thể chỉ phát các bit kiểm tra chẵn lẻ bổ sung để đảm bảo khả năng sửa lỗi mạnh hơn. Kỹ thuật này được gọi là kết hợp tăng độ dư, vì máy phát chỉ cần phát lại đủ các bit dư để sửa gói bị hỏng. Các phương pháp và tăng phần dư cho phép cải thiện đáng kể thông lượng so với phát lại đơn giản.

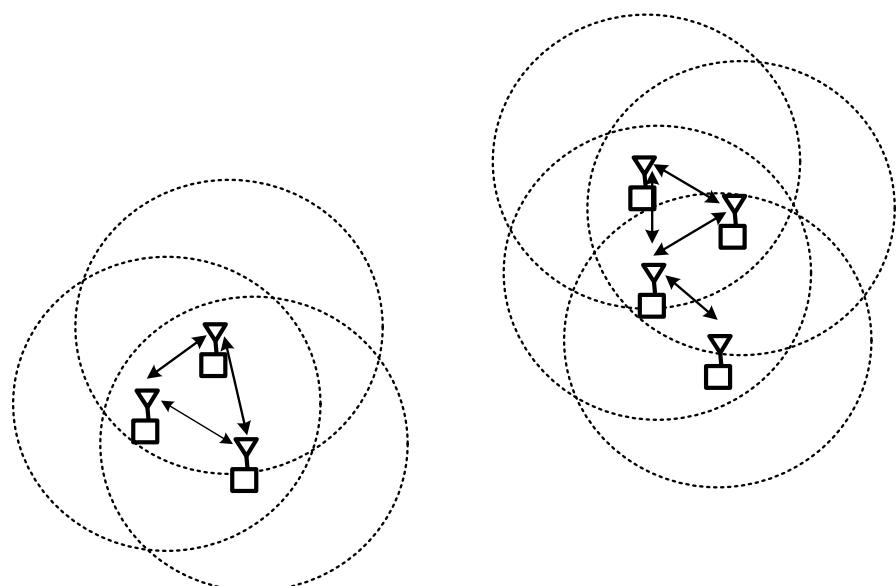
#### 5.4.3. Thiết kế lớp mạng

Lớp mạng chịu trách nhiệm để thiết lập và duy trì các kết nối đầu cuối đầu cuối trong mạng. Yêu cầu thông thường nhất là một mạng hoàn toàn kết nối trong đó mọi nút mạng có thể thông tin với mọi nút mạng khác thông qua các kết nối có thể kéo dài nhiều chặng bằng các nút trung gian. Các chức năng chủ yếu của lớp mạng trong một mạng ad hoc không dây là phát hiện nút lân cận, định tuyến và xác định tài nguyên động. Phát hiện nút lân cận là quá trình trong đó một nút mạng phát hiện các nút lân cận khi nó lần đầu nhập mạng. Định tuyến là một chức năng quan trọng khác của lớp mạng: quá trình quyết định cách thức định tuyến

các gói qua mạng từ nguồn đến nơi nhận. Định tuyến qua các nút trung gian thường được thực hiện bằng cách chuyển tiếp mặc dù cũng có thể sử dụng các kỹ thuật khác khai thác tốt hơn phân tập người sử dụng. Án định tài nguyên động quyết định cách thức án định tài nguyên như công suất và băng thông trên toàn bộ mạng, mặc dù tổng quát án định tài nguyên xảy ra tại nhiều lớp của ngăn xếp giao thức và vì thế đòi hỏi thiết kế lớp chéo.

### Phát hiện trạm lân cận và điều khiển cấu hình topo

Phát hiện nút lân cận là một trong các bước đầu tiên để khởi đầu một mạng có các nút phân bổ ngẫu nhiên. Từ góc độ một nút cá lẻ, đây là quá trình xác định số và nhận dạng các nút mạng mà với chúng có thể thiết lập thông tin khi cho trước mức công suất cực đại và các yêu hiệu năng tối thiểu (thường liên quan đến tốc độ số liệu và BER). Rõ ràng rằng công suất phát được phép càng cao, thì số lượng các nút trong vùng lân cận (vùng có thể kết nối các nút trực tiếp) càng cao. Phát hiện các nút lân cận thường bắt đầu từ phát một tín hiệu thử cho các nút lân cận với một công suất khởi đầu nào đó. Nếu công suất không đủ để thiết lập một kết nối với  $N \geq 1$  các nút lân cận thì công suất phát được tăng thêm một bước và thử được lặp lại. Quá trình này được tiếp tục cho đến khi  $N$  kết nối được thiết lập hay đạt được công suất lớn nhất  $P_{max}$ . Thông số  $N$  được đặt dựa trên các yêu cầu của mạng đối với khả năng kết nối tối thiểu còn  $P_{max}$  dựa trên các giới hạn công suất của từng nút và thiết kế mạng. Nếu  $N$  và ( $P_{max}$  hoặc)  $P_{max}$  nhỏ, mạng có thể được hình thành theo cách không kết nối: với các cụm nhỏ các nút thông tin với nhau nhưng không thể thông tin với các cụm khác. Điều này được minh họa trên hình 5.3, trong đó các đường tròn không liền nét xoay quang tâm là một nút để biểu thị vùng lân cận mà trong đó nút này có thể thiết lập các kết nối với các nút khác. Nếu  $N$  và  $P_{max}$  lớn, thì khi mạng hoàn toàn kết nối, nhiều nút phát với công suất cao hơn cần thiết cho kết nối toàn mạng dẫn đến lãng phí công suất và tăng nhiễu. Một khi mạng được kết nối hoàn toàn, có thể tích cực một giải thuật điều khiển công suất phức tạp hơn như phương trình (5.5) để đáp ứng các mức SINR đích cho tất cả các liên kết với công suất phát tối thiểu. Điều khiển công suất cũng có thể được sử dụng để tạo lập một cấu hình topo mong muốn.



Hình 5.3. Mạng không kết nối

Số lượng chính xác các nút lân cận trong đó từng nút đòi hỏi nhận được mạng kết nối toàn bộ phụ thuộc vào cấu hình mạng chính xác và các đặc tính kênh chính xác, nhưng tổng quát số lượng chỉ vào khoảng sáu đến tám nút bất động được phân bổ ngẫu nhiên với các kênh được đặc trưng chỉ bởi tốn hao đường truyền. Khi sự di động của nút tăng lên, các liên kết trải nghiệm sự thay đổi độ lợi kênh do pha định. Các thay đổi này có thể gây khó cho mạng giữ được trạng thái kết nối hoàn toàn tại mọi thời điểm, trừ phi các nút sẽ tăng công suất phát để bù trừ pha định tức thời. Nếu số liệu chịu được trễ thì vẫn có thể cải thiện kết nối mạng, vì có thể đảm bảo phân tập mạng. Khi mật độ mạng tăng kết nối mạng thường bị ảnh hưởng. Kết nối cũng chịu ảnh hưởng mạnh bởi khả năng thích ứng các thông số khác nhau tại lớp vật lý như tốc độ, công suất và mã hóa, vì vẫn có thể thông tin trên các liên kết ngay cả khi SINR thấp nếu các thông số này được thích ứng.

### Định tuyến

Giao thức định tuyến trong một mạng ad hoc không dây là một thách thức thiết kế đáng kể, đặc biệt là trong điều kiện các nút di động các tuyến phải được lập lại cấu hình động để thay đổi nhanh chóng kết nối. Có rất nhiều giao thức định tuyến đã được nghiên cứu. Trong phần này ta sẽ xét ba loại giao thức định tuyến: làm lụt, định tuyến không phản ứng (Proactive): tập trung, điều khiển từ nguồn hay phân bố và định tuyến phản ứng. Làm lụt có ưu điểm ở chỗ nó bền vững với các thay đổi cấu hình topo mạng và đòi hỏi ít chi phí định tuyến. Trong thực tế, trong các mạng di động tốc độ cao, làm lụt là có thể chiếm lượng định tuyến khá thi duy nhất. Các nhược điểm rõ ràng của làm lụt là nhiêu bản sao của cùng một gói truyền qua mạng làm lãng phí băng thông và nguồn pin của các nút phát. Nhược điểm này khiến làm lụt chỉ có thể áp dụng cho các mạng nhỏ nhất.

Triết lý trái ngược với làm lụt là tính toán định tuyến tập trung. Trong phương pháp này, thông tin về các điều kiện kênh và topo mạng được xác định tại từng nút và được chuyển đến một vị trí trung tâm để tính toán các bảng định tuyến cho tất cả các nút trong mạng. Sau đó các bảng này được truyền đến các nút. Tiêu chuẩn được sử dụng để tính toán tuyến tối ưu phụ thuộc vào tiêu chuẩn tối ưu. Tiêu chuẩn chung để định tuyến tối ưu là trễ trung bình tối thiểu, số chặng tối thiểu và nghẽn mạng tối thiểu. Tổng quát các tiêu chuẩn này tương ứng với chi phí liên quan đến từng mạng trên một tuyến. Định tuyến chi phí tối thiểu giữa nguồn và nơi nhận đạt được bằng cách sử dụng các kỹ thuật tối ưu như giải thuật Ford hay Dijkstra và dạng của định tuyến này cũng được gọi là định tuyến trạng thái. Trong khi định tuyến trung tâm đảm bảo định tuyến hiệu quả nhất theo điều kiện tối ưu, thì nó lại không thể thích nghi với các thay đổi nhanh của các điều kiện truyền sóng hay cấu hình mạng và ngoài ra còn đòi hỏi nhiều chi phí băng thông để định kỳ thu thập thông tin nút địa phương và sau đó phổ biến thông tin định tuyến. Giống như định tuyến làm lụt tính toán định tuyến tập trung thường chỉ được sử dụng trong các mạng rất nhỏ.

Định tuyến điều khiển theo nguồn cho phép thay đổi tính toán định tuyến tập trung, trong đó mỗi nút nhận được thông tin kết nối về toàn bộ mạng và sử dụng nó để tính toán tuyến tốt nhất từ nút này đến nơi nhận mong muốn. Định tuyến điều khiển theo nguồn cũng phải định kỳ thu thập thông tin kết nối mạng dẫn đến chi phí băng thông đáng kể. Cả hai định tuyến tập trung và định tuyến điều khiển theo nguồn có thể được kết hợp với định tuyến phân cấp trong

đó các nút được nhóm vào một phân cấp các cụm và định tuyến được thực thi trong một nhóm tại mức phân cấp.

Tính toán tuyến phân bố là thủ tục định tuyến phổ biến nhất trong các mạng không dây. Trong giao thức này các nút gửi đi thông tin kết nối đến các nút lân cận và sau đó các tuyến được tính dựa trên thông tin địa phương, Đặc biệt các nút xác định chặng tiếp theo trong tuyến của một gói dựa trên thông tin địa phương này. Trước hết chi phí băng thông cho việc trao đổi thông tin định tuyến với các nút địa phương là thấp nhất. Ngoài ra chiến lược này cũng thích ứng nhanh với liên kết và các thay đổi kết nối. Các nhược điểm của chiến lược này là: các tuyến toàn trình dựa trên thông tin địa phương thường dưới tối ưu và các vòng định tuyến thường chung trong tính toán tuyến phân bố. Để tránh các vòng lặp này có thể sử dụng giao thức DSDV (Destination Sequenced Distance Vector: vector khoảng cách được đánh số trình theo nơi nhận) với đánh số trình tự như là một phần của bảng định tuyến.

Cả hai định tuyến trung tâm và phân bố đều đòi hỏi các bảng định tuyến và các bảng này phải được cập nhật định kỳ. Một giải pháp khác là định tuyến phản ứng (theo yêu cầu) trong đó các tuyến chỉ được tạo lập do khởi xướng của nút nguồn có lưu lượng cần gửi đến một nơi nhận cho trước. Điều này loại bỏ được chi phí để duy trì các bảng cho các tuyến hiện không sử dụng. Trong chiến lược này, nút nguồn sẽ khởi đầu quá trình khám phá tuyến khi nó có số liệu cần gửi. Quá trình này sẽ xác định xem có một hay nhiều tuyến khả dụng đến nơi nhận. Tuy nhiên các tuyến này được duy trì cho đến khi nguồn không còn số liệu gửi đến nơi nhận. Ưu điểm của định tuyến phản ứng là có thể nhận được các tuyến hiệu suất toàn trình với chi phí khá thấp vì các tuyến này không cần được duy trì tại mọi thời điểm. Nhược điểm là định tuyến phản ứng có thể dẫn đến trễ khởi đầu đáng kể, vì quá trình khám phá tuyến chỉ được khởi đầu khi có số liệu cần gửi, nhưng phát số liệu chỉ bắt đầu khi khám phá tuyến được hoàn thành. Các giao thức phổ biến nhất cho định tuyến theo yêu cầu là AODV (Ad Hoc on-Demand Distance Vector Routing: định tuyến vectơ khoảng cách theo yêu cầu ad hoc) và DSR (Dynamic Source Routing: định tuyến nguồn động). Định tuyến không phản ứng và phản ứng được kết hợp vào một kỹ thuật lai ghép được gọi là ZRP (Zone Routing Protocol: giao định tuyến vùng) cho phép giảm trễ liên quan đến định tuyến phản ứng cũng như giảm chi phí liên quan đến định tuyến không phản ứng.

Di động có tầm ảnh hưởng lớn lên các giao thức định tuyến vì nó có thể dẫn đến mất các tuyến đã được thiết lập. Di động tốc độ cao làm giảm hiệu năng của định tuyến không phản ứng, vì các bảng định tuyến nhanh chóng bị lạc hậu nên cần chi phí băng thông rất lớn để cập nhật chúng. Làm lụt có hiệu quả trong việc duy trì định tuyến trong trường hợp di động tốc độ cao, nhưng có phải trả giá liên quan đến hiệu năng suất rất cao. Một cải tiến của làm lụt được gọi là định tuyến đa đường có thể rất hiệu quả mà không cần bổ sung chi phí băng thông đáng kể. Trong định tuyến đa đường một gói được phát lặp trên nhiều tuyến đầu cuối đầu cuối giữa nguồn và nơi nhận. Vì khả năng rằng các gói lặp này đồng thời bị mất hay gặp trễ lớn trên đường truyền là nhỏ, nên gói này có xác suất đạt đến nơi nhận cuối cùng với trễ tối thiểu là rất cao. Nghiên cứu cho thấy rằng kỹ thuật này hoạt động tốt khi thay đổi động và cấu hình topo.

Giao thức định tuyến dựa trên cấu hình topo của một mạng cơ sở: các gói chỉ có thể định tuyến trên các liên kết giữa hai nút mạng. Tuy nhiên như đã trình bày ở trên, định nghĩa về kết nối giữa hai nút khá linh hoạt, nó phụ thuộc vào SINR của liên kết cũng như thiết kế lớp vật lý xác định SINR yêu cầu để phát số liệu tin cậy trên liên kết. Lớp truy nhập cũng đóng vai trò quan trọng trong kết nối vì nó quyết định nhiều giữa các liên kết. Như vậy xảy ra tương tác đáng kể giữa các lớp vật lý, truy nhập và mạng. Các nghiên cứu cho thấy rằng nếu truy nhập CSMA/CA được kết hợp với giao thức định tuyến sử dụng các tuyến có SINR thấp, thì thông lượng mạng bị giảm đáng kể. Một kết quả nghiên cứu thú vị khác cho thấy việc duy trì một tuyến đơn giữa mọi cặp nguồn-nơi nhận là dưới tối ưu đối với tổng thông lượng mạng. Ghép nhiều tuyến liên quan đến mọi cặp nguồn-nhận tạo ra cơ hội để thay đổi nhiều mà cặp này gây cho các tuyến đầu cuối đầu cuối khác và có thể khai thác sự phân tập này để tăng thông lượng mạng.

Các giải thuật định tuyến cũng có thể được tối ưu hóa đối với các yêu cầu liên quan đến các giao thức cao hơn, đặc biệt là các yêu cầu về trễ và tốc độ số liệu của lớp ứng dụng. Các giải thuật này được gọi là định tuyến QoS. Mục đích của định tuyến QoS là tìm ra các tuyến xuyên mạng có thể thỏa mãn các yêu cầu trễ và tốc độ số liệu được đặc tả bởi ứng dụng.

Hầu hết các giao thức định tuyến sử dụng chiến lược giải mã và chuyển (Decode-and-Forward) tại từng nút chuyển tiếp, trong đó các gói được nút chuyển tiếp thu được giải mã để loại bỏ lỗi thông qua hiệu chỉnh lỗi, kiểm tra lỗi và yêu cầu phát lại khi vẫn phát hiện có lỗi. Một chiến lược khác là khuếch đại và chuyển (Amplify-and-Forward), trong đó nút chuyển tiếp chỉ đơn giản phát tiếp các gói thu được mà không loại bỏ lỗi hay phát hiện các gói bị hỏng. Cách làm này đơn giản hóa thiết kế chuyển tiếp, giảm năng lượng xử lý tại chuyển tiếp và giảm trễ. Tuy nhiên khuếch đại và chuyển không làm việc tốt trong khung cảnh không dây, vì liên kết không dây không tin cậy và thường xuyên có các lỗi. Một giải pháp khác với hai chiến lược trên là phân tập cộng tác, trong đó phân tập liên quan đến các người sử dụng phân bố theo không gian được sử dụng để chuyển các gói. Chẳng hạn nhiều máy phát cộng tác bằng cách phát lặp các ký hiệu thu được từ nút khác vì thế tạo nên một mã lặp bằng phân tập không gian. Ý tưởng này dẫn đến các kỹ thuật mã hóa cộng tác phức tạp hơn. Cuối cùng là **mã hóa mạng** kết hợp số liệu thu được dọc nhiều tuyến để tăng dung lượng mạng.

### **Án định tài nguyên và điều khiển**

Giao thức định tuyến quyết định tuyến cho một gói phải từ nguồn đến nơi nhận. Khi tối ưu hóa định tuyến dựa trên nghẽn tối thiểu và trễ, định tuyến trở nên đan quyền với điều khiển luồng được thực hiện tại lớp truyền tải. Khi giải thuật định tuyến gửi quá nhiều số liệu trên một liên kết cho trước dẫn đến nghẽn tuyến, giải thuật định tuyến phải thay đổi đến một tuyến khác. Ngoài ra trễ liên quan đến một tuyến cho trước là một hàm của tốc độ số liệu hay dung lượng của liên kết: dung lượng càng cao, càng nhiều số liệu được đi qua liên kết với trễ nhỏ nhất. Vì dung lượng phụ thuộc vào các tài nguyên án định cho liên kết (chẳng hạn công suất phát và băng thông) nên định tuyến, án định tài nguyên và điều khiển luồng đều phụ thuộc tương hỗ với nhau.

Khi bỏ qua quá trình xử lý và trễ truyền sóng, số đo kinh điển cho trễ trên một liên kết từ nút i đến nút j được xác định như sau:

$$D_{ij} = \frac{f_{ij}}{C_{ij} - f_{ij}} \quad (5.6)$$

Trong đó  $f_{ij}$  là luồng lưu lượng được xác định cho tuyến và  $C_{ij}$  là dung lượng tuyến. Công thức này được rút ra từ lý thuyết hàng đợi và trong thực tế nó cho ta một số đo tốt vì luồng càng gần với tốc độ số liệu cực đại tuyến càng dễ bị nghẽn và trễ càng tồi. Một số đo khác trên liên kết từ nút I đến nút j là sự sử dụng liên kết được xác định như sau:

$$D_{ij} = \frac{f_{ij}}{C_{ij}} \quad (5.7)$$

Nếu các luồng số liệu đi qua các liên kết trên mạng là cố định, thì giải thuật định tuyến có thể tính toán chi phí trên chặng dựa trên số đo trễ (5.6) hay số đo sử dụng (5.7) để tìm được định tuyến chi phí thấp nhất qua mạng. Điểm khác nhau giữa hai số đo là trễ tăng mạng khi luồng tiến đến gần dung lượng mạng, trong khi đó sử dụng liên kết tiến đến một. Như vậy số đo trễ có chi phí cao hơn số đo sử dụng (5.7) khi luồng được xác định cho liên kết tại điểm gần với dung lượng. Khi tuyến mới được thiết lập, nó dễ thay đổi các luồng của liên kết dọc tuyến. Trong khi trong hầu hết các trường hợp sự thay đổi trong luồng không lớn, vì đóng góp của một nút bất kỳ vào tổng lưu lượng là nhỏ, thì trong các mạng kích thước trung bình, ứng dụng theo yêu cầu chẳng hạn video có thể gây ra tự nghẽn rất lớn.

Các số đo liên kết (5.6) và (5.7) giải thích là dung lượng liên kết  $C_{ij}$  cố định. Tuy nhiên dung lượng này là một hàm của SINR trên liên kết cũng như băng thông xác định cho liên kết này. Bằng cách xác định động tài nguyên mạng (công suất và băng thông) cho liên kết bị nghẽn, ta có thể tăng dung lượng và giảm trễ cho các liên kết. Tuy nhiên việc làm này có thể lấy mất các tài nguyên từ các liên kết khác và vì thế giảm dung lượng của chúng. Đến lượt mình, các thay đổi dung lượng sẽ dẫn đến thay đổi các số đo liên kết dùng để tính toán các tuyến tối ưu và cuối cùng ảnh hưởng lên tổng hiệu năng mạng. Vì thế hiệu năng mạng phụ thuộc đồng thời vào định tuyến, điều khiển luồng và xác định tài nguyên.

#### 5.4.4. Thiết kế lớp truyền tải

Lớp truyền tải cung cấp các chức năng sửa lỗi, phát lại, sắp xếp lại thứ tự và điều khiển luồng đầu cuối đầu cuối. Trong khi từng liên kết đảm bảo phát hiện lỗi và phát lại, thì các cơ chế này lại không rõ ràng. Lớp truyền tải cung cấp một biện pháp bảo vệ bổ sung bằng cách giám sát các gói bị mất hoặc bị hỏng trên tuyến từ đầu cuối này đến đầu cuối kia và yêu cầu phát lại từ nút nguồn nếu gói bị phát hiện là mất hay hỏng. Ngoài ra các gói có thể đến không theo thứ tự do định tuyến theo đa đường, trễ và nghẽn hoặc mất gói. Lớp truyền tải chịu trách nhiệm sắp đặt thứ tự các gói phát trên tuyến đầu cuối đầu cuối trước khi chuyển chúng lên lớp ứng dụng. Lớp truyền tải cũng đảm bảo điều khiển luồng cho mạng bằng cách xác định các luồng liên quan đến dịch vụ cho các tuyến khác nhau. Giao thức TCP của lớp truyền tải không thể làm việc tốt trong các mạng không dây, do giả thiết là tất cả các gói bị mất là do nghẽn và vì thế yêu cầu điều khiển nghẽn. Trong các mạng hữu tuyến nghẽn là nguyên nhân đầu tiên

dẫn đến mất gói, vì thế TCP làm việc tốt nên nó được sử dụng cho lớp truyền tải của internet. Tuy nhiên trong các mạng không dây các gói bị mất phần lớn là do pha đinh và sự di động của nút. Các nghiên cứu cải thiện hoạt động TCP cho các mạng không dây bằng cách cung cấp phản hồi lớp truyền tải về các sự cố liên kết chỉ đạt được kết quả hạn chế.

Tổng quát điều khiển luồng trong các mạng không dây liên kết phức tạp với án định tài nguyên và định tuyến như đã xét trong phần 5.3.3. Sự phụ thuộc lẫn nhau này trong các mạng không dây chặt chẽ hơn nhiều so với các mạng hữu tuyến tương tự, Đặc biệt là trong khi các mạng hữu tuyến có các liên kết với dung lượng cố định thì dung lượng của các liên kết trong các mạng không dây phụ thuộc vào nhiều giữa các liên kết, Các luồng lưu lượng được án định cho một liên kết nào đó sẽ gây nhiễu cho các liên kết khác vì thế ảnh hưởng lên dung lượng cũng như trễ của chúng. Sự phụ thuộc lẫn nhau này khiến cho ta khó phân tách các chức năng điều khiển luồng, án định tài nguyên và định tuyến vào các lớp mạng và truyền tải tách biệt và đây là động lực để thiết kế lớp chéo giữa chúng.

#### 5.4.5. Thiết kế lớp ứng dụng

Lớp ứng dụng tạo ra số liệu phát trên mạng và xử lý số liệu thu được trên mạng. Lớp ứng dụng đảm bảo nén số liệu ứng dụng cùng với che dấu và sửa lỗi. Nén không được làm mất thông tin đối với các ứng dụng số liệu, nhưng có thể làm mất phần nào thông tin đối với các ứng dụng video, hình ảnh và thoại vì việc khôi phục lại thoại và video cho phép phần nào mất thông tin. Nén càng cao thì tài tốc độ số liệu càng ít ảnh hưởng lên mạng. Tuy nhiên số liệu bị nén mạnh sẽ nhạy cảm với các lỗi vì phần lớn tin tức dư đã bị loại bỏ. Các ứng dụng số liệu không cho phép mất thông tin vì thế các gói bị hỏng hay bị mất trong truyền dẫn đầu cuối đầu cuối phải được phát lại và điều này dẫn đến trễ đáng kể. Các ứng dụng video, hình ảnh và thoại cho phép phần nào lỗi và các kỹ thuật như che dấu lỗi và tua lại có thể loại bỏ ảnh hưởng của các lỗi này lên chất lượng cảm nhận của đầu cuối thu. Vì thế tại lớp mạng cần cân nhắc giữa tốc độ số liệu và độ bền vững: tốc độ số liệu càng cao thì nó gây tải đối với mạng càng lớn, nhưng đổi lại số liệu càng bền vững và hiệu năng mạng càng cao.

Lớp ứng dụng cũng cung cấp một dạng phân tập thông qua MDC (Multiple Description Coding: mã hóa đa mô tả). MDC là một dạng nén trong đó nhiều mô tả số liệu được tạo ra. Số liệu gốc có thể được kết cấu lại từ một trong số các mô tả này với tốn hao một phần và mô tả càng nhiều thì việc kết cấu lại càng tốt. Khi gửi nhiều mô tả số liệu nguồn qua mạng, một số mô tả có thể mất, trễ hay hỏng mà không gây giảm hiệu năng đáng kể. Như vậy MDC cung cấp một dạng phân tập tại lớp ứng dụng để tăng cường hiệu năng mạng. Có thể kết hợp MDC với định tuyến đa đường để cung cấp phân tập lớp chéo trong cả mô tả ứng dụng lẫn các tuyến truyền dẫn các mô tả này. Đối với một tốc độ số liệu cho trước cần cân nhắc rằng so với kỹ thuật nén, MDC làm mất độ phân giải cao. Ta có thể coi đây như là một sự cân nhắc giữa hiệu năng và phân tập: ứng dụng phải hy sinh một phần hiệu năng để đạt được sự bền vững với sai lỗi trong mạng.

Rất nhiều ứng dụng đòi hỏi hiệu năng tốt với tốc độ số liệu đầu cuối đầu cuối cao và trễ đầu cuối đầu cuối nhỏ. Internet ngày nay, thậm chí với các liên kết thông tin cố định chất lượng cao vẫn chưa thể cung cấp QoS đảm bảo cho các ứng dụng đòi hỏi tốc độ số liệu và trễ đầu cuối đầu cuối đảm bảo. Đối với mạng ad hoc không dây với các liên kết dung lượng thấp

dễ mắc lỗi biến động theo thời gian, các người sử dụng di động và cấu hình topo động, ý niệm về khả năng đảm bảo các dạng thông số QoS thay đổi theo thời gian này là không thực tế. Trong khi thích ứng tại lớp vật lý cà các lớp mạng sẽ đảm bảo QoS tốt nhất có thể cho ứng dụng thì QoS này lại thay đổi theo thời gian vì các điều kiện kênh, cấu hình topo mạng và yêu cầu của người sử dụng lại thay đổi. Vì thế các ứng dụng phải thích ứng với QoS mà nó cung cấp. Cũng có thể đàm phán để người sử dụng có ưu tiên cao hơn nhận được QoS cao hơn các người sử dụng không quan trọng.

Ta xét một thí dụ đơn giản, dựa trên dung lượng của các giao thức lớp dưới, mạng cung cấp một đường cong cân nhắc tốc độ - trễ. Lớp ứng dụng phải quyết định chọn điểm làm việc trên đường cong. Một số ứng dụng có thể cho phép trễ cao hơn, nhưng không thể hạ thấp tốc độ. Chẳng hạn các ứng dụng số liệu phải đảm bảo tốc độ số liệu cao nhưng cho phép trễ. Các ứng dụng khác có thể rất nhạy cảm với trễ (chẳng hạn ứng dụng điều khiển phân bố), nhưng lại cho phép tốc độ số liệu thấp (chẳng hạn bằng cách lượng tự hóa thô hơn số liệu cảm biến). Các ứng dụng cho phép mất một phần thông tin như thoại và video sẽ đổi sự bền vững đối với lỗi lấy tốc độ số liệu cao. Các hạn chế về năng lượng sẽ đưa ra một tập các cân nhắc liên quan đến sự phụ thuộc hiệu năng mạng vào tuổi thọ acqui. Như vậy, đường cong cân nhắc trong thiết kế mạng sẽ đa chiều bao gồm tốc độ số liệu, trễ và tuổi thọ. Các cân nhắc này cũng sẽ thay đổi theo thời gian, vì số lượng người sử dụng và môi trường cũng thay đổi theo thời gian.

## 5.5. Thiết kế lớp chéo

Thiếu cơ sở hạ tầng, điều khiển phân bố và các đặc tính duy nhất của các liên kết không dây gây khó cho việc hỗ trợ các ứng dụng theo yêu cầu trên các mạng ad hoc, đặc biệt là các ứng dụng có yêu cầu tốc độ số liệu cao và quy định trễ nghiêm ngặt. Quan điểm phân lớp trong thiết kế mạng không dây (và hữu tuyến) trong đó mỗi lớp ngăn xếp giao thức không biết hoạt động của lớp khác nói chung không phù hợp, nhất là đối với các yêu cầu hiệu năng nghiêm ngặt. Phân lớp làm mất đi các lợi ích của tối ưu hóa kết hợp như ta đã xét ở trên. Hơn nữa các thiết kế giao giao thức tốt cho các lớp cách ly thường tương tác theo cách tiêu cực trên các lớp, vì thế giảm đáng kể hiệu năng đầu cuối đầu cuối làm cho mạng rất dễ đổ vỡ đối với nhiều và các thay đổi động. Chỉ có thể đáp ứng được các yêu cầu hiệu năng nghiêm ngặt trong mạng ad hoc không dây thông qua thiết kế lớp chéo. Thiết kế kiểu này đòi hỏi rằng các phụ thuộc tương hỗ giữa các lớp phải được đặc trưng, được khai thác và được tối ưu. Rõ ràng rằng thiết kế lớp chéo đòi hỏi trao đổi thông tin giữa các lớp, thích ứng với thông tin này tại từng lớp và xây dựng phân tập trong từng lớp để đảm bảo sự bền vững.

Trong khi có thể áp dụng thiết kế lớp chéo cho cả các mạng hữu tuyến và vô tuyến, thì các mạng ad hoc không dây đặt ra các thách thức duy nhất và các cơ hội cho chương trình khung thiết kế do đặc trưng lớp vật lý của chúng. Có thể sử dụng các giao thức thích ứng như: điều chế và mã hóa thích ứng, xử lý tín hiệu không gian thời gian thích ứng, điều khiển công suất thích ứng để điều khiển nhiễu giữa các nút được sử dụng cho liên kết thông tin. Do giao thức của các lớp cao hơn phụ thuộc vào kết nối nút và nhiễu, có thể khai thác thích ứng lớp vật lý bởi các giao thức lớp cao để đạt được hiệu năng tốt hơn. Đồng thời bằng cách sử dụng định tuyến thích ứng các giao thức cao hơn có thể tránh các liên kết bị nghẽn hoặc pha định quá cao nhò vây giảm thiểu trễ và nút cỗ chai. Tại lớp cao hơn, thông tin về thông lượng

và trẽ đầu cuối đầu cuối của các tuyến được sử dụng để thay đổi nén tốc độ ứng dụng hay gửi số liệu trên nhiều tuyến bằng các MDC. Như vậy các lớp cao có thể thích ứng với trạng thái các lớp dưới. Thích ứng tại mỗi lớp của ngăn xếp giao thức phải bù trừ được các thay đổi tại lớp này theo thời gian xảy ra các thay đổi này. Đặc biệt là các thay đổi của SINR trên liên kết xảy ra rất nhanh: vài mili giây đối với pha định. Topo mạng thay đổi chậm hơn, vào khoảng vài giây, trong khi lưu lượng của người sử dụng tùy theo các ứng dụng có thể thay vài chục đến vài trăm giây. Các diễn biến theo thời gian khác nhau của các thay đổi mạng dẫn đến suy luận rằng mỗi lớp trước hết cần tìm cách bù trừ thay đổi tại chính lớp mình. Chẳng hạn, giả sử SINR trên một tuyến đầu cuối đầu cuối bị thấp, thì khi thông tin về kết nối được chuyển đến lớp cao hơn của ngăn xếp (chẳng hạn lớp mạng để định tuyến lại hay lớp ứng dụng để giảm nén tốc độ) SINR của liên kết này có thể đã thay đổi. Vì thế dẫn đến cảm giác là mỗi giao thức nên thích ứng với các thay đổi cục bộ với mức này. Nếu thích ứng cục bộ này không đủ để bù trừ sự giảm cấp hiệu năng cục bộ thì các số đo hiệu năng tại lớp tiếp theo của ngăn xếp giao thức sẽ bị giảm. Khi này thích ứng tại lớp tiếp theo có thể sửa hoặc loại bỏ được vấn đề mã thích ứng cục bộ không sửa được. Để làm thí dụ ta lại xét SINR của liên kết. SINR của liên kết có thể được đo khá chính xác tại lớp vật lý. Vì thế giao thức lớp vật lý phản ứng kênh SINR thấp bằng cách tăng công suất phát hoặc mức mã hóa sửa lỗi. Biện pháp này sẽ hiệu chỉnh các thay đổi của kết nối, chẳng hạn do pha định đa đường. Tuy nhiên nếu liên kết yếu do một lý do khó khăn nào đó tại lớp vật lý, chẳng hạn đơn vị di động đi vào đường hầm, thì tốt hơn là để lớp cao hơn của ngăn xếp giao thức đáp ứng bằng cách tạm dừng phát các gói cho đến khi đơn vị di động ra khỏi đường hầm. Tương tự việc các nút trong mạng di động nhanh dẫn đến việc thay đổi nhanh các đặc tính và cấu hình mạng. Vì thế nếu thông báo cho lớp mạng về các nút di động nhanh có thể dẫn đến thay đổi chiến lược định tuyến từ đơn hướng thành quảng bá. Cuối cùng nếu mạng không đáp ứng được QoS theo yêu cầu của ứng dụng, ứng dụng có thể thích ứng đến một yêu cầu khả dụng nào đó. Chính cách tiếp cận tích hợp này (cách thức mà mỗi lớp của ngăn xếp giao thức sẽ đáp ứng các thay đổi cục bộ với giả thiết thực hiện thích ứng tại các lớp cao hơn) tạo nên một thiết kế giao thức lớp chéo thích ứng.

Phân tập là một cơ chế cần khai thác trong thiết kế lớp chéo thích ứng. Phân tập thường được sử dụng để đảm bảo sự bền vững đối với pha định tại lớp vật lý. Tuy nhiên triết lý cơ sở của phân tập có thể mở rộng đến tất cả các lớp trong ngăn xếp mạng. Phân tập cộng tác cung cấp phân tập tại lớp truy nhập bằng cách sử dụng nhiều nút phân bố theo không gian để hỗ trợ chuyển một gói. Phân tập theo cách này đảm bảo gói không bị hỏng trên mọi liên kết. Phân tập lớp mạng cũng có hữu trong định tuyến đa đường: nhiều truyền trên mạng được sử dụng để truyền một gói. Điều này dẫn đến việc phải cân nhắc giữa phân tập và thông lượng tại lớp mạng. Đặc biệt là một gói được truyền theo nhiều tuyến sẽ ít có khả năng bị mất và trễ lớn. Tuy nhiên gói sử dụng tài nguyên có thể dành cho gói khác vì thế giảm thông lượng mạng. Phân tập lớp ứng dụng sử dụng các MDC như đã trình bày về số liệu ứng dụng ở trên, trong đó chỉ cần thu được một trong số các mô tả là có thể tạo lại được số liệu phát, mặc dù méo cao hơn so với trường hợp khôi phục lại gói từ tất cả các mô tả. Phân tập trên tất cả các lớp của ngăn xếp giao thức, nhất là khi đi cùng với thiết kế lớp chéo thích ứng, có thể đảm bảo tin cậy và hiệu năng tốt treeb các mạng ad hoc không dây cho dù có các thách thức cố hữu.

Thiết kế lớp chéo đặc biệt quan trọng trong các mạng bị hạn chế năng lượng, trong đó mỗi nút chỉ có một khối lượng năng lượng hữu hạn cần được tối ưu hóa trên tất cả các lớp của ngăn xếp giao thức. Các hạn chế năng lượng đặt ra các thách thức duy nhất và các cơ hội cho việc phân lớp chéo. Một số vấn đề của thiết kế này sẽ được đề cập trong phần 5.6.4.

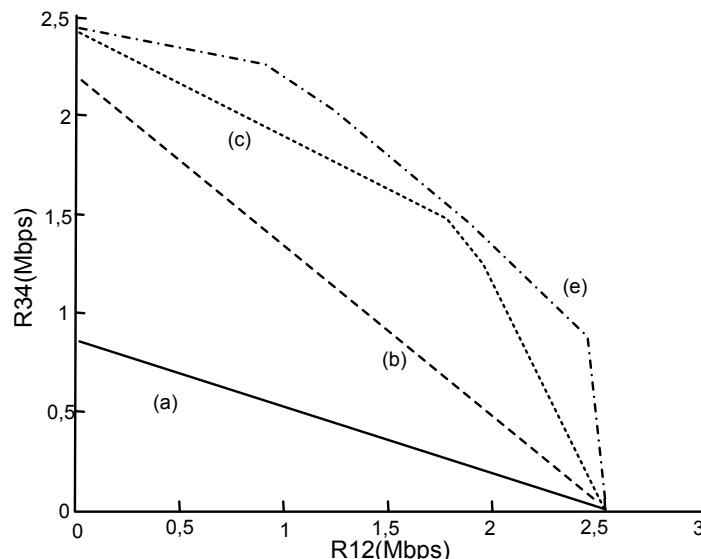
## 5.6. Các giới hạn dung lượng mạng

Các giới hạn cơ bản dung lượng của một mạng ad hoc không dây (tập các tốc độ số liệu có thể có giữa tất cả các nút) là một vấn đề thách thức lớn trong lý thuyết thông tin. Đối với một mạng có  $K$  nút, mỗi nút có thể thông tin với  $K-1$  các nút khác, vì thế vùng dung lượng có kích thước  $K(K-1)$  để phát đi thông tin độc lập giữa các nút. Vùng dung lượng với thông tin chung hay phát đa phương còn lớn hơn nhiều. Thậm chí đối với các cấu hình kênh đơn giản trong một mạng ad hoc không dây như kênh chuyển tiếp và nhiều vấn đề này vẫn chưa được giải quyết. Ngay cả việc đơn giản hóa vấn đề vào một biểu thức dễ hiểu cho vùng dung lượng mạng ad hoc cũng là rất phức tạp.

Để đơn giản lúc đầu các nghiên cứu chỉ tập trung lên một số mục tiêu đơn giản. Kết quả nghiên cứu đạt được luật định cỡ cho thông lượng mạng: khi số lượng người sử dụng trong mạng  $K$  tăng đến điểm tiệm cận. Nghiên cứu cho thấy luật định cỡ rằng thông lượng tính theo bit/s đối với từng nút trong mạng giảm theo  $K$  tại tốc độ nằm trong khoảng giữa  $1/\sqrt{K \log K}$  và  $1/\sqrt{K}$ . Nói một cách khác, tốc độ trên một nút tiến đến không mặc dù tốc độ nhân với  $K$  tăng tại tốc độ nằm trong khoảng  $\sqrt{K/\log K}$  và  $\sqrt{K}$ . Kết quả đáng kinh ngạc này cho thấy rằng thậm chí với định tuyến và lập biểu tối ưu, tốc độ trên một nút trong một mạng ad hoc không dây lớn vẫn tiến đến không. Sở dĩ như vậy vì các nút mạng trung gian phải chi quá nhiều tài nguyên của mình để chuyển các gói đến các nút khác và chỉ ít tài nguyên được sử dụng để chuyển gói của chính chúng. Ở một mức độ nào đó đây là một kết quả bi quan, vì giả thiết đưa ra ở đây là các nút chọn nút nhận cho mình một cách ngẫu nhiên, trong khi đó rất nhiều nút trong mạng chỉ thông tin với các nút trong vùng xung quanh nó. Mở rộng nghiên cứu cho thấy rằng nếu các nút di động có thể phát thông tin bằng cách vận tải nó một cách vật lý đến gần nơi nhận mong muốn của mình, thì sự di động của nút sẽ tăng tốc độ trên một nút đến một hằng số. Sự tăng này xuất phát từ thực tế là di động đưa đến sự thay đổi trong mạng và sự thay đổi này có thể được khai thác để cải thiện tốc độ trên một người sử dụng. Tuy nhiên việc khai thác các thay đổi do di động này có thể dẫn đến trễ đáng kể.

Một cách tiếp cận khác cho luật định cỡ là tính toán các miền tốc độ khả dụng dựa trên các chiến lược tối ưu. Cách tiếp cận này đã được sử dụng để đạt được tốc độ khả dụng dựa trên chiến lược phân chia theo thời gian liên kết với tất cả các ma trận tốc độ có thể có. Các ma trận này mô tả tập các tốc độ mà tất cả các cặp nguồn-nơi nhận có thể đồng thời duy trì tại mọi thời điểm. Bằng cách kết hợp tất cả các ma trận tại các khung thời gian khác nhau, ta có thể nhận được tất cả các tốc độ khả dụng giữa các cặp nguồn-nơi nhận trong chiến lược phân chia theo thời gian. Một số chiến lược đã được xem xét bao gồm: truyền dẫn tốc độ khả biến, định tuyến một chặng hay nhiều chặng, điều khiển công suất và loại nhiều lần lượt. Các nghiên cứu này cũng xét cả cả các ảnh hưởng của di động và pha định.

Hình 5.4 minh họa một lát cắt hai chiều của một vùng tốc độ cho một mạng có năm nút phân bố ngẫu nhiên trong một vùng hình vuông với giả thiết rằng truyền sóng giữa các nút được đơn giản hóa bằng mô hình tổn hao đường truyền hàm mũ với  $\gamma=4$ . Lát cắt hai chiều của một miền tốc độ 20 chiều này biểu thị tốc độ khả dụng giữa hai cặp nút: từ 1 đến 2 và từ 3 đến 4 khi tất cả nút trong khán mạng có thể được sử dụng để chuyển lưu lượng giữa các nút này nhưng không tạo ra bất kỳ số liệu nào. Hình vẽ giả thiết là truyền dẫn tốc độ khả biến tuân dula trên các SINR của liên kết và minh họa cho miền tốc độ khả dụng với các giả định: định tuyến một chặng hay nhiều chặng, điều khiển công suất, tái sử dụng không gian và loại nhiều lần lượt. Ta thấy rằng dung lượng tăng đáng kể khi bổ sung định tuyến đa chặng, tái sử dụng không gian và loại nhiều lần lượt. Bổ sung điều khiển công suất không cho thay đổi đáng kể vì điều chế thích ứng đã được sử dụng.



Hình 5.4. Lát cắt vùng dung lượng của mạng 5 nút dọc theo mặt phẳng  $R_{ij}$ ,  $\{ij\} \neq \{12\}, \{34\}$ ,  $i \neq j$ . a) định tuyến một chặng không tái sử dụng không gian, b) định tuyến đa chặng, không tái sử dụng không gian, c) định tuyến đa chặng có tái sử dụng không gian, d) bổ sung điều khiển công suất hai mức cho c)

Các miền dung lượng mạng với các dạng phân tập cộng tác khác nhau cũng đã được nghiên cứu. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng cộng tác có thể tăng đáng kể dung lượng mạng. Tuy nhiên ưu điểm của cộng tác phụ thuộc rất lớn vào cấu hình mạng và tính khả dụng của thông tin kenh.

## 5.7. Các mạng bị hạn chế bởi năng lượng

Rất nhiều các nút của mạng ad hoc không dây được cấp nguồn bằng pin với tuổi thọ có hạn. Vì thế ta cần xét ảnh hưởng của các giới hạn năng lượng khi thiết kế các mạng ad hoc không dây. Các thiết bị với pin nạp lại được cũng cần bảo toàn năng lượng để tăng thời gian giữa các lần nạp lại cực đại. Ngoài ra rất nhiều ứng dụng có các thiết bị không thể nạp lại nguồn, chẳng hạn các bộ cảm biến được chôn trong tường hay được thả xuống các miền hẻo lánh. Các máy vô tuyến này phải hoạt động trong nhiều năm chỉ bằng năng lượng pin và năng lượng thu nhận từ môi trường. Các nghiên cứu đã phát triển được các thiết bị vô tuyến cho các

ứng dụng này với công suất tiêu thụ chưa đến 100 microwatt và có khả năng thu nhận năng lượng từ môi trường để kéo dài tuổi thọ.

Các giới hạn năng lượng ảnh hưởng lên hoạt động của phần cứng, công suất phát và xử lý tín hiệu liên quan đến hoạt động của nút. Năng lượng cần thiết để phát trên một bit đối với một giá trị BER cho trước trong kênh tạp âm có thể được giảm thiểu bằng cách trai rộng năng lượng này trên toàn bộ miền thời gian-tần số khả dụng. Tuy nhiên công suất phát không phải là nhân tố tiêu thụ nguồn duy nhất. Xử lý tín hiệu liên quan đến phát và thu gói và ngay cả hoạt động của phần cứng trong chế độ chờ cũng tiêu thụ một lượng năng lượng không thể bỏ qua. Tất cả các lý do nói trên dẫn đến cần cân đối năng lượng tại các lớp giao thức. Tại lớp vật lý, nhiều kỹ thuật giảm công suất phát đòi hỏi một khối lượng xử lý tín hiệu lớn. Thường cho rằng năng lượng cần thiết cho xử lý này là nhỏ và liên tục giảm cùng với các cải thiện không ngừng trong công nghệ phần cứng. Tuy nhiên các nghiên cứu cho thấy rằng chi phí năng lượng cho các xử lý tín hiệu vẫn đáng kể. Vì thế cần phải phát triển các kỹ thuật xử lý hiệu suất năng lượng cho các hệ thống bị hạn chế năng lượng để giảm thiểu các yêu cầu năng lượng tại tất cả các mức của ngăn xếp giao thức. Chế độ ngủ cho các nút phải được tối ưu hóa. Vì các nút này duy trì năng lượng chờ nhưng đòi hỏi chi phí năng lượng tại các lớp khác do các vấn đề phức tạp liên quan đến truy nhập và định tuyến. Phần này sẽ trình bày một số xem xét thiết kế chủ yếu cho các mạng ad hoc không dây có các nút bị hạn chế năng lượng.

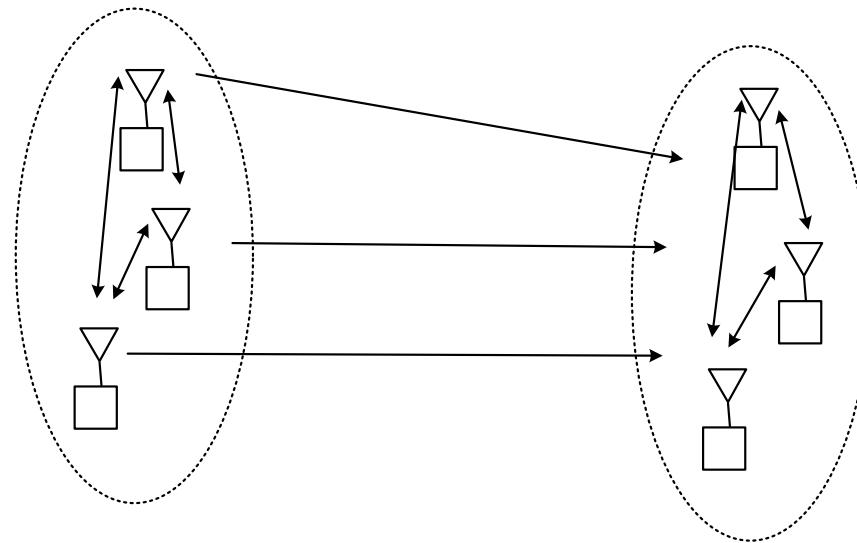
### 5.7.1. Điều chế và mã hóa

Thông thường lựa chọn điều chế và giai điều chế dựa trên các xem xét giữa công suất phát, tốc độ số liệu BER và tính phức tạp. Đối với các ứng dụng cự ly ngắn, tiêu thụ công suất của các mạch điện tương tự và DSP có thể ngang bằng với công suất phát cần thiết. Trong trường hợp này lựa chọn thiết kế dựa trên tổng tiêu thụ năng lượng gồm: tiêu thụ năng lượng phát và mạch điện. Việc lập mô hình tiêu thụ năng lượng mạch điện là một vấn đề khá thách thức, phụ thuộc rất nhiều vào phần cứng được sử dụng, tồn tại một số cân nhắc, nhất là đối với các ứng dụng cự ly ngắn, trong đó năng lượng phát có thể khá thấp. Vì năng lượng mạch điện tăng theo thời gian phát, nên giảm thiểu thời gian phát và đặt các nút vào chế độ ngủ có thể tiết kiệm đáng kể năng lượng. Một số nghiên cứu cho thấy rằng, điều chế M trạng thái cho phép tiết kiệm năng lượng so với điều chế hai trạng thái đối với một số ứng dụng cự ly ngắn bằng cách giảm thời gian phát và tắt nguồn cho phần lớn các mạch điện sau khi phát. Các nghiên cứu đã phân tích điều chế M-QAM và các chiến lược giảm thiểu tổng công suất tiêu thụ đã được phát triển. Nghiên cứu cũng đã được mở rộng để tối ưu hóa đồng thời băng thông điều chế, thời gian phát và kích thước chùm tín hiệu cho MQAM và MFSK trong cả các kênh AWGN và pha định. Các kết quả cho thấy rằng tiêu thụ năng lượng giảm đáng kể khi tối ưu hóa thời gian phát và cực ly phát: tại cực ly phát lớn công suất phát lớn hơn, vì thế lựa chọn các chùm tín hiệu nhỏ hơn cùng với thời gian phát dài hơn là tốt nhất, tuy nhiên tại các khoảng cách nhỏ xảy ra ngược lại. Kết quả cho thấy MQAM có hiệu suất năng lượng tốt hơn MFSK một chút tại các cự ly ngắn vì nó có thể truyền trong khoảng thời gian ngắn hơn nhưng đối với các cự ly lớn MFSK tốt hơn do đặc tính của các bộ khuếch đại phi tuyến tốt hơn. Các hạn chế năng lượng cũng thay đổi các cân nhắc vốn có đối với mã hóa. Thông thường mã hóa giảm năng lượng phát cần thiết trên một bit đối với một đích BER cho trước. Tuy nhiên tiết kiệm này phải trả giá bằng năng lượng xử lý liên quan đến bộ mã và giải mã. Ngoài ra các s

đồ mã hóa (như mã khôi và mã xoắn) mã hóa các bit vào từ mã dài hơn chuỗi bit gốc và điều này dẫn đến mở rộng băng thông. Trong khi năng lượng phát cần thiết cho từ mã để đảm bảo BER cho trước có thể thấp hơn năng lượng cần thiết cho các bit không mã hóa, thì mã hóa đòi hỏi thời gian phát từ mã lâu hơn dẫn đến tiêu thụ năng lượng mạch điện cao hơn. Các kỹ thuật điều chế và mã hóa liên kết như trellis không tăng băng thông vì thế không phải chi phí năng lượng tăng băng thông. Tuy nhiên cũng cần xem xét năng lượng xử lý của bộ hóa và giải mã để xác định xem chúng có cho lợi ích tiết kiệm năng lượng hay không. Các nghiên cứu cũng cho thấy rằng MQAM được mã hóa lưới đảm bảo tiết kiệm năng lượng tại hầu hết các khoảng cách truyền dẫn. Các kỹ thuật MFSK nói chung không hiệu suất băng thông, vì thế mà hóa chỉ có lợi cho MFSK tại các khoảng cách truyền dẫn trung bình.

### 5.7.2. MIMO và MIMO hợp tác

Các kỹ thuật MIMO có thể tăng cường đáng kể hiệu năng của các hệ thống không dây nhờ độ lợi ghép kênh hay phân tập. Đối với công suất phát trên một bit cho trước, độ lợi ghép kênh không gian cung cấp tốc độ bit cao hơn, độ lợi phân tập đảm bảo BER thấp hơn trong môi trường pha định. Tuy nhiên các hệ thống MIMO dẫn đến tiêu thụ năng lượng mạch điện nhiều hơn so với các hệ thống một anten do mỗi tuyến tín hiệu của từng anten đòi hỏi mạch xử lý riêng. Các nghiên cứu cho thấy hệ thống MIMO cho phép tiết kiệm năng lượng so với hệ thống anten đơn đối với hầu hết các khoảng cách quan tâm khi kích thước chùm tín hiệu được tối ưu hóa theo khoảng cách. Có thể giải thích điều này như sau. Hệ thống MIMO cho phép phát độ số liệu cao hơn, vì thế gói được truyền nhanh hơn sau đó tắt phát để tiết kiệm năng lượng.



Hình 5.5. MIMO cộng tác.

Nhiều mạng bị hạn chế năng lượng bao gồm các nút rất nhỏ không thể hỗ trợ đa anten. Trong trường hợp này các nút gần nhau có thể cùng nhau trao đổi thông tin để tạo nên một máy phát đa anten và các nút gần nhau nhau tại đầu thu sẽ cùng cộng tác để tạo nên một máy thu đa anten như trên hình 5.5. Chừng nào khoảng cách giữa các nút cộng tác còn nhỏ, năng lượng liên quan đến trao đổi thông tin giữa các nút cộng tác vẫn nhỏ hơn so với năng lượng tiết kiệm được từ hệ thống MIMO. Nghiên cứu cho thấy tiết kiệm năng lượng đạt được do phát thu cộng tác khi các cụm phát thu có khoảng cách bằng từ 10 đến 20 lần khoảng cách

giữa các nút cộng tác. Khi hiệu số này nhỏ hơn, chi phí năng lượng cho trao đổi thông tin giữa các nút cộng tác vượt quá tiết kiệm năng lượng cộng tác. MIMO công tác là một dạng của phân tập cộng tác. Các kỹ thuật phân tập khác đã được xét trong 5.3.3 có thể cung cấp tiết kiệm ngang bằng hoặc trội hơn MIMO cộng tác tùy thuộc vào cấu hình mạng,

### 5.7.3. Truy nhập, định tuyến và ngủ

Có thể làm cho các sơ đồ truy nhập ngẫu nhiên hiệu suất năng lượng hơn bằng cách giảm thiểu các va chạm và các phát lại, cũng như tối ưu hóa công suất phát để đạt được công suất phát tối thiểu cần thiết cho truyền dẫn. Một cách giảm các va chạm là tăng bảo vệ chống lỗi khi các va chạm xảy ra thường xuyên hơn. Một giải pháp khác, là giảm thiểu thích ứng công suất thu bằng cách phát thử như là một phần của quá trình truy nhập ngẫu nhiên, cách này cho thấy tăng đáng kể hiệu suất năng lượng. Một phương pháp khác để truy nhập hiệu suất năng lượng là trình bày vấn đề truy nhập phân bố bằng cách sử dụng lý thuyết trò chơi, trong đó năng lượng và trễ là các chi phí liên quan đến trò chơi. Một số các giải pháp cho truy nhập hiệu suất năng lượng đã được đánh giá. Tuy nhiên chưa có giải pháp nổi trội rõ ràng vì hiệu năng của từng giao thức phụ thuộc rất lớn vào các đặc tính kênh. Trễ và các hạn chế công bằng được kết hợp trong chương trình khung của truy nhập hiệu suất năng lượng cũng được nghiên cứu. Nhiều trong số các kỹ thuật này tránh được va chạm thông qua một phiên bản TDMA, mặc dù thiết lập truy nhập kênh trong điều kiện điều khiển phân bố có thể dẫn đến các trễ lớn.

Nếu các người sử dụng có các xâu gói dài hay luồng số liệu liên tục, thì hoạt động của truy nhập ngẫu nhiên sẽ kém vì hầu hết các cuộc truyền sẽ bị va chạm. Vì thế các kênh phải được ấn định đến các người sử dụng bằng cách lập lịch. Tiết kiệm năng lượng bổ sung thêm một xem xét mới cho tối ưu hóa lập lịch. Nghiên cứu cho thấy năng lượng cần thiết để phát một bit sẽ đạt giá trị cực tiểu khi phát bit này trên toàn bộ miền thời gian và tần số. Tuy nhiên khi nhiều người sử dụng muốn truy nhập kênh, các tài nguyên thời gian và băng thông của hệ thống phải được chia sẻ giữa tất cả các người sử dụng. Các giải thuật lập lịch tối ưu để giảm thiểu năng lượng phát cho nhiều người sử dụng cùng chia sẻ một kênh cũng đã được nghiên cứu. Nghiên cứu cho thấy rằng lập lịch tối ưu để giảm thiểu năng lượng phát cần thiết của từng người sử dụng lệ thuộc và thời hạn và hạn chế trễ. Giảm thiểu năng lượng đạt được nhờ sự thay đổi khôn ngoan thời gian truyền dẫn gói (và tiêu thụ năng lượng tương ứng) để đáp ứng được hạn chế trễ. Sơ đồ này cho thấy đạt được tiết kiệm năng lượng đáng kể so với lập lịch tất định với cùng một thời hạn.

Các mạng bị hạn chế năng lượng cũng cần các giao thức định tuyến để tối ưu các tuyến theo tiêu thụ năng lượng. Nếu tiêu thụ năng lượng không được phân bố đều trên toàn mạng, một số nút có thể hết nguồn sôrơm hơn các nút khác dẫn đến phân đoạn mạng. Có thể áp dụng thủ tục tối ưu hóa chuẩn được trình bày trong phần 5.3.3 với sử dụng năng lượng trên từng chặng làm chi phí thay cho nghẽn và trễ để tối ưu hóa định tuyến trên cơ sở giảm thiểu tiêu thụ năng lượng đầu cuối đầu cuối. Một giải pháp khác, có thể tính toán các tuyến trên cơ sở chi phí liên quan đến pin của từng nút, chặng hạn thời hạn max-min của pin của tất cả các nút trong mạng. Các hàm chi phí khác nhau để tối ưu hóa định tuyến bị hạn chế năng lượng đã được đánh giá bằng mô phỏng. Hàm chi phí cũng được mở rộng để bao hàm số đo trễ truyền

thông kết hợp với tiêu thu năng lượng trên cơ sở đánh trọng số cho đóng góp của các số đo này cho toàn bộ hàm chi phí. Lưu ý rằng tính toán và phân phối các bảng định tuyến có thể dẫn đến chi phí đáng kể: có thể tránh được điều này bằng cách định tuyến theo vùng địa lý, nghĩa là định tuyến theo định hướng nơi nhận tổng quát (GDRP: Generral Direction Routing Protocol) đòi hỏi tính toán ít hơn.

Các nút bị hạn chế năng lượng tiêu thụ công suất đáng kể ngay cả khi trong chế độ chờ (khi các nút này chỉ tham gia thụ động trong mạng với trao đổi số liệu tối thiểu để duy trì trạng thái mạng của chúng). Công nghệ nhẫn tin đã phát triển giải pháp cho vấn đề này bằng cách lập lịch các chu kỳ “ngủ” cho các máy nhẫn tin. Ý tưởng cơ bản ở đây là mỗi máy nhẫn tin cần nghe các cuộc truyền trong các khoảng thời gian ngắn. Đây là giải pháp thực hiện đơn giản khi điều khiển trung tâm được sử dụng. Các quyết định ngủ phải xét đến kết nối mạng, nghĩa là các quyết định này là địa phương chứ không độc lập. Cơ chế để hỗ trợ các quyết định này có thể dựa trên phát hiện nút lân cận kết hợp với một số phương tiện để ra lệnh quyết định trong vùng lân cận. Trong một vùng cho trước, khả năng ngủ phải được thông báo giữa các nút để đảm bảo rằng kết nối không bị mất do trùng lặp một số quyết định ngủ đồng thời.

