

## CHƯƠNG 4

# HỆ THỐNG GSM

### 4.1 Giới thiệu chung

Năm 1982, cơ quan quản lí chính về viễn thông của châu Âu (CEPT) đã thành lập nhóm đặc trách di động (Groupe Special Mobile - GSM) với nhiệm vụ tìm ra hệ thống vô tuyến tế bào toàn châu Âu hoạt động trong dải 900 MHz. Hệ thống này được hình thành để khắc phục những hạn chế thấy rõ về dung lượng của các hệ thống tương tự đã triển khai tại một số nước châu Âu (ví dụ NMT ở các nước Bắc Âu). Tiêu chuẩn tế bào toàn châu Âu phải hỗ trợ lưu động (roaming) quốc tế và tạo đà phát triển cho ngành công nghiệp viễn thông châu Âu. Sau những thảo luận ban đầu, ba nhóm làm việc (WP) được thành lập để xử lí các công việc cụ thể của việc xác định hệ thống, sau đó nhóm thứ 4 được thành lập tiếp. Năm 1986 bộ phận thường trực được lập tại Pari để phối hợp hoạt động của các nhóm làm việc và quản lí việc tạo các khuyến nghị hệ thống. Các WP được yêu cầu xác định các giao diện hệ thống sao cho máy di động, dù ở dạng cầm tay hay lắp trên xe, đều có thể lưu động qua các nước có triển khai hệ thống mới và đều có thể truy cập tất cả các dịch vụ. So với hệ thống tương tự hiện có, hệ thống mới phải có dung lượng cao hơn, chi phí vận hành bằng hoặc thấp hơn và chất lượng tiếng nói phải bằng hoặc tốt hơn. Dải tần chung toàn châu Âu cho hệ thống mới là 890-915 MHz và 935-960 MHz.

Các nghiên cứu trong các nước châu Âu khác nhau đã kết luận rằng hệ thống số là phù hợp hơn hệ thống tương tự, song việc lựa chọn phương pháp đa truy nhập vẫn chưa được quyết định. Vì thế, người ta quyết định thử nghiệm một số dự án hệ thống khác nhau trên thực địa (tại Paris, cuối năm 1986). Có 8 dự án với một số đặc điểm cơ bản như Bảng 4.1.

Trong năm 1987 các kết quả thử nghiệm được đánh giá thảo luận và cuối cùng đã đạt được thỏa thuận về các đặc trưng chủ yếu của hệ thống mới. Đến tháng 6/1987 đã quyết định chọn TDMA dải hẹp, với 8 kênh trên sóng mang (có thể mở rộng đến 16 kênh/sóng mang). Mã hóa tiếng nói được chọn là loại RPE-LPC (dự đoán tuyến tính kích thích xung đều) với tốc độ bit là 13 kb/s. Mã kênh được chọn là mã xoắn, kiểu điều chế được chọn là GMSK nhờ hiệu quả phổ cao của nó.

Các đặc tả hệ thống GSM xuất hiện vào giữa năm 1988. Tuy nhiên, do không thể xác định mọi đặc điểm của hệ thống cho kịp khai trương vào năm 1991 nên đặc tả được chia thành 2 pha. Các đặc tả của Pha 1 (các dịch vụ chung nhất) hoàn thành vào năm 1990. Pha 2 sẽ xác định các dịch vụ còn lại (fax v.v..) đồng thời sửa lỗi và cải thiện chất lượng của hệ thống Pha 1. Theo yêu cầu của Anh, một phiên bản của GSM hoạt động trong dải 1800 MHz cũng được đưa vào trong quá trình xây dựng đặc tả. Phiên bản này được gọi là hệ thống tế bào số tại 1800 MHz (DCS1800). Pha 2 hoàn thành năm 1993 và tiếp sau là Pha 2+, gồm 1 số đặc điểm mới như mã hóa tiếng nói bán tốc, tăng tốc độ di chuyển của máy di động (vẫn đảm bảo liên lạc tin cậy). Toàn bộ đặc tả GSM dày hơn 5000 trang.

Trong chương này ta tập trung chủ yếu vào giao diện vô tuyến của GSM, vì nó có ảnh hưởng trực tiếp đến dung lượng hệ thống tế bào.

Bảng 4.1. Một số đặc điểm chính của các hệ thống GSM mẫu

	Kiểu đa truy nhập	Tốc độ bit truyền (kb/s)	Giãn cách sóng mang (kHz)	Kiểu điều chế	Số kênh trên sóng mang
CD-900	CDMA/TDMA	7980	4500	4-PSK	63
MATS-D	CDMA/TDMA FDMA	2496 19.5	1250 25	QAM GTFM	32 1
ELAB	TDMA	512	600	ADPCM	12
DMS900	TDMA	340	300	GMSK	10
MOBIRA	TDMA	252	250	GMSK	9
SFH-900	TDMA	200	150	GMSK	3
S900-D	TDMA	128	250	4-FSK	10
MAX II	TDMA	104.7	50	8-PSK	4

## **4.2 Cấu trúc tổng quát của mạng GSM**

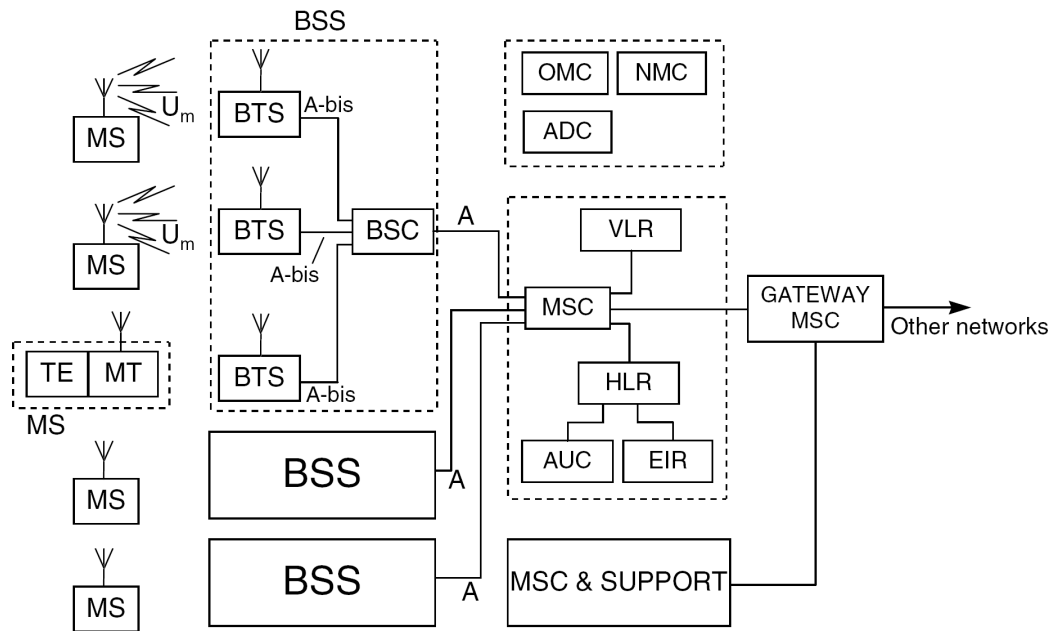
Phần này xét vắn tắt các thành phần khác nhau tạo thành mạng GSM. Nhiều phần là chung với các mạng tế bào khác, song một vài phần là riêng của GSM. Sơ đồ khối đơn giản của mạng GSM mặt đất công cộng (PLMN) như hình 4.1.

### **4.2.1 Trạm di động (MS)**

Thuê bao sẽ sử dụng MS để gọi và nhận cuộc gọi qua mạng GSM. MS gồm 2 phần có chức năng khác nhau là modul nhận dạng thuê bao (SIM) và thiết

bị di động (ME). SIM là thẻ thông minh tháo lắp được, chứa các thông tin liên quan đến thuê bao cụ thể, còn ME chính là bản thân điện thoại di động (không có SIM).

ME có thể chia thành 3 khối chức năng. Thứ nhất là thiết bị đầu cuối (TE), thực hiện chức năng riêng cho dịch vụ cụ thể ví dụ máy fax. TE không sử dụng một chức năng nào liên quan đến hệ thống GSM. Khối chức năng thứ 2 là đầu cuối di động (MT), thực hiện mọi nhiệm vụ liên quan đến truyền thông tin trên giao diện vô tuyến GSM. Cuối cùng khối chức năng thứ 3 là bộ phối hợp đầu cuối (TA) dùng để bảo đảm sự tương thích giữa MT và TA. Ví dụ cần TA để tạo giao diện giữa MT tương thích - ISDN và TA có giao diện modem.



Hình 4.1 Cấu trúc mạng GSM

**SIM:** là thẻ thông minh có kích thước thẻ tín dụng hoặc nhỏ hơn, được thuê bao sử dụng để “cá nhân hóa” ME. Lưu ý rằng trong GSM, MS luôn là tổ hợp của SIM và ME. SIM có vùng bộ nhớ cố định để nhớ thông tin liên quan đến thuê bao (gồm cả IMSI). Số này dùng để nhận dạng từng thuê bao trong mạng GSM và dài không quá 15 chữ số thập phân. Ba chữ số đầu tiên là mã nước di động (NMC), dùng để nhận dạng nước mà thuê bao đăng kí. Hai chữ số tiếp theo là mã mạng di động (MNC) dùng để nhận dạng mạng PLMN thường trú của thuê bao trong nước. Các chữ số còn lại của IMSI là số nhận dạng thuê bao di động (MSIN) dùng để xác định duy nhất từng thuê bao trong mạng PLMN. SIM còn

chứa chìa khóa nhận dạng mật thuê bao,  $K_i$ , thuật toán nhận dạng A3 và thuật toán tạo chìa khóa mật mã A8. Tất cả các khoản này (bắt buộc phải có) đều được lưu trong SIM và được bảo vệ rất chặt chẽ. Ngoài ra SIM còn có thể chứa 1 số chức năng tùy chọn khác như quay số tắt, danh bạ v.v.. Cũng nhờ có SIM mà thuê bao có thể dễ dàng thay đổi các ME khác nhau, ví như khi phải sửa chữa ME.

Một trong những động lực chính phía sau sự phát triển của hệ thống GSM là cho phép thuê bao lưu động tự do khắp châu Âu mà vẫn giữ nguyên khả năng gọi và nhận cuộc gọi bằng cùng một MS. Điều này chỉ có thể khi tồn tại các mạng tương thích nhau tại mỗi nước. SIM đã đưa ra khái niệm “lưu động SIM” tức là thuê bao có thể lưu động giữa các mạng khác nhau không tương thích với nhau bằng cách thuê ME thích hợp và cắm SIM vào. Điều này trở nên đặc biệt hấp dẫn khi nước Mỹ giới thiệu hệ thống PCS1900 (thường gọi là GSM1900).

#### **4.2.2 Hệ thống trạm gốc (BSS)**

MS liên lạc với trạm thu phát gốc (BTS) qua giao diện vô tuyến  $U_m$ . BTS thực hiện tất cả các chức năng thu phát liên quan đến giao diện vô tuyến GSM và xử lý tín hiệu ở mức độ nhất định. Về 1 số phương diện có thể coi BTS là modem vô tuyến phức tạp nhận tín hiệu vô tuyến đường lên từ MS rồi biến đổi nó thành dữ liệu để truyền đi đến các máy khác trong mạng GSM, và nhận dữ liệu từ mạng GSM rồi biến đổi nó thành tín hiệu vô tuyến phát đến MS. Các BTS tạo nên vùng phủ sóng của tế bào, vị trí của chúng quyết định dung lượng và vùng phủ của mạng. Tuy nhiên BTS chỉ đóng vai trò phụ trong việc phân phối tài nguyên vô tuyến cho các MS khác nhau. Việc quản lý giao diện vô tuyến được giao cho BSC, với các nhiệm vụ là: phân phối các kênh vô tuyến cho MS khi thiết lập cuộc gọi, xác định khi nào thì tiến hành chuyển giao HO, nhận dạng BTS đích phù hợp và điều khiển công suất phát của MS sao cho vừa đủ để tới được BTS đang phục vụ. Các BSC thay đổi theo nhà sản xuất, song thường một BSC có thể điều khiển tới 40 BTS. Ngoài khả năng xử lý, BSC còn có khả năng chuyển mạch (hạn chế), cho phép nó định tuyến các cuộc gọi giữa các BTS khác nhau thuộc quyền kiểm soát của nó. Giao diện giữa BSC và BTS liên quan được gọi là *giao diện A-bis*. Tập hợp BTS và BSC được gọi là hệ thống trạm gốc (BSS).