#### **5.7.4. Thiết kế lớp chéo trong điều kiện hạn chế năng lượng**

Thiết kế lớp chéo rất cần cho các mạng bị hạn chế năng lượng. Các nút mạng không thể nạp lại nguồn chỉ có thể phát một số lượng bit nhất định trước khi hết nguồn và sau đó chúng không thể thực hiện các chức năng chủ định (cảm biến chẳng hạn) hoặc tham gia và các hoạt động của mạng như định tuyến. Như vậy cần sử dụng năng lượng một cách khôn ngoan trên toàn bộ các giao thức của ngăn xếp giao thức để kéo dài thời hạn mạng và đáp ứng được các yêu cầu của ứng dụng. Đảm bảo hiệu suất năng lượng của tất cả các lớp trên ngăn xếp giao thức đòi hỏi phải cân nhắc giữa tiêu thụ năng lượng, trễ và thông lượng. Tuy nhiên tại một mức cho trước, điểm công tác tối ưu của đường cong cân nhắc này cũng chịu ảnh hưởng bởi các xem xét tại các lớp cao hơn. Chẳng hạn nếu một nút phát chậm, nó sẽ bảo toàn năng lượng phát nhưng làm khó dễ cho truy nhập của các nút khác và tăng trễ đầu cuối đầu cuối. Giao thức định tuyến có thể sử dụng các nút tại trung tâm để định tuyến hiệu suất năng lượng, tuy nhiên điều này sẽ làm tăng nghẽn và trễ trên tuyến này cũng như nhanh chóng tiêu tốn năng lượng pin dẫn đến nút này bị loại khỏi mạng. Cuối cùng, cân nhắc giữa năng lượng, trễ, thông lượng và thời hạn nút/mạng phải được tối ưu so với các yêu cầu của ứng dụng. Hoạt động cứu hộ khẩn cần có thông tin nhanh chóng, tuy nhiên thường mạng chỉ cần tồn tại trong vài giờ hay vài ngày. Trái lại mạng cảm biến chôn trong bê tông của cầu để đo súc bền của cầu phải tồn tại hàng chục năm, nhưng thông tin được thu thập hàng ngày hoặc hàng tuần.

#### **5.7.5. Dung lượng trên năng lượng đơn vị**

Khi năng lượng phát bị giới hạn, không thể phát đi một khối lượng bit bất kỳ với xác suất lỗi nhỏ tiệm cận. Có thể lý giải điều này khi xem xét phát một bit đơn. Cách duy nhất để đảm bảo rằng hai giá trị khác nhau thể hiện hai giá trị bit có thể có trong không gian tín hiệu được giải mã với lỗi nhỏ tùy ý là phân cách chúng xa tùy ý và điều này đòi hỏi năng lượng lớn tùy ý. Vì không thể có xác suất lỗi nhỏ tùy ý trong điều kiện hạn chế năng lượng, cần đưa ra một khái niệm mới về thông tin tin cậy.

Dung lượng cho thông tin cậy trong hoàn cảnh hạn chế năng lượng đã được định nghĩa như sau: là số bit cực đại trên năng lượng đơn vị mà tại đó các bit này có thể được phát sao cho xác suất lỗi tiến tới không theo năng lượng. Khái niệm năng lượng dung lượng trên năng lượng đơn vị này đòi hỏi cả năng lượng và độ dài khối tăng lớn tiệm cận để đạt được xác suất lỗi nhỏ tiệm cận. Như vậy một hệ thống phát năng lượng hữu hạn tại dụng lượng trên năng lượng đơn vị không có xác suất lỗi nhỏ tiệm cận. Để hiểu rõ định nghĩa này đối với kênh AWGN, ta xét năng lượng bit tối thiểu cần thiết để phát tại dụng lượng Shannon chuẩn hóa  $C_B = C/B$  bps/Hz. Năng lượng bit thu bằng tỷ số giữa công suất thu và tốc độ số liệu  $E_b = P/R$  vì thế năng lượng bit để truyền dẫn tại tốc độ bit đạt tới dụng lượng Shannon  $C$  là  $E_b = P/C$ . Sử dụng biểu thức trong công thức dung lượng của Shannon cho kênh AWGN ta được:

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{P}{N_0 B} \right) = B \log_2 \left( 1 + \frac{E_b C}{N_0 B} \right) \quad (5.8)$$

Đảo công thức (5.8) ta được năng lượng trên bit cần thiết để phát rai các tốc độ tiến tới dung lượng chuẩn  $C_B = C/B$  như sau:

$$\frac{E_b}{N_0} (C_B) = \frac{2^{C_B} - 1}{C_B} \quad (5.9)$$

Khi  $B$  tăng,  $C_B$  tiến đến không, ta được ta được năng lượng bit tối thiểu tại giới hạn băng thông như sau:

$$\left( \frac{E_b}{N_0} \right)_{\min} = \lim_{C_B \rightarrow \infty} \frac{2^{C_B} - 1}{C_B} = -1,59 \text{ dB} \quad (5.10)$$

Các nghiên cứu cũng chỉ ra rằng năng lượng tối thiểu để thông tin tin cậy trong môi trường pha định phẳng cũng được xác định theo công thức (5.10) ngay cả khi pha định không được biết tại máy thu.

Rất nhiều các hệ thống không dây bị hạn chế năng lượng có băng thông rộng nhưng hữu hạn và các kết quả nhận được trong trường hợp băng thông tiến đến vô hạn có thể dẫn đến hiểu nhầm khi thiết kế các hệ thống này. Chẳng hạn băng thông cần thiết để hoạt động tại năng lượng bit gần bằng tối thiểu theo (5.10) rất nhạy cảm đến phân bố phân bố pha định và những gì được biết về pha định tại máy thu. Nếu pha định được biết tại máy thu, thì QPSK là sơ đồ điều chế tối ưu với phát tắt bật rõ ràng dưới tối ưu, tuy nhiên dạng tiệm cận của phát tắt bật sẽ tối ưu nếu máy thu không biết pha định.

## 5.8. Tổng kết

Chương này đã xét tổng quan mạng ad hoc không dây: định nghĩa mạng ad hoc, các ứng dụng của mạng ad hoc và các vấn đề phức tạp liên quan đến mạng ad hoc, Chương đã xét đến việc thiết kế các lớp dựa trên các tiêu chí liên quan đến: tốc độ số liệu, trễ, năng lượng hạn chế. Thiết kế các lớp giao thức cho mạng không dây ad hoc đòi hỏi thiết kế lớp chéo: xem xét đồng thời nhiều lớp giao thức của ngăn xếp giao thức, hay thiết kế chung với trao đổi

thông tin giữa các lớp. Chương cũng đưa ra cách đánh giá dung lượng cho hệ thống hạn chế năng lượng..

## Câu hỏi chương 5

1. Định nghĩa mạng ad hoc không dây.
2. Trình bày các ứng dụng của các mạng ad hoc không dây.
3. Trình bày các nguyên lý và các thách thức thiết kế mạng ad hoc không dây.
4. Trình bày các lớp giao thức và thiết kế lớp chéo.
5. Trình bày các vấn đề về giới hạn dung lượng và giải pháp khắc phục.
6. Trình bày các vấn đề về hạn chế năng lượng trong mạng ad hoc không dây và các biện pháp khắc phục.

## CHƯƠNG 6

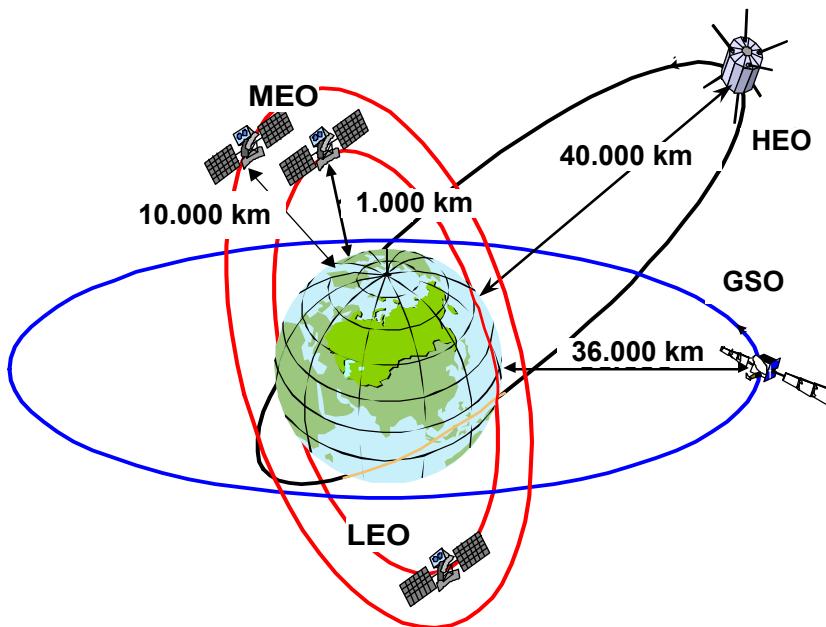
### HỆ THỐNG THÔNG TIN VỆ TINH

#### 6.1. Các quỹ đạo vệ tinh và phân bố tần số cho các hệ thống thông tin vệ tinh

##### 6.1.1. Các quỹ đạo vệ tinh cho các hệ thống thông tin vệ tinh

Tuỳ thuộc vào độ cao so với mặt đất các quỹ đạo của vệ tinh trong hệ thống thông tin vệ tinh được chia thành (hình 6.1):

- \* HEO (Highly Eliptical Orbit): quỹ đạo elip cao
- \* GSO (Geostationary Orbit) hay GEO (Geostatinary Earth Orbit): quỹ đạo địa tĩnh
- \* MEO (Medium Earth Orbit): quỹ đạo trung
- \* LEO (Low Earth Orbit): quỹ đạo thấp.



Hình 6.1. Các quỹ đạo vệ tinh trong các hệ thống thông tin vệ tinh

##### 6.1.2. Phân bố tần số cho các hệ thống thông tin vệ tinh

Phân bố tần số cho các dịch vụ vệ tinh là một quá trình rất phức tạp đòi hỏi sự cộng tác quốc tế và có quy hoạch. Phân bổ tần số được thực hiện dưới sự bảo trợ của Liên đoàn viễn thông quốc tế (ITU). Để tiện cho việc quy hoạch tần số, toàn thế giới được chia thành ba vùng:

**Vùng 1:** Châu Âu, Châu Phi, Liên xô cũ và Mông Cổ

**Vùng 2:** Bắc Mỹ, Nam Mỹ và Đảo Xanh

**Vùng 3:** Châu Á (trừ vùng 1), Úc và Tây nam Thái Bình Dương

Trong các vùng này băng tần được phân bổ cho các dịch vụ vệ tinh khác nhau, mặc dù một dịch vụ có thể được cấp phát các băng tần khác nhau ở các vùng khác nhau. Các dịch vụ do vệ tinh cung cấp bao gồm:

- Các dịch vụ vệ tinh cố định (FSS)
- Các dịch vụ vệ tinh quảng bá (BSS)
- Các dịch vụ vệ tinh di động (MSS)
- Các dịch vụ vệ tinh đạo hàng
- Các dịch vụ vệ tinh khí tượng

Từng phân loại trên lại được chia thành các phân nhóm dịch vụ; chẳng hạn dịch vụ vệ tinh cố định cung cấp các đường truyền cho các mạng điện thoại hiện có cũng như các tín hiệu truyền hình cho các hãng TV cáp để phân phối trên các hệ thống cáp. Các dịch vụ vệ tinh quảng bá có mục đích chủ yếu phát quảng bá trực tiếp đến gia đình và đôi khi được gọi là vệ tinh quảng bá trực tiếp (DBS:direct broadcast satellite), ở Châu Âu gọi là dịch vụ trực tiếp đến nhà (DTH: direct to home). Các dịch vụ vệ tinh di động bao gồm: di động mặt đất, di động trên biển và di động trên máy bay. Các dịch vụ vệ tinh đạo hàng bao gồm các hệ thống định vị toàn cầu và các vệ tinh cho các dịch vụ khí tượng thường cung cấp cả dịch vụ tìm kiếm và cứu hộ. Bảng 6.1 liệt kê các ký hiệu băng tần sử dụng chung cho các dịch vụ vệ tinh.

Bảng 6.1. Các ký hiệu băng tần

Dải tần, GHz	Ký hiệu băng tần
0,1-0,3	VHF
0,3-1,0	UHF
1,0-2,0	L
2,0-4,0	S
4,0-8,0	C
8,0-12,0	X
12,0-18,0	Ku
18,0-27,0	K
27,0-40,0	Ka
40,0-75	V
75-110	W
110-300	mm
300-3000	μm

Băng Ku là băng nằm dưới băng K còn băng Ka là băng nằm trên K. Ku là băng hiện nay được sử dụng cho các vệ tinh quảng bá trực tiếp và nó cũng được sử dụng cho một số dịch vụ vệ tinh cố định. Băng C được sử dụng cho các dịch vụ vệ tinh cố định và các dịch vụ quảng bá trực tiếp không được sử dụng băng này. Băng VHF được sử dụng cho một số dịch vụ di động và đạo hàng và để truyền số liệu từ các vệ tinh thời tiết. Băng L được sử dụng cho các dịch vụ di động và các hệ thống đạo hàng. Đối với các dịch vụ vệ tinh cố định trong băng C, phần băng được sử dụng rộng rãi nhất là vào khoảng từ 4 đến 6 GHz. Hầu như các tần số cao hơn được sử dụng cho đường lên và thường băng C được ký hiệu là 6/4 GHz trong đó con số viết trước là tần số đường lên. Đối với dịch vụ quảng bá trực tiếp trong băng Ku, dải thường được sử dụng là vào khoảng từ 12 đến 14 GHz và được ký hiệu là 14/12 GHz. Mặc dù các ấn định tần số được thực hiện cụ thể hơn và chúng có thể nằm ngoài các giá trị được trích dẫn ở đây (chẳng hạn các ấn định tần số băng Ku có thể là 14,030 GHz và 11,730 GHz), các giá trị gần đúng được đưa ra ở trên hoàn toàn thoả mãn cho các tính toán có liên quan đến tần số.

## 6.2. Các hệ thống thông tin vệ tinh

### 6.2.1. Intelsat

INTELSAT (International Telecommunications Satellite) là một tổ chức được thành lập vào năm 1964 bao gồm 140 nước thành viên và được đầu tư bởi 40 tổ chức. Các hệ thống vệ tinh INTELSAT đều sử dụng quỹ đạo địa tĩnh. Hệ thống vệ tinh INTELSAT phủ ba vùng chính: vùng Đại Tây Dương (AOR: Atlanttic Ocean Region), vùng Ấn Độ Dương (IOR: Indian Ocean Region) và vùng Thái Bình Dương (POR: Pacific Ocean Region). INTELSAT VI cung cấp lưu lượng trong AOR gấp ba lần trong IOR và hai lần trong POR. và POR cộng lại. Như vậy hệ thống vệ tinh này chủ yếu đảm bảo lưu lượng cho AOR. Tháng 5/1999 đã có ba vệ tinh INTELSAT VI phục vụ trong AOR và hai trong IOR.

Các vệ tinh INTELSAT VII-VII/A được phóng trong khoảng thời gian từ 11/1993 đến 6/1996 với thời hạn phục vụ từ 10 đến 15 năm. Các vệ tinh này được thiết kế chủ yếu để phục vụ POR và một phần AOR. Các vệ tinh này có dung lượng 22.500 kênh thoại hai chiều và 3 kênh TV. Nếu sử dụng nhân kênh số có thể nâng số kênh thoại lên 112.500 kênh hai chiều.

Các vệ tinh INTELSAT VIII-VII/A được phóng trong khoảng thời gian từ 2/1997 đến 6/1998 với thời hạn phục vụ từ 14 đến 17 năm. Các vệ tinh này có dung lượng giống như VII/A.

Các vệ tinh INTELSAT IX là seri vệ tinh được phóng muộn nhất (từ quý 1 /2001). Các vệ tinh này cung cấp dải dịch vụ rộng hơn bao gồm cả các dịch vụ như: internet, TV đến nhà (DTH), khám bệnh từ xa, dậy học từ xa, video tương tác và đa phương tiện.

Ngoài ra các vệ tinh INTELSAT cũng cung cấp các dịch vụ nội địa hoặc các dịch vụ vùng giữa các nước.

### 6.2.2. Vệ tinh nội địa, DOMSAT

Vệ tinh nội địa được viết tắt là DOMSAT (domestic satellite). Các vệ tinh này được sử dụng để cung cấp các dịch vụ khác nhau như: thoại, số liệu, truyền dẫn TV trong một nước. Các vệ tinh này thường được đặt trên quỹ đạo địa tĩnh. Tại Mỹ các vệ tinh này cũng cho phép

lựa chọn các kênh truyền hình cho máy thu gia đình, ngoài ra chúng còn cung cấp một khối lượng lớn lưu lượng thông tin thương mại.

Các DOMSAT cung cấp dịch vụ DTH có thể có các công suất rất khác nhau. (EIRP từ 37dBW đến 60 dBW). Bảng 6.2 dưới đây cho thấy đặc tính cơ bản của ba loại vệ tinh DOMSAT tại Mỹ.

Bảng 6.2. Đặc tính của ba loại DOMSAT tại Mỹ

	Công suất cao	Công suất trung bình	Công suất thấp
Băng K	K <sub>u</sub>	K <sub>u</sub>	C
Tần số đường xuống (GHz)	12,2-12,7	11,7-12,2	3,7-4,2
Tần số đường lên (GHz)	17,3-17,8	14-14,5	5,925-6,425
Dịch vụ vệ tinh	BSS	FSS	FSS
Mục đích ban đầu	DBS	điểm đến điểm	điểm đến điểm

Mục đích ban đầu là chỉ có các vệ tinh công suất lớn cung cấp dịch vụ vệ tinh quảng bá (DBS). Các vệ tinh công suất trung bình chủ yếu cung cấp dịch vụ điểm đến điểm và một phần DBS. Còn các vệ tinh công suất thấp chỉ cung cấp dịch vụ điểm đến điểm. Tuy nhiên từ kinh nghiệm người ta thấy máy thu vệ tinh truyền hình (TVRO) cũng có thể bắt được các chương trình từ băng C, nên nhiều gia đình đã sử dụng các chảo anten băng C để bắt các chương trình truyền hình. Hiện nay nhiều hãng truyền thông quảng bá đã mật mã hóa chương trình băng C, vì thế chỉ có thể bắt được chương trình này sau khi giải mã.

### 6.2.3. Các hệ thống thông tin di động vệ tinh

Thông tin di động vệ tinh trong mươi năm gần đây đã trải qua những biến đổi cách mạng bắt đầu từ hệ thống thông tin di động vệ tinh hàng hải (INMARSAT) với các vệ tinh ở quỹ đạo địa tĩnh (GSO). Năm 1996 INMARSAT phóng 3 trong số năm vệ tinh của INMARSAT 3 để tạo ra các chùm búp hẹp chiếu xạ toàn cầu. Trái đất được chia thành các vùng rộng lớn được phục vụ bởi các chùm búp hẹp này. Với cùng một công suất phát các chùm búp hẹp tạo ra được EIRP lớn hơn nhiều so với các chùm búp toàn cầu. Nhờ vậy việc thiết kế đầu cuối mặt đất sẽ đơn giản hơn, vì đầu cuối mặt đất sẽ nhìn thấy anten vệ tinh với tỷ số giữa hệ số khuyếch đại anten và nhiệt độ tạp âm hệ thống ( $G/T_s$ ) lớn hơn và EIRP đường xuống lớn hơn. Người ta dự định có thể sử dụng thiết bị đầu cuối mặt đất với kích thước sô tay. Hiện nay các vệ tinh ở GSO cho phép các thiết bị di động mặt đất trên ô tô hoặc kích cỡ va li. Với EIRP từ vệ tinh đủ lớn, các máy di động có thể sử dụng các anten có kích thước trung bình cho dịch vụ thu số liệu và thoại. Tuy nhiên vẫn chưa thể cung cấp dịch vụ cho các máy thu phát cầm tay.

Để đảm bảo hoạt động ở vùng sóng vi ba thấp cho các bộ thu phát cầm tay ở hệ thống vệ tinh GSO cần có anten dù mở (hệ số khuyếch đại anten cao) đặt được bên trong thiết bị phỏng và công suất phát bổ sung. Chẳng hạn ở băng L (1 đến 2 GHz), kích thước anten có thể từ 10 đến 15 m. Sở dĩ cần như vậy vì máy thu phát cầm tay có công suất phát thấp (vài trăm mW) và hệ số khuyếch đại anten thấp (0 đến 3 dB). Công suất phát của máy cầm tay phụ thuộc vào acqui (và trọng lượng của nó), nhưng quan trọng hơn là an toàn cho người sử dụng. Vì thế các vùng dưới mặt đất đòi hỏi mật độ thông lượng công suất đến anten cao hơn (đạt được nhờ

EIRP cao) và tỷ số G/T<sub>s</sub> ở vệ tinh cao (anten thu vệ tinh có hệ số khuyếch đại cao) để bắt được tín hiệu yếu từ máy phát của máy cầm tay.

Một tổ chức GSO hiện nay có thể cung cấp dịch vụ cho các máy phát thu kích thước và là: Hằng vệ tinh di động Mỹ (AMSC) sử dụng vệ tinh GSO đặt ở 101°W. Vệ tinh này đảm bảo dịch vụ cho thông tin của người sử dụng ở băng L và sử dụng băng Ku (11 đến 18 GHz) để giao diện với trạm của mặt đất nơi kết nối với mạng PSTN.

Tất cả các vệ tinh di động cung cấp dịch vụ tiếng phụ thuộc vào anten trạm mặt đất có tính hướng (G>10dB). Có thể sử dụng các anten có khuyếch đại thấp hơn nhưng chỉ có thể cung cấp dịch vụ cho tốc độ số liệu thấp hoặc nhắn tin (phi thoại).

Hiện nay thông tin di động vệ tinh đang chuyển sang dịch vụ thông tin di động cá nhân (PCS) với các máy thu phát cầm tay. Đối với ứng dụng này các vệ tinh phải có quỹ đạo thấp (LEO) (độ cao vào khoảng 1000 km) và quỹ đạo trung MEO (độ cao khoảng 10.000 km). Các vệ tinh này sử dụng các chùm búp hẹp chiếu xạ mặt đất để tạo thành cấu trúc tổ ong giống như các hệ thống tổ ong mặt đất. Tuy nhiên do vệ tinh bay nên các chùm búp này di động và cơ bản trạm di động có thể coi là dừng đối với các búp hẹp (tổ ong) chuyển động khá nhanh.

Cũng có thể lập trình các búp hẹp này để quét sóng các vùng phục vụ mặt đất và duy trì vùng chiếu cố định như hệ thống tổ ong. Tuy nhiên điều này đòi hỏi các anten phức tạp hơn, chẳng hạn dàn chỉnh pha hay anten quét cơ khí hoặc điều khiển độ cao quỹ đạo vệ tinh.

Một số hằng đang đưa ra các đề án LEO hay MEO để cung cấp cả dịch vụ truyền số liệu và tiếng. Chủ yếu các dịch vụ số liệu được cung cấp bởi các hệ thống vệ tinh LEO nhỏ, còn cả hai dịch vụ số liệu và tiếng được cung cấp bởi các hệ thống LEO lớn. Nói chung các vệ tinh của LEO lớn phức tạp (và đắt tiền) hơn. Trong phần dưới đây ta sẽ xem một số hệ thống thông tin di động vệ tinh điển hình.

#### **6.2.3.1. Dịch vụ di động của hệ thống GSO**

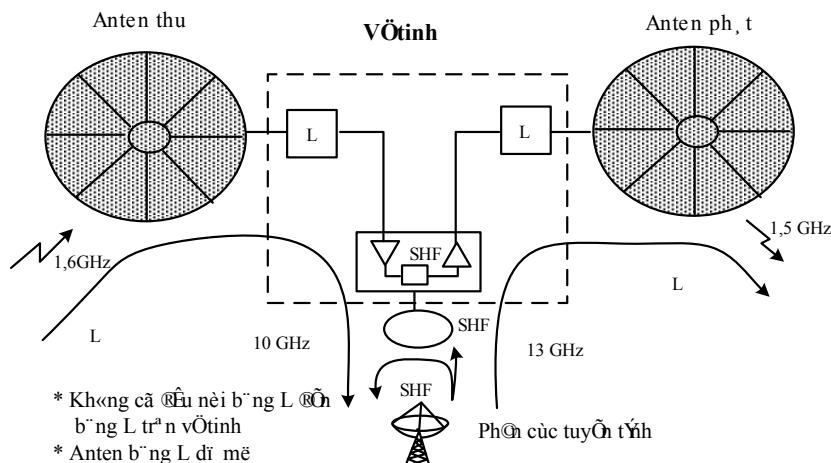
##### **Dịch vụ cho Bắc Mỹ**

Ứng dụng đầu tiên của hệ thống GSO để cung cấp dịch vụ di động vệ tinh được thực hiện khi MARISAT được đưa vào hoạt động. Công nghiệp dịch vụ di động vệ tinh đã ra đời từ chương trình của US Navy nhằm cung cấp thông tin cho tàu cập bờ bằng cách sử dụng ba kênh UHF. Ngoài UHF, Comsat (INMARSAT) cũng thuê các kênh L sử dụng anten xoắn để đảm bảo dịch vụ thương mại. Tiếp theo là sự ra đời của MARECS, IVMCS và INMARSAT, nhưng MARISAT vẫn tiếp tục hoạt động. Phát triển cao nhất là chùm vệ tinh của INMARSAT-3 đảm bảo các búp toàn cầu và các búp hẹp. Tất cả các hệ thống nói trên chủ yếu cung cấp dịch vụ cho thông tin hàng hải, tuy nhiên hiện nay INMARSAT cung cấp cả dịch vụ thông tin di động cho đất liền và hàng không. Đường dịch vụ của các hệ thống này sử dụng băng L, còn đường tiếp sóng sử dụng băng C. Các hệ thống này không cung cấp được dịch vụ cho các máy cầm tay. Comsat đã phát triển đầu cuối xách tay có tên gọi là Planet 1 để sử dụng dịch vụ do INMARSAT-3 cung cấp. Các búp hẹp tạo ra EIRP và G/T<sub>s</sub> đủ lớn để thông tin với máy xách tay.

Để tiếp tục phát triển thông tin di động vệ tinh, năm 1985 FCC cho phép Công ty Comsat của các hằng cung cấp dịch vụ cho Mỹ. Tập đoàn vệ tinh di động Mỹ AMSC nhận được cấp

phép này. Hệ thống vệ tinh này được đặt tên là AMSC. Hệ thống có thể cung cấp: dịch vụ thông tin di động vệ tinh mặt đất (LMSS), dịch vụ thông tin di động vệ tinh hàng không (AMSS) và dịch vụ thông tin di động vệ tinh hàng hải (MMSS). Hệ thống có thể cung cấp các dịch vụ thoại, số liệu và Fax cho các máy xách tay, đặt trên ô tô hay các trạm cố định. Dịch vụ này có tên là ô trên trời (Skycell). Dịch vụ tổ ong (cho máy cầm tay) có thể nhận được nhờ khai thác song mót ở vùng có hệ thống thông tin di động tổ ong mặt đất. AMSC không đủ mạnh để cung cấp dịch vụ cho máy cầm tay, vì anten mặt đất phải có khuỷu ống đại khoảng 10 dB để đạt được dịch vụ tiếng tin cậy. Tháng 4/1995 vệ tinh AMSC được phóng và đưa vào phục vụ vài tháng sau đó. AMSC-1 được đặt ở kinh độ 101°W. FCC cho phép AMSC phóng ba vệ tinh.

Hàng di động Telesat của Canada đã thoả thuận liên doanh để phóng vệ tinh (MSAT). Vệ tinh này đã được phóng và đặt ở kinh độ 106°W.



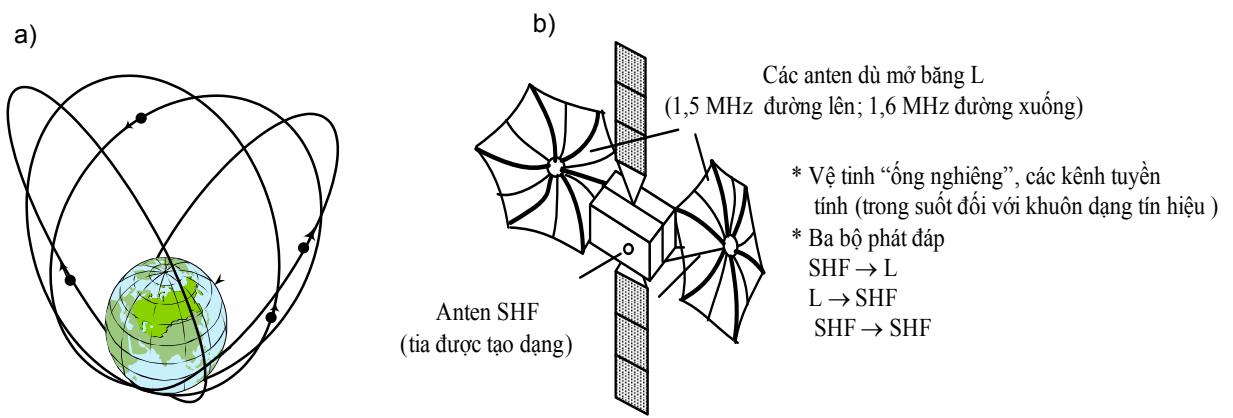
Hình 6.2. Vệ tinh hai băng tần AMSC

Tần số công tác đường dịch vụ của AMSC-1 là: 1530-1559 MHz cho đường xuống và 1631,5-1660 MHz cho đường lên. Tần số cho đường tiếp súng là: băng 13 GHz cho đường xuống và băng 10 GHz cho đường lên. Vệ tinh hoạt động như ống cong "bent pipe" (hai trạm mặt đất đều nhìn thấy vệ tinh trong lúc liên lạc) và không có xử lý trên vệ tinh. Đầu cuối của người sử dụng làm việc ở băng L. Quá trình định tuyến tín hiệu đến và từ vệ tinh được cho ở hình 6.2. Hai anten dù mở được sử dụng kết nối thông tin giữa hai người sử dụng. Anten siêu cao tần (SHF) cho búp sóng được định dạng để phủ sóng hầu hết Bắc Mỹ. Không có đường nối trực tiếp băng L giữa hai người sử dụng. Để thực hiện cuộc gọi, người sử dụng phát tín hiệu đường lên băng L đến vệ tinh, ở vệ tinh tín hiệu này chuyển đổi tần số được phát xuống ở tần số 13 GHz đến trung tâm điều khiển. Trung tâm này ấn định cặp kênh cho phía khởi xướng và kết cuối cuộc gọi. Sau khi kết nối được thực hiện, hai phía có thể thông tin với nhau. Tín hiệu phía khởi xướng được phát lên đến vệ tinh, sau đó từ vệ tinh phát xuống đến trạm công và từ trạm này nó được phát lên đến vệ tinh. Tại đây nó được chuyển vào băng L và phát đến trạm kết cuối. Nếu phía kết cuối không phải máy di động, trạm công kết nối cuộc gọi đến PSTN nội hat. Sau khi cuộc gọi kết thúc, kênh được giải phóng. Thực chất thông tin ở đây được thực hiện ở hai chặng và không có kết nối trực tiếp ở băng L. Thuật ngữ kỹ thuật được sử dụng cho trường hợp này là: không đấu nối băng L với băng L ở vệ tinh. Trước hết

AMSC sử dụng các đầu cuối hai chế độ vệ tinh/tổ ong. Nếu máy di động không thể kết nối đến hệ thống tổ ong mặt đất, cuộc gọi được định tuyến qua chế độ vệ tinh.

### **Dịch vụ cho châu Âu bằng hệ thống Archimedes**

Hàng hàng không vũ trụ châu Âu đã đề xuất sử dụng vệ tinh tia chớp "Molnya" quỹ đạo elip ở điểm cực viễn để đảm bảo dịch vụ tiếng bằng đầu cuối kích thước vali cho châu Âu. Sử dụng dạng quỹ đạo này có hai cái lợi. Nó cho phép góc ngang búp anten cao hơn (khoảng  $70^{\circ}$ ), nhờ thế giảm pha định nhiều tia xảy ra khi sử dụng góc ngang thấp và che tối của các vật cản. Ngoài ra anten của người sử dụng không cần thiết phải vô hướng vì vệ tinh được nhìn thấy trong khoảng thời gian dài ở vùng cực viễn. Hai yếu tố này (góc ngang cao và tính hướng anten tăng) cho phép giảm quỹ đạo truyền, nhờ vậy tiết kiệm đáng kể công suất vệ tinh. Chùm vệ tinh trong trường hợp này sử dụng bốn vệ tinh với mỗi vệ tinh ở một quỹ đạo Molnia, nút lòn cách nhau  $90^{\circ}$  và góc nghiêng  $63,4^{\circ}$ . Các vệ tinh được định pha ở xung quanh điểm cực viễn tại các thời điểm khác nhau để có thể phủ được toàn châu Âu trong 24 giờ. Với chu kỳ quay 12 giờ, hai cực viễn xảy ra ở bán cầu bắc, nhưng chỉ điểm trên châu Âu là được tích cực. Điểm cực viễn được nhìn thấy trong khoảng thời gian từ 6 đến 8 giờ, trong khoảng thời gian này các vệ tinh được tích cực. Cấu hình của hệ thống vệ tinh này được cho ở hình 6.3a.



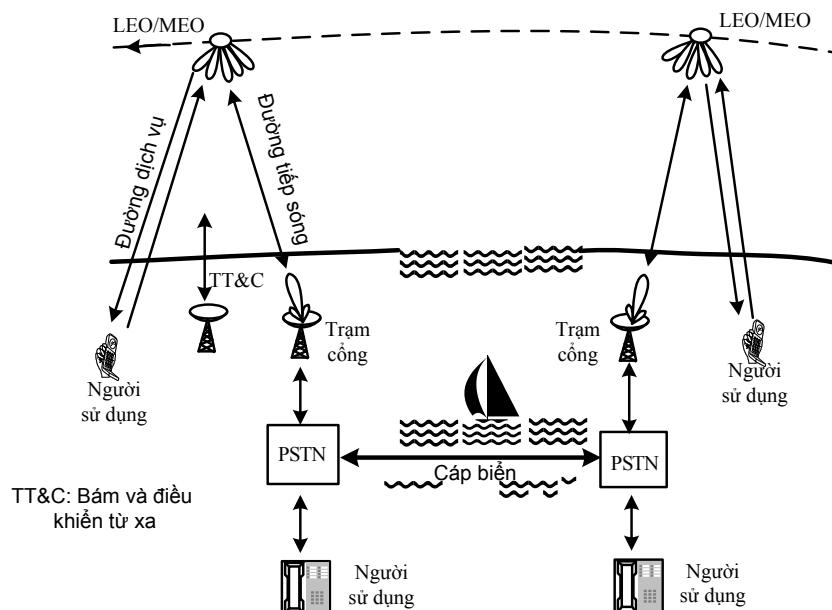
Hình 6.3. a) các quỹ đạo vệ tinh Molnya; b) cấu hình hệ thống thông tin di động vệ tinh ASMC và Archimedes.

Anten trên mỗi vệ tinh (ở khoảng thời gian gần điểm cực viễn) sẽ chiếu xạ châu Âu bằng 6 búp. Lưu ý rằng trong khoảng thời gian này cự ly đến trạm mặt đất sẽ thay đổi vì mức tín hiệu thay đổi vào khoảng 4 dB. Nếu không thay đổi chiếu xạ của búp anten (chẳng hạn giảm độ rộng của búp khi tiến đến gần điểm cực viễn) thì kích thước của vệ tinh cũng thay đổi. Việc giảm độ rộng búp cũng dẫn đến tăng hệ số khuyếch đại, điều này là cần thiết vì cự ly đến trạm mặt đất tăng. Hệ thống cung cấp dịch vụ ở băng L. Mỗi vệ tinh đảm bảo cung cấp dịch vụ cho 3000 kênh thoại.

Cấu hình của vệ tinh cho hệ thống ASMC và Archimedes giống nhau và được cho ở hình 6.4b. Cả hai hệ thống đều sử dụng bộ phát đón "óng cong" nhờ vậy có thể sử dụng chúng cho mọi tiêu chuẩn điều chế và truy nhập.

### 6.2.3.2. Dịch vụ di động vệ tinh quỹ đạo không phải địa tĩnh (NGSO)

Chìa khoá để phát triển dịch vụ thông tin di động là đảm bảo thông tin cá nhân mọi nơi mọi chỗ cho các máy thu phát cầm tay với giá thành hợp lý. Nhờ sự ra đời của phương pháp xử lý tín hiệu số mới và vi mạch tích hợp cao (MMIC, VLSI) điều này có thể thực hiện được. Bước tiếp theo là tiến hành giao diện với cơ sở hạ tầng hiện có của thông tin di động trên mặt đất. Giao diện này cho phép khai thác song song vệ tinh-mặt đất. Sự ra đời của các vệ tinh thông tin NGSO nhằm đạt được mục đích này. Đây là các vệ tinh LEO (độ cao quỹ đạo 1000 km) và MEO (độ cao quỹ đạo 10.000 km). Hình 6.4 cho thấy cấu trúc điển hình của hệ thống thông tin vệ tinh LEO/MEO. Các phần dưới đây sẽ xét các hệ thống thông tin di động vệ tinh LEO.



#### Dịch vụ vệ tinh di động LEO nhỏ

Ở Mỹ, FCC đã cấp phép cho các hệ thống LEO nhỏ làm việc ở tần số thấp hơn 1GHz trong các băng tần VHF/UHF. Các vệ tinh này làm việc ở chế độ lưu-và-phát cho dịch vụ số liệu và phát bản tin nhưng không có dịch vụ tiếng. Nói chung các vệ tinh này nhỏ nhưng ít phức tạp hơn LEO lớn. Độ cao của chúng vào khoảng 1300 km. Chúng cũng được thiết kế để làm việc với các máy thu phát cầm tay.

FCC cấp phép LEO nhỏ đợt một cho ba tổ chức sau: ORBCOMM (Orbital Sciences Corporation), Starsys Global Positioning System (Starsys) và VITA (Volunteer in Technical Assistance). ORBCOMM đề xuất đặt chùm 36 vệ tinh vào 4 mặt phẳng quỹ đạo nghiêng  $45^{\circ}$  với tâm vệ tinh trên cùng quỹ đạo. Ngoài ra cấu hình này còn có hai mặt phẳng quỹ đạo nghiêng  $79^{\circ}$  và hai vệ tinh ở mỗi quỹ đạo. ORBCOMM cũng đề nghị FCC cho phép thay đổi hệ thống bằng cách sử dụng 8 vệ tinh cho mỗi quỹ đạo nghiêng  $70^{\circ}$ .

Starsys sẽ phóng 24 vệ tinh trong 6 mặt phẳng nghiêng  $53^{\circ}$  với 4 vệ tinh ở mỗi mặt phẳng. VITA thử phóng một vệ tinh vào quỹ đạo nghiêng  $88^{\circ}$ , nhưng bị lạc mất vì sự cố

phóng. Hai vệ tinh đầu tiên của ORCOMM với tên gọi là Microstar được phóng vào 4/1995. 36 vệ tinh còn lại được phóng vào năm 1997.

Năm 1994 FCC cấp phép đợt hai cho các LEO nhỏ.

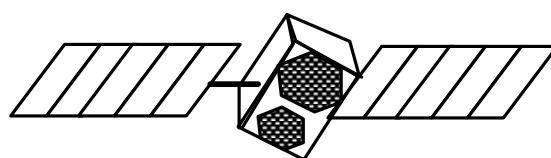
### ***LEO lớn cho tiếng và số liệu***

Vào đầu những năm 1990 sáu hằng của Mỹ làm đơn xin phép cung cấp thông tin cá nhân toàn cầu và liên tục. Năm hằng sẽ khai thác ở các độ cao thấp hơn so với các vệ tinh ở quỹ đạo địa tĩnh. Các vệ tinh này được gọi là NSGO và được thiết kế để hoạt động ở quỹ đạo thấp (LEO) và trung (MEO). Hằng thứ sáu đề xuất khai thác hệ thống của mình ở độ cao địa tĩnh.

Để đảm bảo dịch vụ liên tục các vệ tinh làm việc ở quỹ đạo thấp cần có chùm vệ tinh ở nhiều quỹ đạo, vì chúng chỉ xuất hiện trong trường nhìn ở một vài phần trăm thời gian của quỹ đạo. Thông thường là 10 đến 15 phút cho LEO và 2 giờ cho MEO.

Các vệ tinh này được thiết kế để đảm bảo dịch vụ tiếng, số liệu, Fax và thông tin định vị cho các máy thu phát cầm tay. Không như các hệ thống tổ ong mặt đất các hệ thống vệ tinh này có thể cung cấp dịch vụ cho các vùng xa xôi và vùng biển khi cần thiết. Vì thế hệ thống thông tin di động vệ tinh là hệ thống thông tin di động bổ sung cho hệ thống mặt đất và có thể cho phép làm việc song song. Trong thực tế nhiều nhà cung cấp hệ thống vệ tinh thiết kế các máy cầm tay hoạt động song song và cũng giao tiếp cả với mạng điện thoại nội hat trong vùng phục vụ.

Năm 1995 FCC cấp phép cho ba hằng và để lại đơn của hai hằng chờ đến khi họ chứng minh được khả năng tài chính. Ba hằng được cấp phép gồm: Motorola (Iridium), TWR (Odyssey) và Loral/Qualcom (Globalstar). Băng tần dự kiến cho hoạt động của các hệ thống này là: 1610 MHz đến 1626 MHz đường lên và 2483 đến 2500 MHz đường xuống. Các băng tần này thường được gọi là băng L và S. Băng 6.3 tổng kết các thông số của các hệ thống này. Lưu ý rằng tất cả các dịch vụ đều được cung cấp ở băng tần cao hơn 1 GHz. ICO Global (Intermediate Communication Global) là một chi nhánh của Inmarsat. Globalstar, Iridium và CCI-Aries sử dụng LEO ở các độ cao thấp hơn 1500 km. Odyssey và ICO Global sử dụng MEO ở độ cao vào khoảng 10.000 km. Ellipso-Ellippsat sử dụng ba quỹ đạo cho chùm của họ. Hai quỹ đạo elip có góc nghiêng  $63,5^{\circ}$  và độ lệch tâm vào khoảng 0,35. Quỹ đạo thứ ba là quỹ đạo tròn trong phặt phẳng xích đạo hoạt động ở độ cao 7800 km. Iridium thực hiện xử lý trên vệ tinh và cho phép nối chéo vệ tinh để chuyển tiếp tiếng và số liệu đến các quỹ đạo khác hoặc đến vệ tinh lân cận. Tất cả các vệ tinh đều sử dụng anten dàn phẳng (băng L hoặc băng S) cho đường dịch vụ (búp hẹp). Các đường nuôi sử dụng anten loa ở băng Ka hoặc anten dàn ở băng C. Cấu trúc của vệ tinh Globalstar được cho ở hình 6.5.



Các dàn anten L và S

Hình 6.5. Cấu trúc vệ tinh Globalstar

**Bảng 6.3. Tổng kết các thông số của các hệ thống LEO lớn**

<b>Chùm Thông số</b>	<b>Odyssey</b>	<b>Globalstar</b>	<b>Iridium</b>	<b>CCI-Aries</b>
Người sử dụng/lĩnh vực sử dụng	Điện thoại vùng xa, tổng vùng xa, lữ hành quốc tế	Điện thoại vùng xa, tổng vùng xa, lữ hành quốc tế.	Điện thoại vùng xa, tổng vùng xa, lữ hành quốc tế.	Tổng vùng xa, lữ hành quốc tế.
Dịch vụ	Tiếng, số liệu, fax, nhán tin	Tiếng, số liệu, fax, RDSS, nhán tin	Tiếng, số liệu, fax, RDSS	Tiếng, số liệu, fax, RDSS
Vùng phủ	Toàn cầu	Toàn cầu	Toàn cầu	Toàn cầu
Kiều quỹ đạo	MEO	LEO	LEO	LEO
Độ cao/chu kỳ	10.354 km/<6giờ	1414km/114 phút	785 km/100 phút	1018 km/105 phút
Số vệ tinh (dự trữ)	12(2 dự trữ)	48(8 dự trữ)	66(6 dự trữ)	48
Số mặt/nghiêng	3/52 <sup>0</sup>	8/52 <sup>0</sup>	6/86,4 <sup>0</sup>	4/90 <sup>0</sup>
Trọng lượng vệ tinh	1917 kg	426 kg	700 kg	<500 kg
Thời gian hoạt động	15 năm	15 năm	15 năm	
Tần số: trạm công Lên/xuống, GHz	19,4-19,6/ 29,1-25,25	5,091-5,250/ 6,875-7,055	19,3-19,6/29,1- 29,4	Bảng C
Người sử dụng Lên/xuống, GHz	1,610-1,62135/ 2,4835-2500	1,610-1,62135/ 2,4835-2500	1,62135-1,6265	1,610-1,62135/ 2,4835-2500
Kiểu phát đàp	Ông cong	Ông cong	có xử lý	
Số búp hép trên vệ tinh	61	16	48	32
Số kênh trên vệ tinh	>3000	2800	2300	
Số đường nối chéo vệ tinh, GHz	không	không	4/vệ tinh 25 Mbit/s 23,18-23,38	không

Điều chế Đa thâm nhập	Trái phổ QPSK CDMA	Trái phổ QPSK CDMA	QPSK TDMA	CDMA
Thời gian kết nối vệ tinh	1-2 giờ	10-12 phút	9 phút	
Góc ngang cực tiêu	22°	10°-20°	82°	
Tốc độ số liệu (máy cầm tay) Kbps	4,2 (tiếng) 1,2-9,6 (số liệu)	1,2-9,6 (tiếng) 2,4-9,6 (số liệu)	4,8 (tiếng) 2,4 (số liệu)	
Cấp phép FCC	1/95	1/95	1/95	không
Ngày phóng đầu tiên	1998	1997	1997	1997
Khai thác hoàn toàn	1999	1998 (4)	1998 (4)	
Anten vệ tinh	dàn	dàn	dàn	

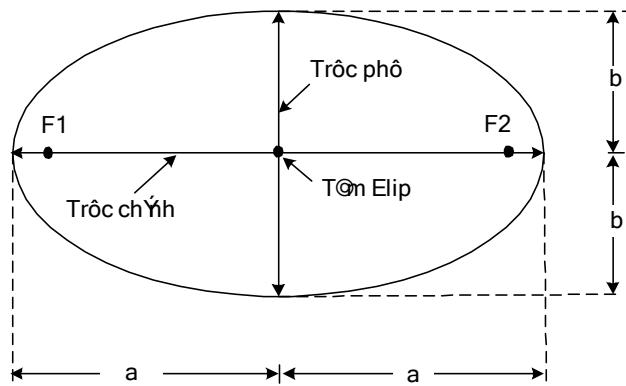
### 6.3. Các định luật KEPLER và quy đạo vệ tinh

#### 6.3.1. Các định luật Kepler

Các vệ tinh quay quanh trái đất tuân theo cùng các định luật điều khiển sự chuyển động của các hành tinh xung quanh mặt trời. Từ lâu dưa trên các quan trắc kỹ lưỡng người ta đã hiểu được sự chuyển động của các hành tinh. Từ các quan trắc này, Johannes Kepler (1571-1630) đã rút ra bằng thực nghiệm ba định luật mô tả chuyển động hành tinh. Tổng quát các định luật Kepler có thể áp dụng cho hai vật thể bất kỳ trong không gian tương tác với nhau qua lực hấp dẫn. Vật thể có khối lượng lớn hơn trong hai vật thể được gọi là sơ cấp còn vật thể thứ hai được gọi là vệ tinh.

##### 6.3.1.1. Định luật Kepler thứ nhất

Định luật Kepler thứ nhất phát biểu rằng đường chuyển động của một vệ tinh xung quanh vật thể sơ cấp sẽ là một hình elip. Một hình elip có hai tiêu điểm  $F_1$  và  $F_2$  như thấy ở hình 6.6. Tâm khối lượng của hệ thống hai vật thể này được gọi là tâm bary luôn luôn nằm tại một trong hai tiêu điểm. Trong trường hợp được xét do sự khác biệt rất lớn giữa khối lượng của quả đất và vệ tinh, tâm khối lượng trùng với tâm của trái đất và vì thế trái đất luôn nằm trong một tiêu điểm.



Hình 6.6. Các tiêu điểm  $F_1, F_2$ , bán trục chính  $a$  và bán trục phụ  $b$  đối với một elip

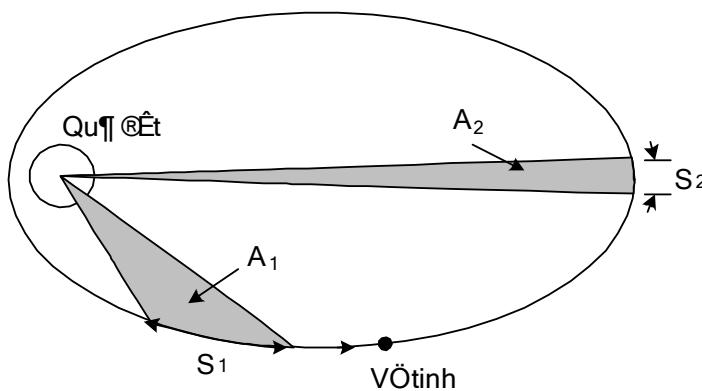
Bán trục chính của Elip được ký hiệu là  $a$  và bán trục phụ được ký hiệu là  $b$ . Độ lệch tâm  $e$  được xác định như sau:

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} \quad (6.1)$$

Độ lệch tâm và bán trục chính là hai thông số để xác định các vệ tinh quay quanh trái đất.  $0 < e < 1$  đối với một quỹ đạo vệ tinh. Khi  $e=0$  quỹ đạo trở thành đường tròn.

### 6.3.1.2. Định luật Kepler thứ hai

Định luật Kepler thứ hai phát biểu rằng trong các khoảng thời gian bằng nhau, vệ tinh sẽ quét các diện tích bằng nhau trong mặt phẳng quỹ đạo của nó với tiêu điểm tại tâm bary (hình 6.7).



Hình 6.7. Định luật Kepler thứ hai

Từ hình 6.7 ta thấy nếu coi rằng vệ tinh chuyển dịch các quãng đường là  $S_1$  và  $S_2$  mét trong 1 giây thì các diện tích  $A_1$  và  $A_2$  bằng nhau. Do  $S_1$  và  $S_2$  là tốc độ bay của vệ tinh nên từ định luật diện tích bằng nhau này, ta rút ra rằng tốc độ  $S_2$  thấp hơn tốc độ  $S_1$ . Từ đây ta suy ra rằng vệ tinh phải mất nhiều thời gian hơn để bay hết một quãng đường cho trước khi nó cách xa quả đất hơn. Thuộc tính này được sử dụng để tăng khoảng thời gian mà một vệ tinh có thể nhìn thấy các vùng quy định của quả đất.

### 6.3.1.3. Định luật Kepler thứ ba

Định luật Kepler thứ ba phát biểu rằng bình phương chu kỳ quỹ đạo tỷ lệ mũ ba với khoảng cách trung bình giữa hai vật thể. Khoảng cách trung bình bằng bán trực chính  $a$ . Đối với các vệ tinh nhân tạo bay quanh quả đất, ta có thể trình bày định luật Kepler thứ ba như sau:

$$a^3 = \frac{\mu}{n^2} \quad (6.2)$$

trong đó  $n$  là chuyển động trung bình của vệ tinh đo bằng radian trên giây và  $\mu$  là hằng số hấp dẫn địa tâm quả đất. Với  $a$  đo bằng mét, giá trị này là:

$$\mu = 3,986005 \times 10^{14} \text{m}^3/\text{sec}^2 \quad (6.3)$$

Phương trình 6.2 chỉ áp dụng cho trường hợp lý tưởng khi một vệ tinh quay quanh một quả đất cầu lý tưởng có khối lượng đồng đều và không bị tác động nhiễu chấn hạn sự kéo trôi của khí quyển.

Với  $n$  đo bằng radian trên giây, chu kỳ quỹ đạo đo bằng giây được xác định như sau:

$$P = \frac{2\pi}{n} \quad (6.4)$$

Ý nghĩa của định luật Kepler thứ ba là nó cho thấy quan hệ cố định giữa chu kỳ và kích thước. Một dạng quỹ đạo quan trọng là quỹ đạo địa tĩnh chu kỳ của quỹ đạo này được xác định bởi chu kỳ quay của quả đất. Thí dụ dưới đây cho thấy sự xác định bán kính gần đúng của quỹ đạo địa tĩnh.

**Thí dụ 6.1.** Tính toán bán kính của một quỹ đạo tròn cho chu kỳ là một ngày.

**Giải.** Sự chuyển đổi trung bình đo bằng rad/ngày là:

$$n = \frac{2\pi}{1 \text{ ngày}}$$

Đổi vào rad/sec ta được

$$n = 7,272 \cdot 10^{-5} \text{ rad/sec}$$

Hằng số hấp dẫn quả đất là:

$$\mu = 3,986005 \cdot 10^{14} \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-2}$$

Theo định luật Kepler thứ ba ta được:

$$a = \left( \frac{\mu}{n^2} \right)^{\frac{1}{3}} = 42241 \text{ km}$$

Vì quỹ đạo là đường tròn nên bán trực chính cũng là bán kính.

### 6.3.2. Quỹ đạo vệ tinh

#### 6.3.2.1 Định nghĩa các thuật ngữ cho quỹ đạo vệ tinh

Như đã nói ở trên, các định luật của Kepler áp dụng chung cho sự chuyển động của vệ tinh xung quanh vật thể sơ cấp. Đối với trường hợp vệ tinh bay quanh quả đất, một số thuật ngữ được sử dụng để mô tả vị trí các vệ tinh so với quả đất.

**Viễn điểm (Apogee).** Điểm xa quả đất nhất. Độ cao viễn điểm được ký hiệu là  $h_a$  trên hình 6.8.

**Cận điểm (Perigee).** Điểm gần quả đất nhất. Trên hình 6.8 độ cao của điểm này được ký hiệu là  $h_p$ .

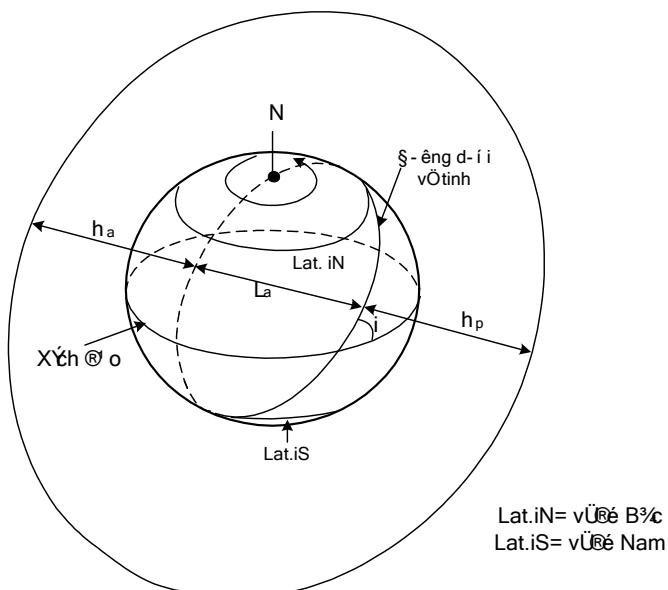
**Đường nối các điểm cực (Line of apsides).** Đường nối viễn điểm và cận điểm qua tâm trái đất ( $L_a$ ).

**Nút lên (Ascending).** Điểm cắt giữa mặt phẳng quỹ đạo và xích đạo nơi mà vệ tinh chuyển từ Nam sang Bắc.

**Nút xuống (Descending).** Điểm cắt giữa mặt phẳng quỹ đạo và xích đạo nơi mà vệ tinh chuyển động từ Bắc sang Nam.

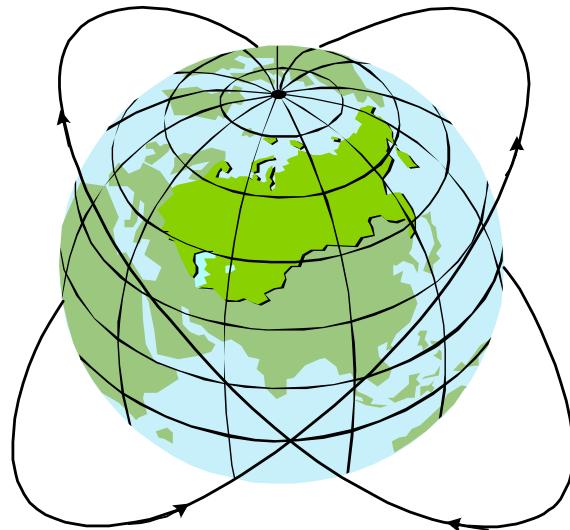
**Đường các nút (Line of nodes).** Đường nối các nút lên và nút xuống qua tâm quả đất.

**Góc nghiêng (Inclination).** Góc giữa mặt phẳng quỹ đạo và mặt phẳng xích đạo. Góc được đo tại điểm tăng từ xích đạo đến quỹ đạo khi vệ tinh chuyển động từ Nam sang Bắc. Góc nghiêng được cho ở hình 6.8 ký hiệu là  $i$ . Đây sẽ là vĩ độ Bắc hoặc Nam lớn nhất.



Hình 6.8. Độ cao viễn điểm  $h_a$ , cận điểm  $h_p$ , góc nghiêng  $i$  và  $L_a$ , đường nối các điểm cực.

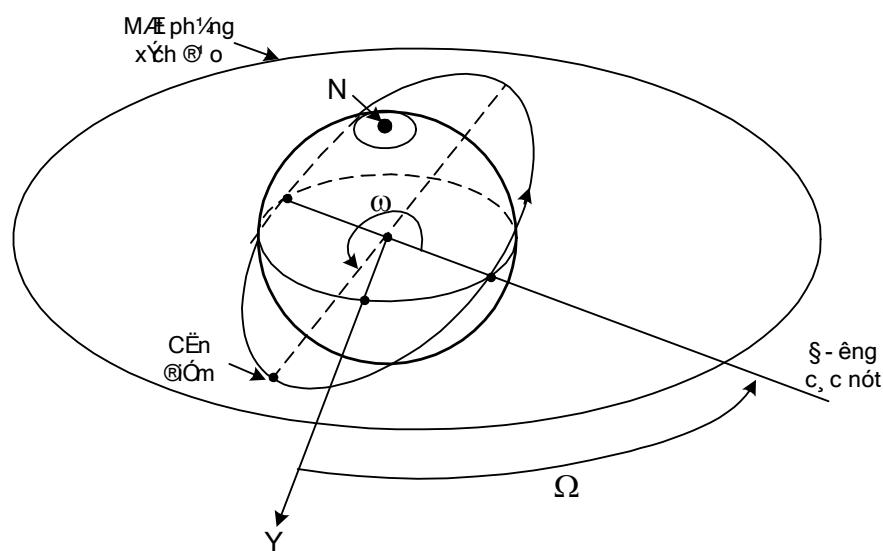
**Quỹ đạo đồng hướng (Prograde Orbit).** Quỹ đạo mà ở đó vệ tinh chuyển động cùng với chiều quay của quả đất (hình 6.9). Quỹ đạo đồng hướng còn được gọi là quỹ đạo trực tiếp (Direct Orbit). Góc nghiêng của quỹ đạo đồng hướng nằm trong dải từ  $0^{\circ}$  đến  $90^{\circ}$ . Hầu hết các vệ tinh đều được phóng vào quỹ đạo đồng hướng vì tốc độ quay của quả đất sẽ cung cấp một phần tốc độ quỹ đạo và nhờ vậy tiết kiệm được năng lượng phóng.



Hình 6.9. Các quỹ đạo đồng hướng và ngược hướng

**Quỹ đạo ngược hướng (Retrograde Orbit).** Quỹ đạo mà ở đó vệ tinh chuyển động ngược với chiều quay của quả đất. Góc nghiêng của quỹ đạo ngược hướng nằm trong dải từ  $90^{\circ}$  đến  $180^{\circ}$ .

**Agumen cận điểm (Argument of Perigee).** Góc từ nút xuống đến cận điểm được đo trong mặt phẳng quỹ đạo tại tâm quả đất theo hướng chuyển động của vệ tinh. Trên hình 6.10 góc này được ký hiệu là  $\omega$ .



Hình 6.10. Agumen của cận điểm  $\omega$  và góc lên đúng của nút lên  $\Omega$ .

**Góc lên đúng của nút lên (Right Ascension of Ascending Node).** Để định nghĩa đây đủ vị trí của quỹ đạo trong không gian, ta sử dụng vị trí của nút lên. Tuy nhiên do sự quay spin của quả đất, trong khi mặt phẳng quỹ đạo hầu như cố định (nếu bỏ qua sự trôi của vệ tinh), nên kinh độ của nút lên không cố định và vì thế không thể sử dụng nó làm điểm chuẩn tuyệt đối. Để xác định một quỹ đạo trong thực tiễn, người ta thường sử dụng kinh độ và thời gian vệ tinh chuyển động qua nút lên. Tuy nhiên để đo tuyệt đối ta cần có một tham chuẩn cố định trong không gian. Tham chuẩn được chọn là điểm đầu tiên của cung Bạch dương hay điểm xuân phân. Điểm xuân phân xảy ra khi mặt trời cắt xích đạo từ Nam qua Bắc và một đường ảo được vẽ từ điểm cắt xích đạo xuyên tâm của mặt trời hướng đến điểm thứ nhất của chòm Bạch dương (ký hiệu là Y). Đây là đường của cung Bạch dương. Góc lên đúng của nút lên khi này là góc được đo trong mặt phẳng xích đạo quay theo hướng đông từ đường Y sang nút lên (hình 6.10).

**Độ dι thường trung bình (Mean anomaly).** Độ dι thường trung bình  $M$  cho thấy giá trị trung bình vị trí góc của vệ tinh với tham chuẩn là cận điểm. Đổi với quỹ đạo tròn  $M$  cho thấy vị trí góc của vệ tinh trên quỹ đạo. Đổi với quỹ đạo elip, tính toán vị trí này khó hơn nhiều và  $M$  được sử dụng làm bước trung gian trong quá trình tính toán.

**Độ dι thường thật sự (True anomaly).** Độ dι thường thực sự là góc từ cận điểm đến vệ tinh được đo tại tâm trái đất. Nó cho thấy vị trí góc của anten trên quỹ đạo phụ thuộc vào thời gian.

### 6.3.2.2 Các phần tử quỹ đạo

Các vệ tinh nhân tạo được định nghĩa bằng sáu phần tử được gọi là tập phần tử Kepler. Hai trong số các phần tử này là bán trục chính  $a$  và độ lệch tâm  $e$  như đã nói ở trên. Phần tử thứ ba là độ dι thường trung bình  $M_0$  cho thấy vị trí của vệ tinh trên quỹ đạo của chúng tại thời gian tham chuẩn được gọi là kỷ nguyên (epoch). Phần tử thứ tư là agumen cận điểm  $\omega$  cho thấy sự quay cận điểm của quỹ đạo so với đường các nút của quỹ đạo. Hai phần tử còn lại là góc nghiêng  $i$  và góc lên đúng của nút lên  $\Omega$  liên hệ vị trí của mặt phẳng quỹ đạo với quả đất.

Do sự lồi xích đạo làm cho  $\omega$  và  $\Omega$  thay đổi chậm và do các lực gây nhiễu khác có thể làm các phần tử quỹ đạo hơi thay đổi, ta cần đặc tả các giá trị cho tham khảo thời gian hay kỷ nguyên.

Thí dụ về thông số của vệ tinh được cho ở bảng 6.4.

Bảng 6.4. Thí dụ về thông số vệ tinh (theo công bố của NASA)

Số vệ tinh: 25338
Năm kỷ nguyên (hai chữ số cuối cùng của năm): 00
Ngày kỷ nguyên (ngày và ngày phân đoạn của năm): 223,79688452
Đạo hàm thời gian bậc nhất của chuyển động trung bình (vòng quay trung bình/ngày <sup>2</sup> ): 0,000000307
Góc nghiêng (độ): 98,6328

Góc lên đúng của nút lên (độ): 251,5324
Độ lệch tâm: 0,0011501
Agumen cận điểm (độ) : 113,5534
Độ dι thường trung bình (độ): 246,6853
Chuyển động trung bình (vòng/ngày): 14,23304826
Số vòng quay tại kỉ nguyên (vòng quay/ngày): 11663

Ta sẽ thấy rằng mặc dù bán trực chính không được đặc tả, nhưng ta có thể tính nó từ bảng thông số. Thí dụ tính toán được trình bày ở thí dụ 6.2.

**Thí dụ 6.2** Tính bán trực chính cho các thông số vệ tinh ở bảng 6.1.

**Giải.** Chuyển động trung bình được cho ở bảng 6.1 là:

$$NN = 14,23304826.\text{ngày}^{-1}$$

Ta có thể chuyển nó vào rad/sec

$$n_0 = NN \cdot 2\pi / (24 \times 3600) = 1,64734 \cdot 10^{-4} \text{rad/sec}$$

Từ phương trình (6.3) ta được:

$$\mu = 3,986005 \cdot 10^{14} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{sec}^{-2}$$

Từ định luật Kepler thứ ba ta được:

$$a_{GSO} = \left( \frac{\mu P^2}{4\pi^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 7192.3 \text{ km}$$

#### 6.4.2.3 Độ cao viễn điểm và cận điểm

Khoảng cách từ tâm trái đất đến viễn điểm và cận điểm có thể nhận được từ hình elip theo công thức sau:

$$r_a = a(1+e) \quad (6.5)$$

$$r_p = a(1-e) \quad (6.6)$$

Để tìm độ cao viễn điểm và cận điểm ta lấy các phương trình trên trừ đi bán kính của trái đất.

**Thí dụ 6.3.** Tính độ cao viễn điểm và cận điểm cho các thông số quỹ đạo ở bảng 6.1. Coi rằng bán kính trung bình trái đất  $R=6371\text{km}$ .

**Giải.** Từ bảng 6.1 ta có  $e=0,0011501$ , thông số  $a = 7192,3$  đã tính được từ thí dụ trên.

Vậy độ cao viễn điểm bằng:

$$h_a = a(1+e) - R = 829,6 \text{ km}$$

và độ cao cận điểm bằng:

$$h_p = a(1-e) - R = 813,1 \text{ km}$$

### 6.3.3 Các quỹ đạo nghiêng

Việc nghiên cứu tổng quát một vệ tinh trên một quỹ đạo nghiêng rất phức tạp vì cần tham khảo các thông số khác nhau từ các khung tham khảo khác nhau. Các phần tử quỹ đạo được cho với tham chuẩn theo mặt phẳng quỹ đạo có vị trí cố định trong không gian, trong khi đó vị trí của trạm mặt đất lại được xác định theo các tọa độ địa lý địa phương quay cùng với quả đất. Hệ tọa độ vuông góc thường được sử dụng để tính toán vị trí vệ tinh và tốc độ của nó trong không gian trong khi đó các thông số trạm mặt đất cần tìm là góc phương vị, góc ngang và cự ly. Vì thế cần có chuyển đổi giữa các hệ tọa độ.

Để minh họa phương pháp tính các quỹ đạo elip nghiêng, ta sẽ xét vấn đề tìm góc nhìn của trạm mặt đất và cự ly. Cần nhớ rằng đối với các quỹ đạo nghiêng, vệ tinh không cố định so với mặt đất và vì thế góc nhìn và cự ly sẽ thay đổi theo thời gian.

Việc xác định góc nhìn và cự ly bao gồm các giá trị và các khái niệm sau:

1. Các phần tử vệ tinh được đăng tải trong thông báo của NASA (như ở bảng 6.4)
2. Các phương pháp đo thời gian khác nhau
3. Hệ tọa độ perifocal xây dựng trên mặt phẳng quỹ đạo
4. Hệ tọa độ xích đạo địa tâm xây dựng trên mặt phẳng xích đạo
5. Hệ tọa độ chân trời tâm topo xây dựng trên mặt phẳng chân trời của quan sát viên

Ta cần sử dụng hai chuyển đổi tọa độ chính sau:

- Vị trí vệ tinh được đo trong hệ tọa độ perofocal được chuyển vào hệ tọa độ xích đạo địa tâm trong đó sự quay của quả đất được đo để vị trí của vệ tinh và trạm mặt đất trong cùng một hệ
- Vectơ vị trí vệ tinh-trạm mặt đất được chuyển đổi vào hệ chân trời tâm topo để tính toán các góc ngang và cự ly.

### 6.3.4 Quỹ đạo địa tĩnh

#### 6.3.4.1. Định nghĩa quỹ đạo địa tĩnh

Một vệ tinh ở quỹ đạo địa tĩnh sẽ trở nên bất động so với mặt đất vì thế nó được gọi là vệ tinh địa tĩnh. Có ba điều kiện để quỹ đạo là địa tĩnh:

1. Vệ tinh phải quay theo hướng đông với tốc độ quay bằng tốc độ quay của quả đất
2. Quỹ đạo là đường tròn
3. Góc nghiêng của quỹ đạo bằng 0

Điều kiện đầu rõ ràng. Nếu vệ tinh là tĩnh, nó phải quay cùng tốc độ với quả đất. Điều kiện thứ hai được rút ra từ định luật Kepler thứ hai. Tốc độ không đổi có nghĩa là vệ tinh phải

quét các diện tích như nhau trong các khoảng thời gian như nhau và điều này chỉ xảy ra với quỹ đạo tròn. Điều kiện thứ ba, góc nghiêng bằng không, dựa trên điều kiện rằng mọi sự nghiêng đều dẫn đến vệ tinh chuyển động theo hướng Bắc và Nam và vì thế nó không phải là địa tĩnh. Chỉ có góc nghiêng bằng không mới tránh khỏi việc vệ tinh chuyển động sang Bắc hoặc Nam và điều này có nghĩa là quỹ đạo nằm trong mặt phẳng qua xích đạo của quả đất.

Có thể sử dụng định luật Kepler thứ ba để tìm bán kính quỹ đạo. Nếu ký hiệu bán kính này là  $a_{GSO}$ , thì nó được xác định như sau:

$$a_{GSO} = \left( \frac{\mu P^2}{4\pi^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (6.7)$$

trong đó  $\mu$  là hằng số hấp dẫn hướng tâm bằng:

$$\mu = 3,986005 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{sec}^2$$

Chu kỳ quay vệ tinh địa tĩnh là 23 giờ 56 phút 4 giây, đây cũng là thời gian mà quả đất quay hết một vòng xung quang trực N-S của mình. Thay giá trị  $\mu$  và  $P$  vào phương trình (6.7) ta được:

$$a_{GSO} = 42164 \text{ km} \quad (6.8)$$

Bán kính xích đạo của trái đất là

$$a_E = 6378 \text{ km} \quad (6.9)$$

Vì thế độ cao quỹ đạo địa tĩnh bằng:

$$\begin{aligned} h_{GSO} &= a_{GSO} - a_E \\ &= 42.164 - 6378 \\ &= 35.786 \text{ km} \end{aligned} \quad (6.10)$$

Giá trị này thường được làm tròn bằng 36.000 km. Trong thực tế ta không đạt được một quỹ đạo địa tĩnh chính xác do các lực nhiễu và ảnh hưởng độ lồi của quả đất. Trường hấp dẫn của mặt trời và mặt trăng làm cho quỹ đạo nghiêng khoảng  $0,85^\circ/\text{năm}$ . Ngoài ra tính chất elíp của mặt xích đạo cũng làm cho vệ tinh trôi về phía đông theo quỹ đạo. Trong thực tế cần định kỳ chỉnh lại các xê dịch này

Cần lưu ý rằng chỉ có một quỹ đạo địa tĩnh vì chỉ có một giá trị  $a$  thoả mãn phương trình Kepler đối với chu kỳ 23 giờ 56 phút 4 giây. Các nhà quản lý thông tin toàn cầu coi quỹ đạo địa tĩnh như là một tài nguyên và cần điều hành việc sử dụng nó một cách cẩn thận trên cơ sở thoả thuận quốc tế và quốc gia.

#### **6.4.4.2. Các góc nhìn của anten trạm mặt đất**

Các góc nhìn của anten trạm mặt đất là góc phương vị và góc ngang để anten có thể hướng thẳng đến vệ tinh. Đối với quỹ đạo địa tĩnh, tính toán góc nhìn đơn giản hơn vì vệ tinh không chuyển động tương đối so với quả đất. Mặc dù nhìn chung không cần quá trình bám, nhưng đối với các trạm mặt đất lớn sử dụng cho thương mại độ rộng búp hướng anten rất nhỏ và phải có cơ chế bám để bù trừ sự xê dịch của vệ tinh xung quanh vị trí địa tinh bình thường.

Đối với các kiểu anten sử dụng cho thu gia đình, độ rộng búp hướng anten khá rộng vì thế không cần bám. Vì thế các anten TV có thể lắp cố định ở các mái nhà.

Tồn tại ba thông số cần thiết để xác định góc nhìn của quỹ đạo địa tĩnh:

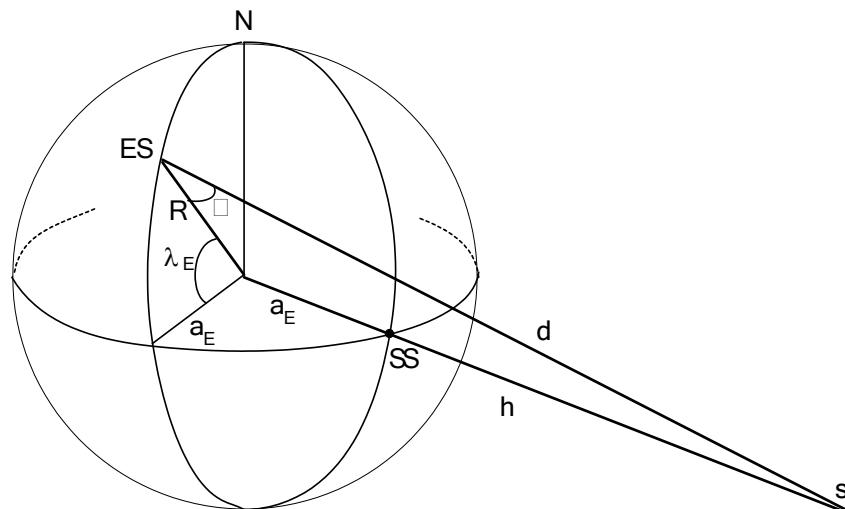
1. Vĩ độ trạm mặt đất ký hiệu  $\lambda_E$
2. Kinh độ trạm mặt đất ký hiệu là  $\phi_E$
3. Kinh độ điểm dưới vệ tinh (gọi tắt là kinh độ vệ tinh) ký hiệu là  $\phi_{SS}$

Theo quy định các vĩ độ bắc được sử dụng như là các góc dương và các vĩ độ nam được sử dụng là các góc âm. Các kinh độ đông được coi là các góc dương và các kinh độ tây được coi là các góc âm. Chẳng hạn nếu vĩ độ được xác định là  $40^{\circ}S$  thì ta lấy giá trị  $-40^{\circ}$  và nếu kinh độ được xác định là  $35^{\circ}W$  thì ta lấy giá trị  $-35^{\circ}$ .

Đối với quỹ đạo địa tĩnh ta có thể bỏ qua sự thay đổi bán kính quả đất khi tính các góc nhìn và sử dụng bán kính trung bình của quả đất  $R$  như sau:

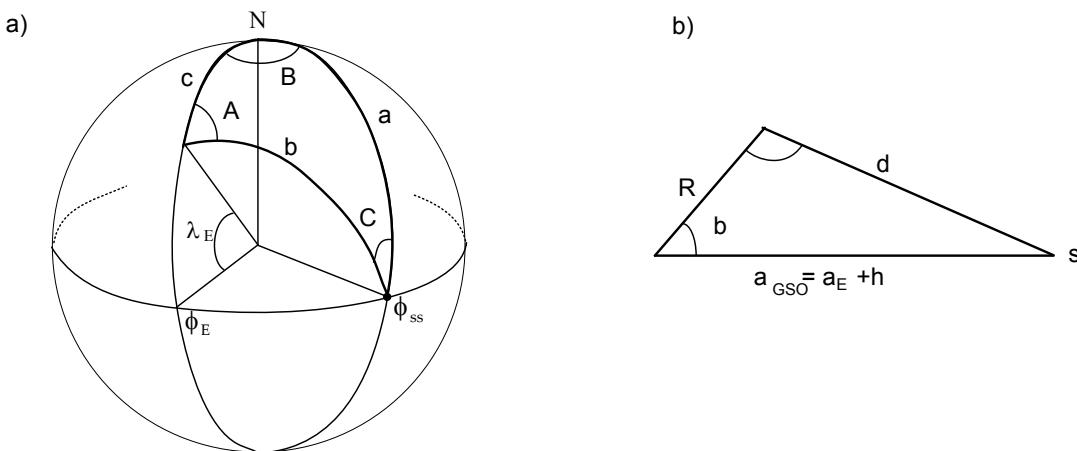
$$R = 6371 \text{ km} \quad (6.11)$$

Hình học biểu diễn các đại lượng trên được cho ở hình 6.11. Ở hình này ES ký hiệu cho trạm mặt đất, SS ký hiệu cho điểm dưới vệ tinh, S cho vệ tinh và d cho khoảng cách từ vệ tinh đến trạm mặt đất. Góc  $\sigma$  là góc cần xác định.



Hình 6.11. Hình học sử dụng để xác định góc nhìn vệ tinh địa tĩnh

Có hai dạng tam giác ở hình 6.11, tam giác cầu được vẽ nét đậm ở hình 6.12a và tam giác phẳng được vẽ ở hình 6.12b. Trước hết ta xét tam giác cầu có các cạnh là các cung của các đường tròn lớn và các cạnh này được định nghĩa bằng các góc đối diện với chúng tại tâm của quả đất. Cạnh  $a$  là cung giữa bán kính đến cực Bắc và bán kính đến điểm dưới vệ tinh:  $a = 90^{\circ}$ . Tam giác cầu có một cạnh  $90^{\circ}$  được gọi là tam giác góc phần tư. Cạnh  $b$  là cung giữa bán kính đến trạm mặt đất và bán kính đến điểm dưới vệ tinh. Cạnh  $c$  là cung giữa bán kính đến trạm mặt đất và bán kính đến cực Bắc. Từ hình 6.12a ta thấy  $c = 90^{\circ} - \lambda_E$ .



Hình 6.12. a) Hình cầu liên quan đến hình 6.12; b) tam giác phẳng nhận được từ hình 6.12

Một tam giác cầu được xác định bằng sáu góc. Ba góc  $A$ ,  $B$  và  $C$  là các góc giữa các mặt phẳng. Góc  $A$  là góc giữa mặt phẳng chứa  $c$  và mặt phẳng chứa  $b$ . Góc  $B$  là góc giữa mặt phẳng chứa  $c$  và mặt phẳng chứa  $a$ . Từ hình 6.12a ta thấy  $B = \phi_E - \phi_{ss}$ . Ta sẽ chỉ ra rằng giá trị cực đại của  $B$  là  $81,3^0$ . Góc  $C$  là góc giữa mặt phẳng chứa  $b$  và mặt phẳng chứa  $a$ .

Đến đây ta có các thông tin về tam giác cầu như sau:

$$a = 90^0 \quad (6.12)$$

$$c = 90^0 - \lambda_E \quad (6.13)$$

$$B = \phi_E - \phi_{ss} \quad (6.14)$$

Lưu ý rằng khi trạm mặt đất nằm ở phía tây của điểm dưới vệ tinh,  $B$  âm và khi ở phía đông,  $B$  dương. Khi vĩ độ trạm mặt đất là bắc,  $c$  nhỏ hơn  $90^0$  và khi là nam,  $c$  lớn hơn  $90^0$ . Các quy tắc đặc biệt được gọi là các quy tắc Napier được sử dụng cho tam giác cầu và các quy tắc này được cải tiến để xét đến các góc  $B$  và  $\lambda_E$  có dấu. Ở đây ta chỉ dẫn ra các kết quả. Các quy tắc Napier xác định góc  $b$  như sau:

$$b = \arccos (\cos B \cos \lambda_E) \quad (6.15)$$

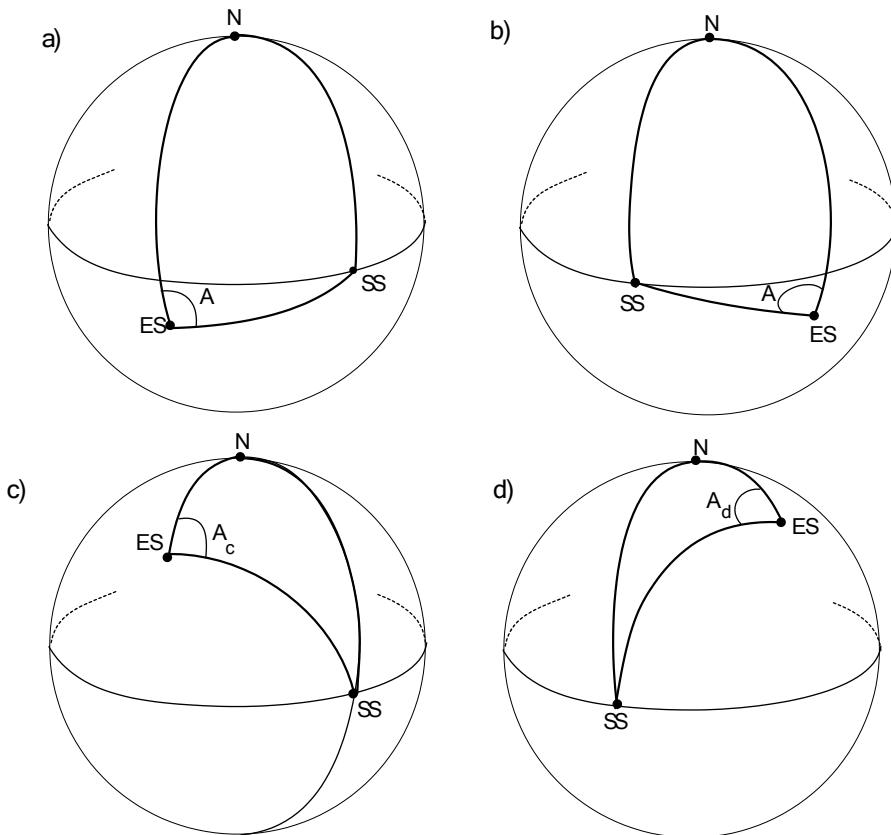
và góc  $A$  như sau:

$$A = \arcsin \left( \frac{\sin |B|}{\sin b} \right) \quad (6.16)$$

Có hai giá trị thỏa mãn phương trình (6.16) là  $A$  và  $180^0 - A$  việc chọn giá trị nào phải dựa trên xem xét cụ thể. Các giá trị này được cho ở hình 6.13. Trên hình 6.13a, góc  $A$  là góc nhọn (nhỏ hơn  $90^0$ ) và góc phương vị là góc  $A_z = A$ . Trên hình 6.13b, góc  $A$  là góc nhọn và sau khi xem xét,  $A_z = 360^0 - A$ . Trên hình 6.13c, góc  $A_c$  là góc tù và được xác định bởi  $A_c = 180^0 - A$ , trong đó  $A$  là góc nhọn xác định theo phương trình (6.16). Sau xem xét ta có  $A_z = A_c = 180^0 - A$ . Trên hình 6.13d, góc  $A_d$  là góc tù và được xác định bằng  $180^0 - A$ , trong đó  $A$  là góc nhọn nhận được từ phương trình (6.16). Sau xem xét ta có  $A_z = 360^0 - A_d = 180^0 + A$ . Trong mọi trường hợp  $A$  là góc nhọn được xác định từ phương trình (6.16). Các điều kiện này được tổng kết ở bảng 6.4.

Bảng 6.4. Các góc phương vị  $A_z$  từ hình 6.13

Hình 6.13	$\lambda_E$	$B$	$A_z$ , độ
A	$<0$	$<0$	$A$
b	$<0$	$>0$	$360^0 - A$
c	$>0$	$<0$	$180^0 - A$
d	$>0$	$>0$	$180^0 + A$

Hình 6.13. Các góc phương vị liên quan đến đến góc  $A$  (xem bảng 6.4)

Sử dụng quy tắc cosine cho các tam giác phẳng đối với tam giác ở hình 6.12b ta có thể xác định  $d$  theo công thức sau:

$$d = \sqrt{R^2 + a_{GSO}^2 - 2Ra_{GSO}\cos b} \quad (6.17)$$

Sử dụng quy tắc sine cho các tam giác phẳng đối với tam giác ở hình 6.12b ta có thể xác định góc ngang như sau

$$\text{EL} = \arccos\left(\frac{a_{GSO}}{d} \sin b\right) \quad (6.18)$$

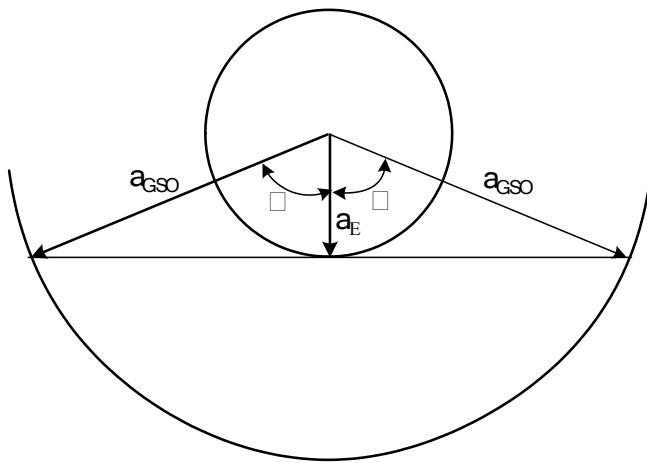
Các kết quả trên không xét trường hợp khi trạm mặt đất nằm trên xích đạo. Trong trường hợp trạm mặt đất nằm ngay dưới vệ tinh, góc ngang bằng  $90^0$  và góc phương vị không còn thích hợp nữa. Khi điểm dưới vệ tinh nằm ở phía đông của trạm mặt đất trên đường xích đạo, ( $B < 0$ ), góc phương vị là  $90^0$  và khi ở phía tây ( $B > 0$ ), góc phương vị là  $270^0$ . Ngoài ra khoảng

cách xác định theo phương trình (6.17) là gần đúng nên khi cần các giá trị chính xác hơn khoảng cách này được xác định bằng cách đo.

Đối với lắp đặt thông thường tại gia đình, điều chỉnh thực tế sẽ chỉnh hướng anten đến vệ tinh theo tín hiệu cực đại. Vì thế không cần thiết phải xác định góc ngang quá chính xác, nhưng các giá trị này được tính toán để cung cấp các giá trị dự kiến đối với vệ tinh có kinh độ gần với kinh độ trạm mặt đất.

#### 6.4.4.3. Các giới hạn tầm nhìn

Tầm nhìn từ trạm mặt đất đến cung quỹ đạo địa tĩnh sẽ bị giới hạn ở phía đông và phía tây. Các giới hạn này được thiết lập bằng các tọa độ của trạm mặt đất và góc ngang anten. Về mặt lý thuyết góc ngang thấp nhất bằng không khi anten hướng theo đường chân trời. Ta có thể ước lượng nhanh được các giới hạn kinh độ khi xét một trạm mặt đất trên đường xích đạo có anten hướng về phía bắc hoặc phía nam theo đường chân trời (xem hình 6.14).



Hình 6.14. Minh họa giới hạn tầm nhìn

Góc giới hạn được xác định như sau:

$$\theta = \arccos \frac{a_E}{a_{GSO}} = \arccos \frac{6378}{42164} = 81,3^{\circ} \quad (6.19)$$

Vậy đối với trường hợp này trạm mặt đất có thể nhìn thấy các vệ tinh địa tĩnh trên một cung được giới hạn bởi  $\pm 81,3^{\circ}$  xung quang kinh độ của trạm mặt đất.

Trong thực tế để tránh thu quá nhiều tạp âm từ mặt đất, người ta sử dụng giá trị tối thiểu cho góc ngang với ký hiệu  $E_{L\min}$ . Giá trị điển hình là  $5^{\circ}$ . Các giới hạn tầm nhìn cũng phụ thuộc vào vĩ độ của trạm mặt đất. Ta xét hình 6.12b, giả sử  $S$  là góc của tam giác tại tại điểm đặt vệ tinh khi  $\sigma_{\min} = 90^{\circ} + E_{L\min}$ . Sử dụng quy tắc sine ta được:

$$S = \arcsin \left( \frac{R}{a_{GSO}} \sin \sigma_{\min} \right) \quad (6.20)$$

Sau khi xác định được góc  $S$  ta xác định góc  $b$  như sau:

$$b = 180^{\circ} - \sigma_{\min} - S \quad (6.21)$$

Từ phương trình (6.15) ta được:

$$B = \arccos \left( \frac{\cos b}{\cos \lambda_{E \min}} \right) \quad (6.22)$$

Sau khi tìm được góc B ta có thể xác định được kinh độ của vệ tinh theo phương trình (6.14).

## 6.4 CÁC CÔNG NGHỆ ĐA TRUY NHẬP CHO THÔNG TIN VỆ TINH

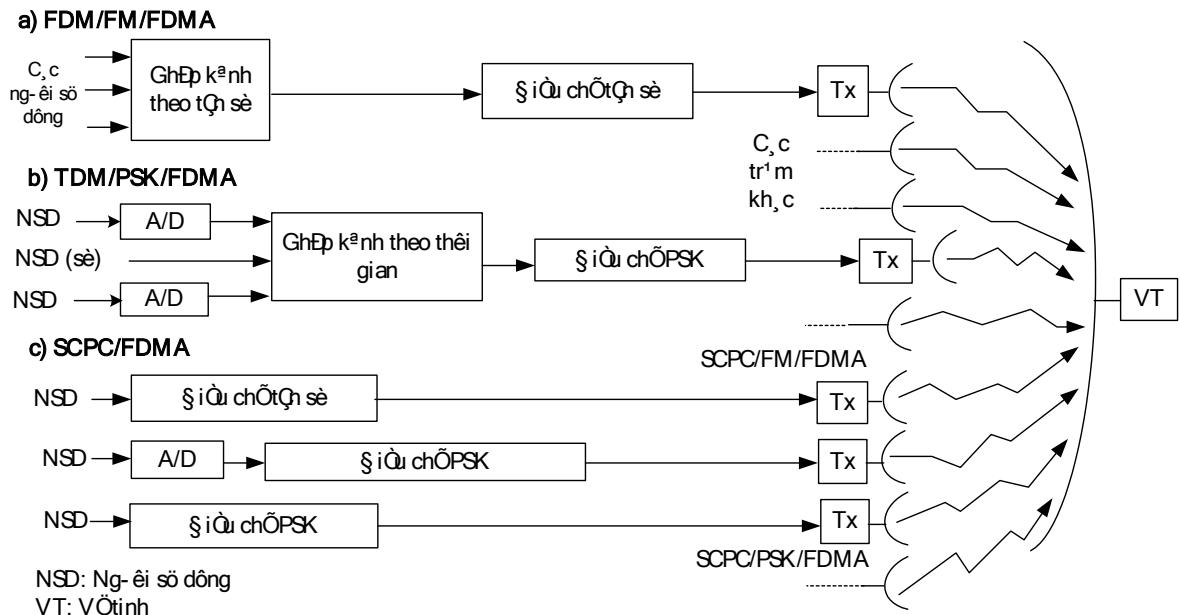
### 6.4.1 Đa truy nhập phân chia theo tần số, FDMA

Trong phương thức đa truy nhập phân chia theo tần số (FDMA), băng thông của kênh trạm lặp được chia thành các băng con và được xác định cho từng sóng mang phát đi từ trạm mặt đất. Đối với kiểu truy nhập này các trạm mặt đất phát liên tục một số sóng mang ở các tần số khác nhau và các sóng mang này tạo nên các kênh riêng. Để tránh nhiễu giữa các kênh lân cận gây ra do phương thức điều chế, sự không hoàn thiện của các bộ dao động và các bộ lọc, cần đảm bảo khoảng bảo vệ giữa các băng tần của các kênh cạnh nhau.

Phụ thuộc vào các kỹ thuật ghép kênh và điều chế ta có thể chia các sơ đồ truyền dẫn FDMA thành các sơ đồ khác nhau. Phần dưới đây ta sẽ xét các sơ đồ này.

#### 6.4.1.1. Các sơ đồ truyền dẫn

Các sơ đồ truyền dẫn khác nhau tương ứng với các tổ hợp ghép kênh và điều chế khác nhau. Hình 6.15 cho ta thấy các trường hợp chung nhất.



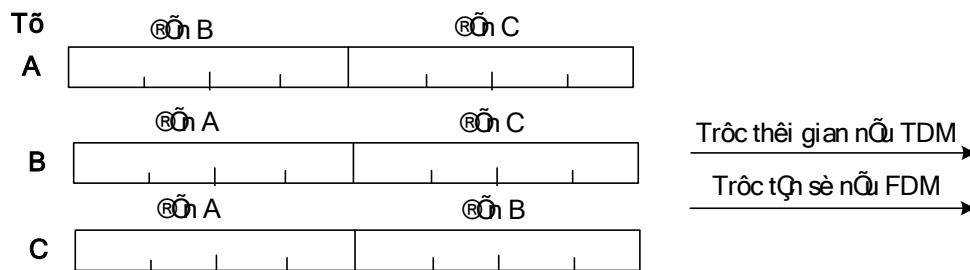
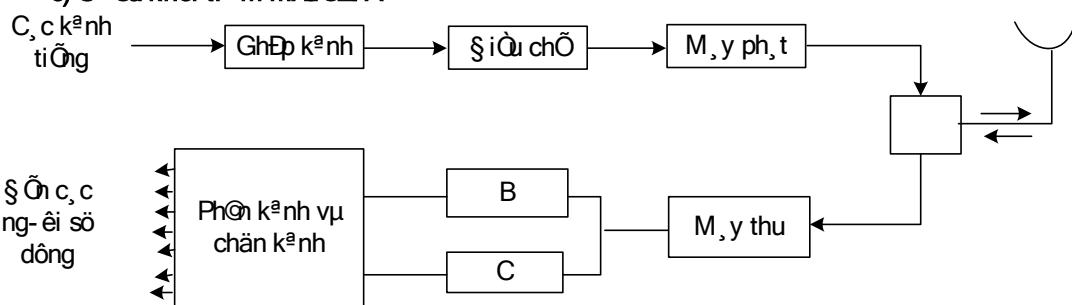
Hình 6.15. Các cấu hình truyền dẫn FDMA. a) FDM/FM/FDMA; b) TDM/PSK/FDMA; c) SCPC/FDMA

**a) FDM/FM/FDMA**

Ở cấu hình ghép kênh theo tần số, điều tần (FM) và đa truy nhập phân chia theo tần số (FDM/FM/FDMA trên hình 6.15a) các tín hiệu băng tần gốc của người sử dụng là tín hiệu tương tự. Chúng được kết hợp để tạo thành một tín hiệu ghép kênh phân chia theo tần số (FDM). Tần số tín hiệu tương tự được ghép kênh nối trên sê điều chế tần số (FM) cho một sóng mang, sóng mang này sẽ truy nhập đến vệ tinh ở một tần số nhất định đồng thời cùng với các tần số khác từ các trạm khác. Để giảm thiểu điều chế giao thoa, số lượng của các sóng mang định tuyến lưu lượng được thực hiện theo nguyên lý 'một sóng mang trên một trạm phát'. Như vậy tín hiệu ghép kênh FDM bao gồm tất cả các tần số dành cho các trạm khác. Hình 6.16 cho ta thấy thí dụ về một mạng có ba trạm.

**b) TDM/PSK/FDMA**

Ở cấu hình ghép kênh theo thời gian, điều chế khoá chuyển pha (PSK) và đa truy nhập phân chia theo tần số (TDM/PSK/FDMA ở hình 6.15b) tín hiệu băng gốc của người sử dụng là tín hiệu số. Chúng được kết hợp để tạo ra một tín hiệu ghép kênh phân chia theo thời gian (TDM). Luồng bit thể hiện tín hiệu được ghép này điều chế một sóng mang theo phương pháp điều chế pha PSK, tín hiệu này truy nhập đến vệ tinh ở một tần số nhất định đồng thời cùng với các sóng mang từ các trạm khác ở các tần số khác. Để giảm tối thiểu các sản phẩm của điều chế giao thoa số lượng các tần số mang định tuyến lưu lượng được thực hiện theo phương pháp 'một sóng mang trên một trạm phát'. Như vậy tín hiệu ghép kênh TDM bao gồm tất cả các tín hiệu phụ thuộc thời gian cho các trạm khác. Hình 6.16 cho thấy thí dụ của một mạng có ba trạm.

**b) Ghép kênh tín hiệu bằng gèc (FDM hay TDM)****c) Sơ đồ khái niệm m AESA**

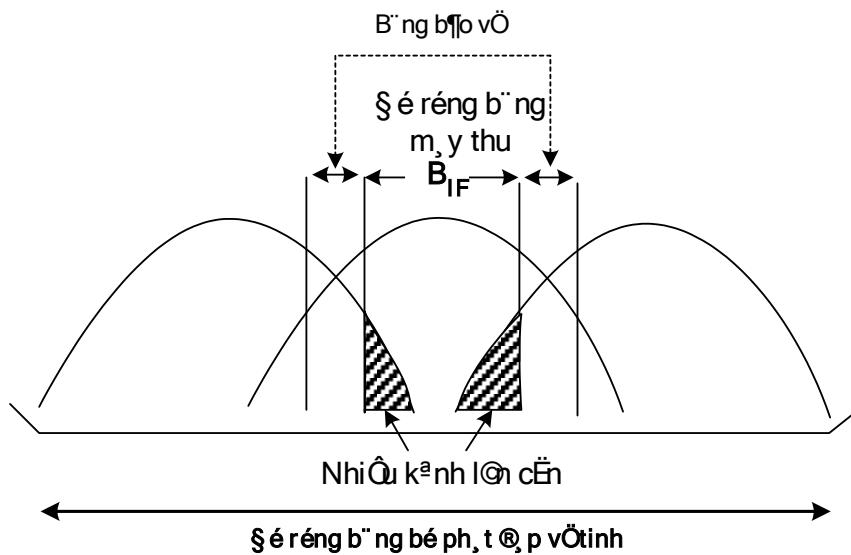
Hình 6.16. Thí dụ về một hệ thống FDMA ba trạm sử dụng định tuyến "một sóng mang trên một trạm"

**c) SCPC/FDMA**

Ở cấu hình một kênh trên một sóng mang (SCPC: Single Channel per Carrier) và đa truy nhập phân chia theo tần số (SCPC/FDMA ở hình 6.15c) từng tín hiệu băng gốc của người sử dụng sẽ điều chế trực tiếp một sóng mang ở dạng số (PSK) hoặc tương tự (FM) tùy theo tín hiệu được sử dụng. Mỗi sóng mang truy nhập đến vệ tinh ở tần số riêng của mình đồng thời với các sóng mang từ cùng trạm này hay từ các trạm khác ở các tần số khác. Như vậy định tuyến được thực hiện trên nguyên lý 'một sóng mang trên một đường truyền'.

#### 6.4.1.2. Nhiều kênh lân cận.

Từ hình 6.17 ta thấy độ rộng của kênh bị chiếm dụng bởi một số sóng mang ở các tần số khác nhau. Kênh này sẽ phát tất cả các sóng mang đến tất cả các trạm mặt đất nằm trong vùng phủ của anten vệ tinh. Ở mỗi trạm mặt đất các máy thu phải lọc ra các sóng mang, việc lọc sẽ được thực hiện dễ dàng hơn khi phổ của các sóng mang được phân cách với nhau bởi một băng tần bảo vệ rộng. Tuy nhiên việc sử dụng băng tần bảo vệ rộng sẽ dẫn đến việc sử dụng không hiệu quả băng thông của kênh và giá thành khai thác trên một kênh của một đoạn vô tuyến sẽ cao. Vì thế phải thực hiện sự dung hòa giữa kỹ thuật và kinh tế. Dù có chọn một giải pháp dung hòa nào đi nữa thì một phần công suất của sóng mang bên cạnh một sóng mang cần thu, sẽ bị thu bởi máy thu được điều hướng đến tần số của sóng mang cần thu này. Điều này dẫn đến tạp âm do nhiễu được gọi là nhiễu kênh lân cận (ACI: Adjacent Channel Interference). Nhieu này bổ sung đến nhiễu giữa các hệ thống.



Hình 6.17. Phổ của bộ phát đáp FDMA và nhiễu kênh lân cận

#### 6.4.1.3. Điều chế giao thoa.

Trong đa truy nhập phân chia theo tần số, bộ khuếch đại của kênh khuếch đại đồng thời nhiều số sóng mang ở các tần số khác nhau. Tính chất phi tuyến của bộ khuếch đại này dẫn đến điều chế giao thoa. Tổng quát khi  $N$  tín hiệu hàm sin có các tần số  $f_1, f_2, \dots, f_N$  đi qua một bộ khuếch đại phi tuyến, thì đầu ra không chỉ chứa  $N$  tín hiệu ở các tần số ban đầu mà còn cả các tín hiệu không mong muốn được gọi là các sản phẩm điều chế giao thoa. Các sản phẩm này xuất hiện ở các tần số  $f_{IM}$  là các tổ hợp tuyến tính của các tần số ban đầu vào như sau:

$$f_M = m_1 f_1 + m_2 f_2 + \dots + m_N f_N \quad (6.23)$$

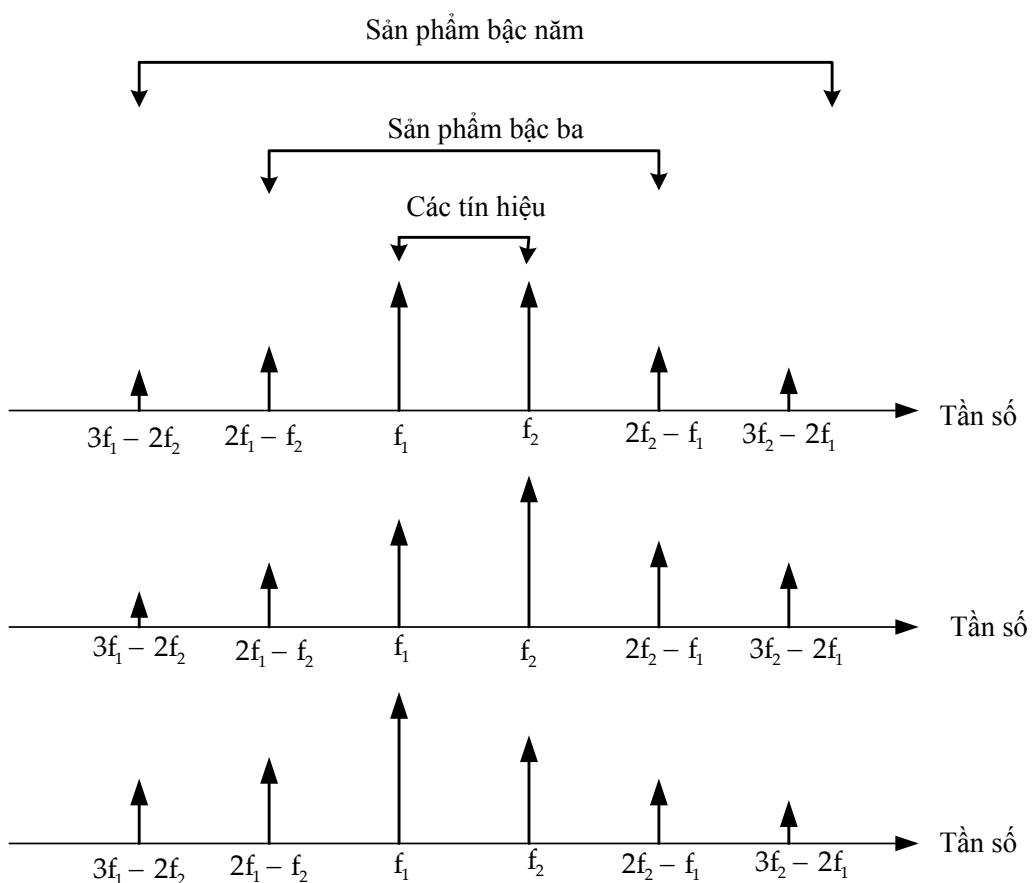
trong đó  $m_1, m_2, \dots, m_N$  là các số nguyên dương hoặc âm.

Đại lượng X được gọi là bậc của sản phẩm điều chế giao thoa như sau:

$$X = |m_1| + |m_2| + \dots + |m_N| \quad (6.24)$$

Khi tần số trung tâm của băng tần bộ khuếch đại lớn so với băng thông (trường hợp kênh trạm lặp của vệ tinh) chỉ có các sản phẩm giao thoa bậc lẻ rơi vào băng thông kênh. Tuy nhiên biên độ của các sản phẩm giao thoa giảm cùng với bậc của sản phẩm. Vì vậy trong thực tế chỉ có các sản phẩm bậc ba và nhỏ hơn bậc năm là đáng kể. Hình 6.18 cho thấy quá trình tạo ra các sản phẩm giao thoa từ hai tín hiệu không điều chế ở các tần số  $f_1$  và  $f_2$ .

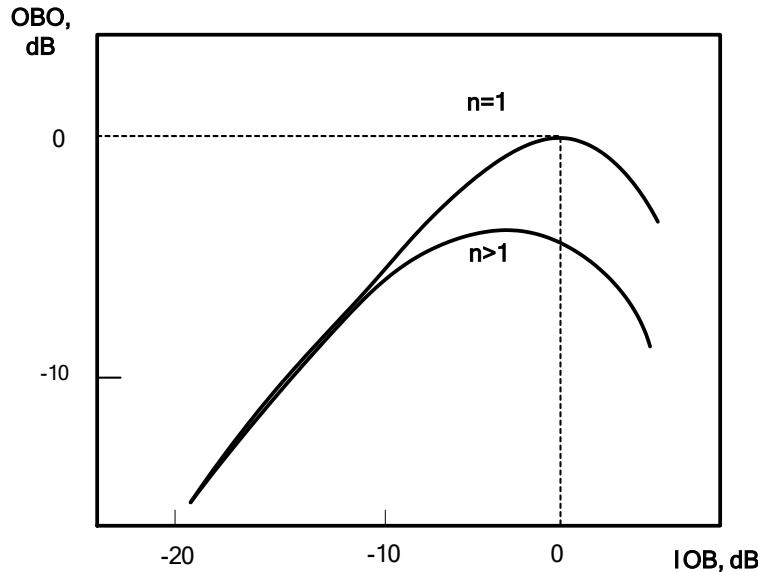
Ta nhận thấy rằng trong trường hợp các sóng mang không điều chế có biên độ khác nhau các sản phẩm điều chế giao thoa lớn hơn ở các tần số cao nếu sóng mang có biên độ lớn hơn nằm ở tần số cao và ở các tần số thấp hơn nếu sóng mang có biên độ cao hơn nằm ở vùng tần số thấp. Điều này cho thấy ưu điểm của việc đặt các sóng mang có công suất lớn nhất ở các biên của băng thông.



Hình 6.18. Sản phẩm điều chế giao thoa bởi hai tín hiệu (các sóng mang không bị điều chế). a) có biên độ bằng nhau; b) và c) có biên độ khác nhau.

#### 6.4.1.4. Đặc tính truyền đạt của bộ khuếch đại phi tuyến ở chế độ đa sóng mang

Hình 6.19 cho ta thấy đặc tuyến truyền đạt công suất của kênh lặp vệ tinh ở chế độ đa sóng mang đơn ( $n=1$ ).



Hình 6.19. Đặc tính truyền đạt của bộ khuếch đại phi tuyến ở chế độ đa sóng mang ( $n>1$ )

Tổng quát đặc tuyến này đúng cho mọi bộ khuếch đại phi tuyến. Nay giờ ta sẽ mở rộng mô hình này cho chế độ đa sóng mang ( $n>1$ ). Đối chế độ này ta sử dụng các ký hiệu sau đây:

- $(P_i^1)$  = công suất sóng mang ở đầu vào của bộ khuếch đại ( $i$  = đầu vào)
- $(P_i^n)$  = công suất một sóng mang ( $n$ ) ở đầu vào của bộ khuếch đại trong chế độ đa sóng mang.
- $(P_o^1)$  = công suất sóng mang ở đầu ra của bộ khuếch đại ( $o$  = đầu ra) ở chế độ đơn sóng mang.
- $(P_o^n)$  = công suất một sóng mang ( $n$ ) ở đầu ra của bộ khuếch đại ở chế độ đa sóng mang.

Công suất đầu vào và đầu ra ở chế độ đơn sóng mang được chuẩn hóa đến giá trị bão hòa của đặc tuyến truyền đạt được xác định như sau:

$$\text{IBO} = \left( \frac{P_i^1}{(P_i^1)_{\text{sat}}} \right) \quad \text{OBO} = \left( \frac{P_o^1}{(P_o^1)_{\text{sat}}} \right) \quad (6.25)$$

trong đó IBO ( Input Back off = đầu vào ở điểm lùi đặc tuyến), OBO (Out put back off = đầu ra ở điểm lùi đặc tuyến), ký hiệu sat = bão hòa.

Tương tự công suất đầu vào và đầu ra ở chế độ đa sóng mang được chuẩn hóa đến giá trị bão hòa của đặc tuyến truyền đạt được xác định như sau:

$$\text{IBO} = \left( \frac{P_i^n}{(P_i^n)_{\text{sat}}} \right) \quad \text{OBO} = \left( \frac{P_o^n}{(P_o^n)_{\text{sat}}} \right) \quad (6.26)$$

Hình 6.19 cho thấy dạng thay đổi của OBO phụ thuộc vào IBO.

#### **6.4.1.5. Tạp âm điều chế giao thoa và tỷ số sóng mang trên tạp âm điều chế giao thoa**

Khi các sóng mang được điều chế, các sản phẩm giao thoa không còn là các phô vạch nữa vì công suất của nó bị phân tán trên một phô trải rộng ở băng tần. Nếu số lượng các sóng mang đủ lớn sự xếp chồng phô của các sản phẩm điều chế giao thoa dẫn đến mật độ phô dày như không đổi trên toàn bộ độ rộng băng tần của bộ khuếch đại vì thế có thể xét các sản phẩm điều chế giao thoa như tạp âm trắng.

Mật độ phô của tạp âm điều chế giao thoa được biểu thị bằng  $N_{0IM}$ . Giá trị của nó phụ thuộc vào đặc tuyến truyền đạt của bộ khuếch đại và vào số lượng và loại sóng mang được khuếch đại. Tỷ số giữa công suất sóng mang với mật độ phô công suất tạp âm điều chế giao thoa ( $C/N_{0IM}$ ) có thể được liên hệ với từng sóng mang ở đầu ra của bộ khuếch đại. Có thể rút ra tỷ số này từ đặc tuyến của bộ khuếch đại có dạng được như trên hình 6.19 bằng cách ước lượng, chẳng hạn,  $N_{0IM}$  như là  $(P_o^{IMX})/B$ , trong đó  $(P_o^{IMX})$  là công suất của sản phẩm điều chế giao thoa và  $B$  là độ rộng phô của sóng mang được điều chế.

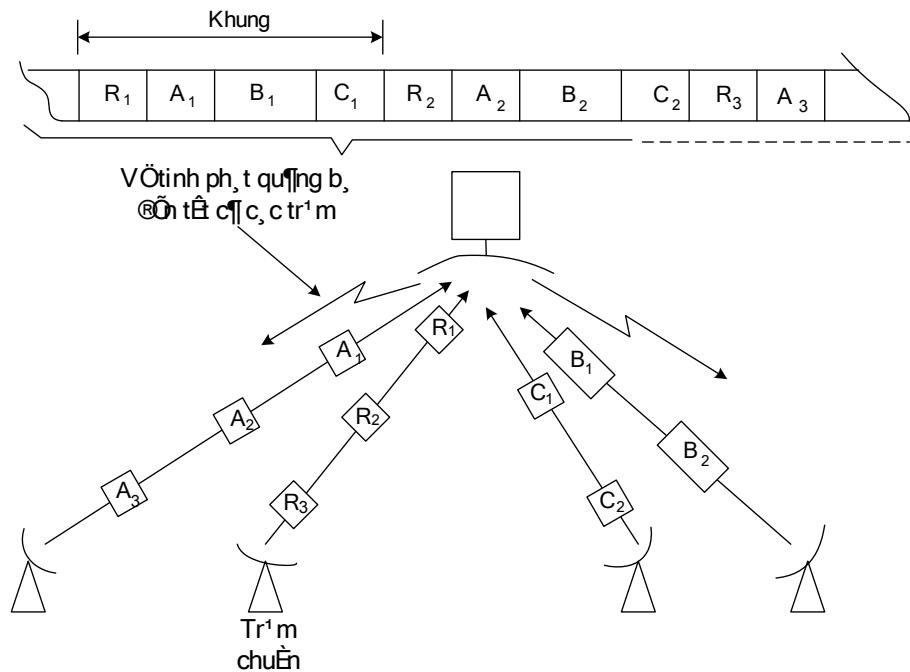
Từ các phần xét trên ta thấy đa truy nhập phân chia theo tần số được đặc trưng bởi sự truy nhập liên tục đến vệ tinh ở một băng tần cho trước và kỹ thuật này có ưu điểm là đơn giản và dựa trên kỹ thuật đã được kiểm nghiệm. Tuy vậy chúng có một số khuyết điểm sau:

- Thiếu sự linh hoạt khi cần lập lại cấu hình: để đảm bảo các thay đổi về dung lượng cần thay đổi quy hoạch tần số và điều này có nghĩa là thay đổi các tần số phát, các tần số thu, băng thông của các bộ lọc ở các trạm mặt đất
- Mất dung lượng khi số lượng truy nhập tăng do sự tạo ra các sản phẩm điều chế giao thoa và sự cần thiết phải làm việc ở công suất phát của vệ tinh giảm (lùi xa điểm bão hòa)
- Cần điều khiển công suất phát của các trạm mặt đất sao cho các công suất sóng mang ở đầu vào của vệ tinh như nhau để tránh hiện tượng lấn áp. Sự điều chỉnh này phải được thực hiện ở thời gian thực và phải thích ứng được với sự suy hao do mưa ở các đường lên.

Đây là kỹ thuật truy nhập cũ nhất và được sử dụng rộng rãi nhất mặc dù chịu các nhược điểm trên. Nó còn tồn tại lâu dài vì được đầu tư trong quá khứ và các ưu điểm khai thác quen thuộc của nó bao gồm cả việc không cần đồng bộ.

#### **6.4.2 Đa truy nhập phân chia theo thời gian, TDMA**

Trong đa truy nhập phân chia theo thời gian, bộ phát đáp chỉ sử dụng một sóng mang tại một thời điểm và vì thế sẽ không có các sản phẩm điều chế giao thoa do khuếch đại phi tuyến. Đây là một trong số các ưu điểm có giá trị nhất của TDMA vì nó cho phép bộ khuếch đại công suất lớn làm việc ở chế độ gần bão hòa nhất. Do thông tin được truyền ở chế độ cụm, nên TDMA chỉ thích hợp cho truyền các tín hiệu số.



Hình 6.20. TDMA sử dụng một trạm chuẩn để đồng bộ thời gian

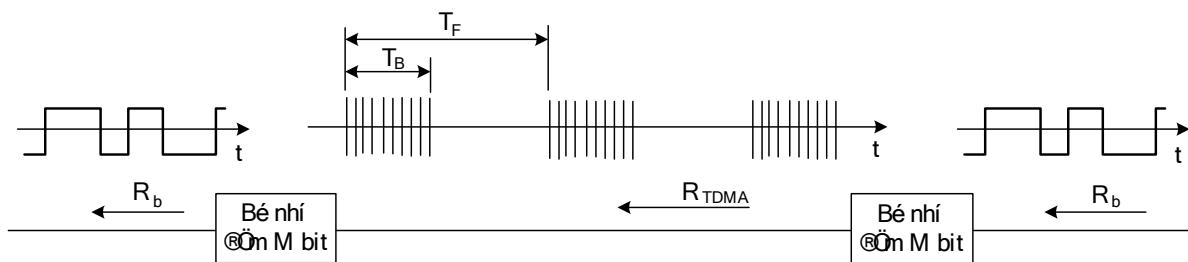
Hình 6.20 cho thấy hoạt động của một mạng theo nguyên lý đa truy nhập phân chia theo thời gian. Các trạm mặt đất phát không liên tục trong thời gian  $T_B$ . Sự truyền dẫn này được gọi là cụm (burst). Sự phát đi một cụm được đưa vào một cấu trúc thời gian dài hơn được gọi là chu kỳ khung và chu kỳ này tương ứng với cấu trúc thời gian theo chu kỳ mà tất cả các trạm phát đi theo cấu trúc này. Mỗi sóng mang thể hiện một cụm sẽ chiếm toàn bộ độ rộng của kênh. Trạm chuẩn thực hiện đồng bộ cụm bằng cách phát đi các cụm chuẩn. Đoạn thời gian bắt đầu từ một cụm chuẩn đến cụm chuẩn tiếp theo được gọi là một khung. Một khung chứa cụm chuẩn R và các cụm từ các trạm mặt đất khác: các cụm A, B và C..

#### 6.4.2.1. Truyền dẫn cụm

Cụm tương ứng với sự truyền lưu lượng từ một trạm được xét. Có thể thực hiện sự truyền này theo phương pháp 'một sóng mang trên một đường truyền'; trong trường hợp này trạm phát đi  $N-1$  cụm trong một khung, trong đó  $N$  là số lượng trạm của mạng và số cụm  $P$  trong một khung là  $P=N(N-1)$ . Ở phương pháp 'một sóng mang trên một trạm' trạm phát đi một cụm trên một khung và số cụm  $P$  trong một khung là  $N$ . Như vậy mỗi cụm được truyền đi ở dạng các cụm con lưu lượng từ trạm này đến trạm khác. Do sự giảm lưu lượng của các kênh khi số cụm tăng phương pháp 'một sóng mang trên một trạm' thường được sử dụng.

Hình 6.21 mô tả nguyên lý truyền dẫn cụm cho một kênh. Trạm mặt đất nhận thông tin ở dạng luồng nhị phân liên tục có tốc độ  $R_b$  từ giao tiếp mạng hay giao tiếp người sử dụng. Thông tin này phải được lưu giữ ở bộ nhớ đệm trong thời gian đợi phát cụm. Khi xuất hiện thời gian này nội dung của bộ nhớ đệm được phát đi trong khoảng thời gian  $T_B$ . Vì khoảng thời gian giữa hai cụm là độ dài khung  $T_F$  nên dung lượng cần thiết của bộ nhớ đệm là:

$$M = R_b T_F \quad (6.27)$$



Hình 6.21. Nguyên lý truyền dẫn cụm cho một kênh

Trong khoảng thời gian một khung, bộ nhớ đệm được làm đầy với tốc bit vào  $R_b$ . Các bit này được phát đi ở dạng cụm trong khung sau ở tốc truyền dẫn  $R_{TDMA}$  được xác định như sau:

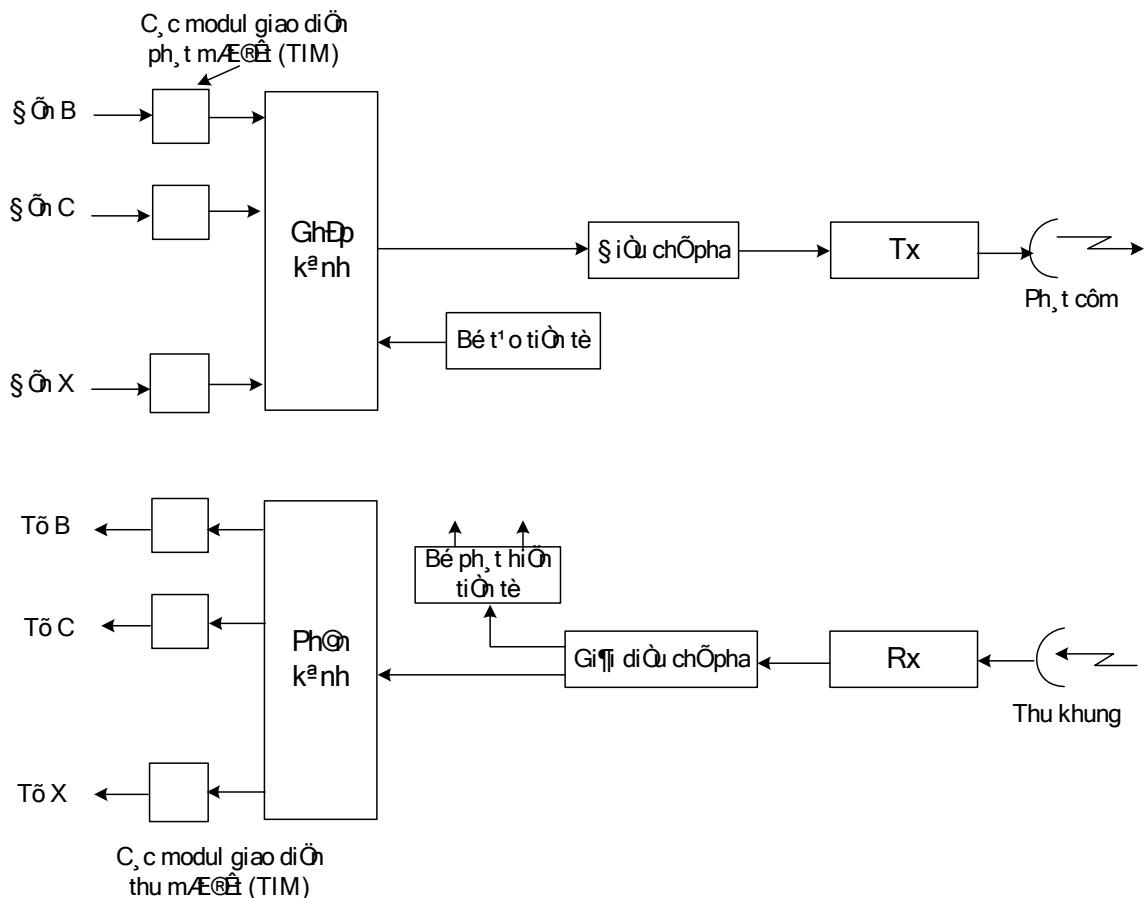
$$R_{TDMA} = M/T_B = R_b(T_F/T_B) \quad [\text{bps}] \quad (6.28)$$

Tốc độ này được gọi là tốc độ cụm, nhưng cần lưu ý rằng đây là tốc độ bit được phát đồng thời trong một cụm chứ không phải số cụm được phát trong một giây. Giá trị  $R_{TDMA}$  lớn khi thời gian của cụm nhỏ và vì thế độ chiếm ( $T_B/T_F$ ) truyền dẫn thấp. Chẳng hạn nếu  $R_b = 2\text{Mbit/s}$  và  $(T_F/T_B) = 10$ , điều chế xảy ra ở tốc độ  $20\text{Mbit/s}$ . Lưu ý rằng  $R_{TDMA}$  thể hiện tổng dung lượng của mạng; nghĩa là tổng các dung lượng của trạm đo bằng bps. Nếu tất cả các trạm có cùng dung lượng thì chu kỳ chiếm thể hiện số các trạm trên mạng.