#### **4.2.3 Trung tâm chuyển mạch di động (MSC)**

Từ hình 4.1 ta thấy mỗi BSS được nối với MSC. MSC đảm bảo việc định tuyến các cuộc gọi đến/đi từ MS. Nó có khả năng chuyển mạch lớn, thông

thường một MSC điều khiển vài chục BSC với dung lượng vài chục nghìn thuê bao. MSC tương tự như tổng đài trong mạng cố định, song nó còn có thêm các chức năng quản lý di động của các thuê bao (đăng ký vị trí và HO). Đặc tả GSM sử dụng thuật ngữ *vùng MSC* để mô tả phần mạng bao phủ bởi MSC và các BSC, BTS liên quan. Giao diện giữa MSC và BSS được gọi là giao diện A, hoàn toàn được xác định trong đặc tả. Vì thế, các nhà khai thác mạng có thể tự do lựa chọn MSC và BSS từ các nhà sản xuất khác nhau. Giao diện giữa các MSC khác nhau được gọi là giao diện E. Nhà khai thác có thể lựa chọn 1 hoặc một vài MSC để dùng làm MSC cửa ngõ (GMSC). GMSC cung cấp giao diện giữa PLMN và các mạng ngoài. Khi có cuộc gọi đến từ mạng ngoài, GMSC liên lạc với các cơ sở dữ liệu mạng liên quan để bảo đảm cuộc gọi được định tuyến đến MS thích hợp.

#### **4.2.4 Cơ sở dữ liệu mạng GSM**

Trong phần trên ta đã xét các bộ phận khác nhau trong GSM dùng để tạo đường liên lạc giữa một MS và một MS khác hoặc người dùng trong mạng khác. Không kém phần quan trọng trong các mạng thương mại là các phương tiện thanh toán tính cước, duy trì số liệu đăng ký chính xác và ngăn ngừa các xâm nhập mạng trái phép. Trong mạng tế bào, các thuê bao được tự do lưu động trong vùng phủ sóng, vì thế mạng phải có cách nào đó để theo dõi các MS nhằm định tuyến chính xác cuộc gọi đến chúng. Tất cả các chức năng này được thực hiện nhờ sử dụng kết hợp các cơ sở dữ liệu hoặc các bộ ghi. Bộ ghi vị trí thường trú (HLR) lưu giữ các thông tin riêng của các thuê bao, các chi tiết về đăng ký của người dùng (ví dụ dịch vụ) và thông tin vị trí của từng thuê bao (ví dụ: chi tiết về vùng MSC mà thuê bao hiện thời đăng ký). Có thể truy cập thông tin trong HLR nếu dùng IMSI hoặc MSISDN của thuê bao. Mọi thuê bao trong GSM đều có đầu mục (entry) trong HLR của mạng chủ. Giao diện giữa HLR và MSC được gọi là giao diện C.

Cơ sở dữ liệu khác liên quan chặt chẽ với HLR là trung tâm nhận thực (AuC). AuC dùng để lưu trữ thông tin liên quan đến khía cạnh an ninh GSM, nghĩa là nhận thực người dùng và mật mã hóa đường vô tuyến. Nó chứa chìa khóa nhận dạng thuê bao  $K_i$  và các thuật toán an ninh A3, A8. AuC chỉ liên lạc với HLR thông qua giao diện H. Cơ sở dữ liệu quan trọng khác được dùng trong GSM là bộ ghi vị trí tạm trú (VLR). VLR liên kết với một hoặc vài MSC và chứa thông tin liên quan đến các thuê bao hiện đang đăng ký trong vùng MSC. Vùng được phục vụ bởi VLR cụ thể được gọi là vùng VLR. Chức năng chính của VLR

là cung cấp bản sao thông tin cục bộ (local) của thuê bao nhằm mục đích sử lý cuộc gọi và để tránh truy nhập liên tục HLR (để lấy thông tin về thuê bao cụ thể). VLR cũng chứa các thông tin cho phép mạng “tìm thấy” thuê bao khi có cuộc gọi đến.

Quá trình định vị thuê bao trở nên dễ dàng bằng cách chia vùng phủ sóng của mạng thành một số vùng *định vị* (LA), mỗi LA gồm một hoặc một số tế bào. VLR sẽ chứa các chi tiết về LA trong đó mỗi thuê bao được đăng kí. Khi có cuộc gọi tới, MS sẽ được tìm gọi trong tất cả các tế bào thuộc LA. Điều này có nghĩa là MS sẽ di chuyển tự do giữa các tế bào của cùng vùng định vị, không phải thông báo cho mạng về vị trí của nó. Tuy nhiên khi MS di chuyển giữa các tế bào thuộc các LA khác nhau, nó phải đăng kí trong vùng mới theo thủ tục *cập nhật vị trí*. Còn khi thuê bao di chuyển giữa các LA thuộc các VLR khác nhau, chi tiết của nó được copy từ HLR vào VLR mới đồng thời được xóa khỏi VLR cũ. Giao diện giữa HLR và VLR là giao diện D, còn giao diện giữa MSC và VLR liên quan là giao diện B. Giao diện giữa các VLR được gọi là giao diện G.

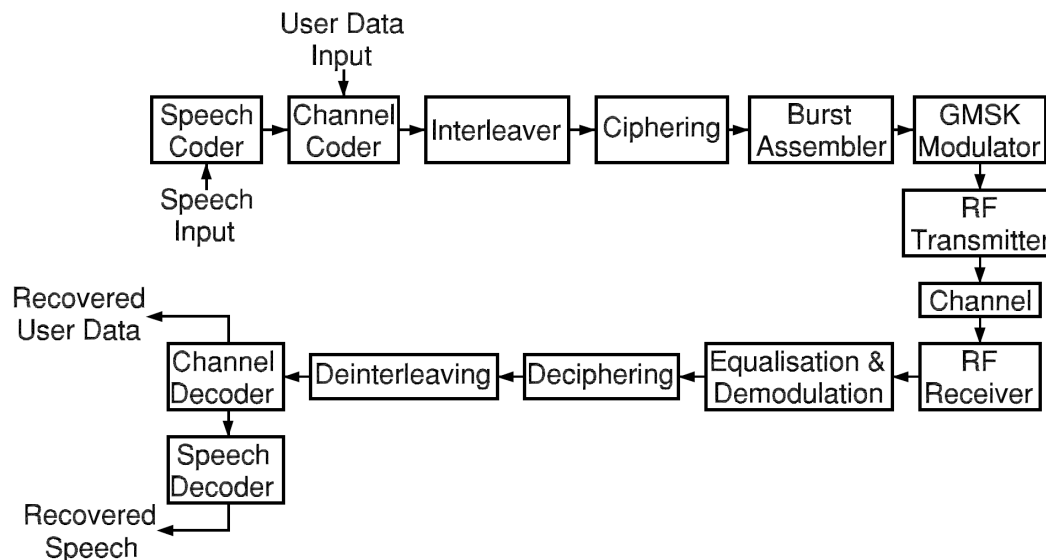
Sự tồn tại của thẻ SIM trong GSM có nghĩa là việc theo dõi thuê bao không còn là theo dõi thiết bị nữa. Vì vậy người ta sử dụng bộ ghi nhận dạng thiết bị (EIR) để nhà khai thác mạng có thể theo dõi ME bị đánh cắp hoặc có lỗi. Mỗi ME được gán một số IMEI duy nhất 15 số tại nơi sản xuất. Mỗi model ME đều phải qua một quá trình gọi là *chấp thuận kiểu*, ở đó một số đặc tính của nó được thử nghiệm bởi bộ mô phỏng hệ thống GSM. Việc thử này được thực hiện bởi các phòng thí nghiệm được thừa nhận, độc lập với bất kì công ty hoặc nhà sản xuất nào. Sau khi qua được quá trình này, ME sẽ được gán mã chấp thuận kiểu gồm sáu số (TAC), tạo thành 6 số đầu tiên của IMEI. Hai số tiếp theo là mã lắp ráp cuối (FAC), được gán bởi nhà sản xuất để nhận dạng nơi ME được sản xuất hoặc lắp ráp sau cùng. Sáu số tiếp theo là số seri của ME (SNR). Số còn lại của IMEI 15 số là dự phòng.

EIR được dùng để lưu 3 danh sách khác nhau của IMEI. Danh sách *trắng* chứa seri các IMEI đã được cấp cho ME có thể dùng trên mạng GSM. Danh sách *đen* chứa các IMEI của các ME bị cấm dùng trên mạng GSM (gồm các ME bị đánh cắp hoặc lỗi). Danh sách *xám* là IMEI của các ME cần phải theo dõi nhằm mục đích đánh giá. Trong khi truy nhập hoặc trong cuộc gọi, mạng có thể ra lệnh cho MS cung cấp IMEI của nó vào bất cứ lúc nào. Nếu IMEI thuộc danh sách đen hoặc không thuộc danh sách trắng, mạng sẽ kết thúc cuộc gọi hoặc truy nhập và thuê bao sẽ nhận được thông báo “ME bất hợp pháp”. Từ đó trở đi MS này sẽ

không được truy nhập, cập nhật vị trí hoặc trả lời tìm gọi song vẫn có thể gọi khẩn cấp. IMEI được kiểm tra trong EIR và được MSC đang phục vụ MS chuyển đến. Kết quả kiểm tra IMEI được EIR gửi đến MSC liên quan. Giao diện giữa EIR và MSC là giao diện F.

#### 4.2.5 Quản lý mạng GSM

Nhà khai thác mạng phải có khả năng nhận dạng các vấn đề trong mạng trong giai đoạn đầu và khắc phục chúng một cách nhanh chóng và chính xác. Ngoài ra nhà khai thác còn phải thay đổi cấu hình mạng với chi phí tối thiểu và không ảnh hưởng đến dịch vụ cung cấp cho thuê bao. Các khối chức năng liên quan đến quản lý mạng là OMC, NMC và ADC. OMC là phương tiện để nhà khai thác điều khiển mạng. Mỗi OMC thường phụ trách một hệ thống con ví dụ BSS hoặc NSS. NMC liên quan đến quản lý toàn mạng, thường có vai trò rộng hơn OMC. ADC liên quan đến các chức năng quản trị mạng.



Hình 4.2 Sơ đồ khối máy thu và máy phát GSM

#### 4.3 Giao diện vô tuyến GSM

Giao diện vô tuyến cung cấp phương tiện để MS liên lạc với BS khi nó di chuyển trong vùng phủ sóng. Chất lượng của giao diện này, nhất là khả năng đảm bảo tiếng nói chấp nhận được chống lại các nhiễu cùng kênh từ các người dùng khác trong hệ thống, có ảnh hưởng lớn đến tổng dung lượng hệ thống tế bào. Hình 4.2 là sơ đồ khối đơn giản của liên kết vô tuyến GSM.

Ta bắt đầu bằng xem xét sơ đồ điều chế và các tần số sóng mang sử dụng trong GSM. Sau đó sẽ thảo luận việc tạo cụm TDMA (hoặc gói) và cách giải điều chế cụm khi có ISI gây bởi kênh vô tuyến và bởi quá trình điều chế, tiếp theo sẽ nghiên cứu các kênh khác nhau trong GSM và cách phân phối tài nguyên vô tuyến cho mỗi kênh. Tiếp nữa là vấn đề mã hóa, xen kẽ và mật mã hóa trên giao diện vô tuyến. Các quá trình này là khác nhau đối với thông tin tiếng nói, thông tin dữ liệu và thông tin báo hiệu. Cuối cùng, ta sẽ đưa 2 nửa của việc mô tả giao diện vô tuyến lại với nhau bằng cách mô tả phương pháp ánh xạ các dữ liệu đã mã hóa, xen kẽ và mật mã hóa lên các cụm TDMA.

### **4.3.1 Phương pháp điều chế trong GSM**

Sơ đồ điều chế được dùng trong GSM là GMSK với tích dải thông chuẩn hóa  $BT = 0.3$  và tốc độ symbol điều chế khoảng 271 kb/s. GMSK dựa trên sơ đồ điều chế đơn giản hơn là MSK, trong đó biên độ sóng mang giữ nguyên không đổi còn thông tin được mang ở dạng thay đổi pha. Giá trị 1 logic buộc pha sóng mang tăng  $90^\circ$  trên chu kỳ bit, còn 0 logic buộc pha sóng mang giảm lượng tương tự. Sự thay đổi pha này tạo nên bằng chuyển mạch liên tục tần số sóng mang giữa 2 trị khác nhau  $f_1$  và  $f_2$  theo dữ liệu vào. Như vậy, MSK là trường hợp đặc biệt của FSK. Các tần số  $f_1$  và  $f_2$  được cho bởi:

$$\begin{aligned} f_1 &= f_c + R_b / 4, \\ f_2 &= f_c - R_b / 4, \end{aligned}$$

trong đó  $R_b$  là tốc độ symbol điều chế ( $\approx 271$  kb/s), còn  $f_c$  là tần số sóng mang danh định. Trong MSK tần số sóng mang  $f_c$  không bao giờ được phát đi.

Như vậy MSK yêu cầu sự thay đổi tức thời tần số sóng mang, nên phổ điều chế về lí thuyết là rộng vô hạn. Phổ tín hiệu điều chế MSK có thể nén bằng cách lọc các xung băng gốc điều chế nhằm tạo ra sự thay đổi trơn nhẵn hơn về tần số. Loại bộ lọc được sử dụng có phản ứng xung Gao xơ và sơ đồ điều chế tương ứng có tên gọi GMSK. Dải thông tương đối của bộ lọc Gao xơ quyết định độ nén phổ đạt được, tức là dải thông bộ lọc càng hẹp thì phổ điều chế càng hẹp. Tiếc rằng bộ lọc Gao xơ lại đưa ISI vào tức là mỗi symbol điều chế trải dài sang các symbol lân cận. Bit dữ liệu thứ  $i$ ,  $d_i$  được mã hóa vì sai bằng cộng modulo 2 bit hiện thời và bit trước đó:

$$\hat{d}_i = d_i \oplus d_{i-1},$$

trong đó  $\hat{d}_i$  là bit dữ liệu thứ  $i$  mã hóa vì sai,  $d_i$  có thể nhận các trị 0 hoặc 1 còn  $\oplus$  là phép cộng modulo-2. Dữ liệu điều chế tại lối vào bộ điều chế GMSK,  $\alpha_i$ ,



được xác định bởi:

$$\alpha_i = 1 - 2\hat{d}_i, \quad \hat{d}_i = 0, 1$$

Như vậy  $\alpha_i$  có thể nhận các trị  $\pm 1$  tùy thuộc vào trị của  $\hat{d}_i$  như sau:

$$\hat{d}_i = 0 \rightarrow \alpha_i = +1,$$

$$\hat{d}_i = 1 \rightarrow \alpha_i = -1.$$

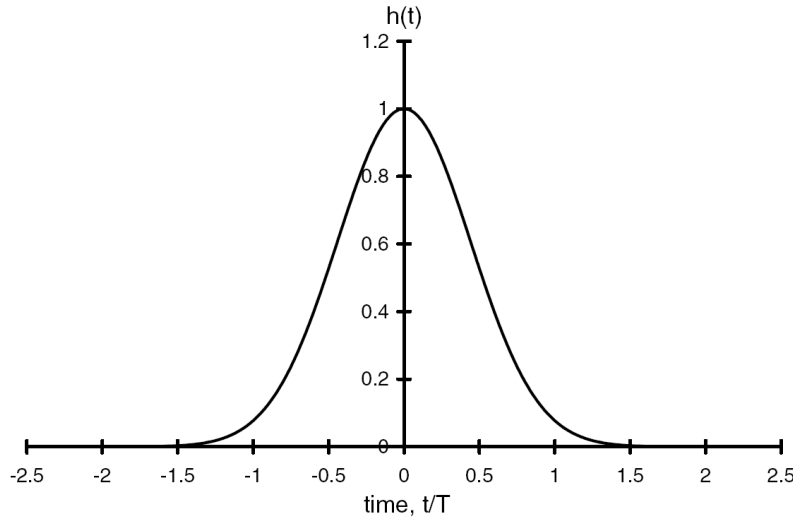
Dữ liệu điều chế  $\alpha_i$  sau đó đi qua bộ lọc tuyến tính với phản ứng xung có dạng Gao xơ,  $h(t)$ , xác định bởi:

$$h(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma T} \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2 T^2}\right)$$

ở đây:

$$\sigma = \sqrt{\ln(2)} / 2\pi BT,$$

T là chu kỳ bit còn B là dải thông 3 dB của bộ lọc. Tích BT là dải thông tương đối của bộ lọc Gao xơ bằng gốc và trong GSM có trị bằng 0.3. Điều này có nghĩa rằng mỗi bit được trải (hoặc có tác động đến) trên 3 symbol điều chế. Nói cách khác là chấp nhận ISI (sẽ được khử ở máy thu bằng bộ san bằng). Phản ứng xung  $h(t)$  và phản ứng tần số  $H(f)$  của bộ lọc này như trên hình 4.3a và 4.3b.



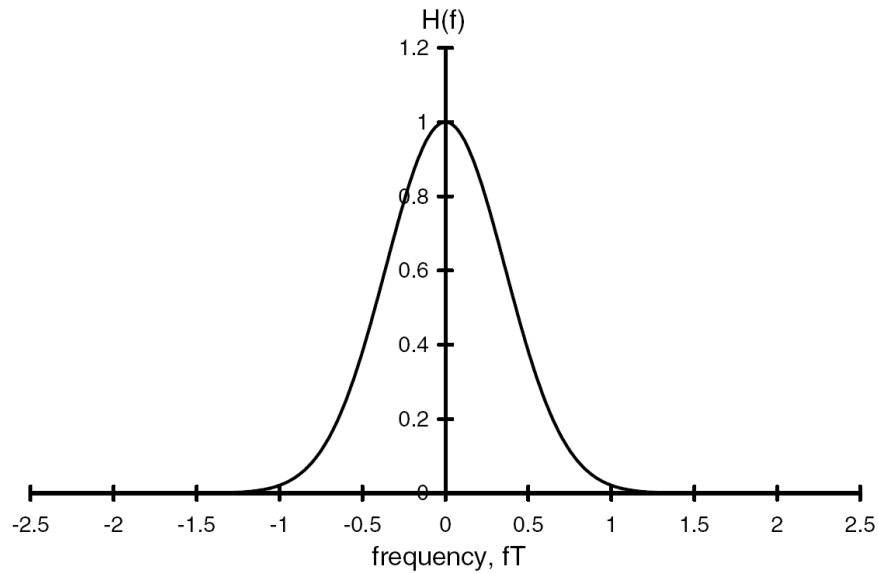
Hình 4.3a Phản ứng xung

Lưu ý rằng trong các hình này biên độ đã được chuẩn hóa để có biên độ 1, còn trục thời gian ở hình 4.3a đã được chuẩn hóa theo T và trục tần số hình 4.3b chuẩn hóa theo  $1/T$ . Phản ứng xung của bộ lọc này  $g(t)$  tức tín hiệu xuất hiện ở lỗi ra bộ lọc khi lỗi vào đặt xung độ rộng T, được xác định bởi:

$$g(t) = h(t) * \text{rect}(t/T),$$

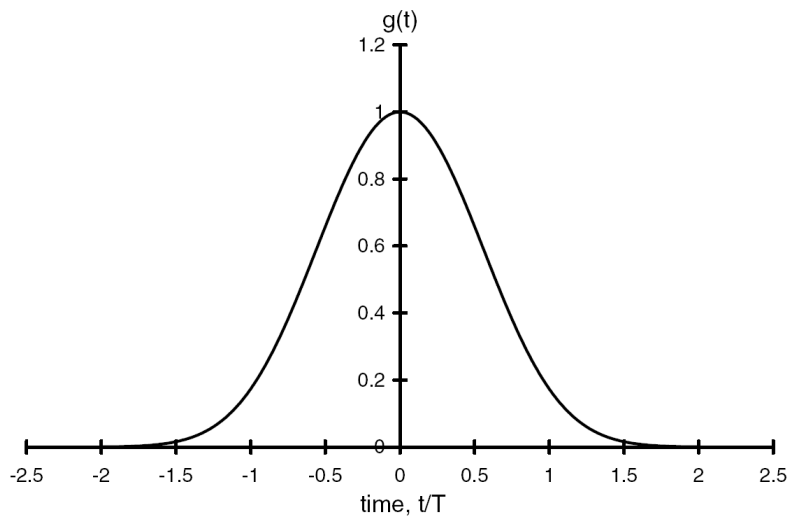
ở đây:

$$\text{rect}(t/T) = \begin{cases} 1/T, & |t| < T/2, \\ 0, & t \leq -T/2 \text{ và } t \geq T/2 \end{cases}$$



Hình 4.3b Phản ứng tần số

Phản ứng xung  $g(t)$  như trên hình 4.4. Ta thấy rằng nó kéo dài xấp xỉ 3 chu kỳ bit  $T$ . Biên độ  $g(t)$  được chuẩn hóa về trị cực đại 1, còn trục thời gian chuẩn hóa theo  $T$ .



Hình 4.4 Phản ứng xung của bộ lọc GMSK

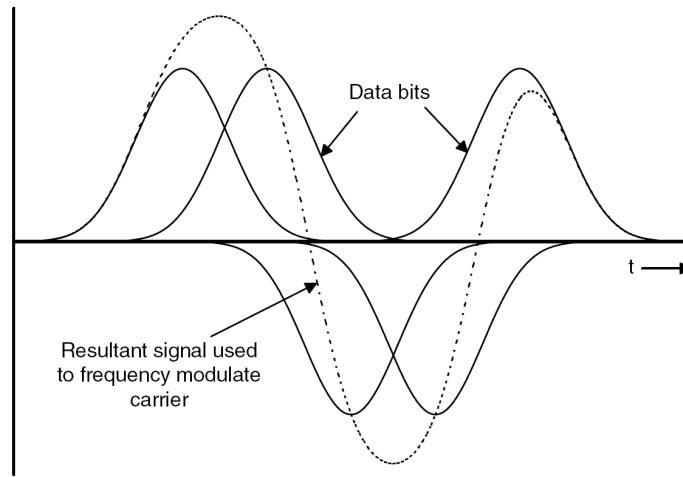
Tín hiệu ở lối ra bộ lọc là tổng của các phản ứng xung đối với mỗi bit dữ liệu vào, ví dụ như hình 4.5 với dãy dữ liệu 0010. Tín hiệu này được sử dụng để điều chế tần số sóng mang. Pha của tín hiệu điều chế  $\varphi(t)$  có thể xác định bằng lấy tích phân tín hiệu ở lối ra bộ lọc tức là:

$$\varphi(t) = \sum_i \alpha_i \pi m \int_{-\infty}^{t-iT} g(u) du,$$

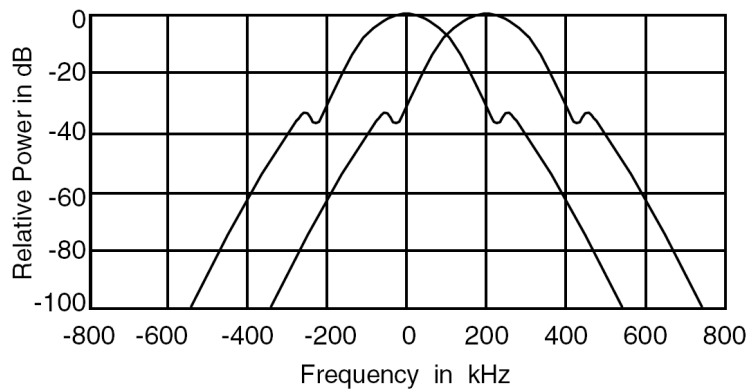
ở đây chỉ số điều chế  $m = 1/2$  (tức là sự thay đổi pha cực đại trên khoảng dữ liệu là  $\pi/2$ ). Tín hiệu cao tần sóng mang đã điều chế có thể biểu diễn như sau:

$$x(t) = \sqrt{\frac{2E_c}{T}} \cos(2\pi f_0 t + \varphi(t) + \varphi_0)$$

ở đây:  $E_c$  là năng lượng trên bit điều chế,  $f_0$  là tần số sóng mang còn  $\varphi_0$  là dịch pha ngẫu nhiên không thay đổi trong thời gian một cụm TDMA.



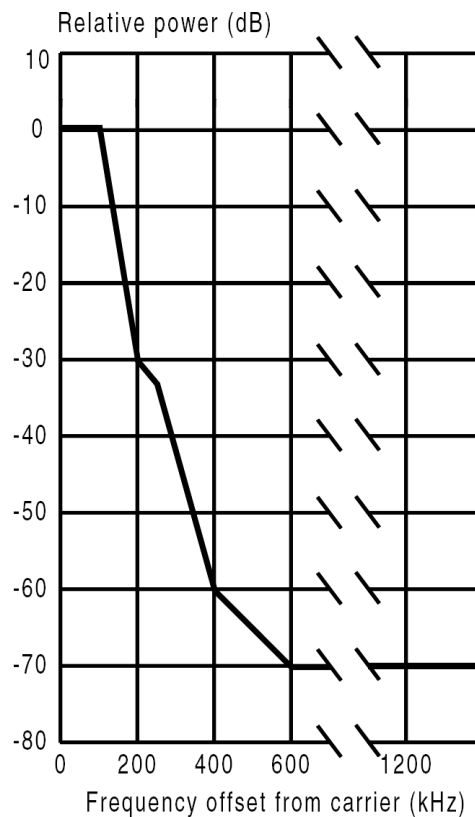
Hình 4.5 Lối ra bộ lọc băng gốc



Hình 4.6 Phổ điều chế GMSK điển hình

Ví dụ của phổ sóng mang GSM như hình 4.6. Ta thấy rằng công suất chỉ giảm đi khoảng 35 dB tại độ lệch 200 kHz (là tâm của sóng mang lân cận) so với tần số trung tâm. Điều này dẫn đến lượng can nhiễu nhiều kênh lân cận đáng kể giữa các sóng mang GSM. Tiêu chuẩn GSM xác định rằng máy thu chỉ làm việc thỏa mãn khi kênh mong muốn nhỏ hơn kênh lân cận không quá 9 dB. Kết hợp với ảnh hưởng của pha đỉnh che khuất và điều khiển công suất, điều này ngăn cản việc sử dụng kênh lân cận trong cùng tế bào.