Bây giờ ta có thể thấy rằng vì sao dạng truy nhập này luôn luôn liên quan đến truyền dẫn số: nó dễ dàng lưu giữ các bit trong thời gian một khung và nhanh chóng giải phóng bộ nhớ này trong khoảng thời gian một cụm. Không dễ dàng thực hiện dạng xử lý này cho các thông tin tương tự.

Thời gian khung  $T_F$  sẽ tăng trễ truyền lan. Chẳng hạn đối với sơ đồ ở hình 6.21, thậm chí nếu cho rằng không xảy ra trễ truyền lan ở các bộ nhớ đệm phát và thu, thì phía thu vẫn phải đợi một khoảng thời gian  $T_F$  trước khi nhận được cụm phát. Trong hệ thống thông tin vệ tinh địa tĩnh, trễ truyền lan có thể lên đến vài phần của một giây. Đây là lý do giới hạn thời gian khung. Thời gian khung thường được chọn bằng  $125\mu\text{s}$  bằng chu kỳ lấy mẫu của PCM, vì nó cho phép phân bố các mẫu PCM trên các khung ở tốc độ lấy mẫu PCM.

Hình 6.22 cho thấy các khối cơ bản trong trạm mặt đất TDMA. Giả sử sơ đồ ở hình 6.22 là cho trạm mặt đất A. Các đường truyền dẫn nối đến trạm mặt đất A mang lưu lượng số đến các trạm B, C và X. Giả sử tốc độ bit như nhau đối với tất cả các đường truyền dẫn mặt đất. Tại các khối giao diện mặt đất (TIM) các tín hiệu tốc độ bit ( $R_b$ ) được chuyển vào chế độ tốc độ cụm ( $R_{TDMA}$ ) sau đó chúng được ghép kênh theo thời gian ở bộ ghép kênh sao cho lưu lượng của từng nơi nhận được đặt đúng vào khe thời gian quy định. Tại đầu của mỗi cụm sẽ có một số khe thời gian được sử dụng để mang thông tin định thời và đồng bộ. Các khe thời gian này được gọi là đoạn đầu hay tiền tố. Toàn bộ cụm bao gồm đoạn đầu và số liệu lưu lượng được đưa lên điều chế pha (PSK) cho sóng mang vô tuyến (xem hình 6.23).



Hình 6.22 Các khối cơ bản trong hệ thống TDMA (chẳng hạn trạm mặt đất A)

#### 6.4.2.2. Cấu trúc khung và cụm

Khung của tín hiệu thu được ở trạm mặt đất bao gồm các cụm như thấy ở hình 6.23. Phân cách giữa các cụm là một đoạn bảo vệ (G). Đoạn này được sử dụng để tránh sự chồng lấn các cụm do đồng bộ cụm không chính xác. Mở đầu mỗi khung bao giờ cũng là cụm chuẩn. Cụm này cung cấp thông tin để bắt và để đồng bộ các cụm. Sau cụm chuẩn là cụm lưu lượng. Mỗi cụm bao gồm đoạn đầu hay tiền tố và trường lưu lượng. Ngoài ra kết thúc một cụm có thể là đoạn cuối (Q).

Trước hết ta xét cụm chuẩn.

##### a) Cụm chuẩn

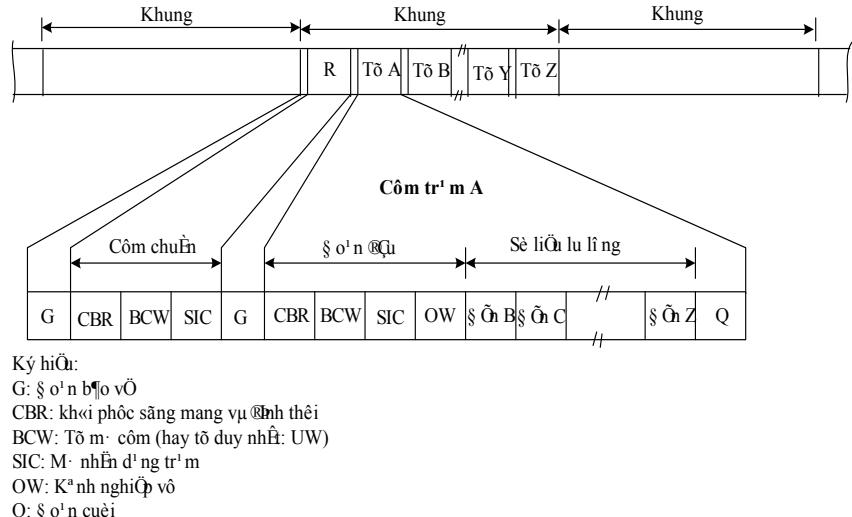
Cụm chuẩn đánh mốc khởi đầu của một khung. Cụm này được chia thành các khối chức năng hay các kênh khác nhau như sau:

- **Khối phục sóng mang và định thời bit: CBR.**

1. Cho phép bộ giải điều chế của trạm mặt đất thu khôi phục lại sóng mang được tạo ra từ bộ dao động nội ở máy phát để giải điều chế nhất quán. Cho mục đích này đoạn đầu chứa một chuỗi bit cung cấp pha sóng mang không đổi.

2. Cho phép bộ tách sóng của trạm mặt đất thu đồng bộ đồng hồ quyết định bit của mình với tốc độ bit của ký hiệu; cho mục đích này đoạn đầu chứa một chuỗi bit cung cấp các pha đảo luân phiên.

- **Từ mã cụm: BCW (hay còn gọi là từ duy nhất: UW).** Cho phép trạm mặt đất xác định khởi đầu của một cụm bằng cách so sánh BCW thu được với bản sao của từ này ở trạm mặt đất. Ngoài ra từ duy nhất này cũng cho phép máy thu giải quyết được vấn đề sự không rõ ràng pha trong trường hợp giải điều chế nhất quán. Biết được khởi đầu của cụm, tốc độ bit và giải quyết được (nếu cần) sự không rõ ràng pha, thì máy thu có thể xác định được tất cả các bit xảy ra sau từ duy nhất.
- **Mã nhận dạng trạm: SIC.** Cho phép nhận dạng trạm phát



Hình 6.23. Cấu trúc khung và cụm trong hệ thống TDMA

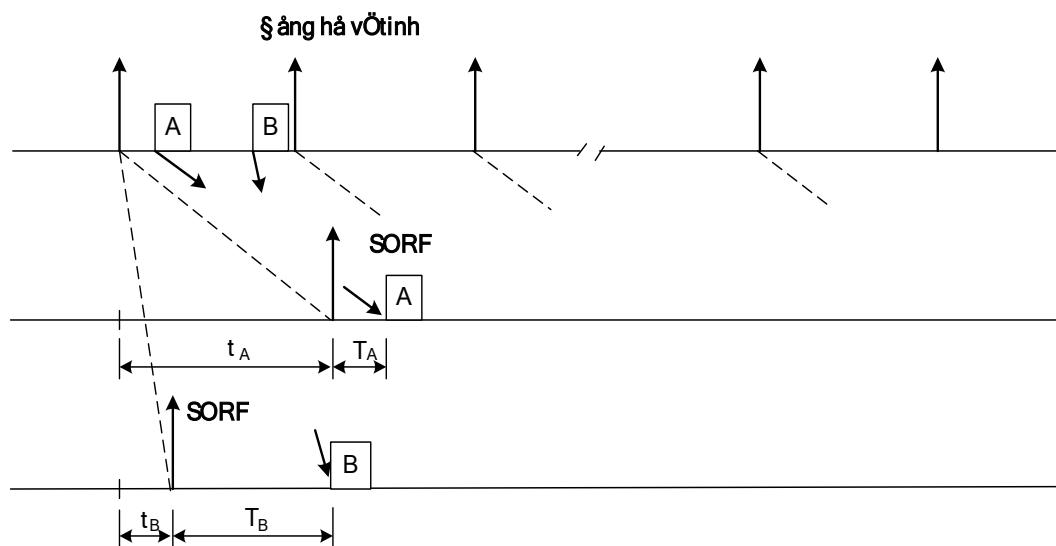
### b) Cụm lưu lượng

Cụm lưu lượng bao gồm đoạn đầu, trường lưu lượng và đoạn cuối. Đoạn đầu có các khối chức năng giống như cụm chuẩn. Ngoài ra nó có thêm một khối chức năng cho kênh nghiệp vụ (OW). Khối chức năng này cho phép truyền các bản tin nghiệp vụ giữa các trạm (thoại và telex) và báo hiệu. Trường lưu lượng được đặt ở sau đoạn đầu và đây là trường truyền dẫn thông tin hữu ích. Ở phương pháp 'một sóng mang trên một trạm' khi cụm được truyền từ một trạm mang tất cả thông tin từ trạm này đến các trạm khác, trường lưu lượng được cấu trúc thành các cụm con tương ứng với thông tin được truyền từ trạm này đến từng trạm trong số các trạm khác.

#### 6.4.2.3. Đồng bộ mạng

Đồng bộ mạng cần thiết để đảm bảo các cụm được truyền đến vệ tinh vào đúng khoảng thời gian dành cho chúng. Các cụm chuẩn được tạo ra từ các đồng hồ có độ ổn định cao và được phát đến tất cả các trạm mặt đất truyền lưu lượng để cung cấp các mốc chuẩn định thời. Tại mỗi trạm lưu lượng, việc phát hiện từ mã cụm (hay từ duy nhất) trong cụm chuẩn sẽ thông báo khởi đầu khung thu (SORF: start of receive frame), mốc này trùng với bit cuối cùng của từ duy nhất. Đồng hồ có độ ổn định cao là đồng hồ mà vệ tinh thu lại từ trạm chuẩn mặt đất.

Mạng hoạt động dựa trên **kế hoạch định thời cụm** là bản sao được lưu giữ tại các trạm mặt đất. **Kế hoạch định thời cụm** chỉ ra cho mỗi trạm mặt đất khoảng cách của cụm mà nó định thu so với điểm mốc SORF (hình 6.24).



Hình 6.24. SORF trong kế hoạch định thời cụm

Tại trạm mặt đất A mốc SORF thu được sau một khoảng thời gian trễ  $t_A$  và kế hoạch định thời cụm sẽ chỉ cho trạm này thấy rằng cụm mà nó định thu sẽ xuất hiện sau mốc này một khoảng thời gian bằng  $T_A$ . Cũng như vậy đối với trạm B, trễ truyền lan là  $t_B$  và cụm mà trạm định thu sẽ xuất hiện sau mốc này một khoảng thời gian bằng  $T_B$ . Trễ truyền lan không như nhau đối với mỗi trạm, nhưng thông thường nó nằm trong khoảng 120 ms.

Kế hoạch định thời cụm cũng thông báo cho trạm mặt đất khi nào cần phát để cụm phát đến vệ tinh đúng vào khe thời gian dành cho nó. Nói chung thủ tục phát điều khiển định thời được chia thành hai giai đoạn:

1. **Bắt vị trí cụm.** Để trạm mặt đất bắt được đúng vị trí khe khi nó đang nhập hoặc tái nhập mạng

2. **Đồng bộ vị trí cụm.** Để trạm mặt đất duy trì vị trí khe đúng sau khi đã bắt được khe

Tồn tại ba phương pháp điều khiển định thời:

1. Điều khiển định thời vòng hở

2. Điều khiển định thời vòng ngược

3. Điều khiển định thời hồi tiếp

#### a) **Điều khiển định thời vòng hở**

Đây là phương pháp phát định thời đơn giản nhất. Trạm sẽ phát sau một khoảng thời gian cố định kể từ khi thu được các mốc định thời theo kế hoạch định thời cụm, khoảng thời gian này phải đảm bảo đủ thời gian bảo vệ để bù trừ các thay đổi của trễ truyền lan. Nhược điểm của phương pháp này là sai số vị trí cụm có thể rất lớn và các khoảng thời gian phòng vệ dài làm giảm hiệu suất khung. Để khắc phục nhược điểm này phương pháp **định thời vòng thích**

**ứng** được sử dụng. Ở phương pháp này trạm mặt đất tính toán cự ly đến vệ tinh trên cơ sở số liệu quỹ đạo vệ tinh hay tín hiệu đo được sau đó đưa ra hiệu chỉnh định thời. Cần lưu ý rằng ở phương pháp định thời vòng hở không cần thủ tục bắt đặc biệt

#### b) Điều khiển định thời vòng ngược

Ở phương pháp này trạm mặt đất thu lại cụm tín hiệu do nó phát và từ đó xác định cự ly. Phương pháp này chỉ được sử dụng khi vệ tinh phát búp sóng phủ toàn cầu hoặc toàn bộ vùng chứa các trạm mặt đất. Một trong số nhiều phương pháp bắt định thời được sử dụng trong trường hợp này như sau. Trước hết trạm mặt đất lưu lượng phát đi một cụm ngắn chỉ chứa đoạn đầu với công suất thấp (để tránh gây nhiễu cho các cụm khác), Sau đó nó quét cụm này trên toàn bộ khung cho đến khi nhận được cụm này rơi vào đúng khe thời gian ấn định cho trạm. Cuối cùng nó tăng công suất cụm lên toàn bộ mức và thực hiện điều chỉnh tinh để đưa cụm này vào đúng vị trí bắt đầu của khe cần tìm. Sau khi đã bắt được định thời, số liệu lưu lượng được bổ sung cho cụm và quá trình đồng bộ được thực hiện bằng cách thường xuyên giám sát vị trí phát vòng ngược so với mốc chuẩn SORF. Các vị trí định thời được chỉnh vào đúng bit cuối cùng của từ duy nhất trong đoạn đầu. Phương pháp hồi tiếp còn được gọi là phương pháp hồi tiếp vòng kín trực tiếp.

#### c) Điều khiển định thời hồi tiếp

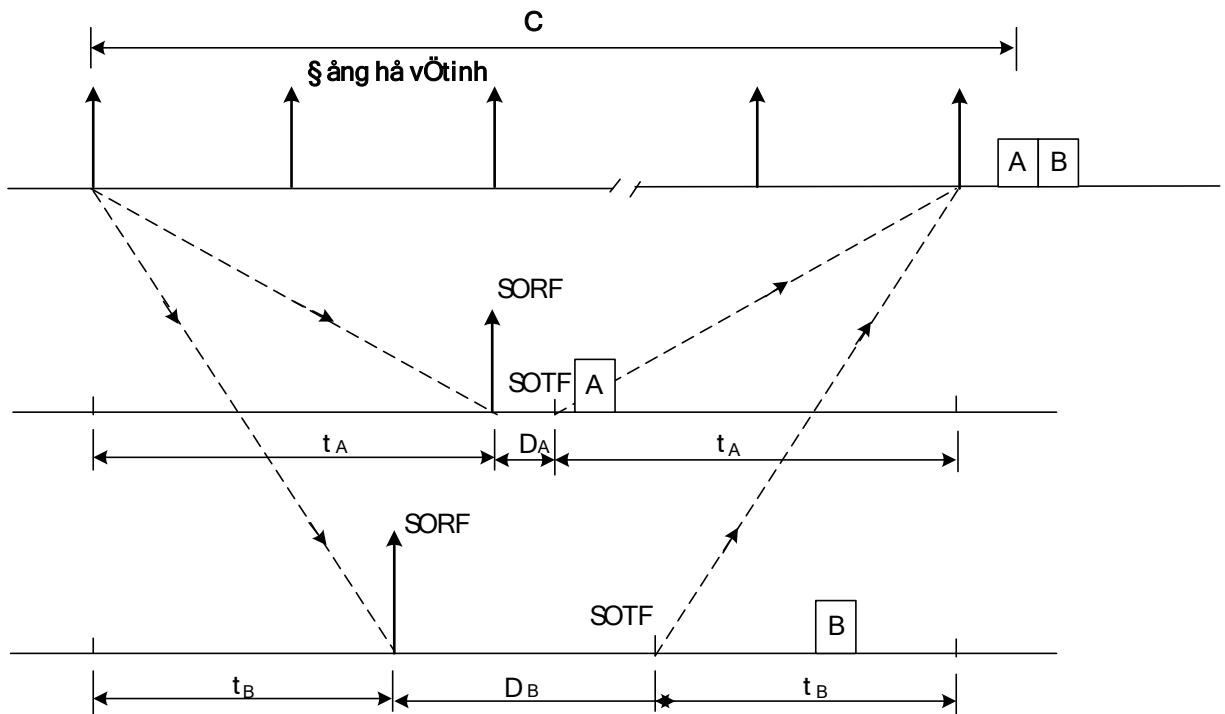
Trường hợp trạm lưu lượng mặt đất nằm ngoài búp sóng vệ tinh chia truyền dẫn của trạm, thì thay cho việc sử dụng vòng hồi tiếp truyền dẫn ta cần sử dụng phương pháp định thời **Điều khiển vòng kín hồi tiếp**. Ở phương pháp này thông tin đồng bộ được phát ngược trở lại từ trạm phía xa. Trạm phía xa có thể là trạm chuẩn hoặc một trạm lưu lượng được quy định là đối tác. Trong giai đoạn bắt định thời, trạm phía xa gửi lại thông tin hướng dẫn việc đặt đúng vị trí cho cụm ngắn và khi đã bắt được khe thời gian cần tìm, thông tin đồng bộ cũng có thể liên tục được trạm xa gửi ngược lại.

Hình 6.25 minh họa phương pháp vòng kín hồi tiếp cho hai trạm A và B.

Mốc SOTF được sử dụng cho điểm tham khảo phát cụm. Tuy nhiên điểm tham khảo phát (SOTF) phải trễ một khoảng thời gian  $D_A$  và  $D_B$  cho các trạm A và B để các cụm lưu lượng do chúng phát đến bộ phát đáp vệ tinh đúng vào khe thời gian dành cho các cụm này (xem hình 6.25) Tổng thời gian trễ C giữa xung đồng hồ vệ tinh bất kỳ và SOTF tương ứng luôn là một hằng số:  $C = 2t_i + D_i$  cho trạm A và trạm B. Tổng quát đối với trạm i, trễ  $D_i$ , tổng trễ này xác định như sau:

$$C = 2t_i + D_i \quad (6.29)$$

Đối với vệ tinh thực sự là địa tĩnh (vị trí tương đối so với mặt đất không đổi), thì  $t_i$  là hằng số. Nhưng trong thực tế các vệ tinh này luôn dao động xung quanh một vị trí cố định vì thế cần xét đến sự thay đổi này bằng cách xác định  $D_i$  cho phù hợp và sau một khoảng thời gian nhất định cần cập nhật lại giá trị này.  $D_i$  được phát đến trạm mặt đất ở các cụm chuẩn.



Hình 6.25. Quan hệ định thời trong hệ thống TDMA. SORF: khởi đầu khung thu; SOTF: khởi đầu khung phát

#### 6.4.2.4. Hiệu suất sử dụng khung và thông lượng TDMA

Hiệu suất sử dụng khung được đo bằng phần thời gian của khung được sử dụng để truyền dữ liệu lưu lượng. **Hiệu suất sử dụng khung** được xác định như sau:

$$\eta_F = \frac{B_{II}}{B_t} \quad (6.30)$$

trong đó  $B_{II}$  là số bit lưu lượng và  $B_t$  là tổng số bit trong khung (lưu ý thuật ngữ bit trong trường hợp này thường được gọi là ký hiệu).

Mặt khác ta cũng có thể biểu diễn hiệu suất khung như sau:

$$\eta_F = 1 - \frac{B_{OH}}{B_t} \quad (6.31)$$

trong đó  $B_{OH}$  là số bit (hay số ký hiệu) bổ sung bao gồm: các bit đoạn đầu, đoạn cuối, các khoảng bảo vệ và các cụm chuẩn trong khung.

Nếu phần bổ sung là cố định thì phương trình (6.30) cho thấy khung càng dài (hay tổng số bit trong khung càng lớn) thì hiệu suất sử dụng khung càng cao. Tuy nhiên các khung dài đòi hỏi bộ nhớ đệm lớn và tăng trễ truyền lan, ngoài ra đồng bộ cũng trở nên khó khăn hơn do vị trí của vệ tinh thay đổi. Tất nhiên giảm phần bổ sung cũng cho hiệu suất cao hơn, tuy nhiên để giảm các bit đồng bộ và các khoảng bảo vệ đòi hỏi phải có thiết bị phức tạp hơn.

Dung lượng kênh tiếng của một khung đồng thời cũng là dung lượng của bộ phát đáp được xác định trên cơ sở hiệu suất khung và tốc độ bit  $R_b$  như sau:

$$nR_b = \eta_F R_{TDMA}$$

hay

$$n = \frac{\eta_F R_{TDMA}}{R_b} \quad (6.32)$$

trong đó  $n$  là dung lượng kênh,  $R_b$  là tốc độ bit và  $R_{TDMA}$  là tốc độ cụm.

Để minh họa cho các phương trình trên ta xét hai thí dụ sau.

### Thí dụ 6.1

Tính hiệu suất khung cho một khung với các dữ liệu sau:

Tổng độ dài khung = 120.832 ký hiệu

Số cụm lưu lượng trên khung = 14

Số cụm chuẩn trên khung = 2

Khoảng bảo vệ = 103 ký hiệu

Số bit đoạn đầu cụm lưu lượng (không có đoạn cuối) = 280 ký hiệu

Số bit của cụm chuẩn = 288 ký hiệu

#### **Giải**

Số bit bù sung = OH =  $2 \times (103+288) + 14 \times (103+280) = 6144$  ký hiệu

Từ phương trình (6.10) ta được:

$$\eta_F = 1 - \frac{6144}{120.832} = 0,949$$

### Thí dụ 6.2

Tính toán dung lượng kênh tiếng cho khung ở thí dụ 6.1 khi tốc độ bit  $R_b=64$  kbps và điều chế QPSK. Chu kỳ khung là 2 ms.

#### **Giải**

Tốc độ cụm bằng:  $120.832/(2 \text{ ms}) = 60,416 \text{ Msps}$  (Mega ký hiệu trên giây). Vì điều chế QPSK mỗi lần phát 2 ký hiệu, nên tốc độ cụm truyền dẫn là:  $R_{TDMA} = 60,416 \times 2 = 120,833 \text{ Msps}$ .

Sử dụng phương trình (6.32) ta được  $n = 0,949 \times 120,832 \times 10^3 / (64) = 1792$

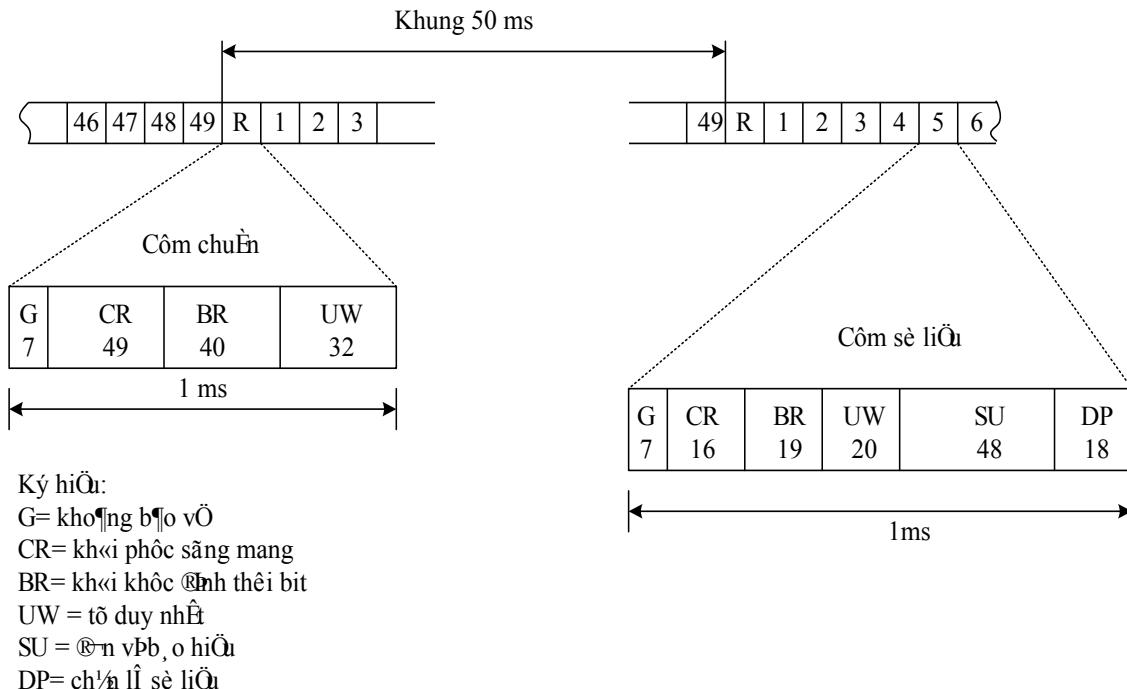
#### **6.4.2.5. TDMA được ấn định trước**

Thí dụ về mạng TDMA ấn định trước trước là kênh báo hiệu chung (CSC: common signalling channel) trong mạng Spade. Cấu trúc khung và cấu trúc cụm được cho ở hình 6.26. CSC có thể hỗ trợ 49 trạm mặt đất cộng với một trạm chuẩn vì thế tổng số cụm trong một khung là 50ms.

Tất cả các cụm đều có độ dài như nhau. Mỗi cụm chứa 128 bit và chiếm một khe thời gian 1 ms. Như vậy tốc độ bit sẽ là 128 kbps. Độ rộng cần thiết cho CSC vào khoảng 160 kHz.

Đơn vị báo hiệu (SU) là đoạn cụm được sử dụng để cập nhật cho các trạm mặt đất khác về tình trạng khả dụng của các tần số cho các cuộc gọi SCPC. Ngoài ra nó cũng mang thông tin báo hiệu

Một thí dụ khác của khung TDMA ấn định trước là khung của hệ thống INTERSAT được cho ở dạng đơn giản trên hình 6.27. Trong hệ thống INTERSAT các kênh tiếng được ấn định theo yêu cầu và ấn định trước được mang đồng thời.



Hình 6.26. Khuôn dạng khung của kênh báo hiệu chung (CSC)

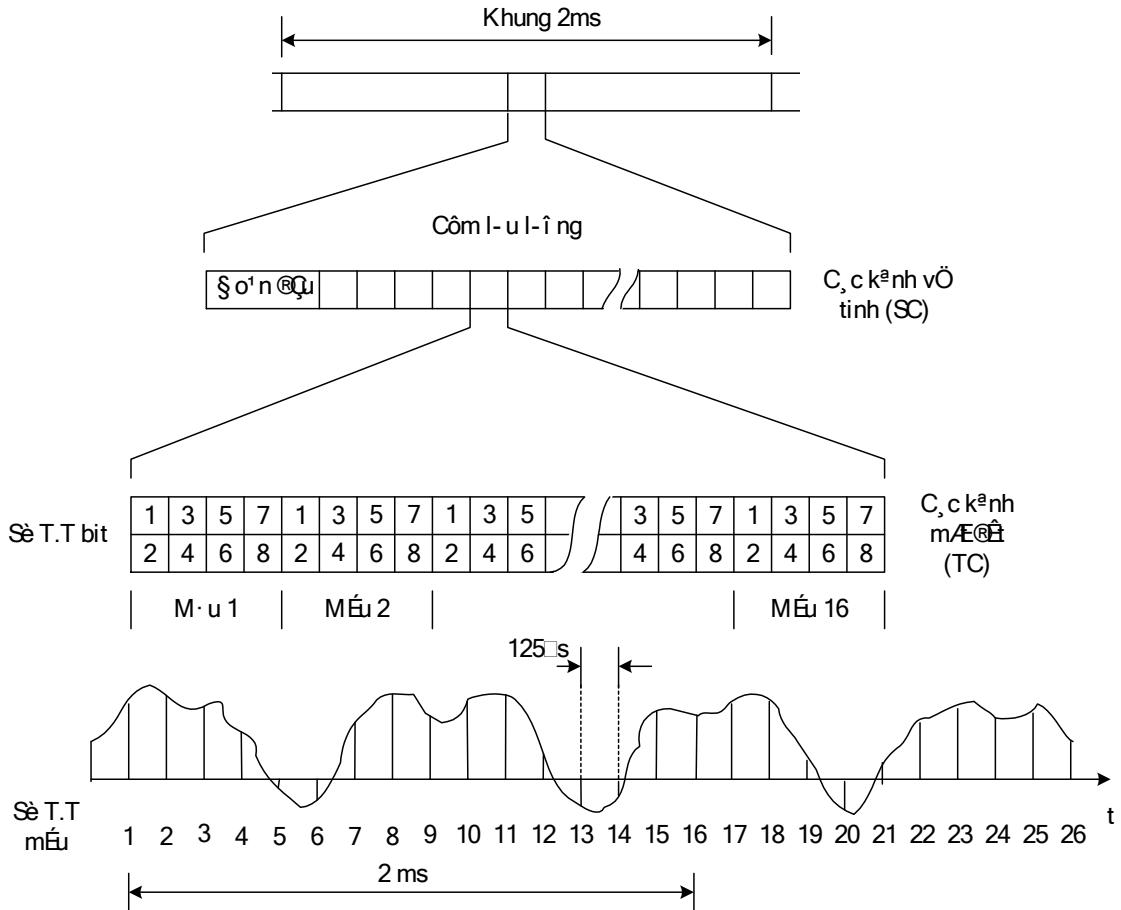
Các cụm lưu lượng được chia vào các khe thời gian gọi là các kênh vệ tinh theo thuật ngữ của INTERSAT và trong một cụm lưu lượng có tới 128 khe thời gian. Kênh vệ tinh lại được chia nhỏ thành 16 khe được gọi là các kênh mặt đất, mỗi kênh mặt đất mang một mẫu PCM của tín hiệu thoại tương tự. Vì điều chế QPSK được sử dụng nên mỗi ký hiệu chứa hai bit như thấy ở hình vẽ. Như vậy mỗi kênh mặt đất mang bốn ký hiệu (hay 8 bit). Mỗi kênh vệ tinh mang  $4 \times 16 = 64$  ký hiệu và cực đại có 128 kênh vệ tinh nên mỗi cụm mang 8192 ký hiệu.

Vì tốc độ lấy mẫu PCM là 8 kHz và 8 bit trên một mẫu nên tốc độ bit PCM bằng 64 kbps. Mỗi kênh vệ tinh có thể đảm bảo được tốc độ bit này. Khi cần truyền số liệu tốc độ cao hơn, nhiều kênh vệ tinh được sử dụng. Tốc độ đầu vào số liệu cực đại có thể xử lý là  $128(\text{SC}) \times 64$  kbps = 8192 Mbps.

Khung INTELSAT gồm 120832 ký hiệu hay 241664 bit. Chu kỳ khung là 2ms và vì thế tốc độ bit cụm là 120832 Mbps.

Như đã nói ở trên các kênh tiếng được ấn định trước hay ấn định theo yêu cầu có thể được đặt trong cùng một khuôn dạng khung INTELSAT. Các kênh ấn định theo yêu cầu sử dụng

một kỹ thuật được gọi là **nội suy tiếng số (DSI)**, Các kênh được ấn định trước được gọi là các kênh số không nội suy (DNI)



Hình 6.27. Khung TDMA được ấn định trước trong hệ thống Intelsat

#### 6.4.2.6 TDMA được ấn định theo yêu cầu

Với TDMA, việc ấn định cụm và cụm con được thực hiện dưới sự điều khiển của phần mềm, trong khi đó việc ấn định tần số ở FDMA được thực hiện bằng phần cứng. Vì thế so với các mạng FDMA, các mạng TDMA mềm dẻo hơn trong việc ấn định lại kênh và có thể thực hiện các thay đổi nhanh hơn.

Một số phương pháp được áp dụng để cung cấp mềm dẻo lưu lượng khi sử dụng TDMA. Độ dài cụm ấn định cho một trạm có thể thay đổi khi yêu cầu lưu lượng thay đổi. Mạng có thể sử dụng một trạm điều khiển trung tâm để ấn định độ dài cụm cho từng trạm. Một trạm cũng có thể tự mình xác định yêu cầu độ dài cụm và ấn định yêu cầu này theo quy định trước.

Ở một phương pháp khác, có thể giữ nguyên không đổi độ dài cụm nhưng số cụm ấn định cho từng trạm thay đổi tùy theo yêu cầu. Chẳng hạn ở một hệ thống được đề xuất, độ dài khung được giữ cố định bằng 13,5ms. Khe thời gian cụm cơ sở bằng 62,5 μs và các trạm trong mạng phát các cụm thông tin với các bước rời rạc trong dài 0,5 ms (8 cụm cơ sở) đến 4,5 ms (72 cụm cơ sở) trên khung. Ấn định các kênh tiếng theo yêu cầu lợi dụng được tính chất gián đoạn của tiếng, vấn đề này sẽ được trình bày ở phần dưới đây.

### a) Dự báo và nội suy tiếng

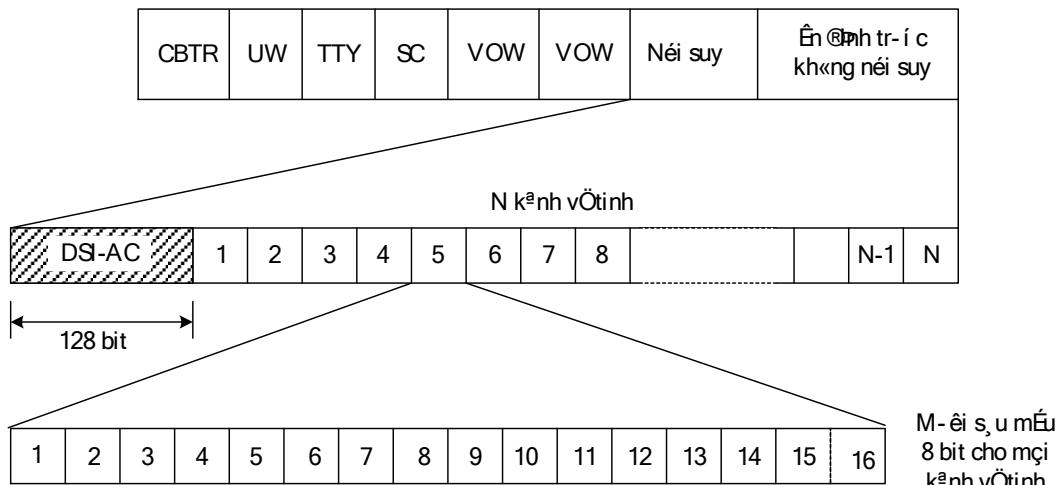
Do tính chất gián đoạn của tiếng, nên khi sử dụng kênh truyền tiếng, một khoảng thời gian không nhỏ kênh này không được tích cực. Tính chất nói-nghe của các cuộc thoại hai chiều có nghĩa là truyền dẫn mỗi chiều chỉ chiếm khoảng 50% tổng thời gian truyền dẫn. Ngoài ra khoảng trống giữa các câu nói có thể giảm thời gian này xuống còn 33%. Ngoài ra thời gian trễ do đối tác cần suy nghĩ để trả lời có thể dẫn đến tổng thời gian kết nối thực sự còn 25%. Phần thời gian mà một kênh truyền dẫn tích cực được gọi là hệ số tích cực tải điện thoại và theo khuyến nghị của ITU-T là 25%. Như vậy ta có thể lợi dụng một phần lớn thời gian cho các cuộc truyền dẫn khác và việc lợi dụng này được thực hiện ở dạng ấn định theo yêu cầu được gọi là **nội suy tiếng số**.

Nội suy theo yêu cầu có thể được thực hiện theo hai cách: **nội suy tiếng ấn định theo thời gian (TASI số)** và **truyền tin được mã hóa theo dự báo tiếng (SPEC)**.

### b) TASI số

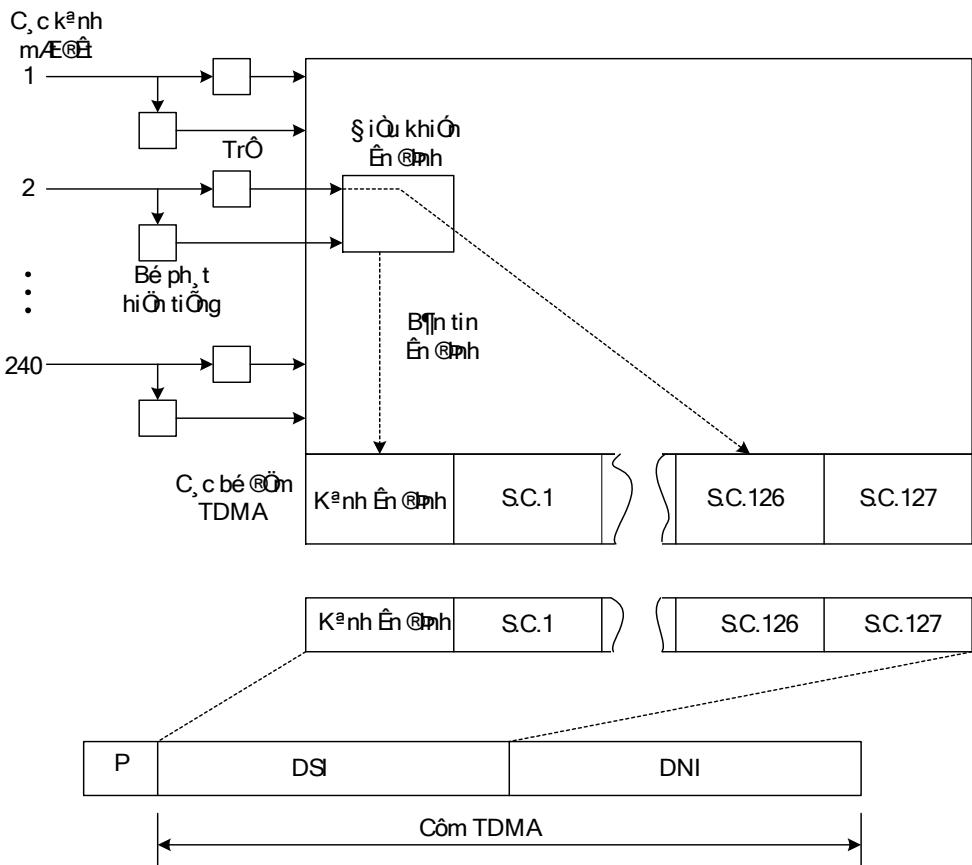
Khuôn dạng cụm lưu lượng ở một cụm INTELSAT mang các kênh được ấn định theo yêu cầu và các kênh ấn định trước được cho ở hình 6.28.

Như đã nói ở trên các kênh được ấn định theo yêu cầu sử dụng TASI số hay còn gọi là DSI (nội suy tiếng số). Các kênh này được chỉ ra trên hình vẽ ở bảng khói được gọi là "nội suy". Kênh vệ tinh đầu tiên (kênh 0) trong khói này là kênh ấn định được đánh nhãn là DSI-AC. Kênh này không mang lưu lượng. Nó được sử dụng để truyền thông tin về ấn định kênh mà ta sẽ xét ngắn gọn dưới đây.



Hình 6.28. Cấu trúc cụm lưu lượng Intelsat

Hình 6.29, cho ta thấy hệ thống DSI. Thông thường hệ thống cho phép  $N$  kênh mặt đất được mang bởi  $M$  kênh vệ tinh, trong đó  $N > M$ . Chẳng hạn trong INTELSAT,  $N=240$  và  $M=127$ .



Hình 6.29. Nội suy tiếng; DSI= nội suy tiếng số; DNI= không nội suy

Tại mỗi kênh mặt đất vào, một bộ phát hiện tích cực sẽ phát hiện khi có tiếng, các tín hiệu tiếng gián đoạn được gọi là các đoạn tiếng (Spurt). Đoạn tiếng có độ dài trung bình là 1,5 giây. Tín hiệu điều khiển được gửi đến khói điều khiển án định kênh, khói này tìm kiếm một bộ đệm rỗng. Nếu tìm được một bộ đệm rỗng, kênh mặt đất được án định sử dụng kênh vệ tinh này và đoạn tiếng được lưu giữ vào bộ đệm này và sẵn sàng để truyền dẫn trong các cụm con DSI. Như thấy ở hình 6.29, trễ được đưa thêm vào các kênh tiếng để bù trừ trễ do án định. Tuy nhiên sự bù trừ này không được hoàn hảo, nên phần khởi đầu của đoạn tiếng có thể bị mất. Và sự kiện này được gọi là sự xén bớt (clip) kết nối.

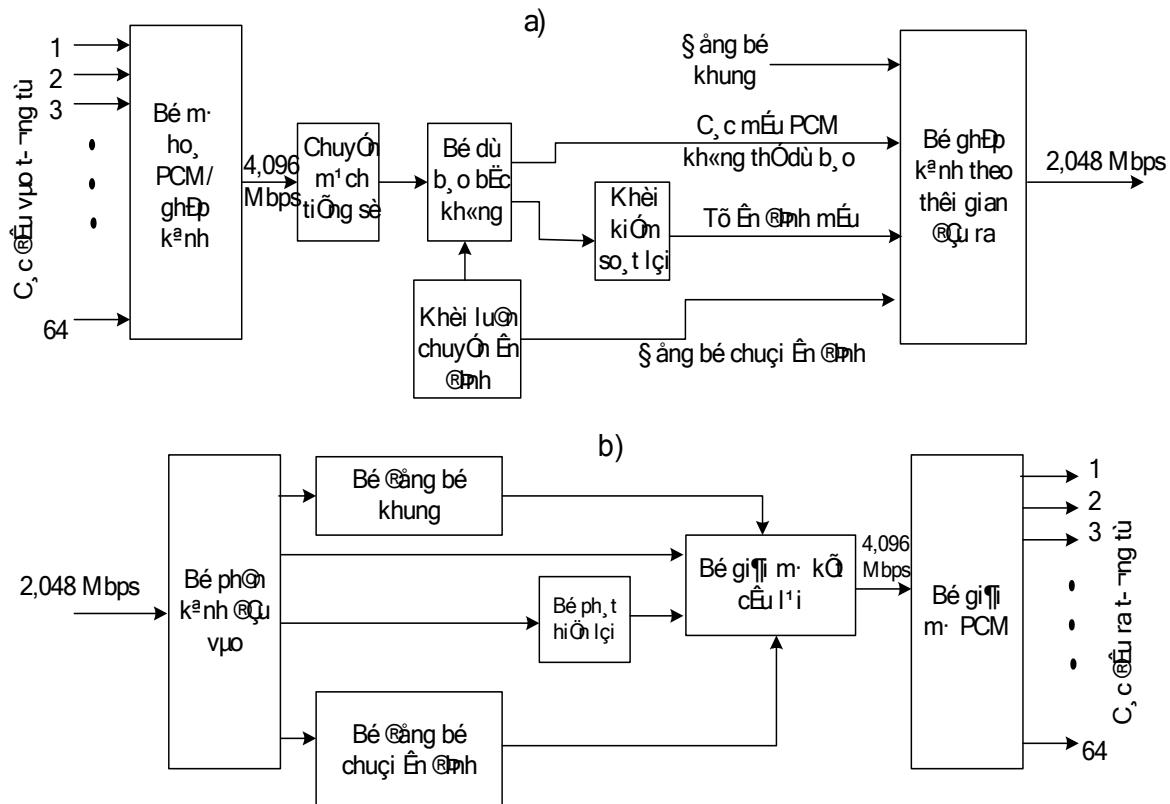
Khi xét ở trên ta giả thiết rằng đối với mỗi đoạn tiếng luôn tìm được kênh rỗng, nhưng trong thực tế có thể xảy ra với một xác suất nào đó tất cả các kênh đã bị chiếm và đoạn tiếng sẽ bị mất. Sự mất đoạn tiếng trong trường hợp này được gọi Freeze-out.

### c) Truyền tin được mã hoá bằng dự báo tiếng trước, SPEC

Sơ đồ khói cho hệ thống SPEC được cho ở hình 6.30. Trong phương pháp này tín hiệu tiếng vào được biến đổi thành tín hiệu ghép kênh PCM với 8 bit cho một mẫu lượng tử. Với 64 đầu vào và lấy mẫu theo chu kỳ  $125 \mu s$ , tốc độ bit đầu ra của bộ ghép kênh là  $8 \times 64 / 125 = 4096 \text{ Mbps}$ .

Bộ chuyển mạch tiếng số đằng sau bộ ghép kênh PCM thực hiện phân chia thời gian cho các tín hiệu đầu vào. Bộ này được kích hoạt theo tiếng để tránh truyền dẫn tạp âm trong các khoảng im lặng. Khi bộ dự báo bậc không nhận được một mẫu mới, nó thực hiện so sánh với mẫu trước đó của kênh tiếng này (đã được lưu giữ lại) và chỉ phát đi mẫu mới này nếu nó

khác với mẫu trước một lượng được quy định trước. Các mẫu này được gọi là các mẫu PCM không dự đoán được (hình 6.30a).



Hình 6.30. a) bộ phát SPEC; b) bộ thu SPEC

Một từ án định 64 bit cũng được phát đi cho 64 kênh. Logic 1 ở từ án định kênh kênh đối với một kênh có nghĩa là một mẫu mới đã được phát đi cho kênh này, ngược lại mức logic 0 có nghĩa là mẫu không thay đổi. Tại bộ thu, từ án định hoặc hướng dẫn mẫu mới (mẫu không dự báo được) vào đúng khe thời gian kênh hoặc dẫn đến việc tái tạo lại mẫu trước đó ở bộ giải mã kết cấu lại. Đầu ra của khôi giải mã kết cấu lại là tín hiệu ghép kênh PCM có tốc độ 4,096 Mbps, tín hiệu này được phân kênh vào các bộ giải mã PCM.

Bằng cách loại bỏ các mẫu tiếng dư thừa và các khoảng thời gian im lặng ra khỏi đường truyền dẫn, dung lượng kênh được tăng gấp đôi. Như thấy ở hình vẽ, truyền dẫn được thực hiện tại tốc độ 2,048 Mbps đối tốc độ đầu vào và đầu ra 4,096 Mbps.

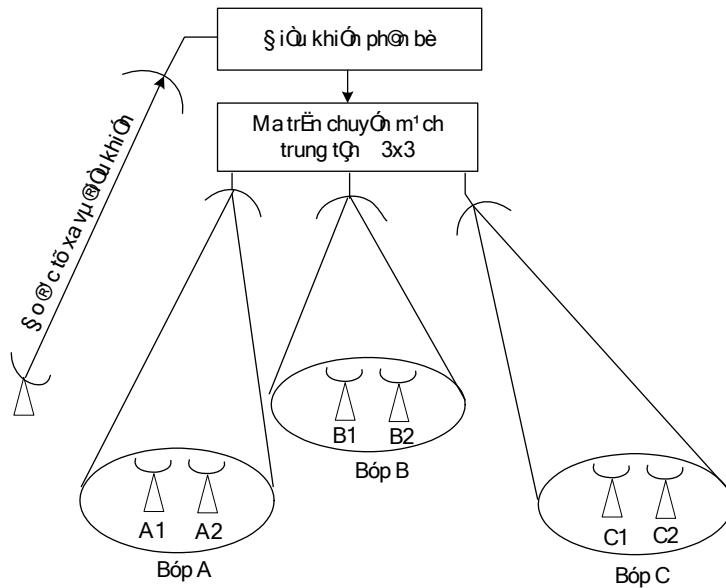
Ưu điểm của SPEC so với DSI là không xảy ra freeze out khi quá tải. Khi quá tải có thể không có các giá trị mẫu cần thay đổi. Tất nhiên điều này dẫn đến lượng tử hóa thấp hơn và tăng tạm âm lượng tử. Tuy nhiên ảnh hưởng của tăng nhiều lượng tử lên thính giác vẫn dễ chịu hơn freeze out.

#### d) TDMA chuyển mạch vệ tinh

Có thể nâng cao hiệu suất sử dụng các vệ tinh trên quỹ đạo địa tĩnh bằng cách sử dụng các búp anten hẹp. Việc sử dụng các búp anten hẹp được gọi là **ghép kênh phân chia theo không gian**. Để cải thiện hơn nữa ta có thể thực hiện chuyển mạch kết nối giữa các anten

đồng bộ với tốc độ khung TDMA, phương pháp này được gọi là **TDMA chuyển mạch vệ tinh (SS/TDMA)**.

Hình 6.31 cho thấy sơ đồ đơn giản của khái niệm SS/TDMA. Ba búp anten được sử dụng, mỗi búp phục vụ hai trạm mặt đất. Ma trận chuyển mạch vệ tinh  $3 \times 3$  được sử dụng. Đây là phần tử quan trọng cho phép thực hiện kết nối giữa các anten bằng cách chuyển mạch. Chế độ chuyển mạch là tổ chức kết nối toàn bộ. Với ba búp ta cần 6 chế độ để đạt được kết nối toàn bộ (bảng 6.2).



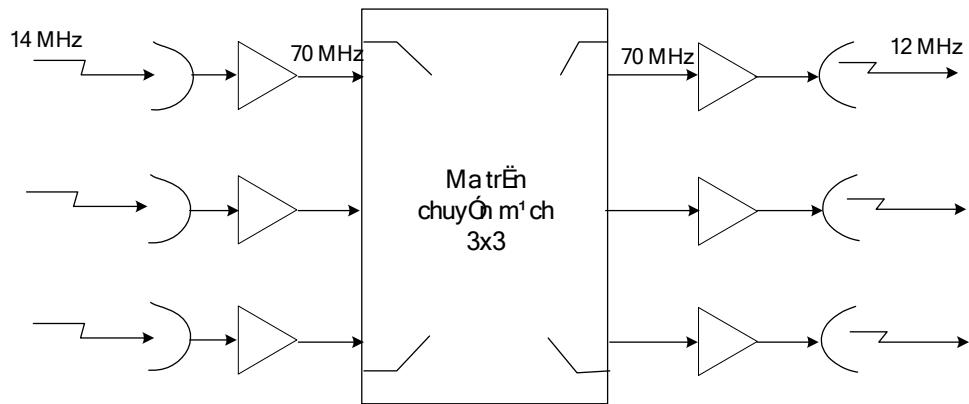
Hình 6.31. Chuyển mạch vệ tinh với ba búp hép

Bảng 6.5. Các chế độ chuyển mạch

Đầu vào	Đầu ra					
	Chế độ 1	Chế độ 2	Chế độ 3	Chế độ 4	Chế độ 5	Chế độ 6
A	A	A	B	C	B	C
B	B	C	A	A	C	B
C	C	B	C	B	A	A

Tổng quát với  $N$  búp ta có  $N!$  chế độ để kết nối toàn bộ. Kết nối toàn bộ có nghĩa là các tín hiệu được mang trong từng búp được chuyển đến từng búp trong số các búp khác tại một thời điểm trong chuỗi chuyển mạch. Điều này bao gồm cả kết nối ngược trong đó các tín hiệu được phát trở về theo cùng một búp để thông tin giữa các trạm với nhau trong cùng một búp. Tất nhiên tần số đường lên và đường xuống phải khác nhau.

Do có sự phân cách búp sóng, nên một tần số có thể được sử dụng cho tất cả các đường lên và một tần số khác có thể được sử dụng cho tất cả các đường xuống (chẳng hạn 14 và 12 GHz trong băng Ku). Để đơn giản thiết kế chuyển mạch, chuyển mạch được thực hiện ở trung tần chung cho cả đường lên và đường xuống. Sơ đồ khái cơ sở cho hệ thống  $3 \times 3$  được cho ở hình 6.32.



Hình 6.32. Ma trận chuyển mạch các đường truyền vô tuyến

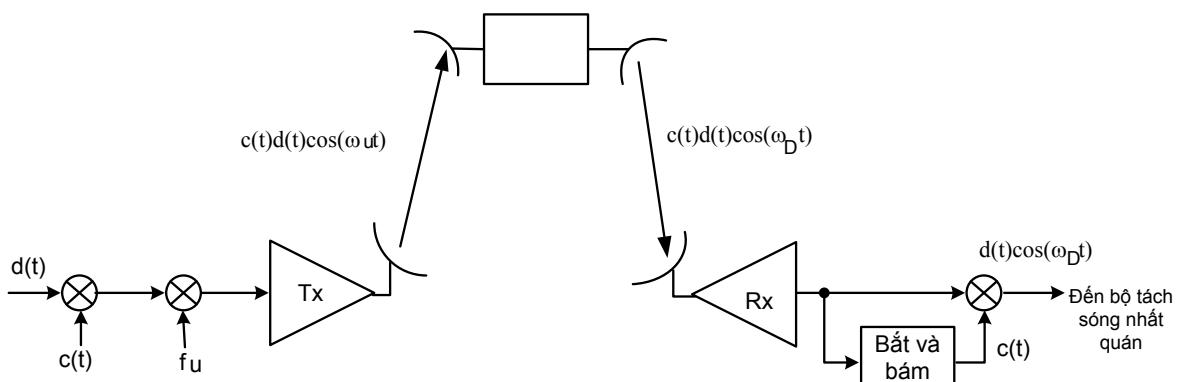
Mẫu chế độ là một chuỗi lặp của các chế độ chuyển mạch vệ tinh và được gọi là các khung SS/TDMA. Các khung SS/TDMA liên tiếp không nhất thiết phải giống nhau vì thường có một độ dư thừa nhất định giữa các chế độ. Chẳng hạn ở bảng 6.5, búp A kết nối với búp B ở chế độ 3 và chế độ 5 và vì thế không cần thiết phát tất cả các chế độ trong mỗi khung SS/TDMA. Tuy nhiên để kết nối toàn bộ, mẫu chế độ phải chứa tất cả các chế độ.

Tất cả các trạm trong một búp, sẽ thu tất cả các khung TDM được phát trong búp đường xuống mỗi khung. Mỗi khung là một khung TDMA bình thường bao gồm các cụm cần chuyển đến các trạm khác nhau. Như đã nói ở trên các khung liên tiếp có thể xuất phát từ các trạm phát khác nhau và vì thế có các khuôn dạng cụm khác nhau. Trạm thu trong búp khôi phục lại các cụm gửi cho nó theo từng khung.

#### 6.4.3. CDMA

##### 6.4.3.1. Sơ đồ hệ thống thông tin vệ tinh CDMA

Với CDMA các sóng mang khác nhau có thể cùng tần số nhưng mỗi sóng mang phải có một mã duy nhất để có thể phân biệt với các sóng mang khác. Hình 6.33 cho thấy sơ đồ thông tin di động CDMA cơ sở sử dụng trai phổ trực tiếp và điều chế BPSK.

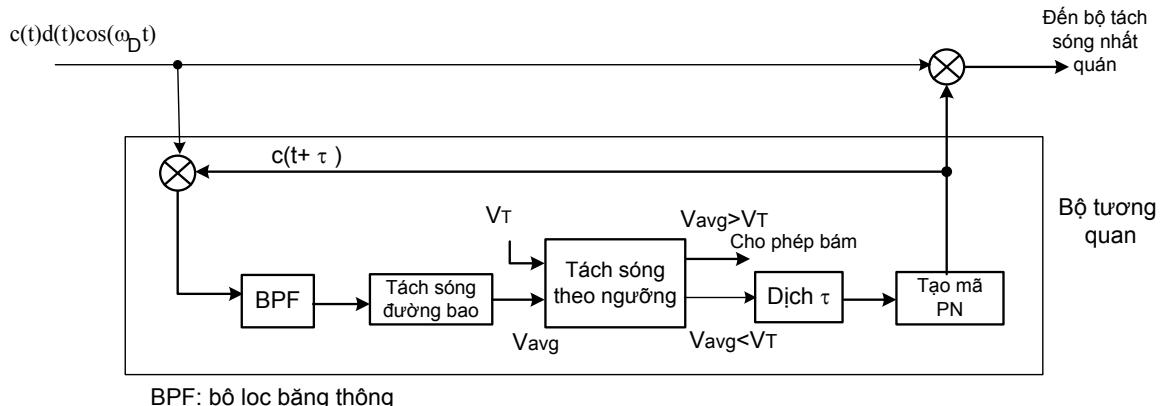


Hình 6.33. Hệ thống thông tin vệ tinh CDMA cơ sở

Từ hình 6.33 ta thấy luồng số nhị phân lưỡng cực  $d(t)$  được nhân với chuỗi trai phổ trực tiếp  $c(t)$  (bằng bộ điều chế cân bằng). Tích nhận được được đưa đến bộ nhân trên cơ sở bộ điều chế cân bằng thứ hai. Đầu ra ta được tín hiệu BPSK với sóng mang  $f_u$ . Sau khuyếch đại

Tín hiệu  $c(t)d(t)\cos(\omega_D t)$  được phát đến bộ phát đáp vệ tinh. Bộ phát đáp vệ tinh khuếch đại và chuyển đổi sóng mang vào tần số đường xuống  $f_D$ . Tại máy thu sau khi được khuếch đại tại Rx, đầu ra của bộ bắt và bám mã ta nhận được mã trai phỏ  $c(t)$  đồng bộ với phía phát. Mã này được nhân với tín hiệu thu (bằng bộ điều chế cân bằng), đầu ra ta được tín hiệu BPSK không trai phỏ  $d(t)\cos(\omega_D t)$ . Tín hiệu này được đưa lên bộ tách sóng nhất quán để nhận được luồng  $d(t)$  phát.

Sơ đồ bắt mã được cho trên hình 6.34.

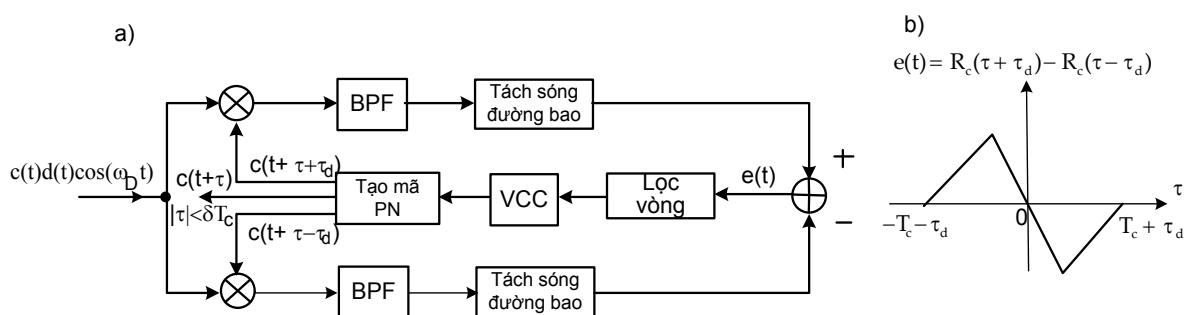


Hình 6.34. Sơ đồ bắt mã trong hệ thống thông tin vệ tinh CDMA.