Tiêu chuẩn cũng xác định một số mặt nạ phổ phát để bảo đảm rằng các máy phát không tạo nên các mức không chấp nhận được của nhiễu lân cận. Ví dụ của một mặt nạ như hình 4.7. Tín hiệu phát phải giữ thấp hơn mặt nạ (đường đậm) tại mỗi điểm lệch tần số so với sóng mang. Ví dụ, tại điểm lệch 400 kHz công suất phát phải nhỏ hơn công suất tại tần số trung tâm một lượng 60 dB.



Hình 4.7 Mặt nạ phổ điều chế

#### 4.3.2 Các sóng mang vô tuyến GSM

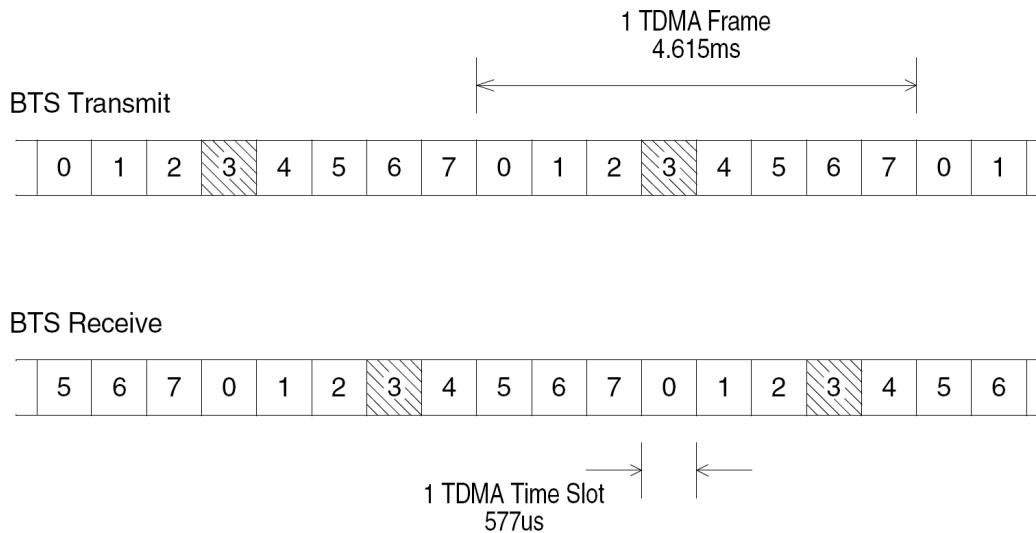
GSM sử dụng kết hợp các sơ đồ đa truy nhập phân chia theo tần số FDMA và đa truy nhập phân chia theo thời gian TDMA. Phổ tần có sẵn được chia thành các băng rộng 200 kHz. Mỗi băng này được chiếm bởi một sóng mang cao tần điều chế GMSK hỗ trợ một số khe thời gian TDMA. Các sóng mang cao tần tạo

thành từng cặp để truyền dữ liệu đồng thời trên cả 2 hướng (song công). Trong pha 1, băng tần đường lên của GSM là 890-915 MHz còn băng tần đường xuống là 935-960 MHz. Trong pha 2, băng tần GSM900 được mở rộng thêm để cung cấp nhiều dung lượng hơn trong vùng thành thị. Vì lí do này băng tần nêu trên được gọi là băng GSM cơ sở (P-GSM900: primary GSM900). Băng tần mở rộng (E-GSM900) kéo dài thêm từ 880-890 MHz cho đường lên và 925-935 MHz cho đường xuống. Đối với hệ thống DCS1800, pha 2 qui định băng tần 1710-1785 MHz cho đường lên và 1805-1880 MHz cho đường xuống.

Có khoảng bảo vệ 200 kHz ở cận dưới của mỗi băng. Mỗi cặp tần số sóng mang cao tần được gán một con số kênh tần số vô tuyến tuyệt đối (ARFCN). Theo qui ước  $Fl(n)$  được dùng để mô tả tần số sóng mang đường lên thấp hơn với ARFCN là  $n$ , còn  $Fu(n)$  được dùng cho tần số đường xuống cao hơn. Mỗi quan hệ giữa tần số và ARFCN cho trong bảng 4.3.

Bảng 4.3 Số kênh tần số vô tuyến tuyệt đối

Band	Frequency		Channel numbers
P-GSM900	$Fl(n) = 890 + 0.2n$	$Fu(n) = Fl(n) + 45$	$1 \leq n \leq 124$
E-GSM900	$Fl(n) = 890 + 0.2n$	$Fu(n) = Fl(n) + 45$	$0 \leq n \leq 124$
	$Fl(n) = 890 + 0.2(n - 1024)$		$975 \leq n \leq 1023$
DCS1800	$Fl(n) = 1710.2 + 0.2(n - 512)$	$Fu(n) = Fl(n) + 95$	$512 \leq n \leq 885$



Hình 4.8 Sắp xếp cụm tại BTS

Ngoài sự phân cách tần số giữa các sóng mang song công bằng 45 MHz với GSM900 và 95 MHz với DCS1800, các cụm đường lên và đường xuống còn

phân cách nhau 3 khe thời gian. Nhờ đó MS không phải thu và phát đồng thời. Ở nơi độ trễ truyền lan giữa BS và MS rất nhỏ, MS sẽ thu cụm đường xuống từ BS, điều chỉnh lại về tần số đường lên và phát cụm đường lên sau 3 khe thời gian. Sơ đồ định thời ở BS cho trên hình 4.8.

Từ hình vẽ ta thấy rằng mỗi sóng mang song công hỗ trợ một số khe thời gian dài 15/26 ms ( $\approx 577 \mu s$ ). Tám khe thời gian đánh số từ 0-7 tạo thành một khung TDMA dài 60/13 ms ( $\approx 4.615$  ms). Độ dài khe thời gian và độ dài khung nhận được từ điều kiện là 26 khung TDMA được phát đi trong 120 ms. Lí do chọn các con số cụ thể này sẽ rõ khi xem xét cấu trúc khung phức tạp của GSM. Tại điểm này chỉ cần biết rằng độ dài khung TDMA bằng  $120/26 = 60/13$  ms, còn độ dài khe thời gian bằng  $120/26 \times 8 = 15/26$  ms là đủ.

### 4.3.3 Các cấp công suất GSM

Trong đặc tả GSM xác định 5 cấp MS đối với GSM900 và 2 cấp đối với DCS1800 dựa trên công suất ra của chúng. Các cấp này cho trên bảng 4.4. Máy cầm tay điển hình đối với GSM900 thuộc cấp 4, còn đối với DCS1800 là cấp 1. Máy trên xe GSM900 thuộc cấp 2. Mọi MS đều có khả năng giảm công suất ra theo từng bước 2 dB từ trị cực đại xuống đến cực tiểu 5 dBm (3.2 mW) đối với GSM900 và 0 dBm (1 mW) đối với DCS1800 theo lệnh từ BS. Khả năng này được dùng để thực hiện điều khiển công suất đường lên (công suất MS) để đảm bảo vừa đủ cho chất lượng thỏa mãn. Nhờ đó có thể tiết kiệm pin của MS và giảm can nhiễu đường lên toàn hệ thống.

Bảng 4.4 Các cấp công suất MS

Power Class	Maximum output power GSM900	Maximum output power DCS1800
1	20 W (43 dBm)	1 W (30 dBm)
2	8 W (39 dBm)	0.25 W (24 dBm)
3	5 W (37 dBm)	
4	2 W (33 dBm)	
5	0.8 W (29 dBm)	

Trong pha 1, tám cấp công suất BS GSM900 được xác định, với công suất ra cực đại từ 2.5 W đến 320 W và 4 cấp đối với BS DCS1800, với công suất ra cực đại từ 2.5 W đến 20 W. Trong pha 2 mỗi hệ thống được bổ sung 3 cấp công suất, gọi là *micro-BS*, vì chúng dùng cho tế bào nhỏ. Chi tiết về cấp công suất BS cho ở bảng 4.5. Công suất ra thực của BS có thể điều chỉnh ít nhất trong 6 bước cỡ 2 dB nhằm điều chỉnh tinh vùng phủ sóng. Công suất ra BS cũng có thể điều chỉnh đến 15 bước, mỗi bước 2 dB nhằm điều khiển công suất đường xuống.

#### 4.3.4 Các cụm GSM

Như đã biết, mỗi sóng mang GSM hỗ trợ 8 khe thời gian và dữ liệu được phát đi ở dạng cụm được thiết kế vừa khít các khe này. Đặc tả GSM xác định 5 loại cụm khác nhau, 4 trong đó được biểu diễn ở hình 4.9.

Cụm thường (NB) là cụm được sử dụng phổ biến nhất trong GSM. Nó gồm chuỗi huấn luyện ở giữa và 2 khối thông tin mỗi khối 58 bit ở hai bên. Đầu và cuối cụm là 3 bit đuôi. Độ dài tổng cộng của cụm là 148 bit cộng với khoảng bảo vệ dài 8,25 bit. Chuỗi huấn luyện dùng để “thăm dò” kênh vô tuyến và tạo nên ước lượng phản ứng xung của kênh tại máy thu. Ước lượng này được sử dụng trong quá trình giải điều chế để san bằng các ảnh hưởng của truyền sóng đa tia. Ước lượng kênh sẽ chỉ chính xác tại thời điểm lấy thăm dò, vì thế chuỗi huấn luyện được đặt ở tâm của của mỗi cụm nhằm giảm thiểu lỗi trong các bit thông tin xa chuỗi huấn luyện nhất. Do đó phần đầu tiên của cụm phải lưu lại trước khi có thể giải điều chế. Chuỗi huấn luyện gồm dãy 16 bit mở rộng về 2 phía bằng cách copy 5 bit đầu tiên ở cuối của dãy và 5 bit sau cùng ở đầu dãy. 16 bit trung tâm được chọn sao cho hàm tự tương quan sau giải điều chế GMSK có trị cực đại, và các bit lặp lại ở mỗi đầu bảo đảm rằng ước lượng kênh có được có thể rộng tới 5 bit trước khi bị hỏng bởi các bit thông tin. Đặc tả cũng xác định 8 chuỗi huấn luyện khác nhau có thể dùng trong cụm thường, tất cả đều có tính chất tương quan chéo thấp sau giải điều chế GMSK. Mỗi chuỗi huấn luyện được mô tả bằng mã chuỗi huấn luyện (TSC). Danh sách các TSC cho ở bảng 4.6. Các tế bào cùng kênh sẽ dùng các chuỗi huấn luyện khác nhau để phòng ngừa ước lượng kênh bị hỏng bởi tín hiệu nhiễu. Các bit đuôi TB trong NB luôn bằng 0 nhằm bảo đảm rằng bộ giải mã Viterbi bắt đầu và kết thúc ở trạng thái đã biết.

Bảng 4.5 Các cấp công suất BTS

BTS power class	Maximum output power	
	GSM900	DCS1800
1	320–(<640) W	20–(<40) W
2	160–(<320) W	10–(<20) W
3	80–(<160) W	5–(<10) W
4	40–(<80) W	2.5–(<5) W
5	20–(<40) W	-
6	10–(<20) W	-
7	5–(<10) W	-
8	2.5–(<5) W	-
Micro-BTS 1	(>0.08)–0.25 W	(>0.5)–1.6 W
Micro-BTS 2	(>0.03)–0.08 W	(>0.16)–0.5 W
Micro-BTS 3	(>0.00)–0.03 W	(>0.05)–0.16 W

Cụm sửa tần (FB) được MS sử dụng để phát hiện sóng mang đặc biệt phát đi bởi mọi BS trong mạng GSM. Sóng mang này được gọi là sóng mang kênh điều khiển quảng bá (BCCH). Nó hoạt động như dạng cờ báo hiệu (beacon) và các MS sẽ tìm kiếm cờ này để phát hiện sự có mặt của mạng GSM. FB cũng được các MS sử dụng làm chuẩn tần số cho các cơ sở thời gian (timebases) bên trong của chúng. Tất cả các bit trong FB kể cả bit đuôi đều bằng 0 và sau giải điều chế GMSK sẽ nhận được sóng sin tại tần số cao hơn tần số cao tần trung tâm khoảng 68 kHz (1625/24). Cụm đồng bộ (SB) mang 78 bit dữ liệu mã hóa chia thành 2 khối 39 bit nằm ở 2 phía của chuỗi huấn luyện 64 bit. Cụm này mang thông tin chi tiết về cấu trúc khung GSM và cho phép MS đồng bộ hoàn toàn với BS. SB là cụm đầu tiên mà MS phải giải điều chế, vì thế chuỗi huấn luyện được kéo dài 64 bit.

Bảng 4.6 Các dãy huấn luyện GSM

Training sequence code (TSC)	Training sequence bits (b61, b62, ..., b86)
0	(0,0,1,0,0,1,0,1,1,1,0,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,1,0,1,1,1)
1	(0,0,1,0,1,1,0,1,1,1,0,1,1,1,0,0,0,1,0,1,1,0,1,1,1)
2	(0,1,0,0,0,0,1,1,1,0,1,1,0,1,0,0,0,1,0,0,0,1,1,1,0)
3	(0,1,0,0,0,1,1,1,1,0,1,1,0,1,0,0,0,1,0,0,0,1,1,1,0)
4	(0,0,0,1,1,0,1,0,1,1,1,0,0,1,0,0,0,0,0,1,1,0,1,0,1,1)
5	(0,1,0,0,1,1,1,0,1,0,1,1,0,0,0,0,0,1,0,0,1,1,1,0,1,0)
6	(1,0,1,0,0,1,1,1,1,0,1,1,0,0,0,1,0,1,0,0,1,1,1,1,1)
7	(1,1,1,0,1,1,1,1,0,0,0,1,0,0,1,0,1,1,1,0,1,1,1,0,0)

Chuỗi kéo dài này cho định tự tương quan lớn hơn chuỗi 26 bit của cụm thường. Nó cũng cho phép phân biệt được trải trễ đa tia lớn hơn. Tất cả các SB đều dùng chung chuỗi huấn luyện từ bit thứ 42 đến bit thứ 105 trong cụm. Sắp xếp chuỗi huấn luyện như sau:

$$\begin{aligned}
 b_{42}, b_{43}, \dots, b_{105} = & (1,0,1,1,1,0,0,1,0,1,1,0,0,0,1,0, \\
 & 0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,1,1,1,1, \\
 & 0,0,1,0,1,1,0,1,0,1,0,0,0,1,0,1, \\
 & 0,1,1,1,0,1,1,0,0,0,0,1,1,0,1,1).
 \end{aligned}$$

MS có thể dùng chuỗi huấn luyện này để đồng bộ với truyền dẫn BS với độ chính xác trong phạm vi ¼ bit. Cụm cuối cùng trong hình 4.9 là cụm truy nhập (AB). Cụm này gồm chuỗi huấn luyện dài 41 bit theo sau là 36 bit thông tin. Cụm truy nhập được MS sử dụng để truy nhập mạng lúc ban đầu và đây là cụm đường lên



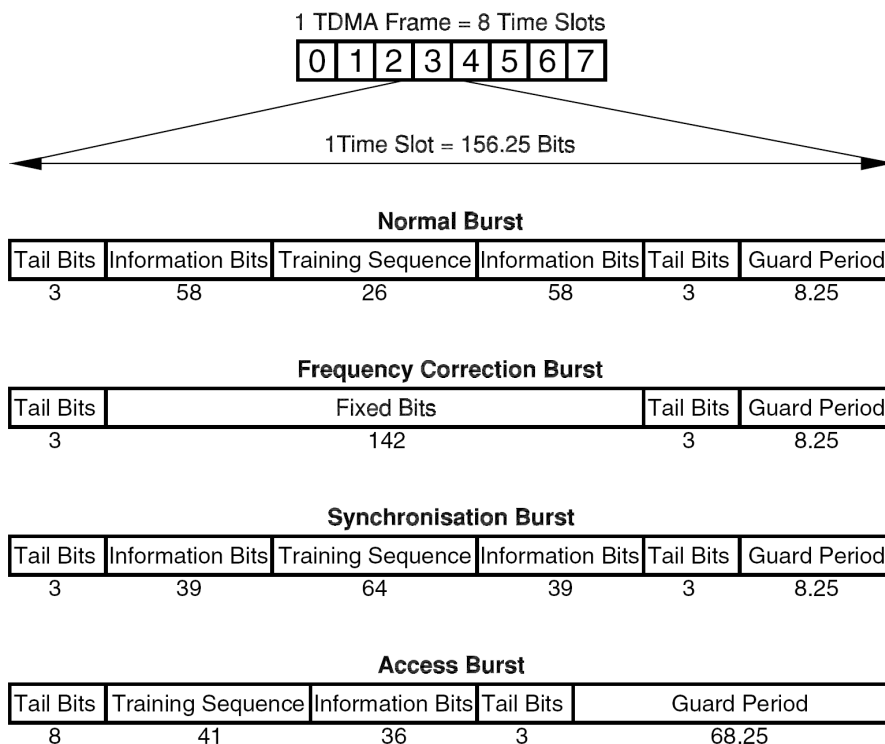
đầu tiên mà BS phải giải điều chế từ MS cụ thể. Cũng như với cụm đồng bộ, chuỗi huấn luyện được kéo dài để dễ giải điều chế. Số bit đuôi ở đầu cụm được tăng lên bằng 8. Các bit đuôi kéo dài ở đầu cụm là:

$$b_0, b_1, b_2, \dots, b_7 = (0, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 0).$$

Chuỗi huấn luyện theo sau là:

$$\begin{aligned} b_8, b_9, \dots, b_{48} = & (0, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 1, \\ & 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 1, \\ & 1, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, \\ & 1, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0). \end{aligned}$$

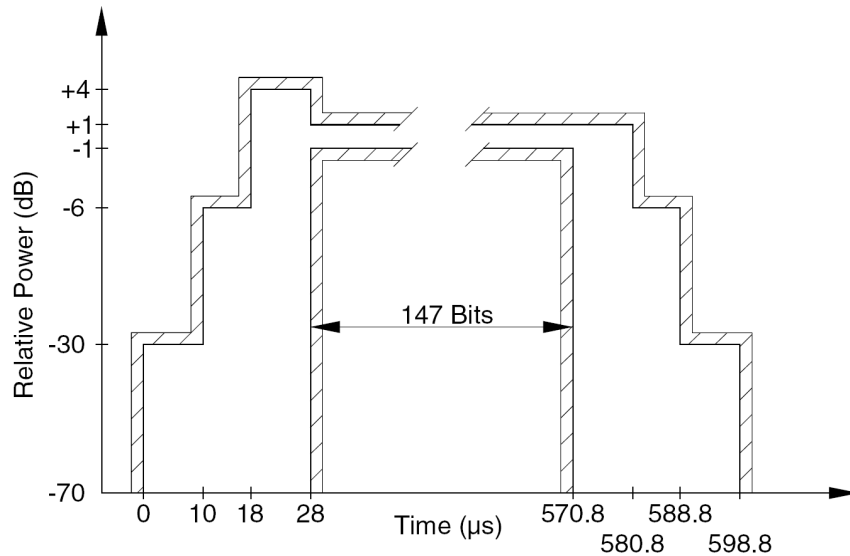
Các bit đuôi ở cuối cụm có trị bằng 0. Lưu ý rằng cụm truy nhập ngắn hơn nhiều các cụm khác, do đó khoảng bảo vệ dài và bằng 68,25 bit nhằm bù cho độ trễ truyền sóng giữa MS và BS. Một khi đường song công đã được thiết lập, cơ cấu định thời sớm vòng kín được kích hoạt để bảo đảm rằng các cụm đường lên MS đến BS đúng khe thời gian của chúng. Tuy nhiên điều này là không thể trên cụm truy nhập. Do đó, khoảng bảo vệ dài 68,25 bit hay 252  $\mu s$ , cho phép MS có thể ở xa BS đến 38 km trước khi các cụm đường lên của nó tràn vào khe thời gian tiếp theo. Do kích thước nhỏ, AB mang tương đối ít thông tin và điều này có tác động đến thủ tục truy nhập.



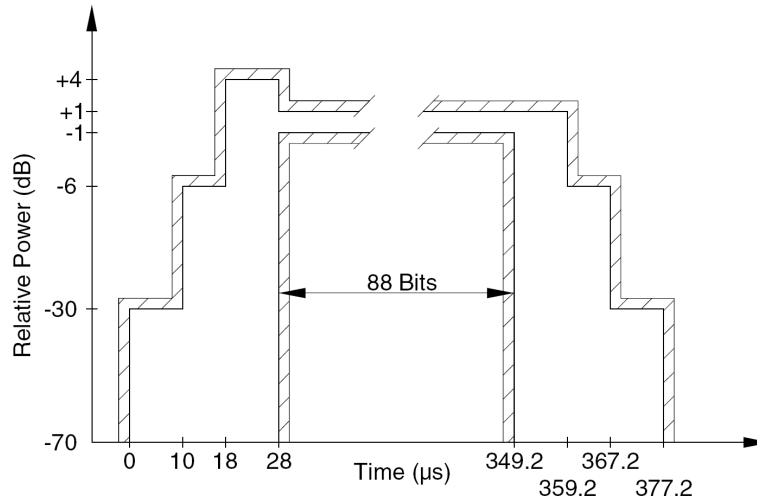
Hình 4.9 Các loại cụm GSM

Loại cụm thứ 5 không vẽ trên hình 4.9. Nó là cụm giả (DB) và giống cụm thường ở chỗ có cùng cấu trúc và dùng cùng chuỗi huấn luyện. Sự khác nhau chính giữa NB và DB là ở chỗ các bit thông tin ở hai bên chuỗi huấn luyện trong cụm giả có trị xác định trước. DB dùng để lấp kín các khe thời gian không tích cực trên sóng mang BCCH là sóng mang phải phát đi liên tục và có công suất không đổi.

Phổ lỗi ra cao tần của các tín hiệu phát trong hệ thống TDMA không chỉ được xác định bởi quá trình điều chế, mà còn bởi các quá độ (transient) chuyển mạch xảy ra khi các cụm năng lượng cao tần được phát đi. Các quá độ này có xu hướng làm rộng phổ của tín hiệu phát, mặc dù điều này có thể giảm bớt bằng cách làm công suất ra tăng giảm từ từ khi phát cụm, thay cho việc chỉ tắt mở máy phát. Thông tin phát đi trong cụm không được chịu ảnh hưởng bởi quá trình này (thực hiện ở đầu và cuối của khe thời gian). Phần tích cực trong NB dài 148 bit. Phần có ích của cụm trong tất cả các trường hợp sẽ ngắn hơn phần tích cực 1 bit và nó bắt đầu ở nửa bit đầu tiên. Trong phần có ích (phát thông tin) biên độ của tín hiệu cao tần điều chế phải giữ gần như không đổi. Mặt nạ tăng giảm công suất (sự thay đổi công suất phát theo thời gian) đối với NB như hình 4.10a. Biên độ tín hiệu phát phải giữ nguyên giữa 2 đường đậm. Mặt nạ đối với FB và SB cũng vậy. AB có mặt nạ thay đổi công suất tương tự, song lúc này phần có ích giảm xuống còn 87 bit (hình 4.10b). Lưu ý rằng công suất tăng 70 dB trong 28  $\mu$ s (ứng với 7.6 bit), còn công suất giảm trong 18  $\mu$ s hay 4.9 bit.



(a) Mặt nạ điều chỉnh công suất cụm thường



(b) Mặt nạ điều chỉnh công suất cụm truy nhập

Hình 4.10 Các mặt nạ điều chỉnh công suất trong GSM

#### 4.3.5 Máy thu GSM

Trong phần này ta xét phương pháp khôi phục thông tin của bộ san bằng Viterbi từ mỗi cụm GSM khi có ISI gây bởi kênh vô tuyến và bởi quá trình điều chế GMSK.

##### 4.3.5.1 Bộ san bằng kênh

Hình 4.11 biểu diễn sơ đồ khối của đường truyền băng gốc GSM điển hình. Thuật ngữ băng gốc được dùng để chỉ rằng phần cao tần đã được bỏ qua và các ảnh hưởng của kênh vô tuyến và của phần cao tần máy phát, máy thu được mô hình hóa bằng kênh băng gốc tương đương. Hình vẽ cũng chỉ ra rằng các cụm chứa cả dữ liệu và chuỗi huấn luyện được cho qua bộ điều chế băng gốc ở máy phát và sau đó đi qua kênh băng gốc trước khi tới máy thu. Dạng sóng ở máy thu sẽ chứa ISI gây bởi kênh và quá trình điều chế GMSK. Tại máy thu cụm được phân tách thành chuỗi huấn luyện và các bit dữ liệu. Chuỗi huấn luyện được dùng để ước lượng phản ứng xung của kênh vô tuyến trong bộ ước lượng kênh. Toàn bộ quá trình giải điều chế được thực hiện bằng các kỹ thuật xử lý tín hiệu số. Sau khi tín hiệu đi qua tuyến cao tần của máy thu, nó được lấy mẫu để tạo ra biểu diễn số dạng phức của tín hiệu băng gốc. Trong hình 4.11 luồng thông tin băng gốc phức được ký hiệu bằng mũi tên kép.