Hoạt động của sơ đồ bắt mã trên hình 6.34 như sau. Sau bộ nhân thứ nhất ta được:

$$e(t) = c(t)c(t-\tau)d(t)\cos\omega_D t \quad (6.33)$$

Bộ lọc băng thông và tách sóng đường bao cho phép lấy ra đường bao của  $e(t)$  lý lệ với tích  $c(t)c(t-\tau)$ . Tích này chính là hàm tự tương quan của  $c(t)$ . Khi nó nhỏ hơn một giá trị ngưỡng ( $V_{avg} < V_T$ ) quy định trước, bộ dịch  $\tau$  sẽ tăng hoặc giảm  $\tau$  từng nấc để đạt được tự tương quan cao hơn. Khi tương quan lớn hơn ngưỡng ( $V_{avg} > V_T$ ) sơ đồ sẽ chuyển sang chế độ bám. Hình 6.35a cho thấy sơ đồ bám vòng khóa trễ. Vì mạch bắt mã đã đưa hiệu số trễ vào dài  $\delta T_c$ , nên  $|\tau| < \delta T_c$ . Mã PN sớm:  $c(t+\tau+\tau_d)$  và muộn  $c(t+\tau-\tau_d)$  với  $\tau_d$  là một giá trị cố định được trộn với tín hiệu vào sau đó được đưa lên nhánh tương quan trên và dưới để được các hàm tương quan sau:  $R_c(\tau+\tau_d)$  và  $R_c(\tau-\tau_d)$ . Sau bộ cộng ta được đặc tuyến lỗi  $e(t)$  trên như trên hình 6.35b. Trường hợp  $\tau=0$  lỗi băng không, trường hợp  $\tau \neq 0$ ,  $e(t)$  khác không. Qua bộ lọc vòng điện áp lỗi này sẽ điều chỉnh cho đồng hồ khóa pha bằng điện áp (VCC) để chỉnh  $\tau=0$ .



Hình 6.35. a) Vòng khóa trễ pha; b) đặc tuyến lỗi

#### 6.4.3.2. Thông lượng CDMA

Nếu bỏ qua tạp âm máy thu, coi rằng nhiễu đồng kênh từ có dạng tạp âm trắng và công suất thu được từ tất cả các kênh đều bằng nhau và bằng  $P_r$ , ta có thể biểu diễn tỷ số tín hiệu trên nhiễu như sau đối với tổng số kênh K:

$$\frac{E_b}{I_0} = \frac{P_r / R_b}{(K-1)P_r / B} = G_p \frac{(1+\alpha)}{(K-1)} \quad (6.34)$$

trong đó  $G_p$  là độ lợi xử lý,  $\alpha$  là thừa số dốc của bộ lọc.

Giải phương trình (6.14) cho K ta được:

$$K = 1 + (1+\alpha)G_p \frac{I_0}{E_p} \quad (6.35)$$

### 6.5. Tổng kết

Chương này trước hết xét tổng quan các quỹ đạo vệ tinh được sử dụng trong các hệ thống thông tin vệ tinh, phân bổ tần số cho các hệ thống thông tin và các hệ thống thông tin vệ tinh nổi tiếng trên thế. Các định luật Kepler mô tả sự chuyển động của hành tinh đã được áp dụng để mô tả quỹ đạo của vệ tinh bay quanh trái đất. Định luật thứ nhất cho thấy tổng quát quỹ đạo của vệ tinh là một hình elip, trường hợp đặc biệt nó là đường tròn. Định luật thứ hai chỉ ra rằng từ trái đất ta nhìn thấy vệ tinh lâu nhất tại những điểm mà vệ tinh cách xa trái đất nhất và vì thế trên đoạn quỹ đạo này ta có thể duy trì thông tin lâu nhất với vệ tinh. Định luật thứ ba cho phép ta xác định bán trực chính của quỹ đạo vệ tinh dựa trên chu kỳ quay của vệ tinh xung quang trái đất. Chương này cũng xét các thuật ngữ thông dụng đối với vệ tinh.. Vì tại quỹ đạo địa tĩnh vị trí tương đối của vệ tinh không thay đổi so với mặt đất, nên quỹ đạo địa tĩnh là quỹ đạo được sử dụng nhiều nhất cho thông tin vệ tinh. Chương này đã xét các công thức cho phép tính toán vị trí của vệ tinh so với trạm mặt đất hay góc nhìn vệ tinh từ anten mặt đất. Ba thông số được xác định trong chương này cho vệ tinh bay trên quỹ đạo địa tĩnh là góc phuong vị, khoảng cách từ trạm mặt đất đến vệ tinh và góc ngang. Đây là các thông số cần thiết để thiết kế một đường truyền vệ tinh.

Chương này cũng đã xét các công nghệ đa truy nhập khác nhau sử dụng trong thông tin vệ tinh như FDMA, TDMA và CDMA. Hiện nay hai công nghệ FDMA và TDMA đang được sử dụng phổ biến. Trong tương lai công nghệ CDMA sẽ được áp dụng ngày càng phổ biến. Công nghệ CDMA có một số ưu điểm sau:

1. Do búp sóng của các anten VSAT khá rộng nên dễ bị nhiễu bởi các vệ tinh lân cận. Thuộc tính trải phổ của CDMA cho phép loại nhiễu này
2. Có thể tránh được nhiều đường nếu trễ tín hiệu phản xạ lớn hơn chu kỳ chip và máy thu khóa đến sóng trực tiếp
3. Không như TDMA, CDMA không đòi hỏi đồng bộ giữa các trạm trong hệ thống. Điều này có nghĩa rằng một trạm có thể truy nhập hệ thống tại mọi thời điểm

4. Khi tăng thêm kênh cho lưu lượng nếu  $E_b/N_0$  giảm ở mức độ chấp thuận, hệ thống vẫn hoạt động.

## Câu hỏi chương 6

1. Trình bày các quỹ đạo được sử dụng trong thông tin vệ tinh
2. Trình bày phân bổ tần số trong thông tin vệ tinh
3. Trình bày các vệ tinh INTELSAT và các dịch vụ do chúng cung cấp
4. Trình bày các vệ tinh DOMSAT và các dịch vụ do chúng cung cấp
5. Trình bày các hệ thống thông tin di động vệ tinh sử dụng quỹ đạo GSO
6. Trình bày cấu trúc chung của hệ thống thông tin LEO/MEO
7. Trình bày các thông số chính của các hệ thống thông tin di động vệ tinh LEO
8. Trình bày ba định luật Keppler
9. Trình bày các thuật ngữ liên quan đến quỹ đạo vệ tinh
10. Trình bày các phần tử của quỹ đạo vệ tinh
11. Trình bày các lực nhiễu đối với vệ tinh
12. Một vệ tinh địa tĩnh được đặt tại kinh độ  $90^{\circ}\text{W}$ . Anten trạm mặt đất được đặt tại vĩ độ  $35^{\circ}\text{N}$  và kinh độ  $100^{\circ}\text{W}$ . Góc phương vị là giá trị nào dưới đây?  
(a)  $162,9^{\circ}$ ; (b)  $170,9^{\circ}$ ; (c)  $180,9^{\circ}$   
Khoảng cách từ trạm mặt đất đến vệ tinh là giá trị nào dưới đây?  
(a) 36215 km; (b) 37215 km; (c) 38215 km; (d) 39215 km  
Góc ngang an ten mặt đất là giá trị nào dưới đây?  
(a)  $40^{\circ}$ ; (b)  $45^{\circ}$ ; (c)  $48^{\circ}$ ; (d)  $52^{\circ}$
13. Một trạm mặt đất đặt tại vĩ độ  $35^{\circ}\text{N}$  và kinh độ  $70^{\circ}\text{W}$  liên lạc với trạm mặt đất khác cùng kinh độ tại vĩ độ  $35^{\circ}\text{S}$ . Vệ tinh địa tĩnh có kinh độ  $25^{\circ}\text{W}$ .  
Góc phương vị trạm thứ nhất là giá trị nào dưới đây?  
(a)  $120^{\circ}$ ; (b)  $130^{\circ}$ ; (c)  $135^{\circ}$ ; (d)  $140^{\circ}$   
Góc phương vị trạm mặt đất thứ hai là giá trị nào dưới đây?  
(a)  $60^{\circ}$ ; (b)  $80^{\circ}$ ; (c)  $90^{\circ}$ ; (d)  $100^{\circ}$
14. (tiếp). Số liệu như bài 6.  
Khoảng cách từ trạm mặt đất thứ nhất đến vệ tinh là giá trị nào dưới đây?  
(a) 37822,3 km; (b) 38822,3 km; (c) 39822,3 km; (d) 39922,3 km  
Khoảng cách từ trạm mặt đất thứ hai đến vệ tinh là giá trị nào dưới đây?  
(a) 37822,3 km; (b) 38822,3 km; (c) 39822,3 km; (d) 39922,3 km
15. (tiếp). Số liệu như bài 6.  
Góc ngang trạm mặt đất thứ nhất đến vệ tinh là giá trị nào dưới đây?  
(a)  $27,7^{\circ}$ ; (b)  $29^{\circ}$ ; (c)  $30^{\circ}$ ; (d)  $31^{\circ}$   
Góc ngang trạm mặt đất thứ hai đến vệ tinh là giá trị nào dưới đây?  
(a)  $27,7^{\circ}$ ; (b)  $29^{\circ}$ ; (c)  $30^{\circ}$ ; (d)  $31^{\circ}$
16. Một trạm mặt đất đặt tại vĩ độ  $40^{\circ}\text{N}$  và kinh độ  $100^{\circ}\text{W}$  liên lạc với trạm mặt đất khác cùng kinh độ tại vĩ độ  $40^{\circ}\text{S}$ . Vệ tinh địa tĩnh đặt tại  $70^{\circ}\text{W}$ .  
Góc phương vị trạm thứ nhất là giá trị nào dưới đây?  
(a)  $138,07^{\circ}$ ; (b)  $148,07^{\circ}$ ; (c)  $150,9^{\circ}$ ; (d)  $155^{\circ}$   
Góc phương vị trạm mặt đất thứ hai là giá trị nào dưới đây?

- (a)  $30,93^0$ ; (b)  $41,93^0$ ; (c)  $43,93^0$ ; (d)  $53,93^0$
17. (tiếp). Số liệu như bài 9.  
Khoảng cách từ trạm mặt đất thứ nhất đến vệ tinh là giá trị nào dưới đây?  
(a) 37235,3 km; (b) 38235,8km; (c) 39235,8 km; (d) 39235,3km  
Khoảng cách từ trạm mặt đất thứ hai đến vệ tinh là giá trị nào dưới đây?  
(a) 37235,3 km; (b) 38235,8km; (c) 39235,8 km; (d) 39235,3km
18. (tiếp). Số liệu như bài 9.  
Góc ngẳng trạm mặt đất thứ nhất đến vệ tinh là giá trị nào dưới đây?  
(a)  $27,4^0$ ; (b)  $29,4^0$ ; (c)  $34,4^0$ ; (d)  $36^0$   
Góc ngẳng trạm mặt đất thứ hai đến vệ tinh là giá trị nào dưới đây?  
(a)  $27,4^0$ ; (b)  $29,4^0$ ; (c)  $34,4^0$ ; (d)  $36^0$
19. Xác định giới hạn tầm nhìn của một trạm mặt đất đặt ở độ cao mức nước biển trung bình tại vĩ độ  $48,72^0$  bắc và  $89,26^0$  tây. Coi rằng góc ngẳng tối thiểu là  $50^0$ .  
Giới hạn đông là giá trị nào dưới đây ( $\phi_E$ )?  
(a)  $-20^0$ ; (b)  $-30^0$ ; (c)  $-40^0$ ; (d)  $-50^0$   
Giới hạn tây là giá trị nào dưới đây( $\phi_E$ )?  
(a)  $-38^0$ ; (b)  $-48^0$ ; (c)  $-158^0$ ; (d)  $-168^0$
20. Giải thích sự khác nhau giữa đa truy nhập phân chia theo tần số và ghép kênh phân chia theo tần số
21. Giải thích ý nghĩa của SCPC (một kênh trên một sóng mang)
22. Trình bày nguyên lý hoạt động tổng quát của hệ thống thông tin vệ tinh TDMA. Chỉ ra quan hệ giữa tốc độ bit truyền dẫn và tốc độ bit vào
23. Giải thích chức năng của tiền tố trong cụm lưu lượng TDMA. Trình bày và so sánh các kênh được mang trong tiền tố với các kênh được mang trong cụm tham chuẩn.
24. Định nghĩa và giải thích hiệu suất khung liên quan đến khai thác TDMA.
25. Trong một mạng TDMA cụm tham chuẩn và tiền tố đòi hỏi 560 bit cho từng cụm, khoảng bảo vệ giữa các cụm là 120 bit. Giả sử có 8 cụm lưu lượng , một cụm tham chuẩn trên một khung và tổng chiều dài khung là 40800 bit, hãy tính hiệu suất khung.
26. (tiếp). Dữ liệu như bài 6. Giả sử khung dài 2ms và tốc độ bit kênh thoại là 64kbps. Hãy tính số kênh thoại tiêu chuẩn tương đương có thể được truyền bởi mạng TDMA
27. Giải thích vì sao chu kỳ khung trong hệ thống TDMA thường được chọn là số nguyên lần  $125 \mu s$
28. Một mạng TDMA sử dụng điều chế QPSK và sắp xếp các ký hiệu như sau: khe bảo vệ 32, khôi phục sóng mang và đồng hồ 180, từ mã cụm (từ duy nhất) 24, kênh nhận dạng trạm 8, kênh nghiệp vụ 32, kênh quản lý (chỉ có các cụm tham chuẩn) 12, kênh dịch vụ (là các cụm lưu lượng) 8. Tổng số ký hiệu trên khung là 115010 và khung gồm hai cụm tham chuẩn, 14 cụm lưu lượng. Chu kỳ khung 2ms. Đầu vào là các kênh PCM 64 kbps. Tính toán hiệu suất khung và số kênh thoại có thể truyền được.
29. TDMA có ưu điểm gì so với FDMA về mặt án định theo yêu cầu
30. Định nghĩa và giải thích thura số tích cực tải thoại và nội suy tiếng số. Ưu điểm của việc sử dụng thura số tích cực tải thoại để thực hiện nội suy tiếng số là gì?
31. Trình bày nguyên lý hoạt động của hệ thống truyền tin được mã hóa theo dự báo tiếng (SPEC) và so sánh nó với nội suy tiếng.

32. Xác định tốc độ bit có thể truyền qua một bộ phát đáp, coi rằng thừa số dốc bộ lọc là 0,2 và điều chế QPSK
33. Trình bày nguyên lý bắt và bám mã trong CDMA
34. Băng thông trungần của một hệ thống CDMA là 3MHz, thừa số dốc bộ lọc là 0,2. Tốc độ bit thông tin là 2Mbps và Eb/N0 yêu cầu cho từng kênh khi truy nhập hệ thống CDMA là 11 dB. Tính số kênh truy nhật được phép cực đại.

## CHƯƠNG 7

### THIẾT KẾ ĐƯỜNG TRUYỀN THÔNG TIN VỆ TINH

#### 7.1. Tốn hao đường truyền và công suất tín hiệu thu

##### 7.1.1. Truyền dẫn trong không gian tự do

Công suất thu được ở một anten với hệ số khuyếch đại  $G_r$  có thể biểu diễn như sau:

$$P_r = \frac{EIRP \cdot G_r}{L_p} \quad (7.1)$$

trong đó:  $EIRP = P_t G_t$  là công suất phát xạ tương đương của anten đẳng hướng,  $EIRP$  thường được biểu diễn ở  $dBW$ , giả sử  $P_t$  được đo bằng  $W$  thì:

$$EIRP = P_t + G_t, \text{ dBW} \quad (7.2)$$

$P_t$  là công suất phát,  $G_t$  là hệ số khuyếch đại của anten phát,  $G_r$  là hệ số khuyếch đại anten thu.  $L_s$  là tổn hao đường truyền.

Đối với anten parabol, hệ số khuếch đại anten thường được tính theo công thức sau:

$$G = \eta (10,472 f D)^2 \quad (7.3)$$

trong đó  $f$  là tần số sóng mang [GHz],  $D$  là đường kính gương phản xạ [m] và  $\eta$  là hiệu suất mặt mỏ. Thông thường  $\eta = 0,55-0,73$ .

Trong không gian tự do tổn hao đường truyền được xác định như sau được xác định như sau:

$$FSL = \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2} \quad (7.4)$$

trong đó:  $d$  là khoảng cách giữa anten phát và anten thu,  $\lambda$  là bước sóng.

Từ phương trình (7.4) ta có thể biểu diễn công suất thu như sau:

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2} = \frac{EIRP G_r}{FSL} \quad (7.5)$$

Ở dạng  $dB$  phương trình (7.5) có thể được biểu diễn như sau:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - FSL = EIRP + G_r - FSL, \text{ dBW} \quad (7.6)$$

trong đó:  $EIRP$  là công suất phát đẳng hướng tương đương,  $FSL = 10 \lg \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2}$  là suy hao

trong không gian tự do, thường được xác định ở  $dB$  như sau:

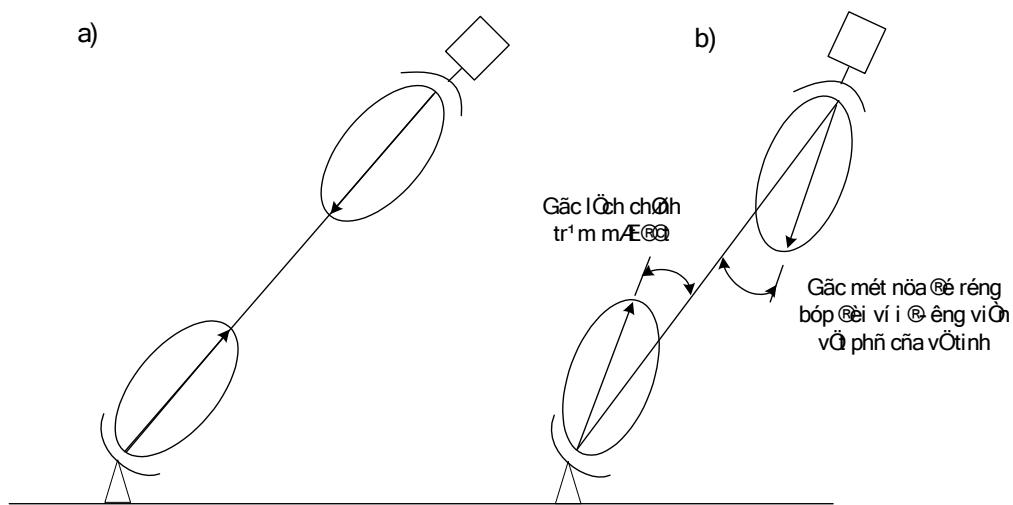
$$FSL = 92,5 + 20\lg f[\text{GHz}] + 20\lg d [\text{km}], \text{dB} \quad (7.7)$$

hay:

$$FSL = 32,5 + 20\lg f[\text{MHz}] + 20\lg d [\text{km}], \text{dB} \quad (7.8)$$

### 7.1.2. Tồn hao do mất đồng chỉnh anten

Khi thiết lập một đường truyền vệ tinh, lý tưởng phải đạt được đồng chỉnh các anten trạm mặt đất và vệ tinh để đạt được độ khuỷu chêch đại cao nhất (hình 7.1a).



Hình 7.1. a) Các anten trạm mặt đất và vệ tinh được đồng chỉnh để đạt được khuỷu chêch đại cao nhất; b) trạm mặt đất nằm ở một "vết phủ" của vệ tinh và anten trạm mặt đất không được đồng chỉnh

Có thể xảy ra hai nguyên nhân tồn hao lệch trực, một xảy ra tại vệ tinh và nguyên nhân thứ hai xảy ra tại trạm mặt đất (hình 7.1b). Tồn hao lệch trực tại vệ tinh được xét tới khi thiết kế đường truyền hoạt động ở đường viền của anten vệ tinh thực tế. Tồn hao lệch trực ở trạm mặt đất được gọi là **tồn hao định hướng anten**. Tồn hao định hướng anten thường xảy ra vài phần mười dB.

Ngoài tồn hao định hướng, có thể xảy ra tồn hao do mất đồng chỉnh hướng phân cực. Tồn hao mất đồng chỉnh phân cực thường nhỏ và ta sẽ coi rằng các tồn hao do mất đồng chỉnh anten (ký hiệu là AML) gồm: cả tồn hao định hướng và tồn hao phân cực gây ra do mất đồng chỉnh. Cần lưu ý rằng các tồn hao mất đồng chỉnh anten phải được đánh giá từ các số liệu thống kê trên cơ sở sai lỗi được quan sát thực tế cho một khối lượng lớn các trạm mặt đất.

### 7.1.3. Tồn hao khí quyển và điện ly

Hấp thụ của khí trong khí quyển là nguyên nhân gây ra tồn hao khí quyển. Các tồn hao này thường vào khoảng vài phần của dB (ký hiệu là AA). Tầng điện ly gây ra dịch phân cực sóng điện từ dẫn đến tồn hao lệch phân cực (ký hiệu là PL).

## 7.2. Phương trình quỹ đường truyền

Tổng tổn hao đường truyền  $L_p$  khi trời quang đãng được xác định theo công thức sau:

$$L_p = FSL + RFL + AML + AA + PL, \text{ dB} \quad (7.9)$$

Phương trình cho công suất thu ở dB như sau:

$$P_r = EIRP + G_R - L_p$$

trong đó:  $P_r$  là công suất thu [dBW], EIRP là công suất phát xạ đãng hướng tương đương [dBW], FSL là tổn hao trong không gian tự do [dB]; RFL là tổn hao phidơ máy thu [dB]; AML là tổn hao mất đồng chỉnh anten [dB]; AA là tổn hao hấp thụ khí quyển [dB]; PL là tổn hao lệch phân cực [dB].

### 7.3. Công suất tạp âm nhiệt

Công suất tín hiệu thu trong một đường truyền vệ tinh thường rất nhỏ, vào khoảng picowat. Công suất này sẽ được máy thu khuếch đại đến công suất đủ lớn. Tuy nhiên do luôn luôn có tạp âm ở đầu vào máy thu nên nếu tín hiệu thu không đủ lớn hơn tạp âm, khuếch đại sẽ không có tác dụng vì nó khuếch đại cả tạp âm. Tình trạng này còn trở nên tồi tệ hơn vì chính bộ khuếch đại cũng bổ sung thêm tạp âm.

Trong thiết bị tạp âm nhiệt gây ra do chuyển động nhiệt của các điện tử trong các vật dẫn. Nó được tạo ra ở các phần tử ghép có tổn hao giữa anten với máy thu và ở các tầng đầu của máy thu. Mật độ phổ công suất tạp âm nhiệt không đổi ở tất cả các tần số thấp hơn  $10^{12}$  Hz, vì thế được gọi là tạp âm trắng. Quá trình tạp âm nhiệt ở máy thu được mô hình hóa bằng quá trình tạp âm trắng Gauss cộng (AWGN: additive white Gauss noise) và được biểu thị bằng công suất tạp âm cực đại có thể có ở đầu vào bộ khuếch đại như sau:

$$N = kT\Delta f, \text{ W} \quad (7.10)$$

trong đó  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ W Hz}^{-1} \text{ K}^{-1}$  là hằng số Bonzman;  $T$  là nhiệt độ tạp âm đo bằng Kelvin và  $\Delta f$  là băng thông kênh.

Mật độ phổ công suất tạp âm (PSD) đơn biên trong trường hợp này được xác định như sau:

$$N_0 = \frac{N}{\Delta f} = kT, \text{ W/Hz} \quad (7.11)$$

#### 7.3.1. Tạp âm anten

Các anten thu đưa tạp âm vào các đường truyền vệ tinh. Như vậy tạp âm do các anten vệ tinh và anten trạm mặt đất đưa vào. Mặc dù nguyên nhân vật lý như nhau, nhưng mức độ ảnh hưởng rất khác nhau.

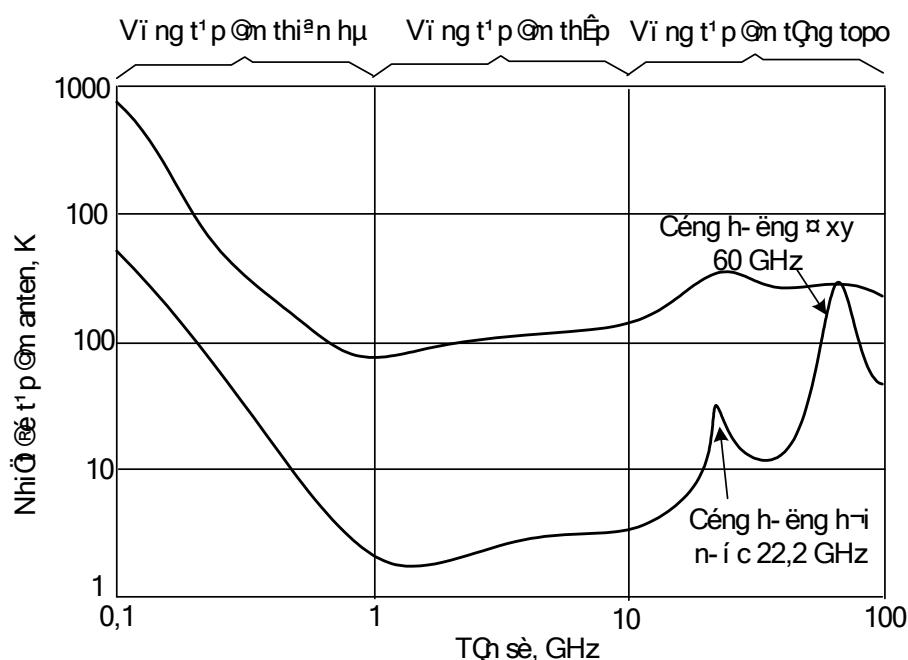
Có thể phân chia tạp âm do anten đưa vào thành hai nhóm: tạp âm xuất sứ từ tổn hao anten và tạp âm bầu trời. Tạp âm bầu trời là thuật ngữ để miêu tả phát xạ vi ba từ vũ trụ do các phần tử được làm nóng trong vũ trụ gây ra. Sự phát xạ này trong thực tế bao phủ phổ rộng hơn phổ vi ba. Nhiệt độ tạp âm tương đương của bầu trời nhìn từ anten mặt đất

được cho ở hình 7.2. Đồ thị phía dưới dành cho anten hướng thẳng đỉnh đầu (thiên đỉnh) còn đồ thị cao hơn dành cho anten hướng ngay trên đường chân trời. Sự tăng nhiệt độ tạp âm trong trường hợp thứ hai là do sự phát xạ nhiệt của trái đất và đây là lý do thiết lập giới hạn dưới của góc ngang anten bằng  $5^{\circ}$  ở băng C và  $10^{\circ}$  ở băng Ku.

Các đồ thị cho thấy tại đầu tần số thấp của phổ, tạp âm giảm khi tăng tần số. Khi anten hướng thiên đỉnh, nhiệt độ tạp âm giảm xuống còn 3 K tại các tần số nằm trong khoảng từ 1 đến 10 GHz. Phía trên 10 GHz có hai đỉnh nhiệt độ.

Mọi cơ chế tồn hao hấp thụ đều tạo ra tạp âm nhiệt vì tồn tại liên quan trực tiếp giữa tồn hao và tạp âm nhiệt. Mưa đưa vào tồn hao và vì thế gây ra giảm cấp theo hai cách: giảm tín hiệu và đưa vào tạp âm. Ảnh hưởng của mưa ở băng Ku tồi tệ hơn nhiều so với ở băng C.

Hình 7.2 áp dụng cho các anten mặt đất. Các anten vệ tinh thông thường hướng xuống mặt đất và vì thế chúng thu phát xạ nhiệt từ mặt đất. Trong trường hợp này nhiệt độ tạp âm nhiệt tương đương của anten ngoại trừ các tồn hao của anten vào khoảng  $290^{\circ}\text{K}$ .



Hình 7.2. Nhiệt độ tạp âm không thể giảm được của một anten mặt đất. Anten được coi rằng có búp rất hẹp và không có các búp bên hoặc tồn hao điện. Dưới 1GHz giá trị cực đại xảy ra đối với búp hướng đến các cực thiên hà. Tại các tần số cao hơn các giá trị cực đại xảy ra đối với búp ngay sát đường chân trời và các giá trị cực tiểu xảy ra đối với búp thiên đỉnh. Vùng tạp âm thấp giữa 1 và 10 GHz tốt nhất cho áp dụng các anten tạp âm thấp.

Các tồn hao anten cộng với tạp âm thu từ phát xạ và tổng nhiệt độ tạp âm anten này là tổng của tạp âm tương đương của tất cả các nguồn trên. Đối với các anten băng C mặt đất, thông thường tổng nhiệt độ tạp âm anten vào khoảng 60K và đối với băng Ku vào khoảng 80 K trong điều kiện bầu trời quang đãng. Tất nhiên không thể áp dụng các giá trị này cho

các trường hợp đặc biệt và chúng được dẫn ra ở đây chỉ để cho ta một khái niệm về các đại lượng có thể có.

### 7.3.2. Hệ số tạp âm và nhiệt độ tạp âm

#### 7.3.2.1. Hệ số tạp âm

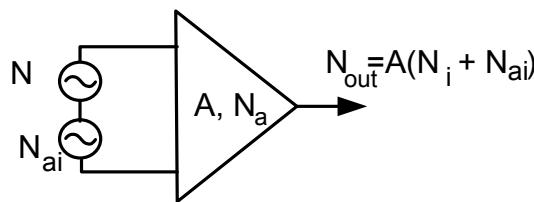
Hệ số tạp âm được định nghĩa là tỷ số giữa tỷ số tín hiệu trên tạp âm ở đầu vào với tỷ số này ở đầu ra phần tử thu như sau:

$$NF = \frac{SNR_{in}}{SNR_{out}} \quad (7.12)$$

Hệ số tạp âm của máy thu chủ yếu được xác định bởi các tầng đầu của máy thu. Ở hình 7.3 tạp âm gây ra do bộ khuếch đại của máy thu được quy đổi thành tạp âm đầu vào máy thu và được ký hiệu là  $N_{ai}$ . Từ hình 7.3 ta có thể viết lại công thức (10.12) như sau:

$$NF = \frac{P_r / N_i}{AP_r / A(N_i + N_{ai})} = 1 + \frac{N_{ai}}{N_i} \quad (7.13)$$

trong đó:  $P_r$  là công suất thu,  $A$  là khuếch đại của mạch gây tạp âm,  $N_i$  là tạp âm đầu vào và  $N_{ai}$  là tạp âm quy đổi đầu vào của phần tử gây tạp âm (xem hình 7.3).



Hình 7.3. Tạp âm quy đổi đầu vào

Để có thể áp dụng được  $NF$  ta phải sử dụng nguồn tạp âm tham khảo  $N_i$ . Như vậy hệ số tạp âm sẽ cho thấy thiết bị sẽ tạo ra tạp âm lớn hơn bao nhiêu lần tạp âm của nguồn tham khảo. Hệ số tạp âm có thể được xác định đối với nguồn tạp âm tham khảo ở nhiệt độ  $T = 290$  K. Khi này mật độ công suất tạp âm của nguồn tham khảo như sau:

$$N_0 = kT = 1,38 \times 10^{-23} \times 290 = 4 \times 10^{-21} \text{W/Hz} \quad (7.14)$$

hay ở dB là:

$$N_0 = -204 \text{ dBW/Hz} \quad (7.15)$$

#### 7.3.2.2. Nhiệt độ tạp âm

Biên đổi phương trình (7.13) ta được:

$$N_{ai} = (NF-1)N_i \quad (7.16)$$

Nếu thay  $N_i = kT_i\Delta f$  và  $N_{ai} = kT_r\Delta f$ , trong đó  $T_i$  là nhiệt độ nguồn tham khảo còn  $T_r$  là nhiệt độ tạp âm hiệu dụng của máy thu, ta có thể viết:

$$kT_r \Delta f = (NF-1)kT_i \Delta f$$

$$T_r = (NF-1)T_i$$

Vì ta chọn  $T_i = 290$  K, nên:

$$T_r = (NF-1)290K \quad (7.17)$$

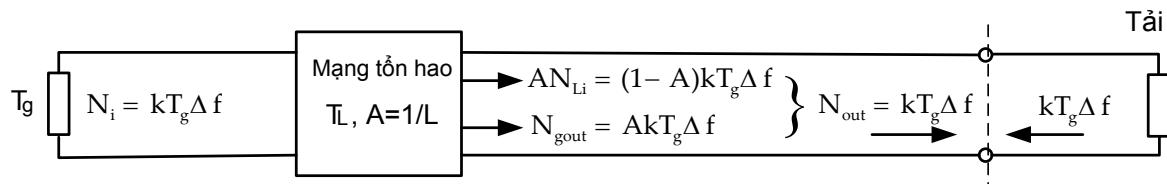
Phương trình (7.17) cho ta thấy rằng có thể mô hình hoá một bộ khuếch đại có tạp âm như nguồn tạp âm bổ sung (hình 7.3) hoạt động ở nhiệt độ tạp âm hiệu dụng  $T_r$ . Đối với các kết cuối là điện trở thuần tuý thì  $T_r$  không bao giờ thấp hơn nhiệt độ môi trường xung quanh trừ khi nó được làm nguội. Cần lưu ý rằng đối với các đầu cuối là điện kháng (chẳng hạn các bộ khuếch đại thông số không được làm nguội) hay các thiết bị có tạp âm nhỏ khác thì  $T_r$  có thể thấp hơn 290 K rất nhiều. Ta cũng có thể biểu diễn tạp âm đầu ra  $N_{out}$  của một bộ khuếch đại phụ thuộc vào nhiệt độ tạp âm hiệu dụng của nó như sau:

$$\begin{aligned} N_{out} &= AN_i + AN_{ai} \\ &= AkT_g\Delta f + AkT_r\Delta f = Ak(T_g + T_r)\Delta f \end{aligned} \quad (7.18)$$

trong đó  $T_g$  là nhiệt độ của nguồn.

### 7.3.2.3. Nhiệt độ tạp âm đường dẫn sóng

Đường dẫn sóng khác với bộ khuếch đại ở chỗ nó chỉ gây tổn hao và tạp âm. Ta xét một đường dẫn sóng chỉ có tổn hao ở hình 7.4.



Hình 7.4. Đường tổn hao: trở kháng và nhiệt độ được phối hợp cả hai đầu

Giả thiết đường này được phối hợp trở kháng tại nguồn và tải.  $L$  là tổn hao công suất được xác định như sau:

$$L = \frac{C_{ngsu} \hat{E}_{tvmo}}{C_{ngsu} \hat{E}_{tra}} \quad (7.19)$$

Vậy hệ số khuếch đại  $A=1/L$  (nhỏ hơn một). Giả sử nhiệt độ của tất cả các phần tử là  $T_g$ . Tổng công suất tạp âm đầu ra là:

$$N_{out} = kT_g\Delta f \quad (7.20)$$

vì đầu ra của mạng chỉ là thuần trở tại nhiệt độ  $T_g$ . Tổng công suất ngược về mạng phải cũng bằng  $N_{out}$  để đảm bảo cân bằng nhiệt. Nhắc lại rằng công suất tạp âm có thể  $kT_g\Delta f$  chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ, băng thông và phối hợp trở kháng. Có thể coi rằng  $N_{out}$  gồm hai thành phần,  $N_{go}$  và  $AN_{Li}$  như sau:

$$N_{out} = kT_g \Delta f = N_{gout} + AN_{Li} \quad (7.21)$$

trong đó:

$$N_{gout} = AkT_g \Delta f \quad (7.22)$$

là thành phần công suất tạp âm đầu ra do nguồn tạp âm gây ra và  $AN_{Li}$  là thành phần công suất tạp âm do mạng tổn hao gây ra, trong đó  $N_{Li}$  là tạp âm của mạng quy đổi đầu vào. Kết hợp hai phương trình (7.21), (7.22) ta có thể viết:

$$kT_g \Delta f = A kT_g \Delta f + AN_{Li} \quad (7.23)$$

Giải phương trình(7.23) trên để tìm  $N_{Li}$  ta được:

$$N_{Li} = \frac{1-A}{A} kT_g \Delta f = kT_L \Delta f \quad (7.24)$$

Vậy nhiệt độ tạp âm hiệu dụng của đường này sẽ là:

$$T_L = \frac{1-A}{A} T_g = (L-1) T_g \quad (7.25)$$

Chọn nhiệt độ tham khảo  $T_g = 290$  K, ta có thể viết:

$$T_L = (L-1) 290 \text{ K} \quad (7.26)$$

Sử dụng các phương trình (7.17) và (7.26), ta có thể biểu diễn hệ số tạp âm hiệu dụng của đường tổn hao như sau:

$$NF = 1 + \frac{T_L}{290} = L \quad (7.27)$$

#### 7.3.2.4. Nhiệt độ tạp âm của nối tầng

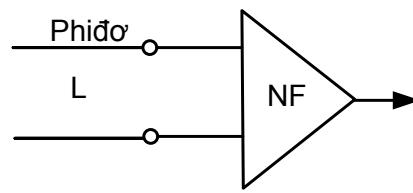
Từ giao trình cơ sở truyền dẫn vi ba số ta có thể viết hệ số tạp âm của m tầng nối tầng như sau

$$NF_{tol} = NF_1 + \frac{NF_2 - 1}{A_{p1}} + \frac{NF_3 - 1}{A_{p1}A_{p2}} + \dots + \frac{NF_m - 1}{A_{p1}A_{p2}\dots A_{m-1}} \quad (7.28)$$

Kết hợp phương trình (7.16) và (7.27) ta được tổng nhiệt độ tạp âm trong trường hợp này như sau:

$$T_{tol} = T_1 + \frac{T_2}{A_{p1}} + \frac{T_3}{A_{p1}A_{p2}} + \dots + \frac{T_m}{A_{p1}A_{p2}\dots A_{m-1}} \quad (7.29)$$

Hình 7.5 cho thấy một tổ chức mạch điện hình trong đó đường phiđơ tổn hao  $L$  được nối với bộ khuếch đại có hệ số tạp âm  $NF$ .



Hình 7.5. Nối phidơ với bộ khuếch đại

Áp dụng phương trình(7.26) và (7.27) cho trường hợp này ta được:

$$NF_{tol} = L + L(NF - 1) = LNF \quad (7.30)$$

vì hệ số tạp âm của phidơ là  $L$  và khuếch đại của nó là  $1/L$ .

Sử dụng phương trình (7.16) ta có thể viết:

$$T_{tol} = (LNF - 1)290 \text{ K} \quad (7.31)$$

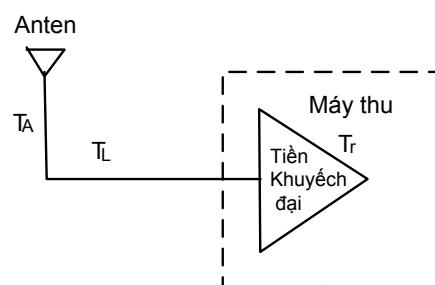
Ta cũng có thể viết nhiệt độ tổng của đường phi đơ và bộ khuếch đại như sau:

$$\begin{aligned} T_{tol} &= (LNF - L + L - 1)290 \text{ K} \\ &= [(L - 1) + L(NF - 1)]290 \text{ K} \\ &= T_L + LT_r \end{aligned} \quad (7.32)$$

Đối với các hệ thống thông tin trên mặt đất  $NF$  thường được sử dụng. Các hệ thống thông tin vệ tinh thường sử dụng khái niệm nhiệt độ tạp âm.

### 7.3.2.5. Nhiệt độ tạp âm hệ thống

Hình 7.6 cho thấy sơ đồ của một hệ thống chia các phần tử gây ảnh hưởng tạp âm nhất ở máy thu: anten, phidơ và bộ tiền khuếch đại.



Hình 7.6. Các phần tử chính gây tạp âm tại máy thu

Nhiệt độ tạp âm hệ thống là tổng nhiệt độ của tất cả các phần tử chính đóng góp vào tạp âm ở máy thu:

$$T_S = T_A + T_{tol} \quad (7.33)$$

trong đó  $T_A$  là nhiệt độ tạp âm của anten và  $T_{tol}$  là tổng nhiệt độ tạp âm của phidơ và bộ tiền khuếch đại.

Sử dụng phương trình (7.32) ta có thể viết lại phương trình (7.33) như sau:

$$T_S = T_A + T_L + LT_r \quad (7.34)$$

$$\begin{aligned}
 &= T_A + (L-1)290K + L(NF-1)290K \\
 &= T_A + (LNF-1)290K
 \end{aligned} \tag{7.35}$$

Nếu  $LNF$  được cho ở dB thì  $T_S$  có dạng:

$$T_S = T_A + (10^{LNF/10}-1)290K \tag{7.36}$$

#### 7.4. Tỉ số tín hiệu trên tạp âm

Ba thông số thường được sử dụng để đánh giá tỷ số tín hiệu trên tạp âm là: sóng mang trên tạp âm ( $C/N$  hay  $P_r/N$ ), sóng mang trên mật độ tạp âm ( $C/N_0$  hay  $P_r/N_0$ ) và năng lượng bit trên mật độ phô tạp âm ( $E_b/N_0$ ). Quan hệ giữa các thông số này như sau:

$$P_r/N_0 = (P_r/N) dB + 10\lg(\Delta f), \text{ dB.Hz} \tag{7.37}$$

$$E_b/N_0 = (P_r/N) dB - 10\lg(R_b/\Delta f), \text{ dB} \tag{7.38}$$

trong đó:  $P_r$  là công suất thu sóng mang ( $C$ ),  $R_b$  là tốc bit và  $E_b$  là năng lượng bit =  $P_r T_b = P_r / R_b$ ,  $\Delta f$  là độ rộng băng tần.

$C/N_0$  và  $E_b/N_0$  không phụ thuộc vào tần số thường được sử dụng để so sánh hiệu suất của các hệ thống khác nhau.  $C/N$  phụ thuộc vào độ rộng băng tần của một hệ thống cho trước (chẳng hạn bộ lọc máy thu).

Sử dụng phương trình (7.1) và (7.11) và ta có thể viết:

$$P_r/N_0 = EIRP + G_r/T - L_p - k, \text{ dB/Hz} \tag{7.39}$$

Lưu ý rằng hệ số khuếch đại anten thu và nhiệt độ tạp âm hệ thống được kết hợp chung thành một thông số và đôi khi tỷ số này được gọi là độ nhạy máy thu.

#### 7.5. Tỉ số tín hiệu trên tạp âm đường lên

##### 7.5.1. Công thức tổng quát

Đường lên trong đường truyền vệ tinh là đường phát từ trạm mặt đất đến vệ tinh. Ta có thể sử dụng phương trình (7.39) cho đường lên với ký hiệu  $U$  để biểu thị cho đường lên. Như vậy phương trình (7.39) có thể được viết lại cho đường lên như sau:

$$\left[ \frac{P_r}{N_0} \right]_U = EIRP_U + \left[ \frac{G}{T} \right]_U - [L_p]_U - k, \text{ dBHz} \tag{7.40}$$

Trong phương trình (7.40), các giá trị được sử dụng là EIRP của trạm mặt đất, tổn hao của phiđơ máy thu vệ tinh và  $G/T$  (thường được gọi là hệ số phẩm chất trạm) của máy thu vệ tinh. Tổn hao trong không gian tự do và các tổn hao khác phụ thuộc vào tần số được tính theo tần số của đường lên. Kết quả tính toán tỷ số sóng mang trên tạp âm theo phương trình (7.40) là tỷ số tại máy thu vệ tinh.

Khi cần sử dụng tỷ số sóng mang trên tạp âm chứ không phải tỷ số sóng mang trên mật độ tạp âm ta có thể sử dụng công thức sau:

$$\left[ \frac{P_t}{N} \right]_U = EIRP_U + \left[ \frac{G}{T} \right]_U - [L_P]_U - k - B, \text{ dBHz} \quad (7.41)$$

trong đó  $B$  là độ rộng băng tần tín hiệu được coi bằng độ rộng băng tần tạp âm  $B_N$ .

### 7.5.2. Mật độ thông lượng bão hoà

Bộ khuếch đại đèn sóng chạy (ký hiệu TWTA) trong bộ phát đáp vệ tinh bị bão hoà công suất đầu ra. Mật độ thông lượng cần thiết tại anten thu để tạo nên bão hoà TWTA được gọi là **mật độ thông lượng bão hoà**. Mật độ thông lượng bão hoà là một đại lượng được quy định khi tính toán quỹ đường truyền và biết được nó ta có thể tính toán EIRP cần thiết tại trạm mặt đất. Để hiểu được vấn đề này ta xét phương trình sau cho mật độ thông lượng tại anten thu:

$$\Psi_M = \frac{EIRP}{4\pi r^2} \quad (7.42)$$

Đây chính là thông lượng mà một bộ phát xạ đằng hướng có công suất bằng EIRP tạo ra tại một đơn vị diện tích cách nó  $r$ .

Ở dạng dB ta được:

$$\Psi_M = EIRP + 10 \lg \frac{1}{4\pi r^2} \quad (7.43)$$

Ta có tổn hao trong không gian tự do được xác định như sau:

$$FSL = 10 \lg \left( \frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2 = -10 \lg \frac{\lambda^2}{4\pi} - 10 \lg \frac{1}{4\pi r^2}$$

hay:

$$10 \lg \frac{1}{4\pi r^2} = -FSL - 10 \lg \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (7.44)$$

Thay phương trình (7.43) vào (7.42) ta được:

$$\Psi_M = EIRP - FSL - 10 \lg \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (7.45)$$

Thành phần  $\lambda^2/4\pi$  có kích thước của diện tích, trong thực tế nó là diện tích hiệu dụng của một anten đằng hướng. Ta ký hiệu nó là  $A_0$  như sau:

$$A_0 = 10 \lg \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (7.46)$$

Vì thông thường ta biết được tần số chứ không phải bước sóng nên ta có thể viết lại phương trình (7.46) theo tần số ở GHz như sau:

$$A_0 = -(21,45 + 20 \lg f) \quad (7.47)$$

Kết hợp phương trình (7.46) với (7.45) ta được:

$$EIRP = \Psi_M + A_0 + FSL, \text{ dBW} \quad (7.48)$$

Phương trình (7.48) được rút ra trên cơ sở là chỉ có tổn hao không gian tự do (ký hiệu là FSL), nên nếu xét đến cả các tổn hao khác như: hấp thu khí quyển (AA), lệch phân cực (PL), lệch đồng chỉnh anten và tổn hao đấu nối cùng với phiđơ thu (RFL), ta có thể viết lại nó như sau:

$$EIRP = \Psi_M + A_0 + L_P - RFL, \text{ dBW} \quad (7.49)$$

trong đó:  $L_P = FSL + AA + PL + AML$

Đây là phương trình cho điều kiện bầu trời quang và nó xác định giá trị EIRP cực tiêu mà trạm mặt đất phải đảm bảo để tạo ra mật độ thông lượng cần thiết tại vệ tinh. Thông thường, mật độ thông lượng bão hòa được quy định, khi này phương trình (7.49) có dạng:

$$EIRP_{S,U} = \Psi_S + A_0 + L_{P,U} - RFL, \text{ dBW} \quad (7.50)$$

trong đó  $S$  ký hiệu cho bão hoà còn  $U$  ký hiệu cho đường lên.

### 7.5.3. Độ lùi đầu vào

Khi nhiều sóng mang được đưa vào cùng một bộ khuếch đại sử dụng đèn sóng chạy, điểm công tác phải được đặt lùi đến phần tuyến tính của đặc tuyến truyền đạt để giảm ảnh hưởng do méo điều chế giao thoa. Hoạt động nhiều sóng mang này xảy ra ở FDMA. Trong trường hợp này EIRP trạm mặt đất phải giảm đi một lượng gọi là độ lùi (BO: back off) kết quả ta được:

$$EIRP_U = EIRP_S - BO_i \quad (7.51)$$

trong đó  $EIRP_S$  là công suất trạm mặt đất tại điểm bão hoà.

Mặc dù có sự điều khiển công suất vào cho bộ khuếch đại của bộ phát đáp thông qua trạm TT&C mặt đất, nhưng thông thường cần có độ lùi đầu vào bằng cách giảm EIRP của các trạm mặt đất khi truy nhập bộ phát đáp.

Ta có thể thế các phương trình (7.50) và (7.51) vào (7.40) để được:

$$\left[ \frac{P_r}{N_0} \right]_U = \Psi_S + A_0 - BO_i + \left[ \frac{G}{T} \right]_U - k - RFL, \text{ dBHz} \quad (7.52)$$

### 7.5.4. Bộ khuếch đại công suất lớn

Bộ khuếch đại công suất lớn (được ký hiệu là HPA) của trạm mặt đất có nhiệm vụ cung cấp công suất bằng công suất phát xạ cộng tổng hao phiđơ (tổn hao này được ký hiệu là TFL). TFL bao gồm tổn hao ống dẫn sóng, bộ lọc, bộ ghép nối giữa đầu ra bộ khuếch đại công suất với anten. Từ phương trình (7.2) ta có thể biểu diễn công suất đầu ra bộ khuếch đại theo dB như sau:

$$P_{HPA} = EIRP - G_T + TFL \quad (7.53)$$

trong đó EIRP được xác định theo phương trình (7.52) bao gồm cả độ lùi cần thiết cho vệ tinh.

Bản thân trạm mặt đất có thể phải phát nhiều sóng mang và đầu ra của nó cũng đòi hỏi độ lùi (ký hiệu là  $BO_{HPA}$ ). Bộ khuếch đại công suất lớn trạm mặt đất phải được thiết kế theo công suất bão hòa đầu ra như sau:

$$P_{HPA,S} = P_{HPA} + BO_{HPA} \quad (7.54)$$

Tất nhiên HPA sẽ hoạt động tại mức công suất lùi để đảm bảo công suất đầu ra  $P_{HPA}$  cần thiết. Để đảm bảo làm việc tại vùng tương đối tuyến tính, có thể sử dụng bộ khuếch đại công suất lớn với mức bão hòa tương đối cao và độ lùi cao. Đối với các trạm mặt đất kích thước vật lý lớn và tiêu thụ công suất cao của đèn khuếch đại không gây phí tổn như ở trên vệ tinh. Ngoài ra cũng cần nhấn mạnh rằng độ lùi cần thiết tại trạm mặt đất có thể hoàn toàn độc lập với các yêu cầu độ lùi của bộ phát đáp vệ tinh. Công suất của trạm mặt đất cũng phải đủ lớn để đảm bảo độ dự trữ pha định.

## 7.6. Tỉ số tín hiệu trên tạp âm đường xuống

### 7.6.1. Công thức tổng quát

Đường xuống là đường phát từ vệ tinh xuống trạm mặt đất. Ta có thể sử dụng phương trình (7.40) cho đường xuống với thay  $U$  bằng  $D$  để ký hiệu cho đường xuống như sau:

$$\left[ \frac{P_r}{N_0} \right]_D = EIRP_D + \left[ \frac{G}{T} \right]_D - [L_p]_D - k, \text{ dB.Hz} \quad (7.55)$$

Trong phương trình (7.55) các giá trị được sử dụng là EIRP vệ tinh, các tổn hao phi do máy thu trạm mặt đất và G/T máy thu trạm mặt đất. Tổn hao không gian tự do và các tổn hao phụ thuộc tần số khác được tính theo tần số đường xuống. Kết quả tỷ số sóng mang trên mật độ tạp âm tính theo phương trình (7.55) là tỷ số tại bộ tách sóng của máy thu trạm mặt đất.

Khi cần xác định tỷ số sóng mang trên tạp âm chứ không phải tỷ số sóng mang trên mật độ tạp âm ta có thể sử dụng công thức sau:

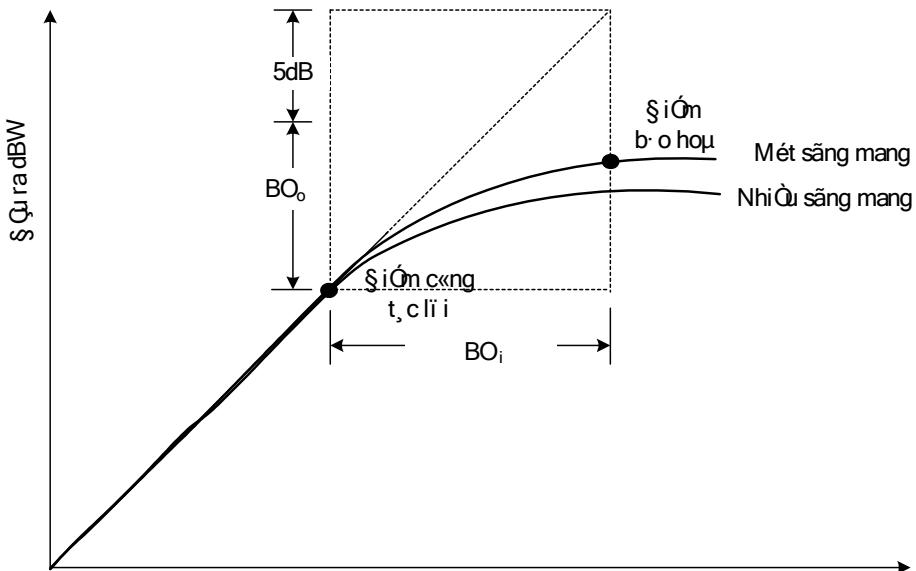
$$\left[ \frac{P_r}{N_0} \right] = EIRP_D + \left[ \frac{G}{T} \right] - [L_s]_D - k - B, \text{ dB} \quad (7.56)$$

trong đó  $B$  là độ rộng băng tần tín hiệu được coi bằng độ rộng băng tần tạp âm  $B_N$ .

### 7.6.2 Độ lùi đầu ra

Khi sử dụng độ lùi đầu vào như đã nói ở trên, ta phải cho phép một độ lùi đầu ra tương ứng ở EIRP vệ tinh. Đường cong ở hình 7.7 cho thấy độ lùi đầu ra không quan hệ tuyến tính với độ lùi đầu vào. Một quy tắc thường được sử dụng là chọn độ lùi đầu ra tại điểm đường cong có giá trị 5 dB thấp hơn phần tuyến tính ngoại suy như thấy ở hình 7.7.

Vì đoạn tuyến tính thay đổi theo tỷ lệ 1:1 ở dB, nên độ lùi đầu ra  $BO_o = BO_i - 5\text{dB}$ . Chẳng hạn nếu độ lùi đầu vào :  $BO_i = 11 \text{ dB}$  thì độ lùi đầu ra bằng  $BO_o = 11 - 5 = 6 \text{ dB}$ .



Hình 7.7. Quan hệ giữa độ lùi đầu ra và độ lùi đầu vào cho bộ khuếch đại đèn sóng chạy ở vệ tinh

Nếu EIRP đổi với điều kiện bão hòa được ký hiệu là  $EIRP_{S,D}$  thì  $EIRP_D = EIRP_{S,D} - BO_o$  và phương trình (7.55) trở thành:

$$\left[ \frac{P_r}{N_0} \right]_D = EIRP_{S,D} - BO_o + \left[ \frac{G}{T} \right]_D - [L_P]_D - k, \text{ dB.Hz} \quad (7.57)$$

### 7.6.3. Công suất ra của đèn sóng chạy

Bộ khuếch đại công suất vệ tinh thường là bộ khuếch đại đèn sóng chạy (ký hiệu TWTA) có nhiệm vụ cung cấp công suất phát xạ cộng với các tổn hao phiđơ phát. Các tổn hao này bao gồm: tổn hao ống dẫn sóng, bộ lọc và bộ ghép giữa đầu ra bộ khuếch đại đèn sóng chạy với anten phát của vệ tinh. Theo phương trình (7.2) ta có thể biểu diễn công suất đầu ra của TWTA như sau:

$$P_{TWTA} = EIRP_D - G_{T,D} + TFL_D, \text{ dBW} \quad (7.58)$$

Sau khi đã biết được  $P_{TWTA}$  ta có thể xác định công suất ra bão hòa của TWTA như sau:

$$P_{TWTA,S} = P_{TWTA} + BO_o, \text{ dBW} \quad (7.59)$$

## 7.7. Ảnh hưởng của mưa

Từ trước đến nay ta chỉ tính toán đường truyền cho điều kiện bầu trời quang nghĩa là không xét đến các ảnh hưởng của các hiện tượng khí hậu thời tiết lên cường độ tín hiệu. Trong băng C và đặc biệt là trong băng Ku mưa là nguyên nhân đáng kể nhất gây ra phađịnh. Mưa làm yếu sóng điện từ do tán xạ và hấp thụ chúng. Suy hao do mưa tăng khi

tần số tăng và tình trạng này tồi hơn ở băng Ku so với băng C. Các nghiên cứu cho thấy suy hao mưa đối với phân cực ngang lớn hơn nhiều so với phân cực đứng.

Các số liệu về suy hao mưa thường được cung cấp ở dạng các đường cong hoặc bảng trong đó chỉ ra số phần trăm thời gian một suy hao nào đó bị vượt quá hay tương đương với xác suất mà suy hao này bị vượt quá. Thí dụ về các giá trị trung bình ở băng Ku được cho ở bảng 7.1 (dựa trên số liệu cho một số vùng tại Canada). Các số phần trăm ở đầu ra ba cột trong bảng cho thấy phần trăm thời gian tính trung bình trong một năm mà ở đó suy hao vượt quá các giá trị dB trong cột. Chẳng hạn tại Thunder Bay, suy hao mưa tính trung bình trong năm vượt quá 0,2 dB trong thời gian 1% của năm, 0,3 dB trong thời gian 0,5% của năm và 1,3 dB trong thời gian 0,1 phần trăm của năm. Một cách khác ta có thể nói rằng 99% thời gian của năm suy hao sẽ bằng hoặc thấp hơn 0,2 dB; 99,5% của thời gian của năm suy hao sẽ bằng hoặc thấp hơn 0,3 và 99,9% của năm suy hao sẽ bằng hoặc thấp hơn 1,3 dB.

Bảng 7.1. Suy hao trong các thành phố và các vùng của tỉnh Ontario

<b>Địa phương</b>	<b>Suy hao mưa, dB</b>		
	<b>1%</b>	<b>0,5%</b>	<b>0,12%</b>
Cat Lake	0,2	0,4	1,4
Fort Severn	0,0	0,1	0,4
Geraldton	0,1	0,2	0,9
Kingston	0,4	0,7	1,9
London	0,3	0,5	1,9
North Bay	0,3	0,4	1,9
Ogoki	0,1	0,2	0,9
Ottawa	0,3	0,5	1,9
Sault Ste. Marie	0,3	0,5	1,8
Sioux Lookout	0,2	0,4	1,3
Sudbury	0,3	0,6	2,0
Thunder Bay	0,2	0,3	1,3
Timmins	0,2	0,3	1,4
Toronto	0,2	0,6	1,8
Windsor	0,3	0,6	2,1

Suy hao mưa đi kèm với việc tạo ra tạp âm và cả suy hao lẫn tạp âm đều ảnh hưởng xấu lên chất lượng đường truyền vệ tinh.

Vì mưa đi qua khí quyển, nên các hạt mưa thường có dạng dẹt và trở nên có hình elip thay vì hình cầu. Khi một sóng điện có có phân cực nhất định đi qua các rọt mưa, thành phần trường song song với trục chính của rọt mưa sẽ bị tác động khác với thành phần song song với trục phụ của rọt mưa. Điều này dẫn đến sự lệch phân cực của sóng và kết quả là sóng trở nên phân cực elip. Điều này đúng cho cả phân cực tuyến tính và phân cực tròn, song ảnh hưởng nghiêm trọng hơn đối với phân cực tròn. Khi chỉ có một phân cực, ảnh hưởng không nghiêm trọng, tuy nhiên khi áp dụng tái sử dụng tần số bằng các phân cực trực giao, cần phải sử dụng các thiết bị triệt phân cực chéo để bù trừ sự lệch phân cực do mưa.

Khi anten mặt đất sử dụng vỏ che, cần xét đến ảnh hưởng của mưa lên vỏ che. Mưa rơi lên vỏ che hình bán cầu sẽ tạo thành lớp nước có độ dày không đổi. Lớp này gây nên tổn hao do hấp thụ và phản xạ sóng. Kết quả nghiên cứu cho thấy suy hao vào khoảng 14 dB đối với lớp nước dày 1mm. Vì thế nếu có thể ta không nên sử dụng vỏ che anten. Không có vỏ che, nước sẽ tụ lại tại bộ phản xạ, nhưng tổn hao do nó gây ra ít nghiêm trọng hơn do vỏ che bị ướt gây ra.

### 7.7.1. Dự trữ phađinh mưa đường lên

Mưa dẫn đến suy hao tín hiệu, tăng nhiệt độ tạp âm và giảm tỷ số  $P_r/N_0$  tại vệ tinh theo hai cách. Tuy nhiên tăng tạp âm không thường xuyên là yếu tố chính đối với đường lên vì anten vệ tinh hướng đến mặt đất "được làm nóng" và mặt đất bổ sung nhiệt độ tạp âm đến máy thu vệ tinh dẫn đến che lấp ảnh hưởng tăng tạp âm do suy hao mưa gây ra. Điều quan trọng ở đây là cần duy trì công suất sóng đường lên trong các giới hạn đối với một số chế độ hoạt động và cần sử dụng *điều khiển công suất* đường lên để bù trừ phađinh cho mưa. Công suất phát vệ tinh phải được giám sát bằng một trạm điều khiển trung tâm hay trong một số trường hợp bằng trạm mặt đất và công suất phát từ trạm mặt đất có thể được điều khiển tăng để bù trừ phađinh. Như vậy bộ khuếch đại công suất cao của trạm mặt đất phải có đủ dự trữ công suất để đáp ứng yêu cầu dự trữ phađinh.

Một số dự trữ phađinh điển hình được cho ở bảng 7.1. Thí dụ, đối với Ottawa, suy hao mưa vượt quá 1,9 dB trong 0,1% thời gian. Điều này có nghĩa rằng để đáp ứng yêu cầu công suất tại đầu vào vệ tinh cho 99,9% thời gian trạm mặt đất cần có khả năng cung cấp dự trữ phađinh 1,9 dB so với điều kiện bầu trời quang.

### 7.7.2. Dự trữ phađinh mưa đường xuống

Các phương trình (7.55) và (7.56) chỉ áp dụng cho bầu trời quang. Mưa sẽ đưa thêm vào suy hao do hấp thụ và tán xạ, suy hao hấp thụ sẽ đưa vào tạp âm. Giả sử  $[L_{rain}]$  là suy hao dB do hấp thụ gây ra. Tỷ lệ tổn hao công suất tương ứng trong trường hợp này sẽ là  $L_{rain} = 10^{[L_{rain}]/10}$ . Nếu coi ảnh hưởng này như một mạng tổn hao sử dụng công thức (7.26) ta được nhiệt độ tạp âm do mưa quy đổi đầu vào mạng như sau:

$$T_{rain,in} = (L_{rain}-1) T_g \quad (7.60)$$

$T_g$  trong trường hợp này thay cho  $T_i$  và được gọi là nhiệt độ của **bộ hấp thụ biếu kiến**. Giá trị nhiệt độ của bộ hấp thụ biếu kiến đo được ở Bắc Mỹ nằm trong khoảng từ 272 đến 290 K. Để được nhiệt độ đầu ra ta nhân biếu thức (7.60) với hệ số khuếch đại của mạng hấp thụ bằng  $1/L_{rain}$ , ta được:

$$T_{rain} = \left(1 - \frac{1}{L_{rain}}\right) T_a \quad (7.61)$$

Nhiệt độ tạp âm bầu trời bằng nhiệt độ tạp âm trời quang cộng với nhiệt độ tạp âm mưa:

$$T_{sky} = T_{CS} + T_{rain} \quad (7.62)$$

Như vậy mưa giảm tỷ số  $P_r/N_0$  theo hai cách: giảm công suất sóng mang và tăng nhiệt độ tạp âm bầu trời.

Tổng quát ta có thể xác định quan hệ giữa tỷ số  $P_r/N$  khi mưa và khi trời quang như sau:

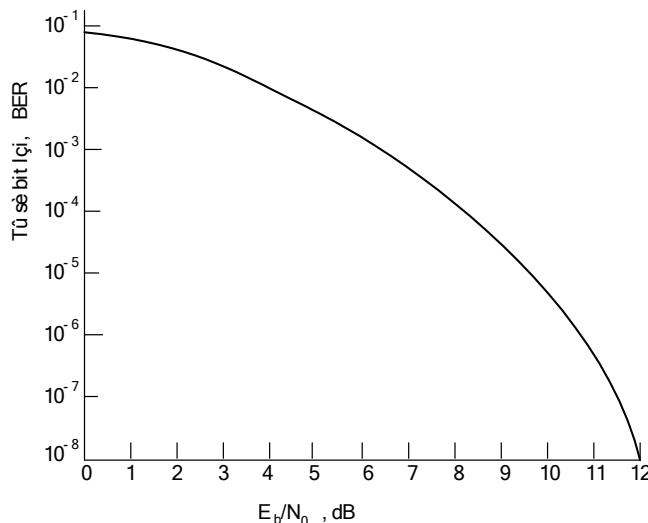
$$\left(\frac{N}{P_r}\right)_{rain} = \left(\frac{N}{P_r}\right)_{CS} \left( L_{rain} + (L_{rain} - 1) \frac{T_a}{T_{S,CS}} \right) \quad (7.63)$$

trong đó: rain ký hiệu cho trời mưa, CS ký hiệu cho trời quang và S,CS ký hiệu cho nhiệt độ tạp âm hệ thống khi trời quang.

Đối với các tần số thấp (6/4 GHz) và tốc độ mưa thấp (dưới 1mm/h) suy hao mưa hoàn toàn mang tính hấp thụ. Tại tốc độ mưa cao, tán xạ trở nên đáng kể đặc biệt ở các tần số cao. Khi tán xạ và hấp thụ đều đáng kể, cần sử dụng tổng suy hao để tính toán giảm công suất sóng mang và suy hao hấp thụ để tính tăng nhiệt độ tạp âm.

Đối với các tín hiệu số tỷ số  $P_r/N_0$  được xác định theo BER cho phép không được vượt quá số phần trăm thời gian quy định. Hình 7.8 cho thấy sự phụ thuộc BER vào tỷ số  $E_b/N_0$ .

Đối với đường xuống, người sử dụng không điều khiển EIRP vệ tinh và vì thế không thể sử dụng điều khiển công suất như đối với đường lên. Để đảm bảo dự trữ pha định cần thiết có thể tăng hệ số khuếch đại anten thu bằng cách sử dụng chảo phản xạ lớn hơn hoặc sử dụng bộ tiền khuếch đại có công suất tạp âm thấp. Cả hai phương pháp đều tăng tỷ số G/T thu và nhờ vậy tăng  $P_r/N_0$ .



Hình 7.8. Phụ thuộc BER vào  $E_b/N_0$  cho điều chế BPSK và QPSK

### 7.8. Dự trữ đường truyền

Việc phân tích quỹ đường truyền cho phép cân đối các tổn hao và độ lợi công suất trong quá trình truyền dẫn để có thể đưa ra một lượng dự trữ công suất cần thiết đảm bảo truyền dẫn trong điều kiện không thuận lợi (pha định) mà vẫn đảm bảo chất lượng truyền dẫn yêu cầu. Lượng công suất dự trữ này được gọi là dự trữ đường truyền hay dự trữ phađịnh và được xác định như sau:

$$M = \left( \frac{E_b}{N_0} \right)_r - \left( \frac{E_b}{N_0} \right)_{req}, \text{ dB} \quad (7.64)$$

trong đó:  $M$  là độ dự trữ đường truyền hay phađịnh,  $(E_b/N_0)_r$ ,  $(E_b/N_0)_{req}$  là tỷ số năng lượng bit trên mật độ phổ công suất tạp âm thu và yêu cầu. Tỷ số theo yêu cầu được xác định theo BER yêu cầu như đã nói ở phần trên.

Vì tín hiệu thu hữu ích ở đây thường là sóng mang được điều chế nên ta thường nói đến tỷ số sóng mang trên tạp âm ( $C/N$ ) hay  $(P_r/N)$  là tỷ số SNR. Sử dụng phương trình (7.39) và (7.64) ta có thể viết:

$$M(dB) = EIRP(dB) + \frac{G_r}{T}(dB/K) - \left( \frac{E_b}{N_0} \right)_{req}(dB) - R_b(dB - bit/s) - k(dBW/K - Hz) - L_p(dB) \quad (7.65)$$

Thay  $k = -228,6$  dBW/K-Hz vào phương trình (7.65) ta được:

$$M(dB) = EIRP(dBW) + \frac{G_r}{T}(dB/K) - \left( \frac{E_b}{N_0} \right)_{req}(dB) - R_b(dB - bit/s) + 228,6(dBW/K - Hz) - L_p(dB) \quad (7.66)$$

Nếu xét cả tổn hao ở các phần tử nối máy phát đến anten phát và đặt nhiệt độ tham chuẩn  $T_R = 290$  K thì ta có thể viết lại phương trình (7.66) như sau:

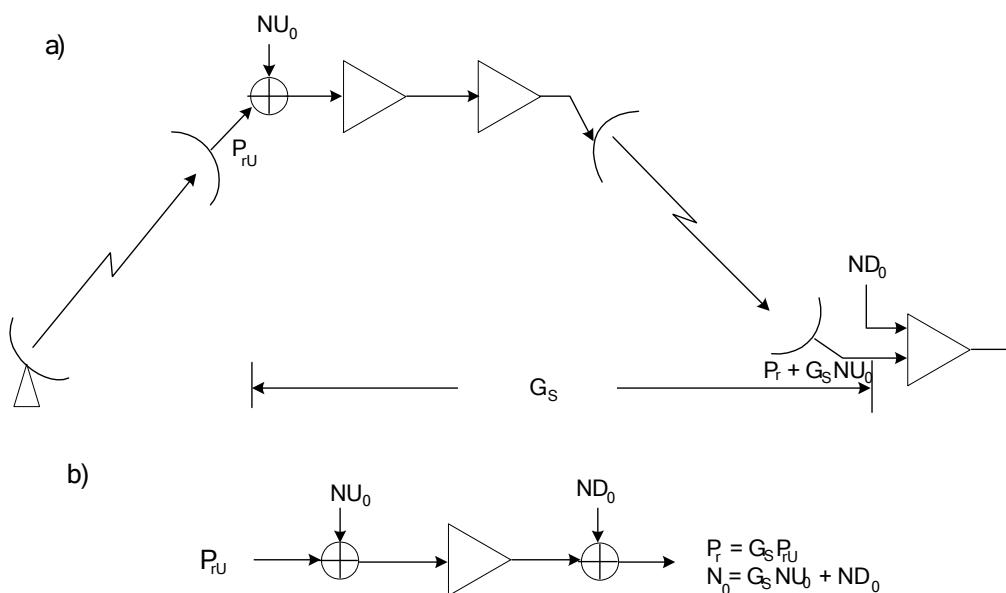
$$\begin{aligned} M(\text{dB}) &= P_t(\text{dBW}) + G_t(\text{dB}) + G_r(\text{dB}) - L_1(\text{dB}) - L_2(\text{dB}) - L_p(\text{dB}) \\ &\quad + 204 \text{ (dBW/Hz)} - NF(\text{dB}) - R_b(\text{dB-bit/s}) - (E_b/N_0)_{\text{req}} (\text{dB}) \end{aligned} \quad (7.67)$$

trong đó:  $P_t$ ,  $G_t$ ,  $L_1$  là công suất, hệ số khuếch đại và suy hao ở các phần tử nối anten phát.  $G_r$ ,  $L_2$  là hệ số khuếch đại và suy hao các phần tử nối anten thu.  $- kT_R = 204 \text{ (dBW/Hz)}$ ,  $NF$  là hệ số tạp âm.

### 7.9. Tỉ số tín hiệu trên tạp âm kết hợp đường lên và đường xuống

Một kênh vệ tinh đầy đủ bao gồm cả đường lên và đường xuống như vẽ ở hình 7.9a. Tạp âm sẽ được đưa vào đường lên tại đầu vào của máy thu vệ tinh. Ta ký hiệu công suất tạp âm trên đơn vị độ rộng băng tần ở đường lên này là  $NU_0$  và công suất sóng mang tại cùng điểm là  $P_{rU}$ . Tỷ số sóng mang trên tạp âm đường lên sẽ là  $P_{rU}/NU_0$ .

Công suất sóng mang tại cuối đường truyền vệ tinh được ký hiệu là  $P_r$  tất nhiên đây cũng là công suất sóng mang thu được ở đường xuống. Nó bằng  $G_S$  lần công suất sóng mang tại đầu vào vệ tinh, trong đó  $G_S$  là khuếch đại công suất hệ thống từ đầu vào vệ tinh đến đầu vào trạm mặt đất như thấy ở hình 7.9a. Nó bao gồm khuếch đại của bộ phát đáp và anten phát, tổn hao đường xuống và khuếch đại anten thu cùng với tổn hao phiđơ.



Hình 7.9. a) Kết hợp đường lên và đường xuống; b) lưu đồ dòng công suất cho a)

Tạp âm tại đầu vào vệ tinh cũng xuất hiện tại đầu vào trạm mặt đất và được nhân với  $G_S$ , ngoài ra trạm mặt đất cũng đưa vào tạp âm của chính nó (ký hiệu là  $ND_0$ ). Như vậy tạp âm đầu cuối đường truyền là:  $G_S NU_0 + ND_0$ .

Tỷ số ín hiệu trên tạp âm cho một mình đường xuống không xét đến đóng góp của  $G_s N U_0$  là  $P_r / ND_0$  và  $P_r / N_0$  kết hợp tại máy thu mặt đất là  $P_r / (G_s N U_0 + ND_0)$ . Lưu đồ dòng công suất được cho ở hình 7.9b. Tỷ số sóng mang trên tạp âm kết hợp có thể được xác định theo các giá trị riêng của từng đường. Để chứng minh điều này tiện hơn cả là ta sử dụng tỷ số tạp âm trên sóng mang thay cho sóng mang trên tạp âm và biểu diễn ở dạng tỷ số công suất thay cho dB. Ta ký hiệu giá trị tỷ số tạp âm trên sóng mang kết hợp là  $N_0 / P_r$ , giá trị đường lên là  $(N_0 / P_r)_U$  và giá trị đường xuống là  $(N_0 / P_r)_D$ , khi này:

$$\frac{N_0}{P_r} = \frac{G_s N U_0 + ND_0}{P_r} = \frac{G_s N U_0}{P_r} + \frac{ND_0}{P_r} = \frac{G_s N_0}{G_s P_{rU}} + \frac{ND_0}{P_r} = \left( \frac{N_0}{P_r} \right)_U + \left( \frac{N_0}{P_r} \right)_D \quad (7.68)$$

Phương trình (7.68) cho thấy rằng để nhận được giá trị  $P_r / N_0$  kết hợp cần cộng các giá trị đảo của từng thành phần để nhận được giá trị  $N_0 / P_r$  sau đó đảo lại giá trị này để nhận được  $P_r / N_0$ . Lý do phải đảo ra trị tổng của đảo các thành phần là ở chỗ, công suất của một tín hiệu được truyền qua hệ thống trong khi các công suất tạp âm khác nhau trong hệ thống là tạp âm cộng.

Lý do tương tự áp dụng cho tỷ số sóng mang trên tạp âm  $P_r / N$ . Phương trình (7.68) cho thấy khi một trong số các tỷ số  $P_r / N_0$  của đoạn truyền nhỏ hơn nhiều so với các tỷ số khác, tỷ số  $P_r / N_0$  kết hợp sẽ gần bằng tỷ số thấp nhất này.

Cho đến nay ta chỉ xét tạp âm anten và tạp âm nhiệt thiết bị khi tính toán tỷ số  $P_r / N_0$  kết hợp. Một nguồn tạp âm nữa cần xem xét đó là tạp âm điều chế giao thoả, tạp âm này sẽ được xét tới ở phần dưới đây.

## 7.10. Tỉ số tín hiệu trên tạp âm kết hợp tạp âm điều chế giao thoả

Điều chế giao thoả xảy ra khi nhiều sóng mang đi qua một thiết bị có đặc tính phi tuyến. Trong các hệ thống thông tin vệ tinh, điều này thường xảy ra nhất ở bộ khuếch đại công suất cao dùng đèn sóng chạy trên vệ tinh.

Thông thường các sản phẩm giao thoả bậc ba rơi vào các tần số mang lân cận và vì thế chúng gây ra nhiễu. Khi số sóng mang được điều chế lớn, ta không thể phân biệt riêng rẽ các sản phẩm giao thoả và các sản phẩm này thể hiện giống như tạp âm nên chúng được gọi là tạp âm điều chế giao thoả.

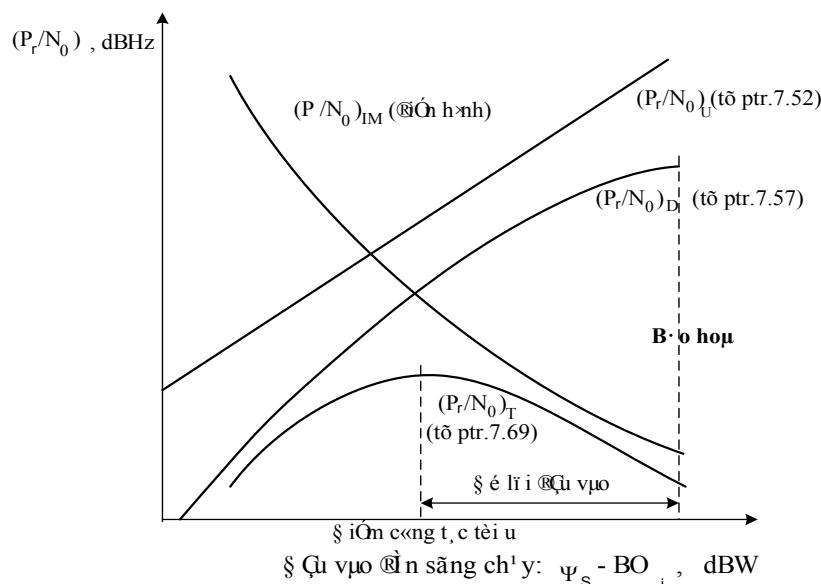
Tỷ số sóng mang trên tạp âm điều chế giao thoả thường được tìm ra bằng phương pháp thực nghiệm, hay trong một số trường hợp có thể được xác định bằng các phương pháp dựa trên máy tính. Khi đã biết được tỷ số này, ta có thể kết hợp nó với tỷ số sóng mang trên tạp âm nhiệt bằng cách cộng các đại lượng nghịch đảo của chúng như đã xét ở phần trên. Nếu ta ký hiệu thành phần điều chế giao thoả là  $(P_r / N_0)_{IM}$  và lưu ý rằng công các thành phần nghịch đảo của  $P_r / N$  được biểu diễn ở tỷ số chứ không ở dB. Ta có thể mở rộng phương trình (7.68) như sau:

$$\left( \frac{N_0}{P_r} \right) = \left( \frac{N_0}{P_r} \right)_U + \left( \frac{N_0}{P_r} \right)_D + \left( \frac{N_0}{P_r} \right)_{IM} \quad (7.69)$$

Để giảm tạp âm, đèn sóng chạy phải làm việc với độ lùi như đã nói ở phần trên.

Sự phụ thuộc của các thành phần tỷ số  $P_r/N_0$  vào đầu vào đèn sóng chạy được vẽ ở hình 7.10.

Đầu vào đèn sóng chạy là  $\Psi_s$ -BO<sub>i</sub> vì thế phương trình (7.52) vẽ lên một đoạn thẳng. Phương trình (7.57) thể hiện đường cong của đặc tính đèn sóng chạy vì độ lùi đầu ra BO<sub>o</sub> không liên hệ tuyến tính với độ lùi đầu vào (xem hình 7.7). Rất khó dự đoán đường cong điều chế giao thoa, nên hình vẽ chỉ cho thấy xu hướng chung của nó. Tổng ( $P_r/N_0$ ) được vẽ theo phương trình (7.69). Điểm công tác tối ưu được xác định là điểm cực đại của đường cong này.



Hình 7.10. Phụ thuộc các tỷ số tín hiệu trên tạp âm vào độ lùi đầu vào

## 7.11. Tổng kết

Chương này đã xét các dạng tổn hao đường truyền khác nhau như: tổn hao do các phần tử của thiết bị vô tuyến, tổn hao không gian tự do, tổn hao khí quyển, tổn hao lệch định hướng anten, tổn hao lệch phân cực và tổn hao do mưa. Quỹ dường truyền được coi là tổng tất cả công suất nhận được và được khuếch đại trên đường truyền bao gồm công suất máy phát, các khuếch đại anten, các khuếch đại trong các bộ khuếch đại (các bộ phát đáp) trừ đi các chi phí cho tổn hao nói trên tính theo dB. Đây chính là công suất còn lại mà máy thu nhận được. Chất lượng đường truyền được đánh giá bằng xác suất lỗi bit hay còn gọi là tỷ số bit lỗi (BER). BER có quan hệ đơn trị với tỷ số tín hiệu trên tạp âm (SNR) vì thế chất lượng đường truyền cũng thường được đánh giá bằng SNR. Khi thiết kế một

đường truyền vệ tinh người thiết kế được cho trước BER yêu cầu hay SNR yêu cầu tương ứng. Trong quá trình thiết kế, người thiết kế phải lựa chọn các thông số kênh vệ tinh như: công suất máy phát trạm mặt đất, khuếch đại anten phát trạm mặt đất, khuếch đại an thu bộ phát đáp, khuếch đại phát đáp, khuếch đại anten phát đáp, khuếch đại anten thu trạm mặt đất phía đối tác, độ nhạy máy thu ... khi cho trước khoảng cách từ các trạm mặt đất đến bộ phát đáp trên vệ tinh và hệ số tạp âm (hay nhiệt độ tạp âm) để đảm bảo chất lượng yêu cầu này (BER hay SNR yêu cầu). Các công thức để thiết kế một đường truyền thông tin vệ tinh đều dựa vào tính toán tỷ số tín hiệu thu trên mật độ phổ công suất tạp âm hay công suất tạp âm. Chương này đã đưa ra tất cả các công thức cần thiết cho thiết kế đường truyền vệ tinh nói trên.

## Câu hỏi chương 7

1. Đường xuống vệ tinh tại tần số 12 GHz làm việc với công suất 6 W và hệ số khuếch đại anten 48,2 dB. Tính EIRP ở dBW.
  - (a) 36 dBW; (b) 46 dBW; (c) 50 dBW; (c) 56 dBW
2. Tính toán hệ số khuếch đại anten parabol đường kính 3 m làm việc tại tần số 12 GHz, coi rằng hiệu suất mặt mỏ bằng 0,55.
  - (a) 47,9 dBi; (b) 48,9 dBi; (c) 50,9dBi; (d) 51dBi
3. Khoảng cách giữa trạm mặt đất và vệ tinh là 42.000 km. Tính tổn hao trong không gian tự do tại tần số 6 GHz.
  - (a) 190,4 dB; (b) 200,9 dB; (c) 210,9 dB; (d) 211,9dB
4. Đường truyền vệ tinh làm việc tại tần số 14 GHz có tổn hao phiđơ bằng 1,5 dB và tổn hao không gian tự do bằng 207 dB. Tổn hao hấp thụ khí quyển bằng 0,5 dB, tổn hao định hướng anten bằng 0,5 dB, tổn hao lệch cực có thể bỏ qua. Tính tổng tổn hao đường truyền khi trời quang.
  - (a) 199,5 dB; (b) 209,5 dB; (c) 210,5dB; (d) 211,5dB
5. Một anten có nhiệt độ tạp âm là 35K và được phối kháng với máy thu có nhiệt độ tạp âm bằng 100 K.

Mật độ phổ công suất tạp âm có giá trị nào dưới đây?

- (a)  $1,56 \times 10^{-21}$  W/Hz; (b)  $1,66 \times 10^{-21}$  W/Hz; (c)  $1,76 \times 10^{-21}$  W/Hz; (d)  $1,86 \times 10^{-21}$  W/Hz

Công suất tạp âm có giá trị nào dưới đây?

- (a) 0,057 pW; (b) 0,067 pW; (c) 0,077 pW; (d) 0,08pW

6. Một máy thu với tầng đầu có hệ số tạp âm 10 dB, hệ số khuếch đại 80 dB và độ rộng băng tần  $\Delta f = 6\text{MHz}$ . Công suất thu  $P_r = 10^{-11}\text{W}$ . Coi rằng tổn hao phi đơ bằng không và nhiệt độ tạp âm anten là 150K. Hãy tìm  $T_r, T_s, N_{out}, (\text{SNR})_{in}$  và  $(\text{SNR})_{out}$ .

Nhiệt độ tạp âm tầng đầu máy thu ( $T_r$ ) là giá trị nào dưới đây?

- (a) 2600 K; (b) 2610 K; (c) 2620 K; (d) 2630K

Nhiệt độ tạp âm hệ thống ( $T_s$ ) là giá trị nào dưới đây?

- (a) 2560 K; (b) 2660 K; (c) 2760K; (d) 2860 K

Công suất tạp âm đầu ra máy thu là giá trị nào dưới đây?

- (a) 19  $\mu$ W; (b) 20,8  $\mu$ W; (c) 21,8 $\mu$ W; (d) 22,8 $\mu$ W

Tỷ số tín hiệu trên tạp âm đầu vào máy thu,  $(SNR)_{in}$ , là giá trị nào dưới đây?

- (a) 27,1dB; (b) 29,1dB; (c) 31,1 dB; (d) 32,1 dB

Tỷ số tín hiệu trên tạp âm đầu ra,  $(SNR)_{out}$ , máy thu là giá trị nào dưới đây?

- (a) 16,4 dB; 17,4 dB; (c) 18,4 dB; (d) 20,4 dB

7. (tiếp) Để cải thiện tỷ số tín hiệu trên tạp âm cho máy thu trong bài trên, một bộ khuếch đại tạp âm nhỏ (LNA) được đặt trước tầng đầu máy thu trên. LNA có hệ số tạp âm 3dB, hệ số khuếch đại 13 dB và băng thông  $\Delta f = 6MHz$ . Tìm  $T_{tol}$  cho máy thu kết hợp với bộ tiền khuếch đại. Tìm  $T_S$ ,  $NF_{tol}$ ,  $N_{out}$  và  $(SNR)_{out}$ . Coi rằng tổn hao phiđơ bằng không.

Tổng nhiệt độ tạp âm máy thu ( $T_{tol}$ ) là giá trị nào dưới đây?

- (a) 400,5K; (b) 410,5 K; (c) 420,5 K; (d) 430,5 K

Nhiệt độ tạp âm hệ thống  $T_s$  là giá trị nào dưới đây?

- (a) 550,5 K; (b) 560,5 K; (b) 570,5 K; (c) 580,5 K

Tổng hệ số tạp âm ( $NF_{out}$ ) là giá trị nào dưới đây?

- (a) 2dB; (b) 3dB; (c) 4dB; (d) 5dB

Công suất tạp âm đầu ra máy thu ( $N_{out}$ ) là giá trị nào dưới đây?

- (a) 92,4  $\mu$ W; (b) 94,4 $\mu$ W; (c) 96  $\mu$ W; (d) 98  $\mu$ W

Tỷ số tín hiệu trên tạp âm là giá trị nào dưới đây?

- (a) 21 dB; (b) 22,3 dB; (c) 23,3 dB; (d) 25dB

8. Khi tính toán quỹ đường truyền tại tần số 12 Ghz, tổn hao trong không gian tự do là 206 dB, tổn hao định hướng anten là 1 dB, tổn hao hấp thụ khí quyển là 2 dB. Tỷ số  $G_r/T$  của máy thu là 19,5 dB/K và tổn hao phi đơ là 1 dB. EIRP bằng 48 dBW. Hãy tính tỷ số sóng mang trên mật độ phổ công suất tạp âm.

- (a) 86,10 dHHZ $^{-1}$ ; (b) 87,10 dHHZ $^{-1}$ ; (c) 88,10 dHHZ $^{-1}$ ; (d) 90 dHHZ $^{-1}$

9. Một đường lên làm việc tại tần số 14 GHz, mật độ thông lượng yêu cầu để bão hòa bộ phát đáp là -120 dBWm $^{-2}$ . Tổn hao không gian tự do là 207 dB và các tổn hao truyền sóng khác là 2 dB. Hãy tính EIRP yêu cầu của trạm mặt đất để được bão hòa, coi rằng trời quang và bỏ qua tổn hao phidơ thu (RFL).

- (a) 40,37 dBW; (b) 42,37 dBW; (c) 43,37 dBW; (d) 44,37 dBW

10. Một đường lên tại tần số 14 GHz yêu cầu mật độ thông lượng bão hoà  $-91,4 \text{ dBWm}^{-2}$  và độ lùi đầu vào  $11 \text{ dB}$ . G/T vệ tinh bằng  $-6,7 \text{ dBK}^{-1}$  và tổn hao phiđơ là  $0,6 \text{ dB}$ . Tính tỷ số sóng mang trên mật độ tạp âm
- (a)  $74,5 \text{ dBHz}^{-1}$ ; (b)  $75,5 \text{ dBHz}^{-1}$ ; (c)  $76 \text{ dBHz}^{-1}$ ; (d)  $77 \text{ dBHz}^{-1}$
11. Một tín hiệu TV vệ tinh chiếm toàn bộ độ rộng băng tần của bộ phát đáp 36 MHz, phải đảm bảo tỷ số  $P_r/N$  tại trạm mặt đất thu là  $22 \text{ dB}$ . Giả sử tổng các tổn hao truyền dẫn là  $200 \text{ dB}$  và G/T của trạm mặt đất thu là  $31 \text{ dB/K}$ , hãy tính toán EIRP cần thiết.
- (a)  $37\text{dBW}$ ; (b)  $38\text{dBW}$ ; (c)  $39\text{dBW}$ ; (d)  $40 \text{ dBW}$
12. Vệ tinh phát tín hiệu QPSK, Bộ lọc cosin tăng được sử dụng với hệ số dốc bằng  $0,2$  và BER yêu cầu là  $10^{-5}$ . Đổi với đường xuống tổn hao bằng  $200 \text{ dB}$ , G/T trạm mặt đất thu bằng  $32 \text{ dBK}^{-1}$  và độ rộng băng tần của bộ phát đáp là  $36 \text{ MHz}$ .
- Tốc độ bit có thể truyền là giá trị nào dưới đây?
- (a)  $50\text{Mbps}$ ; (b)  $55\text{Mbps}$ ; (c)  $60\text{Mbps}$ ;  $70\text{Mbps}$
- EIRP yêu cầu là giá trị nào dưới đây?
- (a)  $26,8\text{dBW}$ ; (b)  $27,8 \text{ dBW}$ ; (c)  $28,8\text{dBW}$ ; (d)  $29,8\text{dBW}$
13. Các thông số sau đây được quy định cho đường xuống:  $\text{EIRP}_{S,D}=25 \text{ dBW}$ , độ lùi đầu ra  $\text{BO}_o=6\text{dB}$ , suy hao không gian tự do  $\text{FSL}=196\text{dB}$ , Các tổn hao đường xuống khác là  $1,5 \text{ dB}$  và G/T trạm mặt đất bằng  $41 \text{ dBK}^{-1}$ . Hãy tính tỷ số sóng mang trên mật độ tạp âm tại trạm mặt đất.
- (a)  $80,1\text{dBW}$ ; (b)  $90,1\text{dBW}$ ; (c)  $100\text{dBW}$ ; (d)  $101,1\text{dBW}$
14. Một vệ tinh làm việc tại EIRP bằng  $56 \text{ dBW}$  với độ lùi đầu ra là  $6 \text{ dB}$ . Tổn hao phiđơ máy phát  $2 \text{ dB}$  và khuếch đại anten  $50\text{dB}$ . Hãy tính công suất ra của TWTA cho EIRP bão hoà.
- (a)  $25\text{W}$ ; (b)  $26\text{W}$ ; (b)  $27\text{W}$ ; (d)  $29\text{W}$
15. Khi bầu trời quang, tỷ số  $P_r/N$  bằng  $20 \text{ dB}$ , nhiệt độ tạp âm hiệu dụng của hệ thống thu bằng  $400\text{K}$ . Giả sử suy hao mưa vượt  $1,9 \text{ dB}$  trong  $0,1\%$  thời gian, hãy tính giá trị mà  $P_r/N$  sẽ giảm xuống thấp hơn trong  $0,1\%$  thời gian.
- (a)  $15,14 \text{ dB}$ ;  $17,14\text{dB}$ ; (c)  $19,14\text{dB}$ ; (d)  $20\text{dB}$
16. Đối với một đường truyền vệ tinh tỷ số sóng mang trên mật độ phổ công suất tạp âm như sau: đường lên  $100 \text{ dBHz}$ ; đường xuống  $87 \text{ dBHz}$ . Hãy tính tỷ số  $P_r/N_0$  kết hợp.
- (a)  $85,79\text{dBHz}$ ; (b)  $86,79 \text{ dBHz}$ ; (c)  $87,79 \text{ dBHz}$ ; (d)  $88,79\text{dBHz}$
17. Một kênh vệ tinh làm việc tại băng tần  $6/4\text{GHz}$  với các đặc tính sau. Đường lên: mật độ thông lượng bão hoà  $-67,5 \text{ dBW/m}^2$ ; độ lùi đầu vào  $11 \text{ dB}$ ; G/T vệ tinh  $-11,6 \text{ dBK}^{-1}$ . Đường xuống: EIRP vệ tinh  $26,6 \text{ dBW}$ ; độ lùi đầu ra  $6 \text{ dB}$ ; tổn hao không gian tự do  $196,7 \text{ dB}$ ; G/T trạm mặt đất  $40,7 \text{ dBK}^{-1}$ . Bỏ qua các tổn hao khác.

Tỷ số sóng mang trên mật độ phổ công suất tạp âm đường lên là giá trị nào dưới đây?

- (a) 101,5 dBHz; (b) 103,5 dBHz; (c) 104,5 dBHz; (d) 105,5 dBHz

Tỷ số sóng mang trên mật độ phổ công suất tạp âm đường xuống là giá trị nào dưới đây?

- (a) 92,6 dBHz; (b) 94,6 dBHz; (c) 95,6 dBHz; (d) 96,6 dBHz

18. Một kênh thông tin vệ tinh có các thông số sau: tỷ số sóng mang trên tạp âm đường lên là 3dB, tỷ số này cho đường xuống là 20 dB và điều chế giao thoa là 24 dB. Tính tổng tỷ số sóng mang trên tạp âm theo dB.

- (a) 15,2 dB; (b) 17,2 dB; (c) 19,2 dB; (d) 21 dB

19. Một trạm mặt đất đặt tại vĩ độ  $35^{\circ}\text{N}$  và kinh độ  $70^{\circ}\text{W}$  liên lạc với vệ tinh địa tĩnh tại kinh độ  $25^{\circ}\text{W}$ . Trạm mặt đất có EIRP bằng 55 dBW làm việc tại tần số 6 GHz. Máy thu trên vệ tinh có hai tầng khuếch đại nối với nhau bằng phi đơ với tổn hao  $L=4\text{dB}$ . Tầng khuếch đại đầu có thông số sau: hệ số tạp âm 3 dB, hệ số khuếch đại 13 dB. Tầng khuếch đại hai có thông số sau: hệ số tạp âm: 10 dB, hệ số khuếch đại 80 dB. Anten vệ tinh có hệ số khuếch đại 50 dBi và nhiệt độ tạp âm 150 K. Phiđơ nối anten với máy thu không có tổn hao. Tính tỷ số tín hiệu trên tạp âm đầu ra máy thu.

## CHƯƠNG 8

# MẠNG VÔ TUYẾN KHẢ TRI

### 8.1 Mở đầu

Vô tuyến khả tri CR (*Cognitive Radio*) là một công nghệ mới, được nghiên cứu để cho phép đầu cuối vô tuyến có thể cảm nhận, nhận biết và sử dụng linh hoạt bất kì phổ tần số vô tuyến hiện hữu nào tại thời điểm đã định. Việc sử dụng phổ tần có sẵn này hoàn toàn chỉ là dựa trên việc hành động đúng lúc. Về mặt nguyên lý, ta có thể chiếm dụng bất kì vùng phổ rỗng ngay khi người dùng sơ cấp của vùng phổ này chuyển sang vùng phổ khác. Việc nghiên cứu vô tuyến khả tri được quan tâm rộng rãi trong những năm gần đây. Dẫn đến sự xuất hiện của truy nhập phổ động DSA dựa trên vô tuyến khả tri. Khai quát hóa sau này làm cho vô tuyến khả tri cơ bản là một thiết bị không dây khả tri, thích ứng, và linh hoạt.

Khái niệm chung về mạng khả tri được đưa ra bởi Clark và cộng sự vào năm 2003 theo quan niệm xu thế nhận thức KP. Ý tưởng cơ bản của mức độ hiểu biết bao gồm tất cả các thành phần chính của mạng khả tri sau này. Thông qua một cơ chế KP mạng có thể điều chỉnh các thông số hoạt động của nó hoặc tự tổ chức chính nó để phục vụ người dùng tối ưu hơn và các ứng dụng khác. Hơn nữa, tác giả giới thiệu các thành phần trung tâm cho một kiến trúc KP mới. Cụ thể họ đã đưa ra ở một mức độ trừu tượng của khái niệm hệ thống khả tri là tập hợp các quan sát, các ràng buộc và các xác nhận. Điều này là cần thiết cho một số hướng quan sát, hoặc các điểm quan sát, và các cơ chế để mô tả các xác nhận và ràng buộc. Hơn nữa, một kiến trúc mạng mới sẽ áp dụng các quy tắc để tạo ra các quan sát và các đáp ứng.

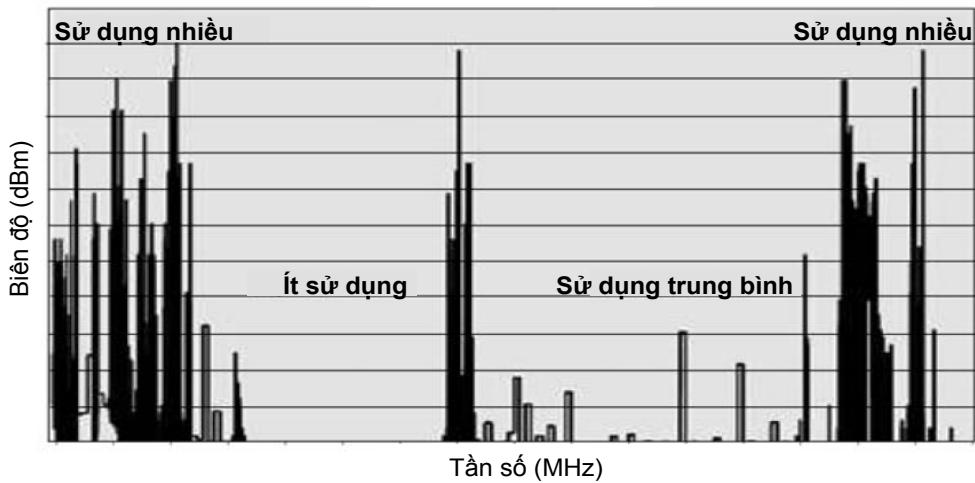
Các nghiên cứu chứng minh rằng việc sử dụng các nguyên tắc mạng khả tri có thể là đặc biệt hiệu quả cho các mạng không dây. Mạng khả tri nói chung, đã được bắt đầu nghiên cứu phát triển mạng, và tồn tại nhiều kết quả đáng quan tâm. Mạng vô tuyến khả tri đang được phát triển để giải quyết các vấn đề của mạng không dây hiện nay, liên quan tới sự hạn hẹp của phổ tần và thiếu hiệu quả trong sử dụng phổ tần. Mạng vô tuyến khả tri đem lại khả năng nhận biết phổ tần trong môi trường vô tuyến.

Trong chương này sẽ trình bày về khái niệm vô tuyến khả tri, kiến trúc, đặc điểm và khả năng ứng dụng của vô tuyến khả tri.

### 8.2. Ý tưởng và khái niệm vô tuyến khả tri

#### ❖ Ý tưởng vô tuyến khả tri

Tần số vô tuyến là một tài nguyên khan hiếm được quản lý bởi các tổ chức viễn thông của chính phủ. Mặc dù phổ tần ngày càng khan hiếm nhưng hiệu suất sử dụng phổ tần lại thấp. Theo Ed Thomas “*Nếu xét toàn bộ giải tần số vô tuyến từ 0 đến 100 GHz và quan trắc ở một thời gian và không gian cụ thể, thì chỉ có từ 5% đến 10% lượng phổ tần được sử dụng*”. Như vậy, hơn 90% tài nguyên phổ tần bị lãng phí. Hình 8.1 minh họa cho vấn đề này.



Hình 8.1 Minh họa việc chiếm dụng phổ.

Định nghĩa những khoảng tần số không được sử dụng là *khoảng trắng hay hố phổ*.

Do vậy yêu cầu bức thiết đặt ra là sử dụng hết, sử dụng hiệu quả và sử dụng triệt để tài nguyên khan hiếm này. Vô tuyến khả tri giải quyết vấn đề này. Hình 8.1b minh họa khái niệm hố phổ.

#### ❖ Khái niệm vô tuyến khả tri

Định nghĩa “*vô tuyến khả tri*” được nhìn nhận theo rất nhiều cách khác nhau, và các định nghĩa này vẫn đang được nghiên cứu chúa hóa IEEE-1900 và diễn đàn vô tuyến định nghĩa mềm (SDR). Vô tuyến khả tri thường được coi là “...một vô tuyến có thể nhận biết được môi trường xung quanh và thích ứng một cách khả tri”, nghĩa là vô tuyến khả tri là một thiết bị vô tuyến linh hoạt và có khả năng nhận thức (khả tri), có thể thích ứng các tham số của nó theo sự thay đổi của môi trường, theo yêu cầu của người dùng và các yêu cầu của những người dùng vô tuyến khác cùng chia sẻ môi trường phổ. Tồn tại một số định nghĩa về vô tuyến khả tri như:

- **Theo FCC:** Vô tuyến khả tri là vô tuyến có thể thay đổi các thông số truyền dựa trên sự môi giới với môi trường mà nó hoạt động. Theo đó, vô tuyến khả tri là một hệ thống có khả năng cảm biến môi trường xung quanh và điều chỉnh các tham số hoạt động của nó để tối ưu hóa hệ thống dưới dạng: tối đa băng thông, giảm can nhiễu, truy nhập phổ tần động.
- **Theo giáo sư Simon Haykin** (cha đẻ của vô tuyến khả tri): Vô tuyến khả tri là một hệ thống truyền thông không dây thông minh, có khả năng nhận biết được môi trường xung quanh, và từ môi trường nó sẽ thích nghi với sự thay đổi của môi trường bằng cách thay đổi các thông số tương ứng (công suất truyền, tần số sóng mang, phương pháp điều chế) trong thời gian thực với hai vấn đề chính: **(i)** truyền thông với độ tin cậy cao bất cứ khi nào và bất cứ nơi đâu và **(ii)** sử dụng hiệu quả phổ vô tuyến
- **Theo IEEE:** Vô tuyến khả tri là hệ thống phát/nhận tần số vô tuyến mà được thiết kế để phát hiện một cách thông minh vùng phổ đang được chiếm dụng hay không, và

nhảy vào (hoặc thoát khỏi nếu cần thiết) rất nhanh qua một khoảng phô tạm thời không sử dụng khác, nhằm không gây nhiễu cho các hệ thống được cấp phép khác.

### 8.3. Kiến trúc mạng vô tuyến khả tri

#### 8.3.1. Khái quát mạng vô tuyến khả tri

Mạng vô tuyến khả tri (CRN), đã được nghiên cứu bởi Thomas và cộng sự. Vẫn đề quan trọng đối với các CRN là khả năng để nhận biết và mô hình mục tiêu đầu cuối-đầu cuối (end to end), khả năng tối ưu hóa hiệu. Các CRN cho phép tối ưu hóa một cách thông minh và linh hoạt hơn. Ban đầu, tối ưu hóa xuyên lớp không coi là nhân tố của kiến trúc CRN. Tuy nhiên, sau này, giao diện và các thành phần khác nhau của kiến trúc chắc chắn sẽ hỗ trợ tối ưu hóa xuyên lớp như là một hệ quả tất yếu. Hơn nữa, nhiều bài toán tối ưu hóa xuyên lớp đòi hỏi khả năng hiểu rõ xung đột mục tiêu đầu cuối-đầu cuối (end to end) và cần thiết để giải quyết một cách thông minh các mục tiêu mâu thuẫn. Vì vậy, kiến trúc CRN có thể trở thành một công nghệ cho phép giải quyết nhiều vấn đề tối ưu hóa xuyên lớp mà không bị mất quyền của modul hóa và một số phân lớp.

Ở một mức độ tổng quát hơn, việc thiết kế kiến trúc CRN phải quyết định kiến trúc dựa trên quá trình ra quyết định tập trung, phân tán, hay lai. Hầu hết các đề xuất được dựa trên giả định: xây dựng hoặc kiến trúc lai ghép hoặc phân tán. IEEE SCC41/P1900 nghiên cứu các khôi kiến trúc chung cho CR, chủ yếu trong điều kiện truy nhập phô tần động (DSA). Việc phác họa các kiến trúc điều khiển dựa trên hệ thống quản lý tài nguyên vô tuyến truyền thông và có thể nhấn mạnh các khía cạnh mang tính lý thuyết trên kiến trúc khả tri nói chung. Thuật ngữ quản lý cấu hình lai ghép, ban đầu được đưa ra bởi vô tuyến định nghĩa bằng phần mềm (SDR) và nhấn mạnh vị trí của nó trong hoạt động của SDR.

Mạng vô tuyến khả tri sẽ giải quyết các vấn đề của mạng không dây hiện hành, liên quan đến sự hạn hẹp, khan hiếm phô tần cũng như và thiếu hiệu quả về chiếm dụng phô tần. CRN có khả năng nhận biết phô tần trong môi trường vô tuyến động.

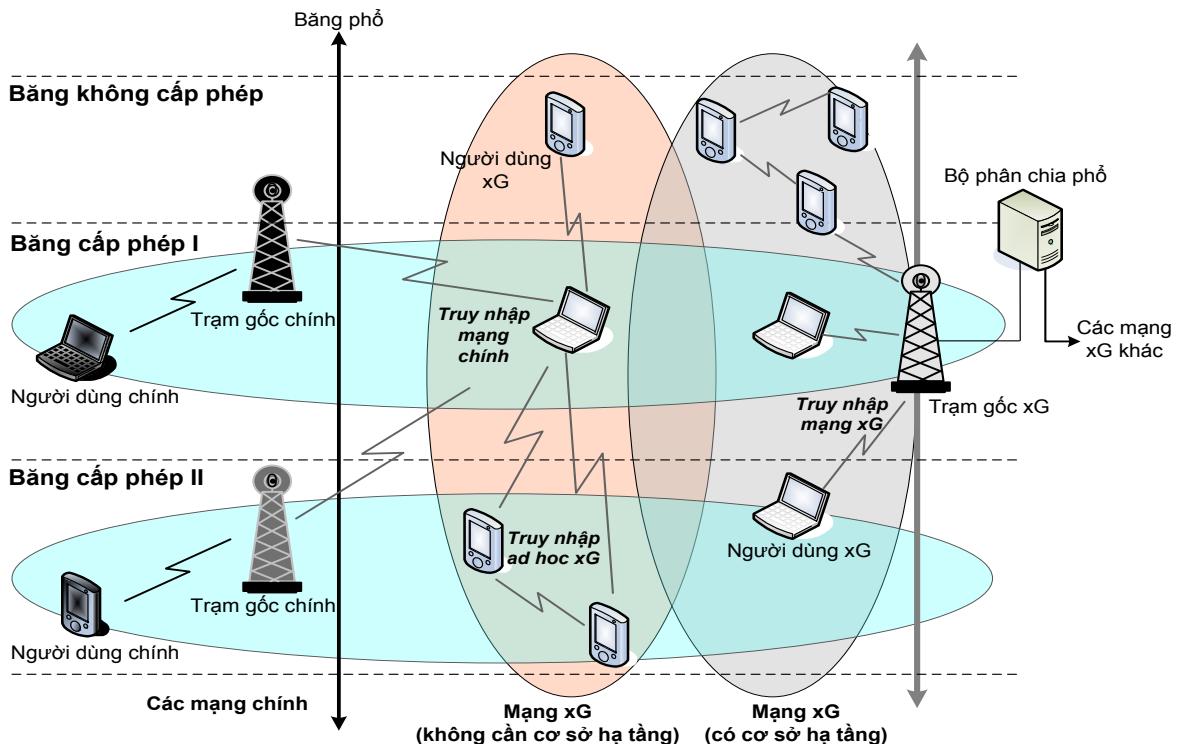
Các kiến trúc mạng không dây hiện hành sử dụng hỗn hợp nhiều chính sách phô và công nghệ truyền thông khác nhau. Hơn nữa, một số vùng phô tần đã được cấp phép trong khi một số băng tần chưa được cấp phép. Dưới đây ta xét vấn đề kiến trúc mạng vô tuyến khả tri điển hình.

Các thành phần kiến trúc của mạng vô tuyến khả tri được minh họa ở hình 8.2, trong đó tồn tại hai nhóm mạng là: mạng sơ cấp (primary network) và mạng khả tri. Các thành phần cơ bản của hai nhóm mạng này được xác định như sau:

- ❖ **Mạng sơ cấp** (Primary network): Hạ tầng mạng đang hiện hành thường gọi là mạng sơ cấp, mạng này được cấp phép (có quyền) truy nhập vào các băng tần nhất định như: mạng TV quảng bá, mạng tế bào, v.v.. Các thành phần cơ bản của mạng sơ cấp gồm:
  - ✓ **Người dùng sơ cấp** (Primary user): Người dùng sơ cấp PU (người dùng được cấp phép) được cấp phép để hoạt động trong một băng tần nhất định. Truy nhập này chỉ được giám sát bởi trạm gốc sơ cấp và không bị ảnh hưởng bởi hoạt động của người dùng không được cấp phép. Mặc dù, cùng tồn tại với các trạm gốc vô tuyến khả tri và người dùng vô tuyến

khả tri SU/CU, nhưng người dùng sơ cấp PU không cần phải điều chỉnh hoặc bổ sung chức năng.

**Trạm gốc sơ cấp** (Primary base-station): Trạm gốc sơ cấp (trạm gốc được cấp phép) là thành phần cơ sở hạ tầng mạng được cố định, có giấy phép phô, như BTS trong mạng tê bào. Về nguyên tắc, trạm gốc sơ cấp không nhất thiết phải chia sẻ phô với người dùng vô tuyến khả tri SU/CU.



Hình 8.2. Minh họa kiến trúc mạng vô tuyến khả tri CRN.

- ❖ **Mạng vô tuyến khả tri:** Mạng vô tuyến khả tri CRN (mạng xG, mạng truy nhập phô tần động, mạng thứ cấp, mạng không được cấp phép) không có giấy phép để hoạt động trong một băng mong muốn. Do đó, nó chỉ được phép truy nhập phô khi có cơ hội. Các mạng vô tuyến khả tri CRN có thể được sử dụng cả mạng hạ tầng cơ sở và mạng ad hoc (hình 8.2). Các thành phần cơ bản của CRN gồm:
  - ✓ **Người dùng vô tuyến khả tri:** Người dùng vô tuyến khả tri SU/CU (người dùng xG, người dùng không được cấp phép, người dùng thứ cấp) không có giấy phép sử dụng phô. Do đó, phải bổ sung các chức năng để chia sẻ băng phô cấp phép.
  - ✓ **Trạm gốc vô tuyến khả tri:** Trạm gốc vô tuyến khả tri (trạm gốc xG, trạm gốc không được cấp phép, trạm gốc thứ cấp) là thành phần cơ sở hạ tầng cố định với các khả năng của vô tuyến khả tri. Khi có cơ hội, trạm gốc vô tuyến khả tri cung cấp kết nối đơn chặng tới những người dùng vô tuyến khả tri SU/CU mà không cần giấy phép truy nhập phô. Thông qua kết nối này, người dùng vô tuyến khả tri có thể truy nhập đến các mạng khác.
  - ✓ **Bộ phân chia phô:** Bộ phân chia phô (server lập lịch) là một thực thể mạng trung tâm đóng vai trò trong việc chia sẻ tài nguyên phô tần giữa các mạng vô tuyến khả tri khác.

nhau. Bộ phân chia phô có thể kết nối với từng mạng với tư cách là quản lý thông tin phô nhằm cho phép CRN đồng hoạt động với các mạng sơ cấp khác.

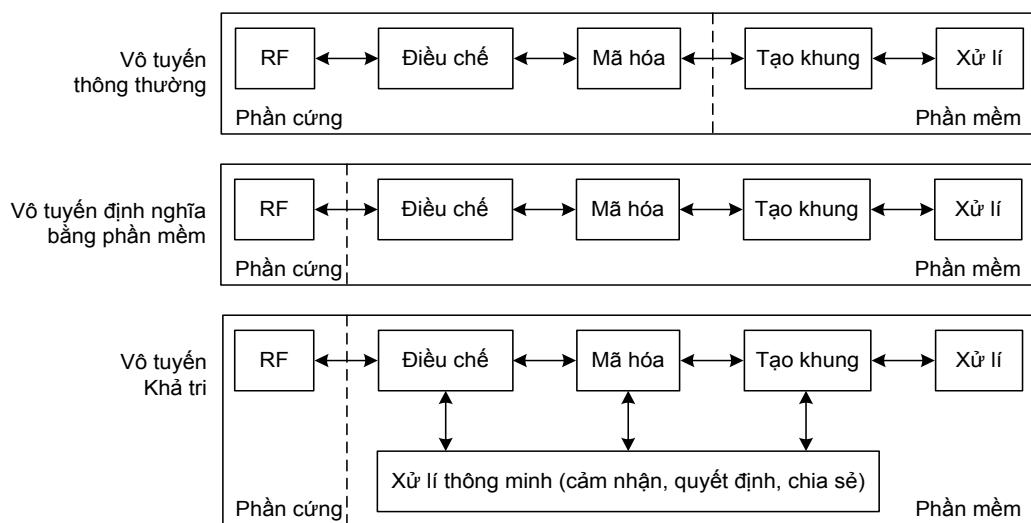
Hình 8.2 minh họa kiến trúc mạng vô tuyến khả tri. Trong đó, mạng vô tuyến khả tri bao gồm nhiều loại mạng khác nhau: mạng sơ cấp, mạng vô tuyến khả tri dựa trên cơ sở hạ tầng, và mạng vô tuyến khả tri ad hoc. Các mạng vô tuyến khả tri hoạt động dưới môi trường phô hỗn hợp, bao gồm cả các băng được cấp phép và không được cấp phép. Do đó, trong mạng vô tuyến khả tri, tồn tại ba loại truy nhập là:

- + *Truy nhập mạng vô tuyến khả tri (xG network access)*: Người dùng vô tuyến khả tri SU/CU có thể truy nhập vào chính trạm gốc vô tuyến khả tri ở cả băng được cấp phép và không được cấp phép.
- + *Truy nhập mạng vô tuyến khả tri ad hoc (xG ad hoc access)*: Người dùng vô tuyến khả tri có thể truyền thông với những người dùng vô tuyến khả tri khác thông qua kết nối ad hoc ở cả băng được cấp phép và không được cấp phép.
- + *Truy nhập mạng sơ cấp (Primary network access)*: Người dùng vô tuyến khả tri cũng có thể truy nhập tới trạm gốc sơ cấp thông qua băng được cấp phép.

### 8.3.2. Mô hình kiến trúc hệ thống vô tuyến khả tri

Trước khi xem xét mô hình thực hiện vô tuyến khả tri CR từ vô tuyến định nghĩa băng phần mềm (SDR), trước hết, ta xét sự khác biệt giữa hai công nghệ này.

Có thể thấy rằng, SDR là cơ sở để thực hiện vô tuyến khả tri CR. Bởi lẽ, SDR cung cấp một mặt băng vô tuyến rất linh hoạt và mềm dẻo, ở đó ta có thể lập trình và điều khiển thích ứng bởi một khôi giám sát trung tâm. Tính ưu việt của SDR là khả năng mềm hóa phần cứng, các công nghệ điện tử hiện thời như ADC, DDC, bộ tổng hợp tần số tốc độ cao, phương pháp chế tạo vi điện tử,... có thể thực hiện được với chi phí rất hợp lí, tích hợp cao và kích thước nhỏ gọn. Đặc biệt, SDR cho phép thay đổi, nâng cấp, cập nhật, bổ sung, tích hợp ở dạng chương trình hóa trên FPGA. Hình 8.3 minh họa, so sánh vô tuyến thông thường và vô tuyến được định nghĩa băng phần mềm SDR và vô tuyến khả tri CR.



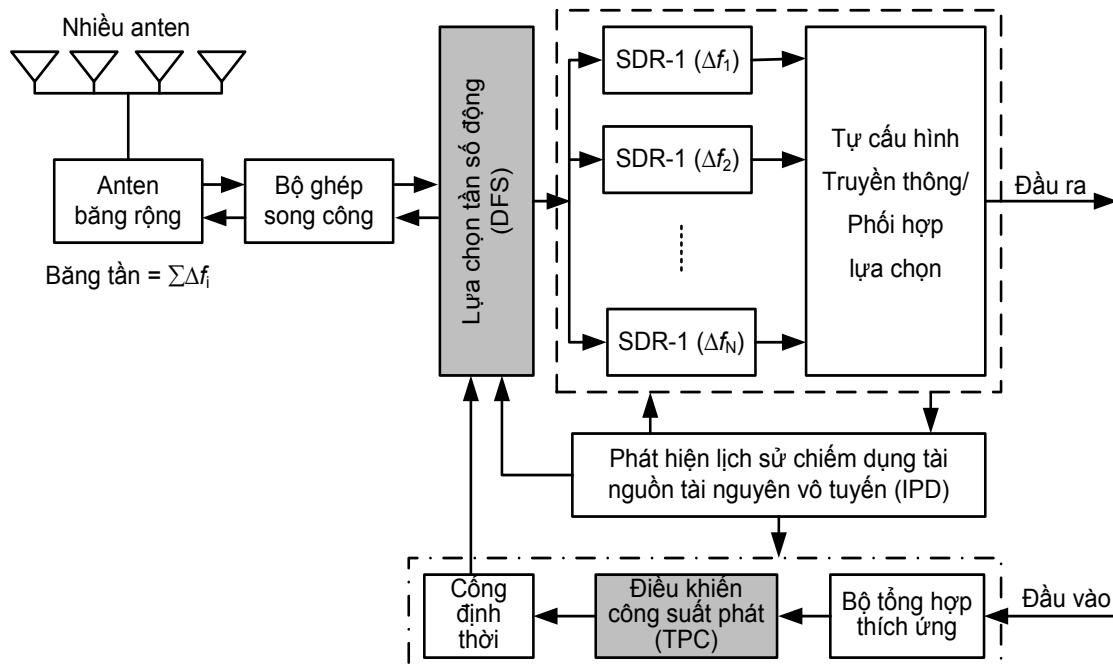
Hình 8.3. Minh họa, so sánh, vô tuyến thông thường, vô tuyến được định nghĩa băng phần mềm SDR và vô tuyến khả tri CR.

Từ hình 8.3 cho thấy, vô tuyến khả tri CR có thể thực hiện được hoàn toàn chỉ dựa trên những thay đổi ở cấu trúc phần mềm mà không phải thay đổi ở cấu trúc phần cứng bên trong như các hệ thống vô tuyến trước đây. Để triển khai CR từ SDR, chỉ cần thêm vào SDR các khối xử lý thông minh như chia sẻ phổ tần động (DFS), điều khiển công suất (TPC), và IPD. Điểm khác biệt chủ yếu của CR so với vô tuyến được định nghĩa bằng phần mềm SDR là khả năng khả tri (khả năng nhận thức), tự động thích ứng nhanh với sự thay đổi của môi trường vô tuyến. Trong khi SDR chỉ có thể thay đổi các quyết định theo môi trường trong phạm vi một tập các lựa chọn được cấu hình sẵn qua phần mềm, thì vô tuyến khả tri CR có khả năng tự cấu hình, tức là nó có thể thích ứng ngay với điều kiện của môi trường mà không cần cấu hình trước. Như vậy, vô tuyến khả tri CR thích ứng với môi trường phổ, trong khi SDR lại thích ứng với môi trường mạng, và chúng có một phần chồng lên nhau về chức năng.

Sơ đồ khái niệm của vô tuyến khả tri dựa trên các module SDR được cho ở hình 8.4.