Để giải thích quá trình mô phỏng kênh, ta biểu diễn chuỗi huấn luyện thu được,  $s_r(t)$ , như tích của chuỗi huấn luyện phát,  $s(t)$ , và phản ứng xung của kênh băng gốc,  $h_c(t)$ , tức là:

$$s_r(t) = s(t) * h_c(t),$$

Cho  $s_r(t)$  đi qua bộ lọc với phản ứng xung  $h_{MF}(t)$  phối hợp với chuỗi huấn luyện

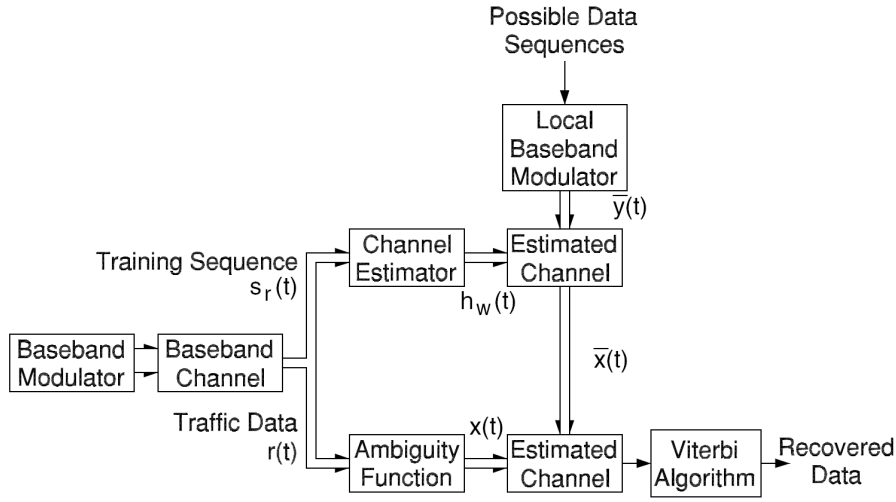
sẽ cho ước lượng phản ứng xung của kênh  $h_e(t)$  xác định bởi:

$$h_e(t) = s_r(t) * h_{MF}(t) = s(t) * h_c(t) * h_{MF}(t) = R_s(t) * h_c(t),$$

ở đây  $R_s(t) = s(t) * h_{MF}(t)$  là hàm tự tương quan của chuỗi huấn luyện. Lưu ý rằng đây là hàm tự tương quan của các symbol GMSK đã điều chế tạo ra bởi chuỗi huấn luyện chứ không phải là bản thân các bit của chuỗi huấn luyện. Các chuỗi huấn luyện được chọn bằng cách tìm kiếm trên máy tính sao cho  $R_s(t)$  là xấp xỉ với hàm dạng xung Dirac. Hình dạng thực tế là dạng xung có biên độ được hạn chế nhỏ hơn số chip trong chuỗi thăm dò. Giả sử rằng  $R_s(t)$  có tính chất này, phương trình trên trở thành:

$$h_e(t) \approx \delta(t) \times h_c(t) \approx h_c(t)$$

ở đây  $\delta(t)$  là hàm xung Dirac.



Hình 4.11 Đường truyền băng gốc

Thời gian trễ giữa các thành phần đa đường thu được đầu tiên và cuối cùng của kênh ước lượng có thể lớn, vì thế có sự tương ứng giữa kích thước của độ trễ này và độ phức tạp của bộ san bằng kênh Viterbi. Độ trễ tăng 1 bit dẫn đến số trạng thái trong bộ san bằng tăng gấp đôi. Người ta đã lập phản ứng xung kênh nhân tạo tiêu chuẩn hóa để thử bộ san bằng Viterbi. Phản ứng này gồm 6 xung có công suất trung bình như nhau và cách đều nhau trên một khoảng thời gian  $16 \mu s$ , tức khoảng cách giữa 2 xung lân cận là  $3,2 \mu s$ . Bộ điều chế GMSK trải mỗi bit trên độ rộng 3 bit. Độ trải trễ  $16 \mu s$  ứng với  $16/3.69$  hay 4.34 bit. Tổng độ trải cho trải trễ quá  $16 \mu s$  sẽ là 7.34 bit. Nhắc lại rằng chuỗi huấn luyện gồm dãy thăm dò 16 bit và 5 bit bổ xung vào mỗi bên. Có nghĩa là các ước lượng kênh có thể nhận được đối với tổng trải trễ quá mức dài 5 bit. Nếu độ trải trễ vượt quá 5 bit, thì dãy thăm dò của các tia muộn hơn sẽ chồng lấn với các bit thông tin của

các tia sớm hơn. Điều này làm xấu đi ước lượng kênh ở mức độ nhất định vì chuỗi huấn luyện sẽ tương quan chéo với các bit thông tin.

Thông thường người ta tính toán độ trễ trễ tổng của kênh chỉ là 2 bit, ứng với độ dài  $7.38 \mu s$ . Giá trị này khá phù hợp với các kênh GSM thành phố và nông thôn, có độ trễ trễ tương ứng là  $5 \mu s$  và  $0.5 \mu s$ . Lúc này, độ trễ trễ lớn hơn 2 bit có thể gây ra lỗi khi chức năng của bộ khử xen kẽ và giải mã FEC là loại bỏ chúng. Nếu phản ứng xung của kênh ước lượng  $h_e(t)$  lớn hơn  $7.38 \mu s$ , bộ san bằng sẽ chỉ sử dụng đúng  $7.38 \mu s$ . Song  $7.38 \mu s$  này nằm ở chỗ nào? Một thủ tục tạo cửa sổ được thực hiện, trong đó cửa sổ dài 2 bit di chuyển trên  $h_e(t)$ , và phần  $h_e(t)$  được dùng là phần có năng lượng cực đại trong  $h_e(t)$ . Tại vị trí này, ước lượng kênh theo cửa sổ  $h_w(t)$  được xác định bởi:

$$h_w(t) = h_e(t) \cdot w(t)$$

với  $w(t)$  là hàm cửa sổ chữ nhật. Hi vọng rằng  $h_w(t)$  sẽ chứa các thành phần đa tia có giá trị nhất. Điều này có thể không xảy ra tại vùng đồi núi vì các phản xạ khác nhau có thể dẫn tới năng lượng đáng kể tại các độ trễ lớn. Xét hình 4.11, ta thấy rằng tất cả các chuỗi dữ liệu có thể được tạo ra tại chỗ trong máy thu và cho qua bộ điều chế bằng gốc tại chỗ. Quá trình này tạo ra một số symbol GMSK  $\bar{y}(t)$  đưa đi nhân chập với phản ứng xung kênh ước lượng  $h_w(t)$  để tạo nên một số *mẫu dạng sóng*  $x(t)$ . Nếu ước lượng kênh là hoàn hảo, thì mẫu dạng sóng ứng với dãy dữ liệu phát sẽ phối hợp chính xác với dạng sóng thu được  $r(t)$ . Song luôn tồn tại một số không hoàn hảo trong quá trình ước lượng kênh, ví dụ hàm tự tương quan của chuỗi huấn luyện không phải là hàm Dirac hoàn hảo và một số vấn đề liên quan với tạo cửa sổ ước lượng kênh. Ảnh hưởng của việc thăm dò kênh không hoàn hảo có thể giảm bớt bằng cách đưa các méo vào đường dữ liệu giống như trong đường ước lượng kênh. Nói cách khác ta đưa vào *hàm mờ*  $R_s(t)$  chính là hàm tự tương quan của chuỗi huấn luyện.

Để tìm hiểu vai trò của hàm mờ, trước tiên ta xét tín hiệu dữ liệu thu được  $r(t)$  xác định bởi:

$$r(t) = b(t) * h_c(t)$$

trong đó  $b(t)$  là chuỗi dữ liệu phát, còn  $h_c(t)$  là phản ứng xung của kênh thực tế.

Tín hiệu thu được nhân chập với  $w(t)R_s(t)$  tạo nên:

$$x(t) = b(t) * w(t)R_s(t) * h_c(t)$$

Các mẫu dạng sóng tạo ra tại chỗ được tạo ra bằng nhân chập mọi chuỗi dữ liệu có thể với ước lượng kênh cửa sổ. Nghĩa là:

$\bar{x}(t) = \bar{y}(t) * h_w(t) = \bar{y}(t) * (w(t)h_c(t)) = \bar{y}(t) * w(t)R_s(t) * w(t)h_c(t) = \bar{y}(t) * w(t)R_s(t) * h_w(t)$  trong đó  $\bar{y}(t)$  là lỗi ra của bộ điều chế bằng gốc tại chỗ. Vì  $\bar{y}(t)$  là 1 trong số các

dạng sóng có thể của  $b(t)$ , nên 2 phương trình trên chỉ khác nhau ở chỗ là  $x(t)$  chứa  $h_c(t)$  trong khi  $\bar{x}(t)$  buộc phải có phiên bản của số  $h_w(t)$ , còn  $h_c(t)$  và  $h_w(t)$  như nhau khi phản ứng xung sử dụng trong quá trình tạo  $\bar{y}(t)$  là hoàn toàn chứa trong cửa sổ. Như vậy, bằng cách đưa hàm mờ vào đường dữ liệu thu, sự phối hợp giữa dạng sóng thu được và mẫu dạng sóng chính xác được cải thiện đáng kể. Giả sử rằng bộ san bằng phải sử lý độ trễ trễ tổng cộng 5 bit dữ liệu, gồm trễ 3 bit trong bộ điều chế GMSK và trễ 2 bit trong kênh. Như vậy trong bất kì chu kì bit nào ta đều phải xét ảnh hưởng của 5 bit. Vì 5 bit có thể tạo nên 32 mẫu nhị phân khác nhau nên ta phải tạo ra 32 mẫu dạng sóng khác nhau  $b\bar{x}(t)$  có độ dài một bit và dùng chúng khi mỗi bit thông tin  $x(t)$  đi đến. 32 giá trị giống như vậy của  $\bar{x}(t)$  sẽ được dùng cho mỗi bit trong  $x(t)$ . Lỗi bình phương trung bình giữa mỗi mẫu dạng sóng  $\bar{x}(t)$  và dạng sóng thu được  $x(t)$  được tính toán cho mỗi chu kì bit. Các trị lỗi bình phương trung bình này được gọi là các số gia metric. Mẫu dạng sóng phối hợp tốt nhất với dạng sóng thu được sẽ tạo ra số gia metric nhỏ nhất và mẫu này có thể sử dụng để tái sinh bit dữ liệu  $b(t)$ . Tuy nhiên ta tránh tái sinh từng bit dữ liệu. Thay vào đó số gia metric nhỏ nhất được tính từ bit đầu tiên trong cụm cho đến bit cuối cùng. Đến cuối cụm tất cả các bit sẽ được tái sinh lại.

Bộ san bằng Viterbi có  $2^{v-1}$  trạng thái với  $v$  bằng 5 trong trường hợp đang xét. Như vậy ta có 16 trạng thái. Mỗi trạng thái liên quan với một số nhị phân 4 bit khác nhau. Các trạng thái được xếp thành cột có 16 vòng tròn, mỗi vòng tròn biểu diễn 1 trạng thái nhị phân ví dụ 1101. Một giản đồ lưới được lập có cùng số cột 16 trạng thái này. Mỗi trạng thái ví dụ 1101 sẽ thay đổi tại khoảng bit tiếp theo thành 0101 hoặc 1101 tùy thuộc vào bit mới là 0 hay 1 logic. Có 2 số gia metric nêu trên cho mỗi trạng thái, vì thế tại mỗi chu kì bit có 32 số gia metric. Đối với bit dữ liệu đầu tiên ta chọn metric nhỏ hơn tại mỗi trạng thái làm metric có ích. (Trong GSM có các bit đuôi 0 ở đầu vì thế ta biết nó bắt đầu như thế nào, nhờ thế quá trình san bằng trở nên dễ dàng hơn). Metric có ích được liên hệ với bit phát 0 logic hay 1 logic. Ta ghi lại giá trị logic của bit liên quan với metric và giá trị của metric. Tại khoảng bit tiếp theo ta nhận được tập 32 metric khác. Hai số gia metric tại trạng thái bất kì được cộng vào số gia metric giữ lại trước đó, và tổng được gọi là *metric đường dẫn*. Metric nhỏ hơn trong 2 metric được giữ lại, giá trị của nó và giá trị logic của bit liên quan được ghi lại. Khi các bit được sử lý, mỗi lần 1 bit, số gia metric và metric đường dẫn của mỗi trạng thái được tính toán (đồng thời với tính trị của bit phát đi có thể liên quan với metric đường dẫn thấp nhất). Ở cuối mỗi cụm sẽ có 16 metric, mỗi metric cho 1 trạng thái. Trạng

thái có metric đường dẫn thấp nhất sẽ được chọn, còn vết của đường dẫn sẽ được dùng để nhận dạng các bit liên quan với metric đường dẫn này khi nó thay giá trị từ đầu cụm đến khi nó còn lại là metric đường dẫn thấp nhất. Các bit này được tái sinh cùng lúc như cụm dữ liệu khôi phục, mặc dù còn phải tiến hành khử hoán vị bit và giải mã FEC. Mô tả đơn giản trên đây liên quan với điều chế pha số. Khi xét GMSK (một phương pháp điều tần) ta cần 4 trạng thái pha  $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$  ngoài các trạng thái đã mô tả ở trên. Như vậy có 16 trạng thái liên quan với 0 radian, 16 trạng thái liên quan với  $\pi/2$  radian v.v. Do đó có 64 trạng thái tức thời. Chi tiết hơn về bộ san bằng Viterbi có thể tham khảo tại [1].