*Anten băng rộng*, là cổng vào vô tuyến khả tri hoạt động trên các băng tần vô RF, có khả năng quét băng tần rộng phù hợp với sự thay đổi của môi trường phổ. Ta biểu thị băng tần

tổng đối với anten băng rộng là  $\sum_{i=1}^N \Delta f_i$ , gồm  $N$  băng con, mỗi băng con được gán cho một SDR nhất định. *Bộ ghép song công* cho phép phân phân tách tín hiệu thu/phát RF. *Khối lựa chọn tần số động* DFS cho phép CR lựa chọn linh hoạt phổ tần trong môi trường phổ tần động, và giảm thiểu nhiễu. Các khái SDR hoạt động đồng thời, và mỗi khái đảm nhiệm một phần băng tần tổng. Việc nhiều SDR đồng hoạt động (thay vì sử dụng một SDR), làm gia tăng tính linh hoạt về xử lý dữ liệu cũng như tận dụng hiệu quả tài nguyên vô tuyến của CR trong môi trường phổ tần động. Tất cả dữ liệu đầu ra sau đó sẽ được hợp lại thành một khái, khái này có nhiệm vụ đưa ra các quyết định thông minh. Các quyết định này bao gồm việc lựa chọn và kết hợp các thông tin đã phát hiện được, để đạt được các thông tin ở đầu ra thực sự muốn.

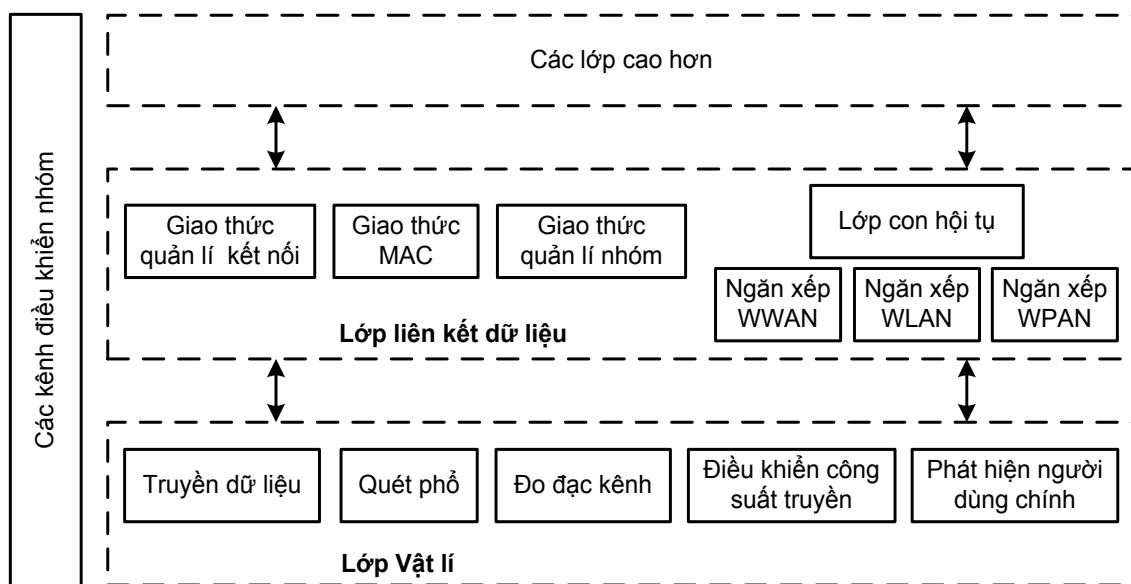


Hình 8.4. Sơ đồ khái niệm của vô tuyến khả tri CR dựa trên SDR.

Trong máy phát ở hình 8.4. *Bộ tổng hợp thích ứng* tạo ra sóng mang, thực hiện điều chế và biến đổi nâng tần. Module máy phát cũng cần các thông tin từ khối IPD như: biểu đồ định vị tần số sóng mang hiện thời, công suất phát (để xác định mức công suất phát, giảm thiểu nhiễu). *Cổng định thời*, định thời việc chiếm dụng phô trống và phát tín hiệu.

Kiến trúc phân lớp cho sơ đồ vô tuyến khả tri CR hình 8.5 được minh họa ở [hình 8.6](#), trong đó chỉ tập chung vào vật lý và liên kết dữ liệu.

*Quét phô* (Spectrum scanning) là một trong những chức năng quan trọng nhất ở lớp vật lý của vô tuyến khả tri. Ở đây, tất cả vùng phô của toàn bộ băng tần hoạt động đều được quét. Việc quét phô phục vụ cho cảm nhận, phân tích, quản lý, chia sẻ, phô tần trong môi trường phô tần động.



Hình 8.5. Kiến trúc phân lớp tổng quát cho vô tuyến khả tri

*Đo khenh* (Channel measurement) để xác định chất lượng của các kênh đã quét, được chia sẻ với nhiều người dùng sơ cấp. Các thông số của kênh (công suất phát, tốc độ bít, ...) phải được xác định dựa trên các kết quả đo lường khenh.

Vô tuyến khả tri phải có khả năng hoạt động tại các tốc độ truyền dữ liệu, các dạng điều chế, các mã khenh, các mức công suất khác nhau. Kỹ thuật MIMO cũng có thể được sử dụng để triệt nhiễu không gian và tăng thông lượng thông qua việc ghép khenh. Kỹ thuật OFDM cũng có thể được sử dụng để nâng cao hiệu quả băng tần và hiệu quả. Các chức năng khác của lớp vật lý, như TPC và IPD,... được đề cập ngắn gọn dưới đây.

Lớp liên kết dữ liệu gồm ba khối chính: *giao thức quản lý nhóm*, *giao thức điều khiển truy nhập môi trường (MAC)*, và *giao thức quản lý kết nối*. Giao thức quản lý nhóm được dùng để phối hợp mọi người dùng thứ cấp trong cùng một nhóm. Một người dùng mới nào đó cũng có thể lấy thông tin cần thiết về nhóm khi tham gia vào một nhóm. Giao thức liên kết dữ liệu được sử dụng để lựa chọn một kênh phù hợp để tạo ra kết nối truyền thông. Lựa chọn này được thực hiện dựa trên các thông tin lấy được từ việc quét phô và IPD. Một khi kết nối thứ cấp được thiết lập, các giao thức liên kết dữ liệu có trách nhiệm duy trì kết nối. Giao thức MAC hoạt động dựa trên các thông tin từ lớp vật lý như “quét phô” và “IPD”... Giao thức

MAC quyết định cách thức truy nhập vào kênh, phụ thuộc vào kiểu kênh chia sẻ hoạt động bởi người dùng sơ cấp SU/CU.

*Lớp con hội tụ* (Convergence Sublayer) trong lớp liên kết dữ liệu cung cấp kĩ thuật phối hợp trong CR để hoạt động trong các môi trường không dây khác nhau, như WWAN, WLAN, và WPAN, ...

### 8.3.3. Các yêu cầu khi thực hiện hệ thống vô tuyến khả tri

Điểm nổi bật của vô tuyến khả tri (CR) là tính khả tri (khả năng nhận thức, tri thức) vốn có của nó. Tính khả tri này cho phép vô tuyến khả tri có thể quét tất cả các phổ tần khả dụng trước khi quyết định chiếm dụng vùng phổ và thời điểm chiếm dụng. Muốn vậy, vô tuyến khả tri phải sử dụng hai giao thức sau:

- ✓ *Lựa chọn tần số động* (DFS): cho phép lựa chọn tần số sao cho tránh được nhiễu tới mạng sơ cấp (mạng có quyền ưu tiên cao hơn).
- ✓ *Điều khiển công suất phát* (TPC): là một kĩ thuật để thiết lập công suất phát một cách thích ứng dựa trên sự thay đổi của môi trường phổ.

Ngoài ra, CR còn phải có khả năng IPD. IPD là khả năng để phát hiện người dùng sơ cấp dựa trên một thông tin phổ đặc biệt. *Phát hiện lịch sử chiếm dụng tài nguyên vô tuyến* (IPD) có những đặc tính cơ bản: nhận biết các tần số, các kênh không sử dụng hoặc ít sử dụng; kế hoạch phát hiện tập trung vào các đặc tính của người dùng sơ cấp PU hoạt động trong băng tần mà vô tuyến khả tri được thiết kế để hỗ trợ. Các thông tin mà IPD cung cấp sẽ cần thiết để xác định mức công suất phát chính xác để đảm bảo việc truyền từ vô tuyến khả tri không gây nhiễu với những người dùng đang hoạt động. Vị trí của IPD trong mô hình vô tuyến khả tri được cho ở Hình 8.5.

### 8.3.4. Chức năng và hoạt động của hệ thống vô tuyến khả tri

#### ❖ Chức năng của hệ thống vô tuyến khả tri

Vô tuyến khả tri (CR) có khả năng chiếm dụng hoặc chia sẻ phổ theo cơ hội trong môi trường phổ tần động. Công nghệ truy nhập phổ tần động cho phép CR hoạt động trong kênh khả dụng nhất. Đặc biệt, công nghệ CR cho phép: *(i)* xác định các phần phổ tần khả dụng và phát hiện sự hoạt động (sự tồn tại) của PU (cảm nhận phổ tần); *(ii)* lựa chọn, chiếm dụng kênh khả dụng nhất (quản lí phổ); *(iii)* đồng truy nhập vào các kênh với những người dùng khác (chia sẻ phổ); *(iv)* hoàn trả kênh khi phát hiện người dùng được cấp phép PU (dịch chuyển phổ).

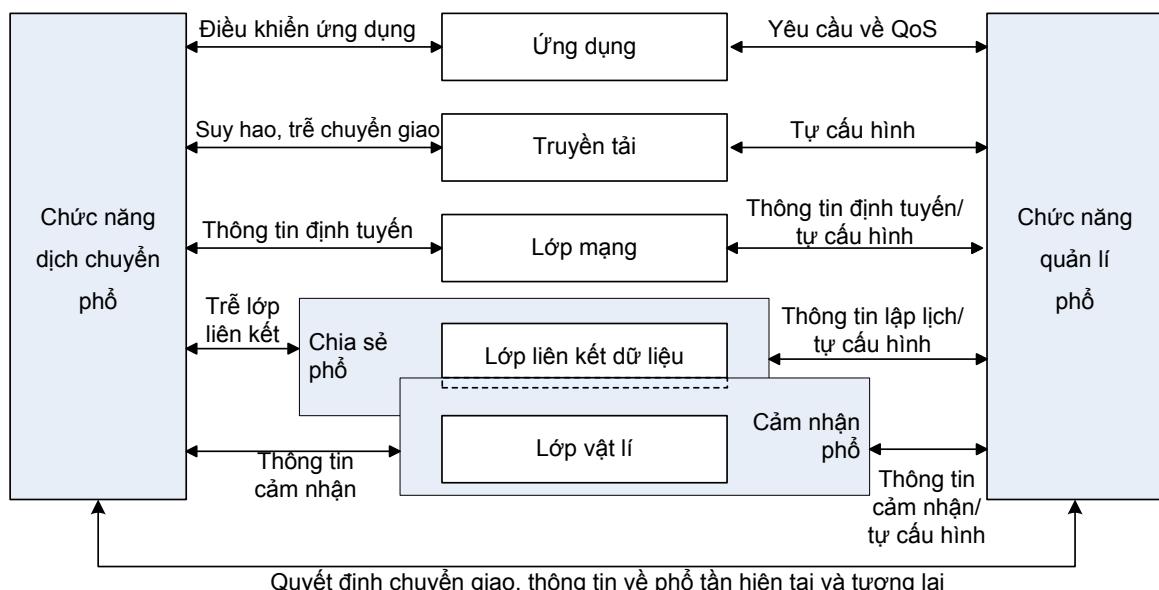
Một khi vô tuyến khả tri hỗ trợ khả năng lựa chọn được kênh tốt nhất (khả dụng nhất), thì thách thức tiếp là tạo ra các giao thức mạng để thích ứng với phổ khả dụng. Vì thế, mạng vô tuyến khả tri CRN cần có nhiều tính năng để hỗ trợ tính thích ứng này. Tóm lại, chức năng cơ bản của vô tuyến khả tri:

- ✓ *Cảm nhận phổ*: Phát hiện ra phổ tần không sử dụng và chia sẻ phổ mà không gây nhiễu tới những người dùng khác.

- ✓ *Quản lí phô*: Chiếm giữ phần phô tần khả dụng nhất để đáp ứng yêu cầu truyền thông của người dùng.
- ✓ *Dịch chuyển phô*: Bảo đảm các yêu cầu truyền thông không bị ngắt quãng trong lúc chuyển tới phô tần tốt hơn.
- ✓ *Chia sẻ phô*: Cung cấp phương pháp lập lịch phô tần hợp lý giữa nhiều người dùng khả tri SU/CU đang cùng tồn tại.

Các chức năng của CRN cho phép các giao thức truyền thông nhận biết phô. Tuy nhiên, sử dụng phô tần động có thể gây ra bất lợi đến hiệu năng của các giao thức truyền thông truyền thống (đã được triển khai trên các băng tần số cố định).

Các thành phần trong CRN và tác động giữa chúng được minh họa trong hình 8.7. Chính sự tác động này đòi hỏi mạng vô tuyến khả tri CRN phải có chức năng thiết kế giữa các lớp. Đặc biệt, việc cảm nhận phô và chia sẻ phô phải được kết hợp để nâng cao hiệu quả phô. Trong chức năng chia sẻ phô và dịch chuyển phô, các chức năng ở lớp ứng dụng, truyền tải, định tuyến, truy nhập phương tiện và lớp vật lý được thực hiện đồng thời.



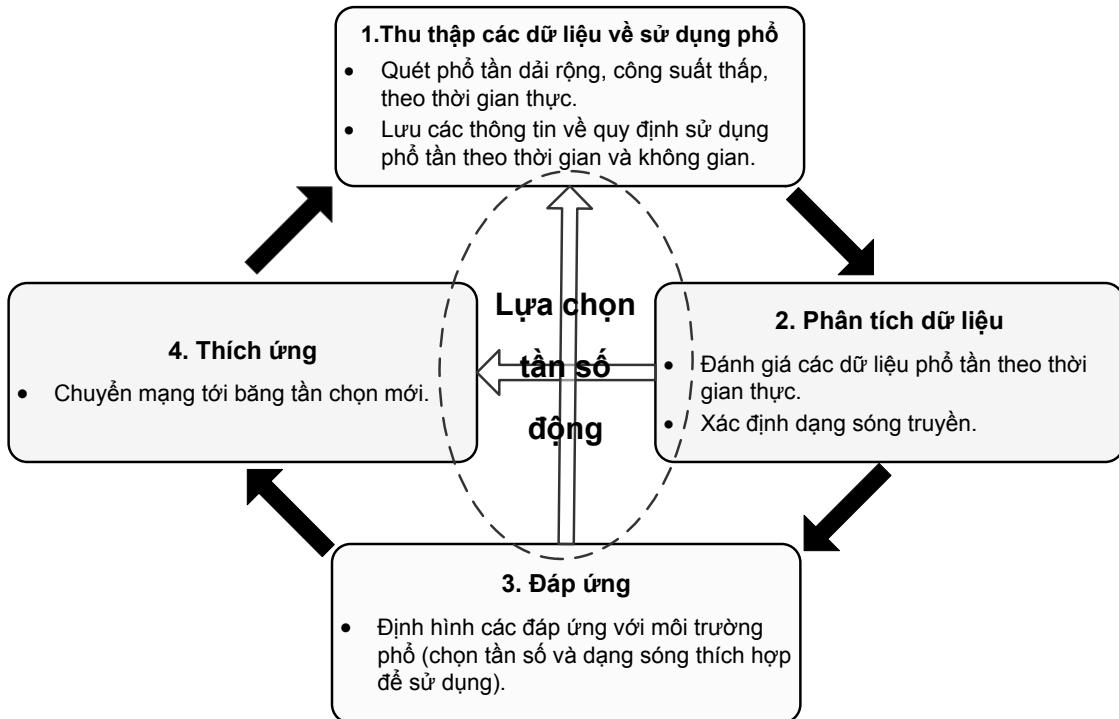
Hình 8.7. Các chức năng truyền thông trong mạng vô tuyến khả tri CRN.

Hình 8.8 minh họa các thành phần thiết yếu để lựa chọn tần số động trong vô tuyến khả tri CRN dựa vào chính sách.

**Khối thu thập dữ liệu phô (khối 1):** Lựa chọn tần số động yêu cầu khả năng cảm nhận băng rộng, thời gian thực của môi trường phô. Đây là quá trình lấy mẫu kênh để xác định kênh nào còn trống, kênh nào đã sử dụng. Một vài thông số liên quan ở quá trình này là độ nhạy máy thu, thời gian lấy mẫu và khoảng lấy mẫu, các mức ngưỡng để tách tạp âm băng rộng ra khỏi tín hiệu.

**Khối chức năng phân tích dữ liệu (khối 2):** đánh giá, phân tích dữ liệu phô và đưa ra quyết định về tính khả dụng của kênh. Quá trình phát hiện này bao gồm việc phân loại dữ liệu, và sử dụng thông tin thu thập để xác định kênh có được sử dụng bởi một dịch vụ hay hệ thống truyền thông khác. Quá trình phát hiện này cũng bao gồm việc thông tin với các tập con của

các node lân cận vì rất có thể ở một đầu của kết nối thì kênh đó rỗi, nhưng ở đầu kia của kết nối thì kênh đó lại không còn rỗi nữa. Đối với một số phân hệ di động, việc thông tin này có thể yêu cầu dùng kênh hoa tiêu băng hẹp.



Hình 8.8. Các thành phần cơ bản của vô tuyến khả tri để lựa chọn tần số động.

Tại một ví trí và một thời điểm xác định, khôi phục chức năng thứ ba thực hiện việc xác định dạng sóng và tần số động để sử dụng. Điều này dẫn tới cần phải có khối thích ứng với sự thay đổi của mạng (Khối 4).

#### ❖ Hoạt động điển hình của mạng vô tuyến khả tri

Như được đề cập ở trên, mạng vô tuyến khả tri (CRN) có thể hoạt động trong cả băng cấp phép và không được cấp phép. Do đó, các chức năng thiết yếu đối với CRN khác nhau tùy theo phổ đó là cấp phép hay không.

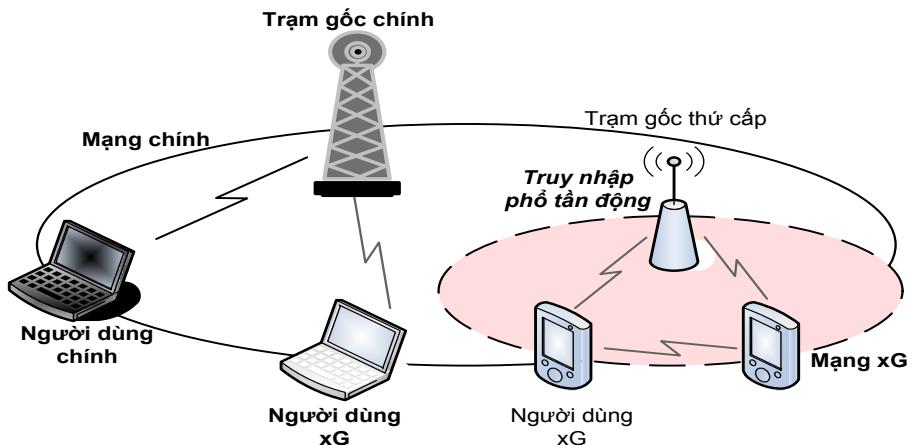
Dưới đây, ta sẽ phân loại hoạt động của CRN thành CRN hoạt động trên băng cấp phép và CRN hoạt động trên băng không được cấp phép. Các chức năng của CRN sẽ được giải thích ở các phần sau theo từng loại.

#### ✓ Trên băng cấp phép

Như được thấy ở hình 8.1, tồn tại các hố phổ trong băng phổ được cấp phép. Do đó, các mạng vô tuyến khả tri CRN có thể để khai thác các hố phổ này thông qua các công nghệ khả tri.

Mạng vô tuyến khả tri hoạt động trên băng cấp phép được minh họa ở hình 8.9, trong đó CRN cùng tồn tại với các mạng sơ cấp tại cùng một vị trí và trên cùng một băng phổ. Tồn tại nhiều thách thức khi thực hiện các CRN trên băng cấp phép vì sự tồn tại của những người dùng sơ cấp PU. Mặc dù, mục đích chính của CRN là xác định phổ tần khả dụng, nhưng các

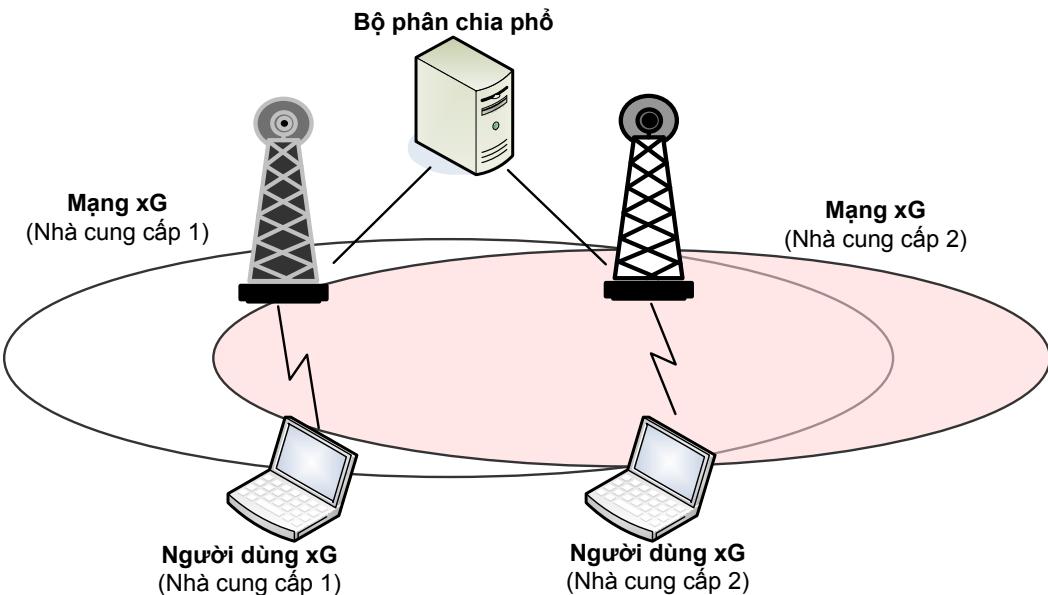
chức năng của CR trong băng cấp phép lại bao gồm phát hiện sự hiện hữu của các người dùng sơ cấp PU.



Hình 8.9. Mạng vô tuyến khả tri hoạt động trên băng cấp phép.

Dung lượng kênh của các hố phổ phụ thuộc vào nhiều xung quanh những người dùng sơ cấp PU. Do đó, việc tránh nhiễu lén PU là vấn đề quan trọng nhất trong kiến trúc này. Hơn nữa, nếu PU xuất hiện trong băng phổ bị những người dùng vô tuyến khả tri chiếm, thì người dùng vô tuyến khả tri lập tức phải hoàn trả lại phổ và chuyển tới phổ khả dụng khác (chuyển giao phổ).

✓ *Trên băng không được cấp phép*



Hình 8.10. Mạng vô tuyến khả tri hoạt động trên băng không được cấp phép.

Hình 8.10 minh họa mạng vô tuyến khả tri CRN hoạt động trên băng không được cấp phép. Tất cả thực thể trong mạng có quyền như nhau khi truy nhập tới các băng phổ. Nhiều CRN cùng tồn tại trong một vùng giống nhau và truyền thông sử dụng cũng một phần phổ như nhau. Các thuật toán chia sẻ phổ khả tri có thể cải thiện hiệu quả sử dụng phổ và hỗ trợ QoS cao. Trong kiến trúc này, những người dùng vô tuyến khả tri tập trung vào phát hiện việc

truyền của những người dùng vô tuyến khả tri khác. Khác với hoạt động trên băng cấp phép, việc chuyển giao phổ không được kích hoạt bởi sự có mặt của những người dùng sơ cấp khác.

Tuy nhiên, vì tất cả những người dùng vô tuyến khả tri có quyền truy nhập phổ như nhau, nên họ phải cạnh tranh với nhau trong cùng băng không được cấp phép. Do đó, kiến trúc này đòi hỏi các phương pháp chia sẻ phổ phức tạp giữa những người dùng vô tuyến khả tri. Nếu nhiều mạng vô tuyến khả tri nằm trong cùng một băng không được cấp phép thì phải có phương pháp chia sẻ phổ phù hợp giữa các mạng này.

#### **8.4. Kiến trúc vật lý của hệ thống vô tuyến khả tri**

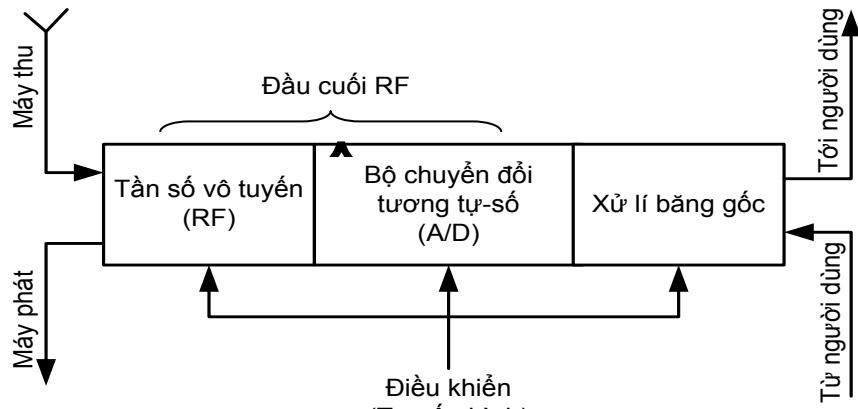
Kiến trúc tổng quát thu/phát của CR được minh họa trên hình 8.11(a). Thành phần chính của máy thu/phát CR là đầu cuối vô tuyến RF (RF front-end) và khối xử lý băng gốc. Mỗi thành phần có thể tự cấu hình thông qua một bus điều khiển để thích ứng với môi trường RF biến đổi theo thời gian. Trong đầu cuối RF, tín hiệu thu được được khuếch đại, được trộn và được chuyển đổi A/D. Trong khối xử lý băng gốc, tín hiệu được điều chế/giải điều chế, được mã hóa/giải mã. Khối xử lý băng gốc của CR về bản chất cũng tương tự như máy thu/phát hiện thời. Tuy nhiên, điểm mới ở vô tuyến khả tri là đầu cuối RF. Vì vậy, ta sẽ tập trung vào đầu cuối RF của vô tuyến khả tri.

Điểm mới của máy thu phát CR là khả năng cảm nhận phổ băng rộng của đầu cuối RF. Chức năng này liên quan tới các công nghệ phần cứng RF như anten băng rộng, khuếch đại công suất, và bộ lọc thích ứng. Phần cứng RF cho CR có khả năng điều chỉnh trong các băng của dải phổ tần rộng. Cảm nhận phổ cũng cho phép việc đo lường trong thời gian thực các thông tin phổ từ môi trường vô tuyến. Nói chung, kiến trúc đầu cuối băng rộng cho vô tuyến khả tri có kiến trúc như trên hình 8.11(b).

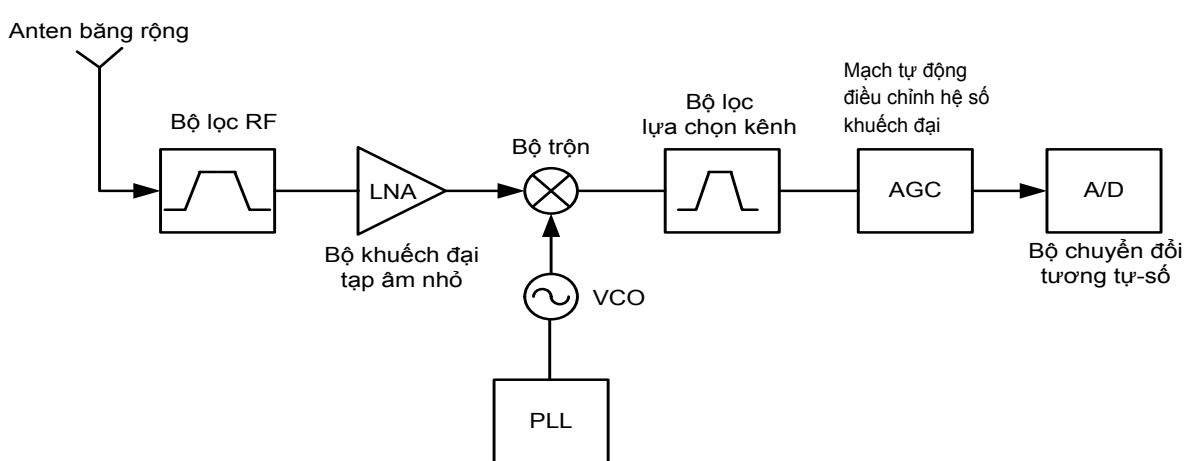
##### **Các thành phần cơ bản về đầu cuối RF trong CR là:**

- + *Bộ lọc RF*: Bộ lọc RF lựa chọn băng mong muốn bằng cách bỏ qua việc lọc tín hiệu RF nhận được.
- + *Bộ khuếch đại tạp âm thấp (LNA)*: LNA khuếch đại tín hiệu mong muốn trong khi đồng thời giảm thiểu các thành phần tạp âm.
- + *Bộ trộn*: Tín hiệu thu được trộn với tần số RF nội, và được chuyển đổi thành tần số băng gốc hoặc tần số trung tần (IF).
- + *Bộ dao động điều khiển bằng điện áp (VCO)*: VCO tái tạo tín hiệu tại một tần số nhất định với điện áp cho trước để trộn với tín hiệu tới. Quá trình này chuyển đổi tín hiệu tới thành tần số băng gốc hoặc tần số trung tần.
- + *Vòng khóa pha (PLL)*: PLL đảm bảo tín hiệu được khóa ở một tần số nhất định và cùng vưới VCO tạo ra các tần số chính xác.
- + *Bộ lọc lựa chọn kênh*: Bộ lọc lựa chọn kênh để lựa chọn kênh mong muốn và loại bỏ các kênh lân cận. Có hai loại bộ lọc lựa chọn kênh. Máy thu chuyển đổi trực tiếp sử dụng bộ lọc thông thấp để lựa chọn kênh, còn máy thu superheterodyne lại sử dụng bộ lọc thông dải.

- + *Mạch tự động điều chỉnh độ lợi (AGC):* AGC duy trì độ lợi hoặc mức công suất đầu ra của bộ khuếch đại không đổi trên một dải rộng các mức công suất đầu vào.



(a)



(b)

Hình 8.11. Kiến trúc vật lí của vô tuyến khả tri: (a) Máy thu/phát của vô tuyến khả tri; (b) Kiến trúc đầu cuối RF băng rộng.

Trong kiến trúc này, tín hiệu băng rộng được nhận thông qua đầu cuối RF, được lấy mẫu bởi bộ chuyển đổi tương tự-số (A/D) tốc độ cao, và việc đo đặc được thực hiện để phát hiện ra tín hiệu của người dùng được cấp phép. Tuy nhiên, còn tồn tại nhiều thách thức/hạn chế trong việc thực hiện đầu cuối của vô tuyến khả tri.

Anten RF băng rộng thu nhận tín hiệu từ các máy phát tại các mức công suất, các băng tần và các vị trí khác nhau. Hệ quả là, đầu cuối RF phải có khả năng phát hiện tín hiệu yếu trong một dải tần số rộng. Khả năng này cần có bộ chuyển đổi A/D tốc độ cao (vài GHz) với độ phân giải cao.

Như đã trình bày ở trên, thách thức chủ yếu của kiến trúc vật lí của vô tuyến khả tri là phát hiện chính xác các tín hiệu yếu của những người dùng được cấp phép qua một dải phổ rộng và động. Do vậy, việc thực hiện đầu cuối RF băng rộng và bộ chuyển đổi A/D là vấn đề hàng đầu trong các CRN.

## 8.5. Đặc điểm và khả năng ứng dụng cho vô tuyến khả tri

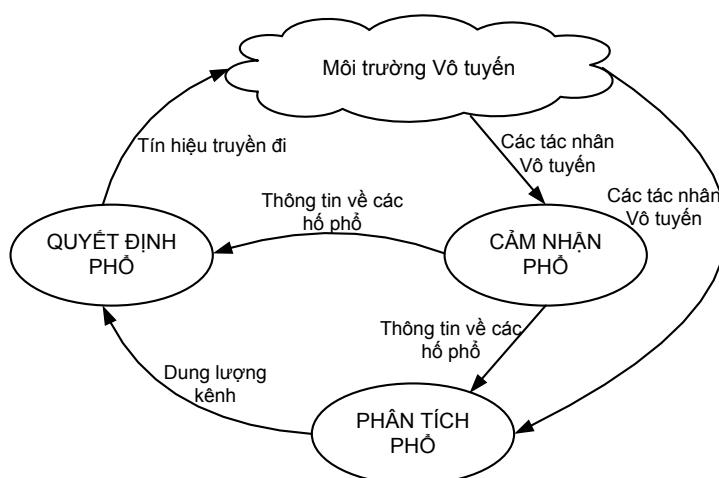
### ❖ Đặc điểm của vô tuyến khả tri

- ✓ **Khả năng nhận thức:** Khả năng nhận thức chỉ khả năng nắm bắt hoặc cảm nhận các thông tin từ môi trường vô tuyến. Khả năng này không chỉ đơn giản là thực hiện giám sát công suất trong một số băng tần số quan tâm mà còn yêu cầu nhiều công nghệ phức tạp để nắm bắt sự biến đổi của môi trường vô tuyến theo không gian và theo thời gian nhằm tránh nhiều ảnh hưởng tới những người dùng khác. Thông qua khả năng này, các phần phô không sử dụng tại một thời điểm hoặc vị trí nhất định có thể được xác định. Từ đó, ta có thể lựa chọn được phô tốt nhất và các thông số hoạt động phù hợp nhất.

Khả năng nhận thức cho phép vô tuyến khả tri tương thích trong thời gian thực với các thay đổi của môi trường để xác định các thông số truyền thích hợp và thích ứng với môi trường vô tuyến động. Nhiệm vụ yêu cầu cho hoạt động thích ứng trong phô được cho trên hình 8.12, gọi là chu trình nhận thức. Ta tóm tắt ba bước cơ bản trong chu trình thông minh: cảm nhận phô, phân tích phô và quyết định phô như sau:

1. *Cảm nhận phô:* Vô tuyến khả tri giám sát các băng phô khả dụng, nắm bắt các thông tin của chúng và sau đó phát hiện ra các hố phô.
2. *Phân tích phô:* Các đặc tính của hố phô có được thông qua cảm nhận phô sẽ được ước tính.
3. *Quyết định phô:* Vô tuyến khả tri quyết định tốc độ dữ liệu, chế độ truyền và băng tần truyền. Sau đó, băng phô phù hợp sẽ được chọn thông qua các đặc tính phô và yêu cầu của người dùng.

Một khi băng phô hoạt động đã được quyết định, thì việc truyền thông có thể được thực hiện qua băng phô này. Tuy nhiên, vì môi trường vô tuyến thay đổi theo thời gian và không gian, nên vô tuyến khả tri phải theo dõi những thay đổi của môi trường vô tuyến. Nếu băng phô hiện đang sử dụng trở nên rỗng, thì chức năng dịch chuyển phô, được thực hiện để cung cấp việc truyền liên tục. Bất kì thay đổi nào của môi trường trong suốt quá trình truyền như xuất hiện người dùng sơ cấp, hoạt động của người dùng hoặc sự biến đổi lưu lượng đều phải được điều chỉnh kịp thời.



Hình 8.12. Chu trình nhận thức

- ✓ **Khả năng tự cấu hình:** Tính khả tri đem lại khả năng nhận biết phổ, mặt khác khả năng tự cấu hình cho phép vô tuyến được lập trình động theo môi trường vô tuyến. Đặc biệt, vô tuyến khả tri có thể được lập trình để truyền và nhận trên các tần số khác nhau và tận dụng các công nghệ truy nhập truyền dẫn khác nhau được phần cứng hỗ trợ. Mục tiêu cơ bản của vô tuyến khả tri là đạt được phổ tần có sẵn tốt nhất thông qua khả năng khả tri và tính tự cấu hình. Vì hầu hết phổ tần đã được gán, nên thách thức quan trọng nhất là chia sẻ phổ tần được cấp phép mà không nhiễu với việc truyền của những người dùng được cấp phép khác như minh họa trên hình 8.2. vô tuyến khả tri cho phép sử dụng những vùng phổ trống theo từng thời điểm, phổ này gọi là hố phổ hay khoảng trống. Nếu băng này được người dùng cấp phép (người dùng sơ cấp) sử dụng tiếp thì vô tuyến khả tri phải chuyển đến hố phổ khác hoặc vẫn ở trong cùng một băng, thay đổi mức công suất phát hoặc sơ đồ điều chế để tránh nhiễu.

#### ❖ Các ứng dụng cơ bản trong vô tuyến khả tri

Với khả năng cho phép chia sẻ phổ với những người dùng phổ khác, công nghệ vô tuyến khả tri là rất lí tưởng cho các ứng dụng yêu cầu khắt khe về thời gian thực. Bốn ứng dụng được coi như đầy triển vọng nhất đó là:

- ✓ Download đa phương tiện cho di động (như download các file nhạc/video): đòi hỏi tốc độ dữ liệu vừa phải và độ phủ gần như ở khắp nơi.
- ✓ Các dịch vụ truyền thông khẩn cấp đòi hỏi tốc độ dữ liệu vừa phải và phủ tập trung (như truyền video từ vụ cháy).
- ✓ Các mạng vô tuyến băng rộng (như sử dụng laptop) cần tốc độ dữ liệu cao, nhưng những người dùng có thể hài lòng với các dịch vụ “hot spot” tập trung.
- ✓ Các dịch vụ mạng không dây đa phương tiện (như audio/video trong nhà) yêu cầu tốc độ dữ liệu cao.

### 8.6. Tổng kết

Vô tuyến khả tri ra đời nhằm giải quyết vấn đề khan hiếm phổ tần. Công nghệ truy nhập phổ tần động cho phép vô tuyến khả tri hoạt động trong kênh tốt nhất có sẵn. Đặc biệt, công nghệ vô tuyến khả tri cho phép người dùng:

- ✓ *Cảm nhận phổ:* xác định các phần phổ khả dụng và phát hiện người dùng được cấp phép khi họ tái dụng băng cấp phép và hoàn trả phổ cho họ.
- ✓ *Quản lý phổ:* lựa chọn kênh khả dụng nhất.
- ✓ *Chia sẻ phổ:* đồng truy nhập tới các kênh đó với những người dùng khác.
- ✓ *Dịch chuyển phổ:* bỏ kênh đó khi phát hiện đã có người dùng được cấp phép.

Mục tiêu cơ bản của vô tuyến khả tri là đạt được phổ tần khả dụng nhất thông qua khả năng thông minh và tính tự cấu hình. Mục tiêu này được phát triển từ SDR (vô tuyến khả tri CR được xây dựng trên cơ sở vô tuyến định nghĩa bằng phần mềm SDR) bằng cách thêm vào SDR thông thường các khối có khả năng cảm nhận phổ và thay đổi theo sự thay đổi của môi trường, cũng như theo yêu cầu của người dùng. Nhờ vậy, công nghệ vô tuyến khả tri rất lí

tưởng cho các ứng dụng yêu cầu khắt khe về thời gian thực như các dịch vụ khẩn cấp, dịch vụ đa phương tiện, băng rộng.

## Câu hỏi chương 8

1. Trình bày ý tưởng và khái niệm vô tuyến khả tri.
2. Trình bày tóm tắt mô hình kiến trúc hệ thống vô tuyến khả tri.
3. Trình bày tóm tắt chức năng và hoạt động của hệ thống vô tuyến khả tri.
4. Trình bày tóm tắt kiến trúc vật lý của hệ thống vô tuyến khả tri.
5. Trình bày chu trình nhận thức trong mạng vô tuyến khả tri CRN.
6. Trình bày sơ đồ khái thực hiện vô tuyến khả tri CR dựa trên SDR.
7. Trình bày các thành phần cơ bản của vô tuyến khả tri CR để lựa chọn tần số động.

## CHƯƠNG 9

### **CẢM NHẬN PHỔ TẦN TRONG MẠNG VÔ TUYẾN KHẢ TRI**

#### **9.1. Mở đầu**

Mô hình và giải pháp nâng cao hiệu năng cho hệ thống truyền thông vô tuyến thế hệ sau trên cơ sở hợp tác và khả tri trong điều kiện môi trường vô tuyến và hoạt động của mạng vô tuyến thế hệ sau ở dạng: *(i)* khai thác triệt để năng lực & tiềm năng của các phần tử trong hệ thống; *(ii)* khai thác triệt để tài nguyên vô tuyến khan hiếm; *(iii)* đối phó, khắc phục các nhược điểm của môi trường truyền thông vô tuyến. Trong đó giải pháp phối kết hợp kỹ thuật mã hóa mạng thích ứng, điều chế mã hóa kênh thích ứng theo điều kiện kênh hiện thời sẽ dần được hiện thực hóa vào trong các hệ thống vô tuyến thế hệ sau như 4G-LTE, B4G, 5G. Vì vậy, hai nhóm giải pháp vô tuyến khả tri và truyền thông hợp tác được coi là then chốt đối với các mạng vô tuyến thế hệ sau.

Vô tuyến khả tri (CR-Cognitive Radio) được thừa nhận là giải pháp triển vọng để cải thiện hiệu suất phổ tần cho truyền thông vô tuyến bằng cách khai thác triệt để phổ tần được cấp phép trong miền thời gian, tần số và không gian. Truyền thông hợp tác tạo thành mô hình mới hứa hẹn cải thiện đáng kể hiệu năng bằng cách cung cấp hoặc cải thiện tính toàn vẹn hoặc gia tăng thông lượng bằng cách hợp tác người dùng. Vì vậy, trong những năm gần đây, nổi lên nhiều ứng dụng mới về truyền thông được hỗ trợ bởi hợp tác, điển hình là là kỹ thuật mã hóa mạng, mã hóa mạng động, hợp tác cảm nhận phổ tần. Hiệu năng các mạng vô tuyến khả tri sẽ được cải thiện hơn nữa khi sử dụng phương pháp truyền thông hợp tác. Hiệu suất phổ tần của mạng vô tuyến khả tri chủ yếu được xác định bởi khả năng cảm nhận và truy cập phổ tần, cũng như tính chính xác trong cảm nhận phổ tần.

Vì vậy, chương này, ta xét các kỹ thuật cảm nhận phổ tần cơ bản, cảm nhận phổ tần đơn băng, đa băng trong vô tuyến khả tri, hiệu năng kỹ thuật cảm nhận phổ tần cũng như giải pháp cải thiện hiệu năng.

#### **9.2 Cảm nhận phổ tần đơn băng**

##### **9.2.1. Các kỹ thuật cảm nhận phổ tần cơ bản.**

Cảm nhận phổ tần là phần tử quan trọng nhất trong các mạng vô tuyến khả tri CRN các SU phải phát hiện sự hiện diện của PU mà không gây nhiễu cho chúng, đây là nhiệm vụ thách thức vì việc phát hiện được thực hiện một cách độc lập bởi các SU mà không làm thay đổi hạ tầng mạng của PU. Bài toán cảm nhận phổ tần được mô tả bởi thử nghiệm giả thuyết nhị phân sau:

$$\begin{aligned} H_0 : y &= v \\ H_1 : y &= x + v \end{aligned} \tag{9.1}$$

Trong đó

$y = [y[1], y[2], \dots, y[N]]^T$  là tín hiệu thu tại máy thu SU,

$x = [x[1], x[2], \dots, x[N]]^T$  là tín hiệu phát của PU,

$v$  là tập âm Gaussian trắng cộng trung bình không (AWGN) với phương sai  $\sigma^2 I$  [nghĩa là,  $v \sim N(0, \sigma^2 I)$ ],  $I$  là ma trận đơn vị.  $H_0$  và  $H_1$  thể hiện sự hiện diện và không hiện diện của PU. Điện hình, để quyết định giữa hai giả thuyết, ta so sánh kiểm nghiệm thống kê với ngưỡng tiền định  $\lambda$  như sau:

$$T(y) \stackrel{H_1}{\underset{H_0}{\boxtimes}} \lambda \quad (9.2)$$

Trong đó  $T(y)$  là kiểm nghiệm thống kê (thường là kiểm nghiệm tỉ lệ khả năng giống likelihood LRT).

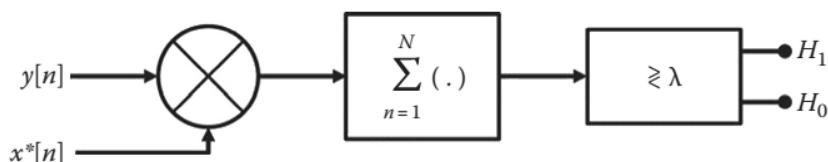
Hai thành phần thiết kế trong cảm nhận phô tần là: **(i)** công thức hóa kiểm nghiệm thống kê chính xác mà mức độ tin cậy cung cấp thông tin chính xác về việc chiếm phô; **(ii)** thiết lập mức ngưỡng để phân biệt hai giả thuyết. Các kỹ thuật cảm nhận đơn bằng phô biến nhất là: *phát hiện nhất quán, phát hiện năng lượng, và phát hiện đặc trưng*.

### ❖ Phát hiện nhất quán

Khi SU biết chính xác về cấu trúc tín hiệu của PU (độ rộng băng tần, tần số hoạt động, loại điều chế,...), thì nó lấy tương quan tín hiệu thu với bản sao đã biết của tín hiệu PU như được minh họa ở hình 9.1. Kiểm nghiệm thống kê được cho bởi

$$T(y) = \Re \left[ x^H y \right] \quad (9.3)$$

Trong đó:  $\Re$  là phép lấy phần thực,  $(\cdot)^H$  là phép Hermitian (chuyển vị và lấy liên hợp phức).



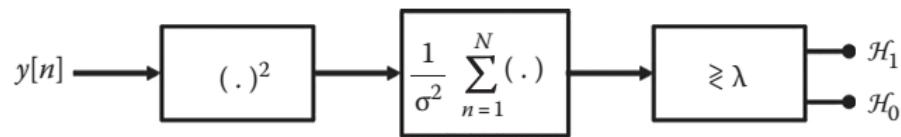
Hình 9.1. Bộ phát hiện nhất quán.

### ❖ Phát hiện năng lượng

Khi SU không có thông tin về tín hiệu phát của PU, thì bộ phát hiện năng lượng được sử dụng. Nó thường tính năng lượng tín hiệu thu trong một cửa sổ thời gian như được minh họa ở hình 9.2. Kiểm nghiệm thống kê cho bộ phát hiện năng lượng được biểu diễn là:

$$T(y) = \frac{1}{\sigma^2} \|y\|^2 \quad (9.4)$$

Trong đó  $\| \cdot \|$  là độ dài Frobenius.



Hình 9.2. Bộ phát hiện năng lượng.

### ❖ Phát hiện đặc trưng

Trong các hệ thống truyền thông vô tuyến thực tế, tín hiệu phát chứa một số đặc trưng duy nhất để hỗ trợ máy thu tách tín hiệu. Các đặc trưng này có thể được phát hiện từ thông kê bậc hai.

$$T(y) = E[y^H \cdot y] \quad (9.5)$$

Trong đó  $E[.]$  là phép lấy kỳ vọng. Nếu tín hiệu PU có thuộc tính thống kê tuần hoàn, thì thay vì dùng mật độ phổ công suất PSD, ta dùng mật độ phổ tuần hoàn CSD (mật độ phổ có tính tuần hoàn). Ví dụ, CSD của tín hiệu thu được biểu diễn:

$$S_y(f, \alpha) = \sum_{\tau=-\infty}^{\infty} R_y^\alpha(\tau) e^{-j2\pi f\tau} \quad (9.6)$$

Trong đó  $R_y^\alpha(\tau)$  là hệ số Fourier của hàm tự tương quan, và  $\alpha$  là *tần số tuần hoàn*. Bài toán kiểm nghiệm giả thuyết nhị phân (9.1) khi này là

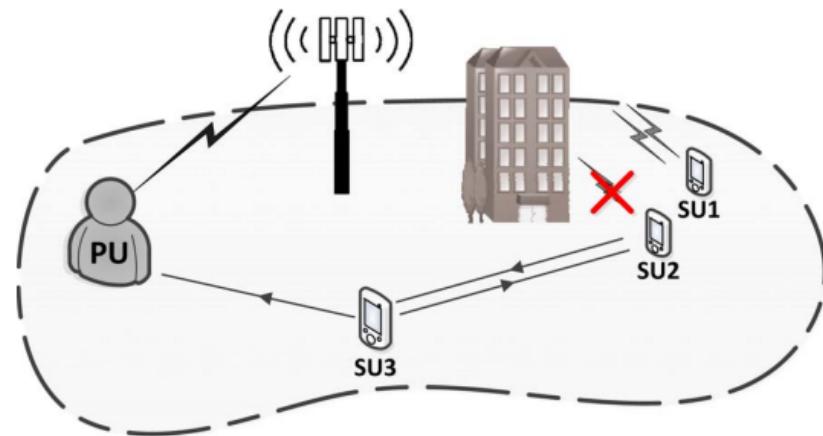
$$\begin{aligned} H_0 : S_y(f, \alpha) &= S_v(f, \alpha) \\ H_1 : S_y(f, \alpha) &= S_x(f, \alpha) + S_v(f, \alpha) \end{aligned} \quad (9.7)$$

Bộ phát hiện giải quyết bài toán này được coi là bộ phát hiện dừng tuần hoàn (*cyclostationarity detector*). Các bộ phát hiện khác có thể khai thác cấu trúc giá trị riêng của ma trận đồng phương sai của tín hiệu PU. Ví dụ, các ma trận đồng phương sai của tín hiệu phát và tạp âm là khác nhau. Tương tự, kiểm nghiệm thống kê chỉ là tỉ lệ giá trị riêng cực và đại cực tiểu của ma trận đồng phương sai của tín hiệu PU trong đó không cần đến thông tin về tín hiệu PU.

Mỗi bộ phát hiện đều có ưu nhược điểm riêng. Việc chọn bộ phát hiện dựa vào nhiều nhân tố như mức độ hiểu biết của SU về tín hiệu của PU. Chẳng hạn, ta chọn phát hiện nhất quán khi SU có đủ thông tin (độ rộng băng tần, tần số sóng mang, điều chế, khuôn dạng gói,...), khi này nhanh chóng nhận được độ lợi xử lý cao (nghĩa là, cần ít mẫu hơn so với các bộ phát hiện khác). Tuy nhiên, do SU phải phát hiện các băng tần khác nhau trong phổ, nó cần có biết cấu trúc của từng tín hiệu thuộc các băng này, SU thường không thể có được. Có thể dùng bộ phát hiện đặc trưng khi có sẵn một phần thông tin (nghĩa là, hoa tiêu, tiền tố tuần hoàn, mào đầu,...). Nó rất hữu hiệu đối với tạp âm. Tuy nhiên, mức độ phức tạp xử lý, thời gian xử lý, tiêu thụ công suất cao so với các bộ phát hiện khác. Cuối cùng, bộ phát hiện năng lượng rất đơn giản và không cần biết thông tin về tín hiệu của PU, nhưng mức ngưỡng lại phụ thuộc vào phương sai tạp âm  $\sigma^2$ , và nếu nó không được ước tính chính xác, thì hiệu năng của nó trở

nên rất kém. Thực tế, sự bát ổn của  $\sigma^2$  không thể phát hiện được khi SNR nhỏ. Ở đây, SNR biểu thị cho tỉ lệ giữa công suất tín hiệu SU (công suất của  $y_i$ ) với công suất tạp âm.

### 9.2.2. Hợp tác cảm nhận phổ tần



Hình 9.3. Minh họa hợp tác giữa các SU để giảm vấn đề đầu cuối ẩn.

Một trong những thách thức phổ biến trong các hệ thống vô tuyến là vấn đề *đầu cuối ẩn*. Hiện tượng này xảy ra do bản chất ngẫu nhiên của kênh vô tuyến trong đó SU bị che khuất hoặc bị pha định sâu. Hình 9.3 minh họa SU<sub>1</sub> bị che khuất bởi tòa nhà, vì vậy nó có thể quyết định là có cơ hội truy nhập phổ mặc dù PU đang chiếm dụng phổ này. Trái lại, SU<sub>2</sub> cộng tác với SU<sub>3</sub>, và nó thừa nhận sự hiện diện của PU nhờ chia sẻ thông tin với SU<sub>3</sub>, do đó nó không truy nhập phổ và không gây nhiễu lên PU. Đây là nguyên lý hợp tác cảm nhận phổ tần cơ bản trong đó các SU hợp tác với nhau để cải thiện mức độ tin cậy về cảm nhận phổ tần.

Một trong những vấn đề then chốt trong truyền thông hợp tác là vấn đề kết hợp thông tin được tập hợp từ các SU. Tồn tại 3 kỹ thuật kết hợp cơ bản: *kết hợp cứng*, *kết hợp mềm*, và *kết hợp lai ghép*.

#### ❖ Kết hợp cứng

Trong kỹ thuật này, SU gửi quyết định cuối cùng của nó trên 1 bit đến các SU khác. Nếu có K SU hợp tác với nhau, thì số đo quyết định cuối cùng được biểu diễn là

$$D = \sum_{i=1}^K d_i \begin{cases} < k, & H_0 \\ \geq k, & H_1 \end{cases} \quad (9.8)$$

Trong đó  $d_i \in \{0,1\}$  là quyết định cuối cùng bởi SU thứ  $i$  có giá trị “0” hoặc “1” biểu thị cho sự hiện diện và không hiện diện của PU. Đây là số đo quyết định logic cơ bản vì vậy:

- ✓ Nếu  $k = 1$ , thì (9.8) là nguyên tắc quyết định logic OR (nghĩa là, PU được xác định là đang hiện diện nếu chỉ một SU nào đó gửi giá trị “1”);
- ✓ Nếu  $k = K$ , thì (9.8) là nguyên tắc quyết định logic AND (nghĩa là, PU được xác định là đang hiện diện nếu tất cả các SU đều gửi giá trị “1”);

- ✓ Nếu  $k = \lceil \frac{K}{2} \rceil$  ( $\lceil x \rceil$  là phép lấy số nguyên nhỏ nhất không nhỏ hơn x), thì (9.8) trở thành nguyên tắc quyết định theo đa số (nghĩa là, PU được xác định là đang hiện diện nếu đa số SU gửi giá trị “1”).

Lưu ý rằng, nguyên tắc quyết định logic OR giảm thiểu nhiễu cho PU vì chỉ một SU gửi đi “1” là công bố băng tần đã được chiếm dụng bởi PU, trong khi đó nguyên tắc quyết định logic AND nhận được thông lượng cao vì băng tần được cho là bị chiếm bởi PU khi tất cả các SU đều gửi giá trị “1”. Hình 9.3 minh họa cho trường hợp có K=2 trong đó SU<sub>2</sub> gửi đi là “0” và SU<sub>3</sub> gửi đi là “1”. Vì vậy, nếu sử dụng nguyên tắc quyết định logic AND, thì sẽ công bố PU không hiện diện, và nếu dùng nguyên tắc quyết định logic OR, thì công bố PU đang hiện diện vì “1” được gửi bởi SU<sub>3</sub> là đủ.

### ❖ Kết hợp mềm

Trong kỹ thuật này, SU chia sẻ thông tin cảm nhận ban đầu của nó (hay các số liệu thống gốc) với các SU khác mà không xử lý chúng. Được thấy rằng, kết hợp tối ưu (OC) là tổng các số liệu thống kê quan trắc từ các SU cộng tác được trọng số hóa

$$\mathbf{T} = \sum_{k=1}^K c_k \cdot T_k(y) \quad (9.9)$$

Trong đó  $T_k(y)$  là kiểm nghiệm thống kê của người dùng thứ k, và  $c_k$  là hệ số trọng số. Các trọng số này dự vào bộ kết hợp đồng độ lợi EGC hoặc kết hợp tỉ lệ cực đại MRC. Trước đây,  $c_k = 1$ , và sau này,  $c_k$  là tỉ lệ với SNR của đường truyền giữa PU và người dùng thứ k. Nó được chứng minh rằng, OC hội tụ đến phương pháp EGC khi SNR lớn, và hội tụ đến phương pháp EGC khi SNR nhỏ

### ❖ Kết hợp lai ghép

So với kết hợp mềm, kết hợp cứng cần ít phần mào đầu. Tuy nhiên, do số liệu thống kê ở mỗi SU được giảm thành 1 bit, nên có sự mất mát thông tin truyền đến các SU khác. Vì vậy, quyết định cuối cùng có độ tin cậy thấp so với quyết định mềm. Phương pháp kết hợp cứng mềm được đề xuất trong đó SU gửi mào đầu 2 bit thay vì 1 bit, tạo ra sự cân bằng giữa kết hợp cứng mềm. Nói chung, khi tăng số lượng bít sẽ cải thiện hiệu năng nhưng chí phí cho phần mào đầu lớn hơn. Hơn nữa, các nghiên cứu cũng cần xác định số lượng bít tối ưu để đảm bảo hiệu năng phát hiện.

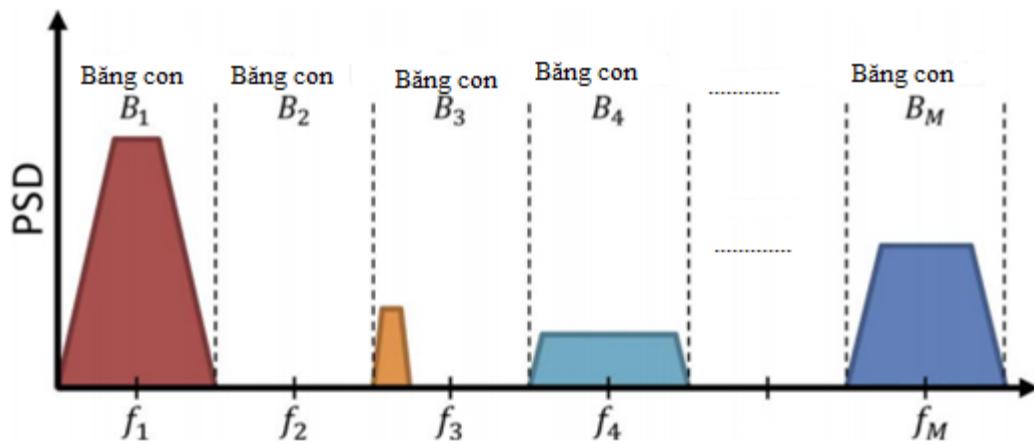
## 9.3 Cảm nhận phổ tần đa băng

### 9.3.1 Vấn đề phát hiện phổ tần đa băng

Các mạng vô tuyến khả tri đa băng (MB-CRNs) gần đây đã được quan tâm nghiên cứu vì nó có thể cải thiện đáng kể thông lượng của SU. Tồn tại một số kịch bản mà MB-CRN gặp phải.

- ✓ Nhiều hệ thống truyền thông hiện đại và các ứng dụng cần có truy nhập băng rộng. Phổ băng rộng được chia thành nhiều băng con hoặc kênh con. Vì vậy, dẫn đến vấn đề phát hiện đa băng.

- ✓ Khi SU muốn giảm thiểu sự ngắt quãng dữ liệu do PU tái dụng băng tần, nó phải liên tục chuyển giao số liệu từ băng tần này đến băng tần khác. Vì vậy, SU phải có thêm kênh dự phòng. Với các MB-CRN, SU không những có tập các kênh ứng cử, mà còn có thể giảm tần xuất chuyển giao.
- ✓ Khi SU muốn đạt được thông lượng cáo hoặc duy trì QoS, thì cần có băng rộng băng cách truy nhập đa băng.
- ✓ Trong truyền thông hợp tác, các SU chia sẻ các kết quả phát hiện với nhau. Tuy nhiên, nếu mỗi SU giám sát tập con các kênh con, sau đó chia sẻ các kết quả với nhau, thì có thể cảm nhận được toàn bộ phổ tần, và hiển nhiên là có nhiều cơ hội truy nhập phổ tần hơn.



Hình 9.4. Minh họa phân chia phổ băng rộng thành nhiều băng con không chồng lấn.

Trên hình 9.4 minh họa việc phân chia phổ băng rộng thành  $M$  kênh con (băng con) không chồng lấn. Đơn giản hóa băng cách chia đều (các kênh con có cùng độ rộng băng tần), SU phải xác định kênh con khả dụng để truy nhập. Đây là nhiệm vụ khó khăn vì các băng khả dụng không nhất thiết liên tục (liền kề) do sự chiếm dụng băng con ngẫu nhiên của PU (chẳng hạn PU trong WLAN và truyền hình). Hơn nữa, mỗi băng con có thể được chiếm dụng hết hoặc chỉ một phần. Ví dụ, trong IEEE 802.22, kênh 6-MHz phải không được truy nhập, trong chế độ xen nhau (*interweave paradigm*), khi nó đang được dùng bởi microphone vô tuyến mà chỉ chiếm 200 KHz. Trong hình 9.4, PU chiếm một phần nhỏ băng con  $B_3$ , và SU không được chiếm dụng khi nó hoạt động ở chế độ xen nhau.