#### 4.3.6 Các kênh logic và kênh vật lý

Trong phần trước ta đã xét cách truyền thông tin trên giao diện vô tuyến GSM ở dạng các cụm chứa các bit thông tin và dãy huấn luyện xác định trước. Ta cũng đã xét cách khôi phục các bit thông tin khi có ISI gây bởi quá trình điều chế và bởi kênh vô tuyến. Trong phần này ta xét phương pháp ánh xạ dữ liệu người dùng (ví dụ tiếng nói) và dữ liệu báo hiệu (ví dụ lệnh HO) lên các cụm TDMA. MS và BS liên lạc với nhau trên cặp sóng mang cao tần cụ thể, 1 cho đường lên và 1 cho đường xuống, và trong khe thời gian cho trước trong mỗi khung TDMA liên tiếp. Tổ hợp này của khe thời gian và tần số sóng mang tạo thành *kênh vật lý*. Một kênh cao tần sẽ hỗ trợ 8 kênh vật lý trong các khe thời gian 0-7. Dữ liệu được ánh xạ lên các kênh vật lý bằng cách xác định một số *kênh logic*. Kênh logic mang thông tin 1 loại cụ thể và 1 số kênh này có thể kết hợp lại trước khi ánh xạ lên cùng kênh vật lý. Sau đây ta xét chức năng của từng kênh logic GSM.

##### 4.3.6.1 Các kênh lưu lượng

GSM xác định 2 loại kênh lưu lượng (TCH). TCH *toàn tốc* cho phép truyền tiếng nói với tốc độ 13 kb/s và được kí hiệu là TCH/FS. Tất cả các dạng TCH GSM đều tuân theo qui ước đặt tên tương tự. TCH/FS cũng cho phép truyền dữ liệu người dùng ở các tốc độ sơ cấp 9.6, 4.8 và  $\leq 2.4$  kb/s kí hiệu là TCH/F9.6, TCH/F4.8, TCH/F2.4. TCH toàn tốc sẽ chiếm toàn bộ kênh vật lý, tức là 1 khe thời gian trong mỗi khung TDMA và trên 1 sóng mang đường lên hoặc đường xuống.

TCH *bán tốc* cho phép truyền tiếng nói với tốc độ gần 7 kb/s (TCH/HS) và dữ liệu sơ cấp với tốc độ 4.8 và  $\leq 2.4$  kb/s, gọi là TCH/H4.8 và TCH/H2.4. Kênh bán tốc sử dụng 1 khe thời gian trong mỗi khung TDMA khác (trung bình), tức là mỗi kênh vật lý có thể hỗ trợ 2 TCH/HS. Kênh bán tốc chủ yếu để hỗ trợ bộ mã hóa tiếng nói GSM bán tốc, được hoàn thành thiết kế vào tháng 1/1995.

Các tốc độ dữ liệu ở trên được chọn trùng với các tốc độ đã sử dụng trong PSTN. Khi tốc độ dữ liệu sơ cấp giảm, sức mạnh của mã hóa kênh tăng lên cho kết quả BER giải mã thấp hơn (xem bảng 4.15, tốc độ MS = 50 km/h). TCH luôn

dùng cụm thường.

Bảng 4.15 Chỉ tiêu BER điển hình

Type of channel	BER
TCH/F9.6	0.3%
TCH/F4.8	0.01%
TCH/F2.4	0.001%
TCH/H4.8	0.3%
TCH/H2.4	0.01%

#### 4.3.6.2 Các kênh điều khiển

Các kênh điều khiển mang thông tin báo hiệu giữa MS và BTS. Có vài loại kênh điều khiển trong GSM và có thể chia thành 4 loại theo cách hỗ trợ chúng trên giao diện vô tuyến và theo loại thông tin báo hiệu mà chúng mang.

*Các kênh quảng bá* được dùng để phát quảng bá thông tin đồng bộ và thông tin chung của mạng cho tất cả các MS trong tế bào. Thông tin điều khiển giữa MS và BTS được mang bằng sử dụng các kênh điều khiển *liên kết* trong cuộc gọi, trong khi các kênh điều khiển *dành riêng độc lập* được sử dụng ngoài cuộc gọi. Cuối cùng, các kênh điều khiển *chung* được MS sử dụng trong thủ tục tìm gọi và truy nhập.

**Các kênh quảng bá.** Chỉ được phát trên đường xuống (tức là chỉ bởi BTS).

*Kênh sửa tần* (FCCH) là kênh logic GSM đơn giản nhất vì tất cả các bit thông tin của nó đều bằng 0. FCCH chỉ gồm các cụm sửa tần là mẫu bit toàn 0. Sau điều chế GMSK, các cụm này tạo nên sóng sin thuần túy tại tần số cao hơn tần số mang cỡ 68 kHz (1625/24 kHz). FCCH được MS sử dụng trong các giai đoạn ban đầu nhận biết BTS để sửa các nguồn tần số nội của nó và khôi phục pha sóng mang phát của BTS.

*Kênh đồng bộ* (SCH) chứa tất cả các chi tiết về vị trí riêng của nó trong cấu trúc khung GSM. Sử dụng thông tin cung cấp bởi SCH, MS có thể đồng bộ hoàn toàn các bộ đếm khung của nó với các bộ đếm của BTS. Thông tin SCH được phát bằng các cụm đồng bộ.

Ngoài thông tin đồng bộ khung, SCH còn chứa BSIC 6 bit. Trong phần liên quan đến HO trong GSM ta sẽ thấy rằng MS phải đo cường độ tín hiệu thu của sóng mang chuẩn (beacon) đặc biệt, gọi là sóng mang BCCH. Sóng mang được phát với công suất không đổi bởi các BTS lân cận MS. Thông tin này được báo cáo cho mạng tại đó nó được sử dụng để xác định xem MS có được nối với BTS thích hợp nhất hay không hoặc có cần chuyển sang BTS thích hợp hơn hay không. MS sẽ được cung cấp 1 danh sách các tần số mang BCCH được dùng bởi các BTS lân cận và nó sẽ báo cáo kết quả đo mức tín hiệu thu của từng tần số sóng mang BCCH. Phải đảm bảo thông tin đo được luôn liên kết với BTS đúng. Ví dụ, MS có thể báo cáo kết quả đo mức tín hiệu thu đối với tần số  $f_1$  mà mạng gán cho BS cụ thể như  $BS_A$ . Tuy nhiên thực tế MS có thể đang đo sóng mang



BCCH của BS khác như BS<sub>B</sub>. Sự lăm lẩn này được khắc phục bằng cách yêu cầu MS thường kì giải mã SCH của các BTS lân cận và lấy ra BSIC. Thông tin đo lường được gửi đến mạng đi kèm với BSIC của mỗi BTS, nhờ đó đảm bảo rằng mạng liên hệ mỗi kết quả đo với BTS đúng. Vì thế cần đảm bảo rằng 2 BTS có thể đồng kênh được gán các BSIC khác nhau.

BSIC gồm mã màu mạng 3 bit (NCC) và mã màu trạm gốc 3 bit (BCC). Thuật ngữ “màu” được dùng vì việc gán các mã này có thể đạt được bằng cách tô màu các vùng trên bản đồ theo các mã đang sử dụng trong vùng cụ thể. Chỗ nào 2 mạng dùng chung băng tần và có vùng phủ trùm nhau, mỗi mạng sẽ được gán NCC. Điều này đảm bảo rằng 2 mạng không thể có cùng BSIC. Nói chung, 2 PLMN trong cùng 1 nước sẽ dùng các băng tần khác nhau, và việc dùng NCC chỉ trở nên quan trọng tại biên giới quốc tế là nơi mà 2 PLMN sử dụng cùng băng tần có thể trùm nhau. BCC được dùng bởi từng nhà khai thác để bảo đảm rằng các BTS cùng kênh có BSIC khác nhau. BCC và mã dây huấn luyện (TSC) sẽ như nhau đối với mỗi BTS. Có nghĩa là bằng cách giải mã BSIC của BTS cụ thể, MS có thể xác định dây huấn luyện cụ thể (trong 8 dây có thể) trong các cụm thường phát đi bởi BTS (xem bảng 4.6).

*Kênh điều khiển quảng bá (BCCH)* dùng để phát quảng bá thông tin điều khiển cho mọi MS trong tế bào. Thông tin này gồm các chi tiết về cấu hình kênh điều khiển sử dụng tại BTS, danh sách các tần số mang BCCH sử dụng tại các BTS láng giềng và 1 số tham số được dùng bởi MS khi truy nhập BTS.

*Kênh quảng bá tế bào (CBCH)* được dùng để phát các bản tin chữ-số ngắn cho tất cả các MS trong tế bào cụ thể. Các bản tin này xuất hiện trên màn hình MS và thuê bao có thể chọn thu các bản tin khác bằng cách chọn các trang khác nhau. Cả BCCH và CBCH đều sử dụng cụm thường.

**Các kênh điều khiển liên kết.** Khi MS đang gọi, một lượng thông tin báo hiệu nhất định phải truyền trên giao diện vô tuyến để duy trì cuộc gọi. Chẳng hạn MS liên tục báo cáo mức thu các sóng mang BCCH của các BTS láng giềng. Loại báo hiệu này được hỗ trợ bằng các kênh logic điều khiển chiếm cùng kênh vật lí như dữ liệu lưu lượng. Thông tin không khẩn cấp như số liệu đo lường, được phát đi bằng *kênh điều khiển liên kết chậm (SACCH)*. Kênh này luôn luôn có mặt khi đường dành riêng giữa MS và BTS là tích cực, và cứ 26 khe thì nó chiếm 1 khe. Các thông báo SACCH có thể được gửi đi cứ 480 ms 1 lần i.e xấp xỉ every 2s. Thông tin khẩn hơn như lệnh HO được gửi đi bằng các khe thời gian “*đánh cắp*” từ kênh lưu lượng. Kênh này được gọi là *kênh điều khiển liên kết nhanh (FACCH)* vì khả năng truyền thông tin của nó giữa MS và BTS nhanh hơn nhiều SACCH. Khối báo hiệu FACCH được dùng để thay thế chính xác một khối tiếng nói 20 ms và thông báo FACCH đầy đủ có thể gửi đi 1 lần trong 20 ms. Cả SACCH và FACCH đều dùng cụm thường và chúng là kênh 2 hướng (lên-xuống).

**Kênh điều khiển dành riêng độc lập** Trong 1 số trường hợp thông tin báo hiệu

cần truyền đi giữa mạng và MS khi không có cuộc gọi, ví dụ khi cập nhật vị trí. Điều này có thể thực hiện bằng cách phân TCH/FS hoặc TCH/HS hoặc dùng SACCH hoặc FACCH để mang thông tin. Song điều này làm lãng phí tài nguyên vô tuyến hữu hạn vì các yêu cầu truyền giao dữ liệu của quá trình như cập nhật vị trí ít hơn nhiều các yêu cầu truyền tiếng nói. Vì thế, kênh dữ liệu tốc độ thấp hơn đã được xác định và có dung lượng cỡ 1/8 TCH/FS. Kênh này được gọi là *kênh điều khiển dành riêng độc lập* (SDCCH). Kênh được gọi là “độc lập” vì nó có thể tồn tại độc lập với TCH bất kì và được gọi là “dành riêng” vì nó chỉ được sử dụng bởi 1 MS cụ thể, tức là nó được dành riêng cho MS cụ thể.