Nếu các băng con độc lập nhau, bài toán cảm nhận đa băng MB giảm thành giả thuyết nhị phân cho mỗi một băng con được biểu diễn:

$$\begin{aligned} H_{0,m} : \mathbf{y}_m &= \mathbf{v}_m & m = 1, \dots, M \\ H_{1,m} : \mathbf{y}_m &= \mathbf{x}_m + \mathbf{v}_m & m = 1, \dots, M \end{aligned} \quad (9.10)$$

Trong đó  $m$  là chỉ số hóa băng con thứ  $m$ . Nguyên tắc quyết định cho mỗi băng con là

$$T(\mathbf{y}_m) \stackrel{H_{1,m}}{\underset{H_{0,m}}{\boxtimes}} \lambda_m \quad (9.11)$$

### 2.3.2. Kỹ thuật cảm nhận phổ đa băng

- ❖ Cảm nhận phổ tuần tự

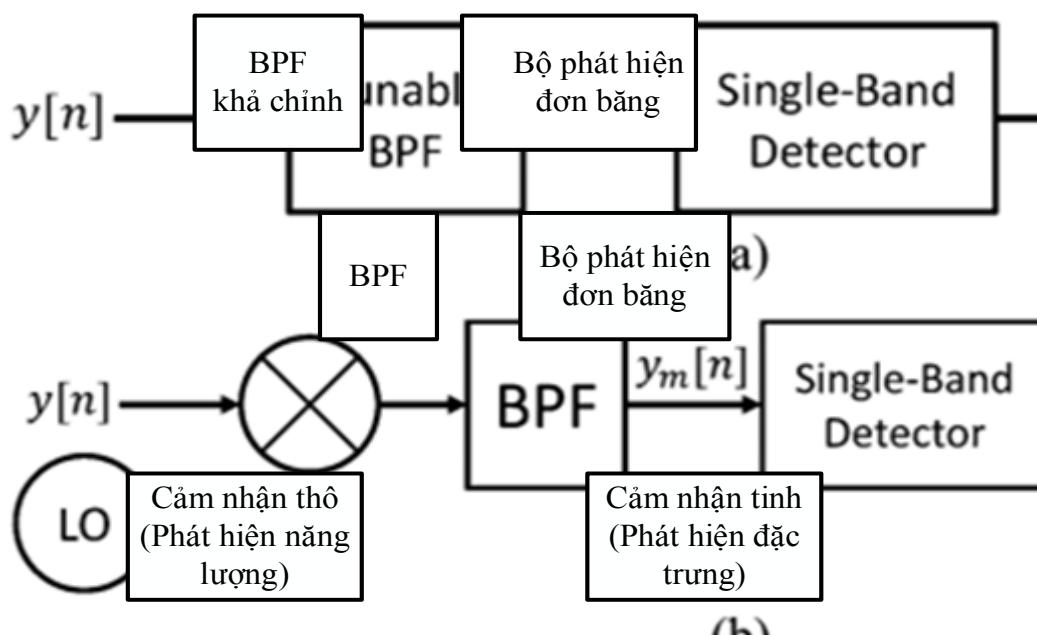
Trong cảm nhận phổ trình tự, ta dùng các bộ phát hiện đơn băng SB được đề cập ở trên để cảm nhận đa băng:

✓ *Bộ lọc thông dải khả tái cấu hình*

Bộ lọc thông dải BPF khả tái cấu hình đặt trước máy thu để cho qua băng tần cần thiết, sau đó dùng bộ phát hiện đơn băng để xác định băng tần đó có được chiếm hay không như hình 9.4(a). Rõ ràng rằng, cần có máy thu băng rộng, dẫn đến thách thức thực hiện phần cứng do tốc độ lấy mẫu cao. Hơn nữa, việc điều khiển tần số cắt và băng thông của bộ lọc cũng là các thách thức.

✓ *Bộ dao động khả chỉnh*

Giải pháp dựa vào bộ dao động nội LO khả chỉnh để biến đổi thành tần số trung tần cố định như hình 9.5 (b). Điều này làm giảm đáng kể tốc độ lấy mẫu. Hạn chế của bộ lọc thông dải BPF khả tái cấu hình và bộ dao động khả chỉnh là phải tinh chỉnh và quét khi cảm nhận phổ chuyển kênh. Khó xử lý nhanh và kỹ thuật này không khả thi.



Hình 9.5. (a) Bộ lọc thông dải khả chỉnh; (b) Bộ dao động nội; (c) Cảm nhận phổ tần nối tiếp hai tầng.

✓ *Cảm nhận hai tầng*

Có thể cảm nhận phổ trên hai tầng gồm tầng cảm nhận sơ bộ và tầng cảm nhận tinh nếu cần như hình 9.5(c). Chẳng hạn, dùng bộ phát hiện cho cả hai tầng. Ở tầng cảm nhận thô thực hiện tìm nhanh trên băng rộng và tầng tinh thực hiện trên băng tần ứng cử. Các mô phỏng cho thấy cảm nhận phổ tần 2 tầng nhanh hơn so với một tầng khi PU hoạt động nhiều. Tầng thô dựa vào phát hiện năng lượng do nó xử lý nhanh. Nếu kiểm nghiệm thống kê lớn hơn ngưỡng tiền định, thì coi băng tần đó đã bị chiếm dụng. Mặt khác, bộ phát hiện đặc tính dừng lặp được thực hiện ở tầng cảm nhận tinh do khả năng của nó ở SNR thấp.

✓ *Các kỹ thuật khác*

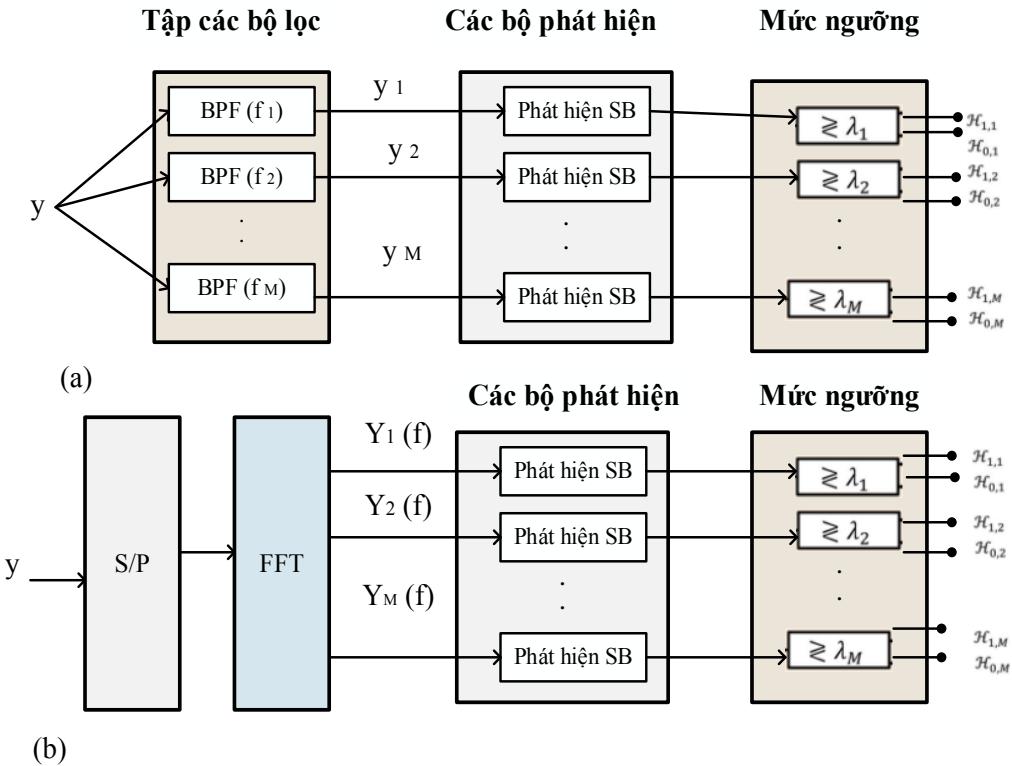
Tồn tại một số kỹ thuật cảm nhận lần lượt nhiều băng như các kiểm nghiệm xác suất liên tiếp SPRT. Các SPRT được mở rộng để cung cấp thuật toán tìm kênh hiệu quả, nhanh. Khác với

các kiểm nghiệm thống kê truyền thống dùng số lượng mẫu không đổi, các SPRT hướng đến giảm số lượng mẫu trung bình cần thiết nhằm đạt được hiệu năng cụ thể. Nguyên lý cơ bản là tập hợp các mẫu với điều kiện là  $a < T(y) < b$  trong đó a và b là các giới hạn tiền định. Quyết định sẽ được thực hiện một khi kiểm nghiệm thống kê nằm ngoài các giới hạn (quyết định là  $H_0$  nếu  $T(y) < a$  và quyết định là  $H_1$  nếu  $T(y) > b$ ). Ví dụ, thuật toán tìm kiếm SPRT trong đó giả định chỉ có một kênh khả dụng để truy nhập phổ. Giả định này ngụ ý rằng chiếm kênh được tương quan cũng như truy nhập phổ của SU bị giới hạn là một kênh. SPRT dựa vào Bayesian được chấp nhận, nhưng khó khả thi vì Bayesian đòi hỏi phải có các xác suất tiên nghiệm về tín hiệu của PU cũng như một số cấu trúc giá. Ngoài ra, không thể kiểm nghiệm lại các kênh vì đã giả thiết số lượng kênh là vô hạn, là điều phi thực tế đối với CRN. Các hạn chế này dẫn đến giả định số lượng kênh hữu hạn và không nhất thiết chỉ rõ các cấu trúc giá. Hai thuật toán hiệu quả được phân tích trên cơ sở SPRT và phát hiện năng lượng, cả hai thuật toán đều giảm thời gian cảm nhận hơn. Ngoài ra, bộ đa phát hiện nhanh được gọi là bộ phát hiện thông minh được xét đến. Bộ phát hiện này thiết lập thuật toán phát hiện một cách thông minh trên cơ sở sẵn có thông tin tín hiệu của PU ở phía SU. Ví dụ, nếu không có thông tin ở một số băng, thì kết hợp phương pháp phát hiện đặc tính dừng lặp và phương pháp phát hiện năng lượng, và đối với các băng có nhiều thông tin thì dùng phương pháp phát hiện nhất quán. Mức độ tin cậy phát hiện so với bộ phát hiện dừng lặp thì thời gian phát hiện nhanh hơn. Hiển nhiên, khi tích hợp tất cả các bộ phát hiện này trong một máy thu, thì phải chấp nhận chi phí cao và phức tạp hơn.

Khái quát, cảm nhận phổ tần lần lượt có thời gian tìm kiếm lâu khi xác suất hiện diện của PU nhiều. Điều này làm động lực thúc đẩy nghiên cứu hướng đến máy thu tiên tiến hơn để cảm nhận phổ tần đa băng MB.

#### ❖ Cảm nhận phổ tần song song

Trong cảm nhận song song, SU được trang bị nhiều bộ phát hiện đơn băng SB sao cho mỗi SB cảm nhận một băng tần cụ thể. Điều này được thực hiện bằng một ngân hàng bộ lọc như hình 9.6 (a). Nó gồm nhiều BPF, mỗi BPF có tần số trung tâm cụ thể, sau đó là các bộ phát hiện đơn băng. Tuy ngân hàng bộ lọc này chỉ xét cho một loại của nhiều bộ phát hiện đơn băng SB (nghĩa là, cấu trúc đơn nhất *homogenous structure*), nhưng có thể mở rộng nguyên lý này cho cấu trúc hỗn hợp (*heterogenous structure*) với nhiều bộ phát hiện SB khác nhau. Ví dụ, vì các hoa tiêu đang được dùng trong các băng tần TV, ta có thể dùng nhiều bộ phát hiện đặc tính SB trên các băng tần này. Đối với các băng không biết trước cấu trúc tín hiệu, ta có thể dùng các bộ phát hiện năng lượng. Tuy nhiên, ngân hàng bộ lọc cần nhiều thành phần tần số vô tuyến RF, nó làm tăng chi phí thực hiện cũng như tăng kích thước máy thu. Mức độ phức tạp cũng sẽ tăng lên nếu các bộ phát hiện không cùng một loại.



Hình 9.6. (a) Cấu trúc ngân hàng bộ lọc; (b) Các bộ phát hiện đơn băng SB song song trên mèn tần số.

Phổ tần băng rộng được phân tích trong miền tần số như hình 9.6 (b). Thực hiện chuyển đổi nối tiếp thành song song S/P, thực hiện biến đổi Fourier nhanh FFT, đưa vào các bộ phát hiện đơn băng SB. Bộ phát hiện năng lượng là kỹ thuật được dùng phổ biến ở đây bởi lẽ nó dễ ràng xác định được lượng trong miền tần số bằng cách phân tích mật độ phổ công suất PSD. Được biểu diễn như sau:

$$T(y_m) = \sum_{n=1}^N |Y_m(n)|^2 \quad m=1,2,\dots,M \quad (9.12)$$

Trong đó  $Y_m(n)$  là tín hiệu thu  $y$  trong miền tần số ở kênh con thứ  $n$ ,  $N$  là kích thước FFT.

Rõ ràng, mỗi kênh con có một ngưỡng riêng (ở dạng vectơ  $\lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_M]$ ). Bộ phát hiện đồng thời đa băng MJD để tối đa thông lượng của CRN được chứng minh rằng, khi các ngưỡng được tối ưu đồng thời, thì nâng cao đáng kể thông lượng so với giải pháp ngưỡng đồng đều (nghĩa là,  $\lambda = \lambda\mathbf{1}$ ). Thuật toán được gán một cách thông minh ngưỡng cao cho băng tần có tỉ lệ cơ hội cao, và ngưỡng thấp hơn cho băng tần cần bảo vệ cao cho PU. Trước đây trợ giúp giảm thiểu ngắt quãng truyền dẫn, và sau này trợ giúp làm giảm nhiễu cho PU.

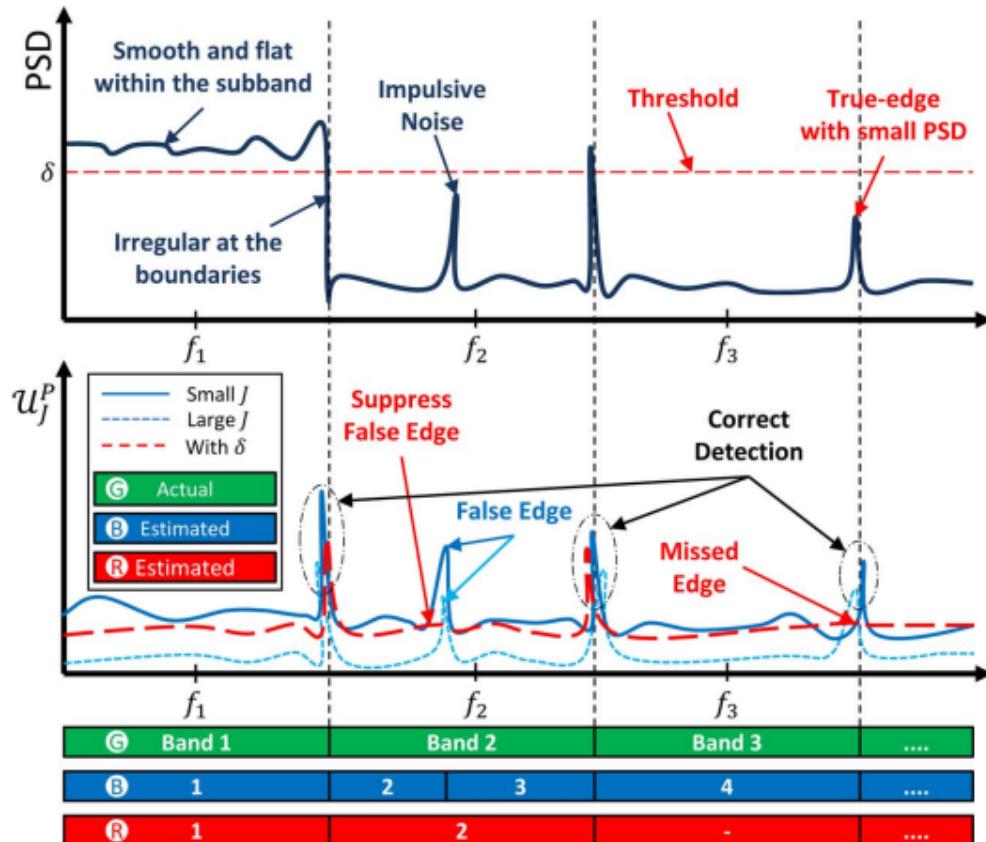
MJD trở thành điểm chuẩn trong cảm nhận phổ tần băng rộng, gần đây có nhiều đề xuất cải thiện nó. Cụ thể, MJD không xét đến cảm nhận tuần hoàn, một yêu cầu quan trọng trong cảm nhận phổ tần, vì vậy bộ phát hiện đồng thời thích ứng thời gian cảm nhận đa băng MSJD trong đó thời gian cảm nhận động được đề xuất. Nó cho thấy rằng, dùng thời gian cảm nhận một cách linh hoạt có thể cải thiện đáng kể thông lượng của mạng. MJD hiệu quả thời gian và chi phí giảm mức độ phức tạp của hệ thống. Hơn nữa, MJD cải tiến trong đó thay bộ phát hiện năng lượng bằng bộ phát hiện nhất quán.

Các kỹ thuật trước đây giả thiết rằng các kênh con là độc lập, nói chung giả định này không được thực tế (các kênh con thường bị tương quan nhau). Điều này xảy ra khi PU phát trên nhiều kênh, vì vậy việc chiếm một kênh được tương quan với các kênh lân cận. Một kịch bản khác là, khi PU phát công suất lớn trên một kênh dễ gây nhiễu lên các kênh lân cận (ACI), dẫn đến tồn tại một số tương quan trong tập kênh này. Ảnh hưởng của sự bất ổn của công suất tạp âm khi nó bị tương quan giữa các kênh con, cho thấy rằng khi mất tính độc lập giữa các kênh con sẽ làm tăng mức độ phức tạp cho việc phát hiện đặc biệt khi tăng số kênh con. Để giảm mức độ phức tạp này, đề xuất bộ kết hợp năng lượng tuyến tính trong đó (12) trở thành

$$T(\mathbf{y}_m) = \sum_{n=1}^N w_n |Y_m(n)|^2 \quad m = 1; 2; \dots; M \quad (9.13)$$

Trong đó  $\{w_n\}$  là các hệ số trọng số phải được tối ưu. Được chứng minh rằng, bộ kết hợp năng lượng này thực hiện tốt hơn MJD về mức độ tin cậy phát hiện khi việc chiếm các băng tần được tương quan. Tuy nhiên, với giả thiết biết trước mô hình tương quan. Vì vậy, để thực hiện thực tế, cần phải có các thuật toán hiệu quả cho các mô hình tương quan giữa các kênh con khác nhau.

Các tiến bộ gần đây về phát hiện đa băng như cảm nhận sóng con WS (wavelet sensing), cảm nhận nén CS (compressive sensing), cảm nhận dựa vào góc AS (angle-base sensing), và cảm nhận mù BS (blind sensing).



Hình 9.7. Minh họa hiệu năng của cảm nhận sóng con

### ❖ Cảm nhận sóng con (Wavelet Sensing)

Một trong những giả thiết được thực hiện trong các kỹ thuật trước đây là, SU biết số băng con M và được định vị tại các tần số  $f_1; f_2; \dots; f_M$ . Tuy nhiên, giả định này lại không thực tế do CRN phải có khả năng hỗ trợ các công nghệ *không đồng nhất (heterogeneous)* có các yêu cầu khác nhau (sơ đồ truyền dẫn, độ rộng băng tần,...). Để khắc phục vấn đề này, bộ phát hiện dựa vào sóng con là ứng cử tốt do khả năng phát hiện và phân tích các đặc tính bất thường trong phổ tần. Sự bất thường có các biểu lộ quan trọng vì nó xuất hiện ở biên của các băng con (nghĩa là, khi ta phát từ băng này đến các băng lân cận). Sử dụng phép biến đổi sóng con WT để cảm nhận phổ đa băng MB, trong đó dùng phép biến đổi sóng con tiên tục CWT để phát hiện các đặc tính kỳ dị (bất thường) của phổ băng rộng. Nói cách khác, dùng CWT để xác định các ranh giới (biên) của các băng con mà không cần phải biết số lượng băng con và các tần số trung tâm tương ứng. Một khi xác định được các cạnh (biên) của các băng, thì mật độ phổ công suất PSD được ước tính để xác định các kênh con trống (cơ hội truy nhập). Kiểu cảm nhận phổ này được coi là phát hiện biên. CWT được biểu diễn như sau:

$$W_s(f) = S_f * \psi_s(f) \quad (9.14)$$

Trong đó  $S_f$  là PSD băng rộng,  $*$  là phép lấy tích chập, và

$$\psi_s(f) = \frac{1}{s} \psi\left(\frac{f}{s}\right) \quad (9.15)$$

Trong đó  $\psi(f)$  được gọi là hàm làm mịn sóng con (*wavelet smoothing function*), s là hệ số dãn (*dilation factor*). Lấy đạo hàm của CWT vì nó nhạy bén với các biên băng dẫn đến việc đặc tính hóa các biên phổ được tốt hơn. Để tăng cường các đỉnh của biên băng và néo tạp âm bằng cách lấy tích đa tỉ lệ sóng con WMP (*wavelet multiscale product*) được biểu diễn như sau:

$$U_j^P = \prod_{j=1}^J W_s'(f) \quad (9.16)$$

Trong đó  $W_s'(f)$  là đạo bậc nhất của  $W_s(f)$  ở (9.14). Lưu ý rằng, tăng J sẽ cải thiện mức độ tin cậy của phát hiện biên băng, nhưng gia tăng phức tạp. Tuy nhiên, một trong những thách thức của kỹ thuật này là các cạnh sắc nhọn không chỉ xuất hiện ở tại các biên của các băng con mà nó cũng xuất hiện do các nguồn khác (như tạp âm xung kim và kẽ hở phổ). Các biên không mong muốn này làm suy giảm chất lượng ước tính biên băng. Ví dụ, ta xét phổ hình 9.7. Có ba cạnh tại các biên giới các băng  $f_1, f_2, f_3$ , và một biên khác do tạp âm xung kim. Ba biên đúng được phát hiện chính xác băng cách dùng WMP, và nếu J lớn sẽ cải thiện chất lượng ước tính. Tuy nhiên việc ước tính các biên là không hoàn toàn chính xác do tạp âm xung kim tạo ra biên, dẫn đến chất lượng ước tính biên là không chính xác (nghĩa là, thanh màu xanh cho thấy có 4 băng thay vì 3 băng). Để giảm các biên giả, giá trị cực đại cụ bộ của (9.16) được so sánh với một ngưỡng để hạn chế số lượng các biên. Nghĩa là, giá trị cực đại cụ bộ sẽ chỉ được coi là một biên nếu nó lớn hơn  $\delta$  nào đó. Ngược lại, nó sẽ bị bỏ qua. Do giá trị cực đại cụ bộ phụ thuộc vào hình dạng của sóng con và PSD tại điểm đó, nên  $\delta$  không

được cố định. Để giảm sự thay đổi này, WMP trong (9.16) được chuẩn hóa bởi giá trị trung bình của PSD. Tuy nhiên, vì ngưỡng được đưa vào, SU có thể bỏ sót biên giới kênh con thực tế khi biên này bị nhiễu loạn nghiêm trọng bởi tạp âm (nghĩa là, giá trị cực đại cục bộ tại biên này có thể nhỏ hơn  $\delta$ ). Được thấy từ hình 9.7, khi ngưỡng được dùng, biên giả có thể được bỏ qua, nhưng nếu biên thực tế có PSD nhỏ hơn  $\delta$  (như tại biên băng tần  $f_3$ ) thì nó sẽ bị bỏ sót, vì vậy, ước tính sẽ bị suy thoái (xem đường màu đỏ).

Giải pháp lấy tổng đa tỉ lệ sóng con WMS thay cho WMP. Nghĩa là (9.16) trở thành

$$U_j^s = \sum_{j=1}^J W_s(f) \quad (9.17)$$

Lý do dùng phép lấy tổng thay vì phép lấy tích là, các tín hiệu băng rộng có PSD thay đổi chậm không phát hiện được bởi tích đa tỉ lệ bởi lẽ chúng bị suy giảm khi dùng phép nhân. Trong các điều kiện này, tổng đa tỉ lệ cho thấy hiệu năng tốt hơn. Cảm nhận 2 tầng: tầng cảm nhận sơ bộ trong đó biến đổi sóng con WT được thực hiện để nhận diện tập các kênh con ứng cử, sau đó là tầng cảm nhận tinh sê khai thác các đặc trưng của tín hiệu để xác định kênh không bị chiếm.

Tóm lại, WMM, WMP và WMS tất cả đều có ưu nhược điểm riêng. Cần có các tiến bộ hơn nữa để phát hiện thành công các biên băng và bỏ qua các biên băng giả với mức độ phức tạp thấp. Hơn nữa, các hàm làm mịn khác (trực giao và không trực giao) phải được nghiên cứu để phân tích ảnh hưởng của chúng lên chất lượng phát hiện biên băng.

## 9.4. Hiệu năng các kỹ thuật cảm nhận phổ tần.

### 9.4.1. Hiệu năng của các kỹ thuật cảm nhận phổ tần cơ bản

Đối với CR đơn băng,  $P_D$  chỉ là xác suất mà SU phát hiện chính xác PU khi nó chiếm dụng phổ. Vì vậy, với kiểm nghiệm được cho ở (9.2),  $P_D$  được biểu diễn

$$P_D = \Pr(T(\mathbf{y}) > \lambda | H_1) \quad (9.20)$$

Mặt khác,  $P_{FA}$  là xác suất mà SU quyết định sai về sự hiện diện của PU mặc dù chúng là ở trạng thái rỗi, được biểu diễn:

$$P_{FA} = \Pr(T(\mathbf{y}) > \lambda | H_0) \quad (9.21)$$

Ta mong muốn có được xác suất phát hiện cao và xác suất cảnh báo nhầm là nhỏ. Trước hết là giảm thiểu nhiễu đối với PU, sau đó là cải thiện thông lượng đối với SU. Tuy nhiên, thường thấy sự dung hòa giữa chúng. Ví dụ, nếu SU có đầy đủ thông tin về tín hiệu phát của PU, thì x là tất định, và vì vậy với mô hình định trước trong (9.1), ta có

$$\begin{aligned} H_o : T(\mathbf{y}) &\text{ là } N(0, \|\mathbf{x}\|^2 \sigma^2) \\ H_1 : T(\mathbf{y}) &\text{ là } N(\|\mathbf{x}\|^2, \|\mathbf{x}\|^2 \sigma^2) \end{aligned} \quad (9.22)$$

Theo hướng tính toán (9.21) và (9.20), ta có

$$P_{FA} = Q\left(\frac{\lambda}{\sqrt{\sigma^2 \|x\|^2}}\right) \quad (9.23 \text{ a})$$

$$P_D = Q\left(\frac{\lambda - \|x\|^2}{\sqrt{\sigma^2 \|x\|^2}}\right) \quad (9.23 \text{ b})$$

Từ (9.23a) và (9.23b), ta có

$$P_D = Q(Q^{-1}(P_{FA}) - \sqrt{N\gamma}) \quad (9.23 \text{ c})$$

Trong đó  $\gamma = \frac{\|x\|^2}{\sigma^2}$  là SNR,  $Q(\cdot)$  là hàm phân bố bù (CDF) của Gausian chuẩn, và  $Q^{-1}(\cdot)$  là hàm ngược của nó.

Mặt khác, khi SU không có thông tin tiền định về  $x$ , ta giả định  $x \sim N(0, \sigma_s^2 I)$ , và dùng bộ phát hiện năng lượng. Vì vậy,

$$\begin{aligned} H_0 : T(y) &\text{ là } \chi_N^2 \\ H_0 : T(y) &\text{ là } \frac{\|x\|^2 + \sigma^2}{\sigma^2} \chi_N^2 \end{aligned} \quad (9.24)$$

trong đó  $\chi_N^2$  là phân bố chi-square trung tâm có bậc tự do  $N$ .

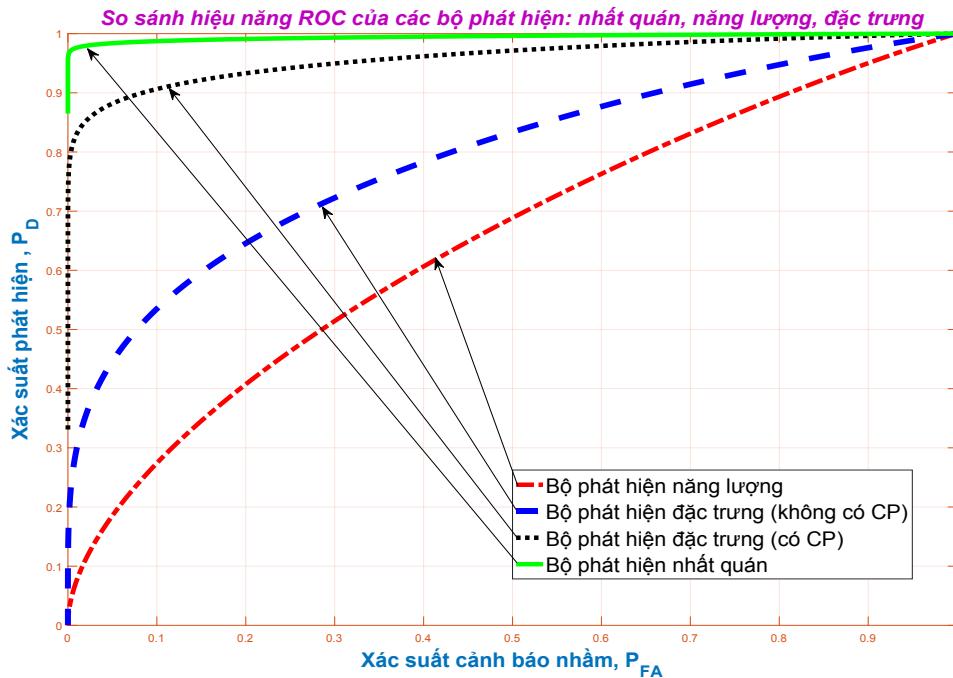
Đã được chứng minh rằng:

$$\begin{aligned} P_{FA} &= \frac{\Gamma\left(\frac{N}{2}, \frac{\lambda}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{N}{2}\right)} \\ P_D &= \frac{\Gamma\left(\frac{N}{2}, \frac{\lambda\sigma^2}{2(\|x\|^2 + \sigma^2)}\right)}{\Gamma\left(\frac{N}{2}\right)} \end{aligned}$$

Trong đó:  $\Gamma(\cdot)$  và  $\Gamma(\cdot, \cdot)$  là các hàm gamma đầy đủ và không đầy đủ.

Dùng lý thuyết giới hạn trung tâm, có thể thấy rằng

$$P_D = Q\left(\frac{1}{\sqrt{2\gamma+1}}(Q^{-1}(P_{FA}) - \sqrt{N\gamma})\right) \quad (9.25)$$



Hình 9.8. Các đường đặc tính hoạt động máy thu ROC của ba bộ phát hiện đơn bắng khác nhau.

Trong hình 9.8 minh họa hiệu năng của ba bộ phát hiện: bộ phát hiện nhất quán, bộ phát hiện năng lượng, và bộ phát hiện đặc trưng khai thác thống kê bậc hai của tín hiệu OFDM trong hai kịch bản khác nhau. Kịch bản thứ nhất, SU có thông tin về số ký hiệu hữu hiệu trong khối OFDM. Kịch bản thứ hai, nó có thêm thông tin về thời gian tiền tố CP. Với giả thiết rằng, SNR = 15 dB, và số khối quan trắc N = 500. Ta thấy rằng: (i) hiệu năng bộ phát hiện nhất quán là tốt nhất vì giả thiết SU có đủ thông tin về x; (ii) bộ phát hiện đặc trưng có hiệu năng vượt trội khi khai thác nhiều đặc trưng như thời gian CP; (iii) bộ phát hiện năng lượng có hiệu năng kém tại vùng SNR thấp, thể hiện tín hiệu PU rất nhỏ tại máy thu SU và cần phát hiện chính xác chúng, nó phải được trang bị bằng bộ phát hiện thực hiện phát hiện tốt trong điều kiện SNR thấp.

#### 9.4.2. Hiệu năng hợp tác cảm nhận phổ tần

Trong hợp tác cảm nhận phổ tần, ký hiệu  $P_D^{(i)}$  và  $P_{FA}^{(i)}$  là xác suất phát hiện được và xác suất cảnh báo nhầm của SU thứ  $i$ .

*Trong kết hợp cung*, nếu ta có nguyên tắc kết hợp “ $k$  out of  $K$ ”, thì xác suất phát hiện và xác suất cảnh báo nhầm tổng thể là:

$$Q_D = \sum_{q=k}^K \binom{K}{q} \left\{ \prod_{i=1}^q P_D^{(i)} \times \prod_{j=1}^{K-q} (1 - P_D^{(j)}) \right\} \quad (9.26)$$

$$Q_{FA} = \sum_{q=k}^K \binom{K}{q} \left\{ \prod_{i=1}^q P_{FA}^{(i)} \times \prod_{j=1}^{K-q} (1 - P_{FA}^{(j)}) \right\} \quad (9.27)$$

Đối với nguyên tắc kết hợp logic “OR”, trong đó  $k=1$ , ta có

$$Q_D^{\text{OR}} = \prod_{i=1}^K (1 - P_D^{(i)})$$

Đối với nguyên tắc kết hợp logic “AND”, trong đó  $k=K$ , ta có

$$Q_D^{\text{AND}} = \prod_{i=1}^K P_D^{(i)}$$

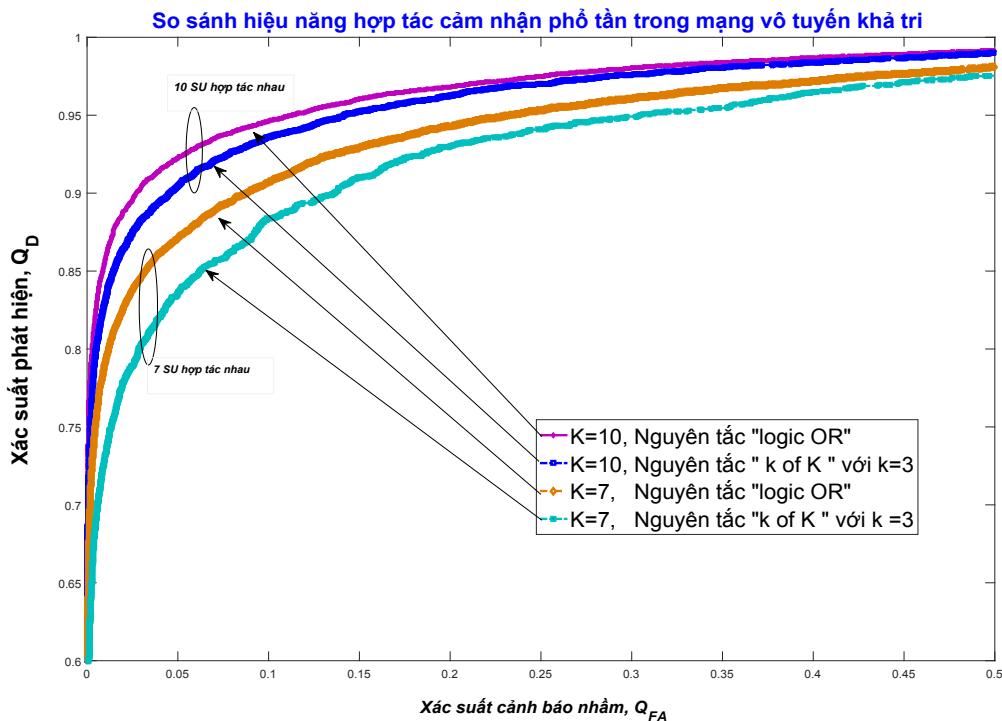
Tương tự,  $Q_{\text{FA}}$  có thể tính được cho các trường hợp cụ thể này.

Hình 9.9 minh họa hiệu năng ROC của bộ phát hiện năng lượng với số lượng các SU hợp tác khác nhau. Giả thiết rằng, tất cả các SU đều có cùng hiệu năng  $P_{\text{FA}}$  và  $P_D$ , SNR = 10 dB và  $N=125$ . Cho thấy rằng, tăng số lượng SU hợp tác sẽ cải thiện hiệu năng. Mặt khác, nguyên tắc quyết định logic OR cho hiệu năng tốt hơn so với nguyên tắc quyết định logic AND.

Với kết hợp mềm, xác suất phát hiện và xác suất cảnh báo nhầm phải được rút ra một cách tường minh đối với một mô hình cụ thể. Ví dụ, xác suất phát hiện  $T$  trong (9.9) là

$$P_D = \Pr \left( \sum_{k=1}^K c_k T_k(\mathbf{y}) > \lambda \mid H_1 \right) \quad (9.28)$$

Vì vậy, một khi ta tìm được phân bố xác suất của  $T$ , ta có thể dùng biểu thức trên để tìm  $P_D$ , và  $P_{\text{FA}}$



Hình 9.9. Các đường cong đặc tính hoạt động máy thu ROC với số lượng SU hợp tác khác nhau.

#### 9.4.3. Hiệu năng cảm nhận phô tần đa băng

Như đã đề cập ở trên, đặc tính hoạt động của máy thu ROC (Receiver Operating Characteristic) là số đo hiệu năng phô biến nhất mang tính xác xuất trong cảm nhận phô tần. Nó là sự biểu diễn xác suất phát hiện PD theo xác suất cảnh báo nhầm PFA. Các định nghĩa

này đối với cảm nhận phổ tần đơn băng trong trường hợp có sự hợp tác và không hợp tác đã được xét ở trên. Tuy nhiên, các định nghĩa xác suất phát hiện và xác suất cảnh báo nhầm đều giả định là biết chính xác các tần số trong phổ tần được cảm nhận. Giả thiết này là không phù hợp trong cảm nhận phổ tần đa băng vì tồn tại các lỗi trong việc phát hiện các biên của băng. Vì vậy, dưới đây ta xét các số đo hiệu năng mới có khả năng đánh giá kỹ thuật cảm nhận phổ tần đa băng để phát hiện chính xác các tần số và loại bỏ các biên giả. Hay nói cách khác, khác với cảm nhận phổ tần đơn băng, không có định nghĩa thống nhất cho xác suất cảnh báo nhầm và xác suất phát hiện khi xét trường hợp đa băng. Bằng trực giác, một khi có thể tính toán được các xác suất này cho từng băng con

$$P_{D,m} = Q\left(\frac{1}{\sqrt{2\gamma_m+1}}\left(Q^{-1}(P_{FA,m}) - \sqrt{N}\gamma_m\right)\right)$$

$$P_{FA,m} = \frac{\Gamma\left(\frac{N}{2}, \frac{\lambda_m}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{N}{2}\right)}$$

với  $m = 1, 2, \dots, M$  (9.29)

trong đó:  $\gamma_m = \frac{\|x_m\|^2}{\sigma^2}$  là tỉ số tín hiệu trên tạp âm (SNR) trên kênh con  $m$ ;  $Q(\cdot)$  là hàm phân bố bù (CDF) của Gausor chuẩn; và  $Q^{-1}(\cdot)$  là hàm ngược của  $Q(\cdot)$ ;  $\Gamma(\cdot)$  và  $\Gamma(\cdot, \cdot)$  là các hàm gamma đầy đủ và không đầy đủ tương ứng;  $N$  bậc tự do của phân bố chi-square trung tâm.

Phương pháp khác là, lấy trung bình hiệu năng trên toàn bộ các băng. Ta có:

$$P_D^M = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M P_{D,m} (9.30)$$

Tuy nhiên, việc lấy trung bình có thể dẫn đến thiếu chính xác, đặc biệt khi tồn tại các giá trị ngoài. Phương pháp tốt hơn là, lấy trung bình theo trọng số:

$$P_D^M = \sum_{m=1}^M a_m P_{D,m} (9.31)$$

trong đó  $a_m$  là hệ số trọng số của băng con thứ  $m$  với ràng buộc  $\sum_{m=1}^M a_m = 1$ . Các trọng số này thể hiện sự nhạy cảm hay mức độ quan trọng của kênh. Khi các trọng số bằng nhau, thì (9.31) quy về (9.30).

Định nghĩa khác về các xác suất này là:

$$P_D^M = \Pr\left(\text{Nhận} \cap \text{mét} \cap \text{ng}@ \cap \text{c ph}, \text{t hi} \cap \text{lμ b} \cap \text{chi} \cap \text{On} \mid H_1^M\right)$$

$$P_{FA}^M = \Pr\left(\text{Nhận} \cap \text{mét} \cap \text{ng}@ \cap \text{c ph}, \text{t hi} \cap \text{lμ b} \cap \text{chi} \cap \text{On} \mid H_0^M\right) (9.32)$$

trong đó  $H_1^M$  và  $H_0^M$  là các sự kiện tất cả các kênh bận và rỗng tương ứng. Định nghĩa xác suất cảnh báo nhầm là xác suất quyết định tất cả các kênh bận mặc dù vẫn có ít nhất một kênh

nào đó rõ ràng. Nếu ký hiệu  $H_0^{(i)}$  là sự kiện tồn tại ít nhất  $i$  kênh tự do với  $i=1,\dots,M$ , thì xác suất cảnh báo nhầm được viết là:

$$P_{FA}^M = \Pr\left(H_1^M \middle| \bigcup_{i=0}^M H_0^{(i)}\right) \quad (9.33)$$

cũng được biến diễn là

$$P_{FA}^M = \frac{\sum_{i=0}^M \Pr(H_1^M \cap H_0^{(i)})}{\Pr(\bigcap_{i=0}^M H_0^{(i)})} \quad (9.34)$$

## 9.5 Tổng kết

Chương này ta xét các kỹ thuật cảm nhận phổ tần trong mạng vô tuyến khả tri. Cụ thể là:

- Xét các kỹ thuật cảm nhận phổ tần của các SU trong mạng vô tuyến khả tri CRN đơn bằng cơ bản trên cơ sở: phát hiện nhất quán, phát hiện năng lượng, phát hiện đặc trưng. Phân tích các ưu nhược điểm của từng kỹ thuật này, cũng như các cơ sở chọn các kỹ thuật này. Xét các khó khăn thách thức trong cảm nhận phổ tần như vấn đề đầu cuối ẩn, giải pháp cải thiện hiệu năng (tăng tính chính xác cảm nhận phổ tần) điển hình là hợp tác cảm nhận phổ tần.
- Xét các kỹ thuật cảm nhận phổ tần trong mạng vô tuyến khả tri CRN đa băng (MB-CRN) như: Vấn đề phát hiện phổ tần đa băng, kỹ thuật cảm nhận phổ tần tuần tự, cảm nhận phổ tần song song, cảm nhận sóng con. Ta cũng xét khó khăn thách thức, ý tưởng và giải pháp thực hiện điển hình trong cảm nhận phổ tần đa băng.
- Phân tích hiệu năng và giải pháp cải thiện hiệu năng của các kỹ thuật cảm nhận phổ tần dựa vào các số đo hiệu năng (xác xuất phát hiện, xác suất phát hiện sót, xác suất cảnh báo nhầm, đặc tính hoạt động máy thu ROC) gồm: (i) hiệu năng các kỹ thuật cảm nhận phổ tần cơ bản (phát hiện nhất quán, phát hiện năng lượng, phát hiện các đặc trưng); (ii) hiệu năng của hợp tác cảm nhận phổ tần; (iii) hiệu năng cảm nhận phổ tần đa băng.

## Câu hỏi chương 9

1. Trình bày vị trí vai trò của cảm nhận phổ tần trong các mạng vô tuyến khả tri CRN.
2. Trình bày kỹ thuật cảm nhận phổ tần trong mạng vô tuyến khả tri đơn băng SB-CRN dựa vào phát hiện nhất quán.
3. Trình bày kỹ thuật cảm nhận phổ tần trong mạng vô tuyến khả tri dựa đơn băng SB-CRN vào phát hiện năng lượng.
4. Trình bày kỹ thuật cảm nhận phổ tần trong mạng vô tuyến khả tri dựa đơn băng SB-CRN vào phát hiện đặc trưng.

5. Trình bày các ưu, nhược điểm của các kỹ thuật cảm nhận phô tần dựa vào: phát hiện năng lượng; phát hiện nhất quán; phát hiện đặc trưng.
6. Phân tích hiệu năng của các kỹ thuật cảm nhận phô tần dựa vào phát hiện nhất quán, phát hiện năng lượng, phát hiện đặc trưng trong mạng vô tuyến khả tri đơn bằng SB-CRN.
7. Trình bày hiệu năng của hợp tác cảm nhận phô tần trong các mạng vô tuyến khả tri đơn bằng SB-CRN.
8. Trình bày kỹ thuật cảm nhận phô tần tuần tự trong các mạng vô tuyến khả tri đa bằng MB-CRN.
9. Trình bày kỹ thuật cảm nhận phô tần song song trong các mạng vô tuyến khả tri đa bằng MB-CRN.
10. Trình bày kỹ thuật cảm nhận phô tần dựa vào phép biến đổi sóng con WT trong các mạng vô tuyến khả tri đa bằng MB-CRN.
11. Trình bày các khó khăn thách thức và giải pháp khắc phục trong cảm nhận phô tần đa bằng.
12. Phân tích hiệu năng của các kỹ thuật cảm nhận phô tần đa bằng trong mạng vô tuyến khả tri đa bằng MB-CRN.

## THUẬT NGỮ VIẾT TẮT

**A**

AAS	Adaptive Atenna System	Hệ thống anten thích ứng
ACK	Acknowledge	Công nhận
AES	Advanced Encryption Standard	Chuẩn mật mã tiên tiến
AF	Assured Fowarding	Chuyển có đảm bảo
AG	Absolute Grant	Cho phép tuyệt đối
AK	Authentication Key	Khóa nhận thực
AKA	Authentication and Key Agreement	Thỏa thuận nhận thực và khóa
AMC	Adaptive Modulation and Codding	Điều chế và mã hoá thích ứng
A-MIMO	Adaptive Multiple Input Multiple Output	Đa đầu vào đa đầu ra thích ứng
AMS	Adaptive MIMO Switching	Chuyển mạch MIMO thích ứng
AoA	Angle of Arrival	Góc tới
ARQ	Automatic Repeat reQuest	Yêu cầu phát lặp tự động
API	Application Programming Interface	Giao diện lập trình ứng dụng
ASN	Access Services Network	Mạng dịch vụ truy nhập
ASN-GW	ASN- Gateway	Cổng ASN
ASP	Application Service Provider	Nhà cung cấp dịch vụ
ATM	Asynchronous Transfer Mode	Chế độ truyền dữ bộ
AWGN	Additive White Gaussian Noise	Tạp âm Gauss trắng cộng
AOR	Athlantic Ocean Region	Vùng Đại Tây Dương
	Apogee	Cực viễn
AWGN	Additive White Gaussian Noise	Tạp âm Gauss trắng cộng

**B**

BER	Bit Error Rate	Tỷ lệ lỗi bit
BPSK	Binary PSK	Khóa chuyển pga nhị phân (hai trạng thái)
BE	Best Effort	Nỗ lực nhất
BGCF	Breakout Gateway Control Function	Chức năng điều khiển cổng nối xuyên
BER	Bit Error Rate	Tỷ số lỗi bit
BLER	Block Error Rate	Tỷ số lỗi khói
BRAN	Broadband Radio Access Network	Mạng truy nhập vô tuyến băng rộng
BRS	Broadband Radio Services	Các dịch vụ vô tuyến băng rộng
BS	Base Station	Trạm gốc
BSC	Base Station Controller	Bộ điều khiển trạm gốc
BTS	Base Transceiver Station	Trạm thu phát gốc
<b>C</b>		
CBR	Constant Bit Rate	Tốc độ bit không đổi
CC	Convolutional Code	Mã xoắn
CCI	Co-Channel Interference	Nhiều đồng kênh
CDMA	Code Division Multiple Access	Đa truy nhập phân chia theo mã
CHAP	Challenge Handshake Authentication Protocol	Giao thức nhận thực bắt tay hô lệnh
CID	Connection Identity	Nhận dạng kết nối
CINR	Carrier to Interference +Noise Ratio	Tỉ số sóng mang trên nhiễu cộng tạp âm

CMAC	Cipher-based Authentication Code	Message	Mã nhận thực bản tin dựa trên mật mã
CN	Correspondent Node	Nút đối tác	
CoA	Care of Address	Chăm sóc địa chỉ	
COPS	Common Open Policy Service	Dịch vụ chính sách chung mở	
CP	Cyclic Prefix	Tiền tố chu trình	
CQI	Channel Quality Indicator	Chỉ thị chất lượng kênh	
CQICH	Channel Quality Information Channel	Kênh thông tin trạng thái kênh	
CS	Convergence Sublayer	Lớp con hội tụ	
CSCF	Call Session Control Function	Chức năng điều khiển phiên	
CSI	Channel State Information	Thông tin trạng thái kênh	
CSN	Connectivity Service Network	Mạng dịch vụ kết nối	
CSTD	Cyclic Shift Transmit Diversity	Phân tập phát dịch tuần hoàn	
CTC	Convolutional Turbo Code	Mã turbo xoắn	
<b>D</b>			
DBS	Direct Broadcast Satellite	Vệ tinh quảng bá trực tiếp	
	Descending Node	Điểm xuống	
DOMSAT	Domestic Satellite	Vệ tinh nội địa	
DTH	Direct to Home	TV trực tiếp đến nhà	
DC	Direct Current	Dòng một chiều	
DCD	Downlink Channel Descriptor	Mô tả kênh đường xuống	
DES	Data Encryption Standard	Chuẩn mật mã số liệu	
DFT	Discrete Fourier Transform	Chuyển đổi Fourier rời rạc	
DHCP	Dynamic Host Configuration	Giao thức lập cấu hình máy động	

Protocol		
DiffServ	Differentiated Services	Các dịch vụ được phân loại
DL	Downlink	Đường xuống
DNS	Domain Name System	Hệ thống tên miền
DoA	Direction of Arrival	Phương tới
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification	Đặc tả giao diện dịch vụ dữ liệu qua cáp
DSL	Digital Subscriber Line	Đường thuê bao số
DSTTP	Double Space Time Transmit Diversity	Phân tập không gian thời gian kép
DVB	Digital Video Broadcast	Quảng bá video số
<b>E</b>		
EAP	Extensible Authentication Protocol	Giao thức nhận thực khả mở rộng
EF	Expedited Fowarding	: Chuyển nhanh
EGC	Equal Gain Combining	Kết hợp độ lợi bằng nhau
EIRP	Equivalent Isotropic Radiated Power	Công suất bức xạ đẳng hướng tương đương
EP	Enforcement Point	Điểm thực thi (áp đặt)
ErtPS	Extended Real Time Packet Service	Dịch vụ gói thời gian thực mở rộng
ES	Earth Station	Trạm mặt đất
ERT-VR	Extended Real Time Variable Rate Service	Dịch vụ tốc độ khả biến thời gian thực mở rộng
ESP	Encapsulating Security Payload	Đóng bao tải in an ninh
ETH-CS	Ethernet- Convergence Sublayer	Lớp con hội tụ Ethernet

**F**

FBSS	Fast Base Station Switching	Chuyển mạch trạm gốc nhanh
FCH	Frame Control Header	Tiêu đề điều khiển khung
FDD	Frequency Division Duplex	Ghép song công phân chia theo tần số
FDMA	Frequency Division Multiple Access	Đa truy nhập phân chia theo tần số
FDM/FM	Frequency Division Multiplex/ Frequency Modulation	Ghép kênh theo tần số/ Điều tần
FEC	Forward Error Corection	Hiệu chỉnh lỗi trước
FEC	Forward Equivalence Class	Loại tương đương để chuyển tiếp
FER	Frame Error Rate	Tỷ số lỗi khung
FFT	Fast Fourier Transform	Biến đổi Fourier nhanh
FHDC	Frequency Hopping Diversity Code	Mã phân tập nhảy tần
FIFPS	Federal Information Processing Standard	Tiêu chuẩn xử lý thông tin liên bang
FTP	File Transfer Protocol	Giao thức khởi đầu phiên
FUSC	Fully Used Sub-Channel	Kênh con sử dụng toàn bộ

**G**

GKEK	Group Key Encryption Key	Khóa mật mã của khóa nhóm
GMH	Generic MAC Header	Tiêu đề MAC chung
GEO	Geostationary Earth Orbit	Quỹ đạo địa tĩnh
GSO	Geostationary Orbit	Quỹ đạo địa tĩnh
GRE	Generic Routing Encapsulation	Đóng bao định tuyến chung

GTEK	Group Traffic Encryption Key	Khóa mật mã lưu lượng nhóm	
<b>H</b>			
HARQ	Hybrid Automatic Repeat reQuest	Yêu cầu phát lại tự động ai ghép	
HiperMAN	High Performance Metropolitan Area Network	Mạng vùng đô thị hiệu năng cao	
HMAC	Hash-based Authentication Code	Message	Mã nhận thực bản tin dựa trên làm rối
HO	Hand-off	Chuyển giao	
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol	Giao thức truyền siêu văn bản	
HEO	Highly Elliptical Orbit	Quỹ đạo elip cao	
HPA	High Power Amplifier	Bộ khuếch đại công suất	
<b>I</b>			
IE	Information Element	Phần tử thông tin	
IETF	Internet Engineering Task Force	Lực lượng đặc trách kỹ thuật Internet	
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform	Biến đổi Fourier nhanh ngược	
IntServ	Integrated Services	Các dịch vụ tích hợp	
IR	Incremental Redundancy	Tích luỹ tăng dần	
IP-CS	IP-Covergence Sublayer	Lớp con hội tụ IP	
ISI	Inter-Symbol Interference	Nhiều giữa các ký hiệu	
INMARSAT	International Maritime Satellite Organisation	Tổ chức vệ tinh hàng hải quốc tế	
INTELSAT	International Telecommunications Satellite Organization	Tổ chức vệ tinh quốc tế thông tin	
IOR	Indian Ocean Region	Miền Ấn Độ Dương	

**K**

KEK	Key Encryption Key	Khóa mật mã khóa
-----	--------------------	------------------

**L**

LDPC	Low-Density-Parity-Check	Kiểm tra chẵn lẻ mật độ thấp
ZF	Zero Forcing	Ép buộc về không
LOS	Line of Sight	Trực xạ (Tầm nhìn thẳng)
LNA	Low Noise Amplifier	Bộ khuếch đại tạp âm nhỏ

**M**

MAC	Media Access Control	Điều khiển truy nhập môi trường
MAI	Multiple Access Interference	Nhiều đa truy nhập
MAN	Metropolitan Area Network	Mạng vùng đô thị
MBS	Multicast and Broadcast Service	Dịch vụ đa phương và quảng bá
MD-5	Message Digest-5	Tóm tắt bản tin 5
MDHO	Macro Diversity Hand Over	Chuyển giao phân tập vĩ mô
MIMO	Multiple Input Multiple Output	Đa đầu vào đa đầu ra
MIP	Mobile Internet Protocol	Giao thức internet di động
MMS	Multimedia Message Service	Dịch vụ bản tin đa phương tiện
MMSE	Minimum Mean Square Error	Sai lỗi trung bình bình phương cực tiểu
MPLS	Multi-Protocol Label Switching	Chuyển mạch nhãn đa giao thức
MS	Mobile Station	Trạm di động
MATV	Master Antennas TV	TV anten chủ
MEO	Medium Earth Orbit	Quỹ đạo vệ tinh tầm trung

## N

NACK	Not Acknowledge	Không công nhận nhận
NAP	Network Access Provider	Nhà cung cấp truy nhập mạng
NLOS	Non Line of Sight	Không trực xạ (Tầm nhìn không thẳng)
NRM	Network Reference Model	Mô hình tham khảo mạng
nrtPS	Non-Real-Time Polling Service	Dịch vụ tham dò phi thời gian thực
NSP	Network Service Provider	Nhà cung cấp dịch vụ mạng
NASA	National Aeronautic and Space Administration	Cơ quan quản lý vũ trụ và hàng không quốc gia
NGSO	Non-Geostationary Satellite Orbit	Quỹ đạo vệ tinh không phải địa tĩnh

## O

OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex	Ghép kênh phân chia theo tần số trực giao
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiplex Access	Đa truy nhập phân chia theo tần số trực giao
OSA	Open Service Architecture	Kiến trúc dịch vụ mở

## P

PDU	Protocol Data Unit	Đơn vị số liệu giao thức
PEAP	Protected Extensible Authentication Protocol	Giao thức nhận thực khảm rộng được bảo vệ
PER	Packet Error Rate	Tỷ lệ độ lỗi gói
PKMv2	Privacy Key Management Version 2	Quản lý khóa bí mật phiên bản 2
PUSC	Partially Used Sub-Channel	Kênh con sử dụng một phần

**Q**

QAM Quadrature Amplitude Modulation Điều chế biên độ vuông góc

QoS Quality of Service Chất lượng dịch vụ

QPSK Quadrature Phase Shift Keying Khoá dịch pha vuông góc

**R**

RG Relative Grant Cho phép tương đối

RTG Receiver/Transmit Transition Gap Khoảng trống để chuyển thu sang phát

rtPS Real-time Polling Service Dịch vụ thăm dò thời gian thực

RVSP Resource Reservation Protocol Giao thức dành trước tài nguyên

RTT Round Trip Time Thời gian truyền vòng

**S**

SA Security Association Liên kết an ninh

SDMA Space Division Multiple Access Đa truy nhập phân chia theo không gian

SDU Service Data Unit Đơn vị số liệu dịch vụ

SF Spreading Factor Hệ số trải phổ

SFID Service Flow Identity Nhận dạng luồng dịch vụ

SFN Single Frequency Network Mạng tần số đơn

SGSN Serving GPRS Support Node Node hỗ trợ dịch vụ GPRS

SHA Secured Hash Standard Chuẩn làm rơi an ninh

SHO Soft Hand-Off Chuyển giao mềm

SIM Subscriber Identify Module Phản nhận dạng thuê bao

SIMO Single Input Multiple Output Một đầu vào nhiều đầu ra

SNIR Signal to Noise+Interference Ratio Tỉ số tín hiệu trên nhiễu+tạp âm

SLA	Service Level Agreement	Thỏa thuận mức dịch vụ
SM	Spatial Multiplexing	Ghép kênh không gian
SMS	Short Message Service	Dịch vụ bản tin ngắn
SNR	Signal to Noise Ratio	Tỉ số tín hiệu trên tạp âm
S-OFDMA	Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplex Access	Đa truy nhập phân chia theo tần số trực giao khả định cỡ
SS	Subscriber Station	Trạm thuê bao
STC	SpaceTime Coding	Mã hoá thời gian không gian
SCPC	Single Channel per Carrier	Một kênh trên một sóng mang
<b>T</b>		
TDD	Time Division Duplex	Ghép song công phân chia theo thời gian
TEK	Traffic Encryption Key	Khoá mật mã lưu lượng
TLS	Transport Layer Security	An ninh lớp truyền tải
TTG	Transmit/receive Transition Gap	Khoảng trống chuyển phát sang thu
TTLS	Tunneled Transport Layer Security	An ninh lớp truyền tải được truyền trong tunnel
TTI	Transmission Time Interval	Khoảng thời gian truyền dẫn
TU	Typical Urban	Thành phố điển hình
TDMA	Time Division Multiple Access	Đa truy nhập phân chia theo thời gian
TT&C	Telemetry, Tracking and Command	Đo từ xa, bám và điều khiển
TWTA	Travelling Wave Tube Amplifier	Bộ khuếch đại đèn sóng chạy

TVRO	TV Receiver Only	Máy chỉ thu TV vệ tinh
<b>U</b>		
UE	User Equipment	Thiết bị người sử dụng
UGS	Unsolicited Grant Service	Dịch vụ cho phép không khẩn nài
UL	Uplink	Đường lên
UMTS	Universal Mobile Telephone System	Hệ thống viễn thông di động toàn cầu
<b>V</b>		
VoIP	Voice over Internet Protocol	Thoại qua giao thức IP
<b>W</b>		
WiFi	Wireless Fidelity	
WAP	Wireless Application Protocol	Giao thức ứng dụng không dây
WiBro	Wireless Broadband	Không dây băng rộng
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access	Khả năng tương hợp toàn cầu đối với truy nhập vi ba