**Các kênh điều khiển chung** Các kênh này có thể được sử dụng bởi MS bất kì trong tế bào. *Kênh tìm gọi* (PCH) là kênh chỉ đường xuống được hệ thống sử dụng để tìm gọi MS cụ thể, như khi có cuộc gọi đến. Có 2 PCH khác nhau là PCH toàn tốc và PCH giảm tốc để dùng trong tế bào có dung lượng hạn chế. Cụm thường luôn được dùng trên kênh PCH. *Kênh cho phép truy nhập* (AGCH) dùng chung tài nguyên vô tuyến với PCH, tức là khe thời gian cụ thể có thể được dùng bởi 1 trong 2 kênh (không đồng thời). Như tên gọi của nó, AGCH được mạng sử dụng để cho phép hoặc từ chối MS truy nhập mạng bằng cách cung cấp cho nó các chỉ tiết của kênh dành riêng (TCH hoặc SDCCH) để sử dụng cho liên lạc tiếp theo. AGCH là kênh chỉ đường xuống và dùng cụm thường. *Kênh truy nhập ngẫu nhiên* (RACH) là kênh chỉ đường lên được MS sử dụng để truy nhập ban đầu vào mạng, ví dụ khi thiết lập cuộc gọi hoặc trước lúc cập nhật vị trí. Nó được gọi là “ngẫu nhiên” vì không có cơ chế để đảm bảo rằng không có nhiều hơn 1 MS phát trong mỗi khe RACH và có xác suất hữu hạn rằng 2 MS cùng cố gắng truy nhập cùng 1 RACH cùng lúc. Điều này dẫn đến chỗ không có dự định truy nhập nào là thành công vì 2 tín hiệu đụng độ nhau tại BTS. Nếu MS không thu được trả lời từ BTS, nó sẽ cố gắng truy nhập lại BTS sau khi đợi thời gian nhất định. Nếu khoảng thời gian này là như nhau với mọi MS, thì một khi đụng độ xảy ra giữa 2 MS, nó sẽ tiếp tục xảy ra trong mỗi lần truy nhập tiếp theo. Do đó, độ trễ giữa các lần truy nhập được ngẫu nhiên hóa để giảm xác suất va chạm tại BTS. MS luôn phát cụm truy nhập trên RACH.

#### **4.3.7 Ánh xạ các kênh logic lên kênh vật lí**

Các kênh logic khác nhau miêu tả ở trên có thể kết hợp theo 1 trong 6 cách khác nhau trước khi được ánh xạ lên 1 kênh vật lí. Ánh xạ đơn giản nhất là kênh TCH/FS và SACCH của nó. Khi được kết hợp, các kênh này vừa khớp vào 1 kênh vật lí. Lưu ý rằng ánh xạ giữa TCH và kênh vật lí là như nhau bất kể TCH được dùng để mang tiếng nói hay dữ liệu người dùng. Một kênh vật lí cũng sẽ hỗ trợ 2 kênh TCH/HS và các SACCH của chúng hoặc 8 SDCCH và các SACCH liên kết của chúng. Ba tổ hợp kênh logic còn lại ít phức tạp hơn và được giải thích sau.

Tổ hợp kênh điều khiển chung và kênh quảng bá cơ bản gồm một FCCH,

SCH và BCCH trên đường xuống, cùng với PCH toàn tốc và AGCH toàn tốc. Đường lên hoàn toàn dành riêng cho RACH, vì lí do này ta gọi là RACH toàn tốc. Loại cấu hình kênh này thường được dùng trong các tế bào dung lượng trung bình và lớn khi mà dung lượng truy nhập của kênh PCH, AGCH và RACH toàn tốc được biện minh. Tổ hợp kênh điều khiển này chỉ có thể xuất hiện trên khe thời gian 0 của sóng mang. Sóng mang hỗ trợ các kênh này tại BTS được gọi là *sóng mang BCCH* và nó là duy nhất trong mỗi tế bào, hoặc sector, tức mỗi BTS sẽ chỉ có 1 sóng mang BCCH.

Trong các tế bào dung lượng nhỏ hơn, tức là các tế bào có số sóng mang cao tần nhỏ hơn, dung lượng của PCH, AGCH và RACH có thể không được biện minh. Vì lí do này tổ hợp thứ 2 của các kênh truy nhập được sử dụng. Đường xuống tiếp tục hỗ trợ FCCH, SCH và BCCH; tuy nhiên tốc độ của PCH và AGCH đường xuống được giảm còn khoảng 1/3 toàn tốc của chúng. Các khe phụ được tạo ra nhờ sự giảm tốc này trên đường xuống được dùng để hỗ trợ 4 SDCCH và các SACCH liên kết của chúng. SDCCH cũng chiếm 1 số khe đường lên và số khe phân cho RACH trên đường lên bị giảm tương ứng. Hiệu quả của việc này là khoảng 1 nửa số khe dành cho RACH. Tổ hợp kênh điều khiển này chỉ có thể xuất hiện trên khe thời gian 0 của sóng mang BCCH.

Tổ hợp kênh điều khiển cuối cùng được xác định để dùng trong các tế bào dung lượng lớn nơi mà dung lượng truy nhập của một PCH, AGCH và RACH là không đủ. Tổ hợp này gồm BCCH và PCH, AGCH toàn tốc trên đường xuống và RACH toàn tốc trên đường lên. Tổ hợp này chỉ có thể xuất hiện trên khe 2, hoặc các khe 2 và 4, hoặc các khe 2, 4 và 6 của sóng mang BCCH. Lí do của sự hạn chế này sẽ được giải thích sau khi xét cơ chế sớm thời gian. Ta lưu ý rằng mỗi BTS chỉ phải phát 1 FCCH và SCH, do đó các kênh này không được chứa trong tập kênh mở rộng. Mỗi tập mở rộng chứa BCCH của mình vì 2 lí do. Thứ nhất, BCCH chưa thông tin chỉ áp dụng cho RACH chiếm cùng khe thời gian trong khung TDMA, thứ hai là MS theo dõi các cụm chiếm cùng kênh vật lí dễ hơn. Các tổ hợp kênh khác nhau vừa miêu tả ở trên được tổng kết trong bảng 4.16. Lưu ý rằng CBCH đã được bỏ qua. Nếu yêu cầu kênh này thì nó có thể thay thế 1 SDCCH.

#### **4.3.8 Cấu trúc khung GSM**

Ta đã mô tả cấu trúc khung TDMA cơ bản sử dụng trong GSM, tại đó mỗi sóng mang hỗ trợ 8 khe thời gian và kênh vật lí chiếm 1 khe thời gian trong mỗi khung. Khung TDMA biểu diễn lớp thấp nhất trong cấu trúc phân cấp khung phức tạp. Cấp tiếp theo trong cấu trúc khung GSM, cao hơn khung TDMA là *đa khung* gồm 26 khung TDMA trong trường hợp các kênh lưu lượng toàn tốc và bán tốc, hoặc 51 khung đối với tất cả các kênh logic khác.

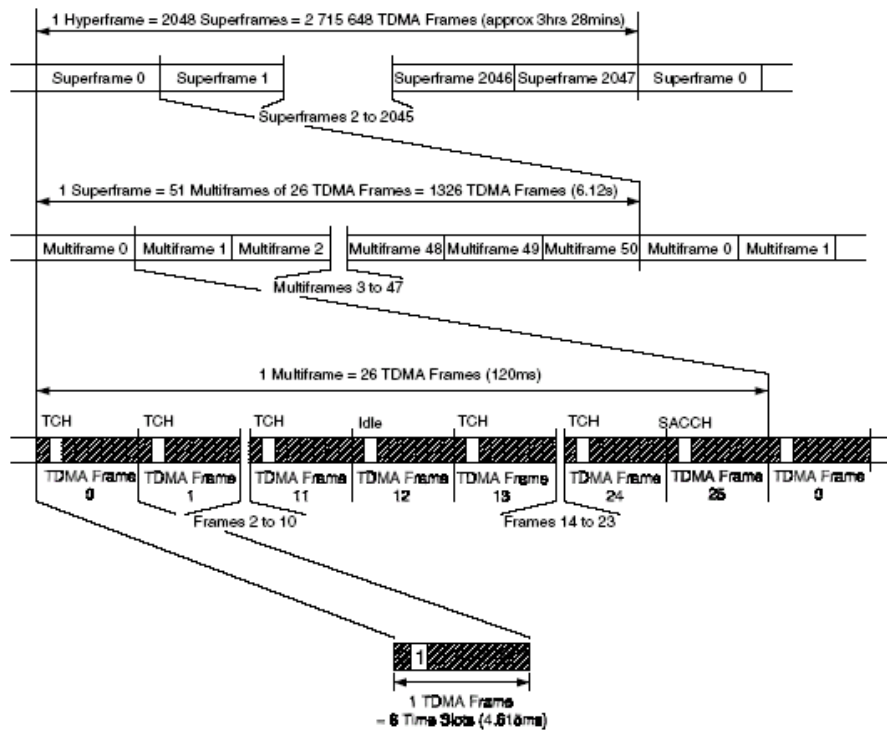
Bảng 4.16 Các cấu hình kênh logic có thể ánh xạ lên 1 kênh logic

Possible time slots	Channels	
	Down-link	Up-link
0-7	1 TCH/F (+SACCH)	1 TCH/F (+SACCH)
0-7	2 TCH/H (+SACCH)	2 TCH/H (+SACCH)
0-7	8 SDCCH (+SACCH)	8 SDCCH (+SACCH)
0	1 SCH + 1 FCCH + 1 BCCH + 1 AGCH + 1 PCH	1 RACH
0	1 SCH + 1 FCCH + 1 BCCH + 1 AGCH* + 1 PCH*	1 RACH*
	+ 4 SDCCH (+SACCH)	+ 4 SDCCH (+SACCH)
2,4,6	1 BCCH + 1 AGCH + 1 PCH	1 RACH

\*Reduced rate channels.

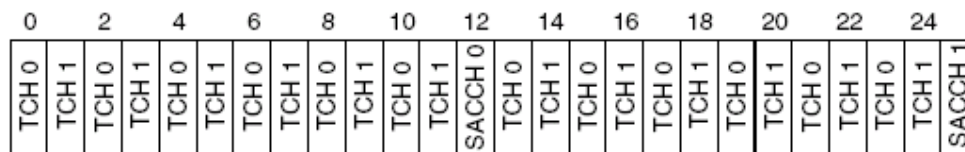
Cấu trúc khung đối với TCH/F chiếm khe thời gian 1 trong mỗi khung TDMA được vẽ trên hình 4.14. 12 khe thời gian đầu tiên trong mỗi khung TDMA của đa khung, từ 0-11, được dùng bởi chính TCH/F. Khe thời gian tiếp theo không được dùng để truyền vì thế nó được gọi là khe “rỗi”. 12 khe tiếp theo trong mỗi khung TDMA của đa khung được dùng bởi TCH/F, khe thời gian còn lại trong khung TDMA 26 được dùng bởi SACCH. Hình 2.14 có thể áp dụng cả cho đường lên và đường xuống với chú ý rằng có độ lệch 3 chu kỳ cụm giữa định thời khung trên đường lên và đường xuống. Đa khung lưu lượng có độ dài chính xác là 120 ms và điều này xác định nhiều chu kỳ thời gian sử dụng trong GSM, ví dụ 1 khung TDMA =  $120 \text{ ms}/26 \approx 4.615 \text{ ms}$ . Ta lưu ý rằng cấu trúc đa khung trên hình 4.14 chỉ áp dụng cho TCH/F chiếm các khe thời gian đánh số lẻ. Trên các khe thời gian đánh số chẵn và khe thời gian 0, vị trí của các khe thời gian rỗi và SACCH được trao đổi. Để hiểu lý do của điều này, ta cần xem xét cách mang thông tin trên SACCH. Sau này ta sẽ thấy rằng các thông báo SACCH được hoán vị trên 4 cụm, biểu diễn chu kỳ thời gian của 4 đa khung hay 480 ms. Có nghĩa là BTS phải thu 4 cụm SACCH trước khi thông tin được khử hoán vị thành công và được giải mã, tức là thông tin SACCH chỉ có thể được giải mã 1 lần mỗi 4 khung. Nếu các cụm SACCH xuất hiện tại cùng điểm trong đa khung đối với mỗi kênh vật lý, thì các thông báo SACCH từ mọi MS sẽ đến trong cùng khung TDMA và điều này sẽ gây nên tải sử lý lớn cho BSC. Để trải tải sử lý SACCH nhiều hơn nữa theo thời gian, vị trí của các cụm SACCH được thay đổi từ khe thời gian này đến khe thời gian khác và các chu kỳ hoán vị cũng được sắp xếp sao cho BTS sẽ phải giải mã tối đa 1 thông báo SACCH trên khung TDMA. Điều này cũng cho BSC 1 chu kỳ cỡ 12 khung TDMA để sử lý thông tin trong thông báo SACCH trước khi đến của thông báo khác từ MS khác sử dụng cùng sóng mang nhưng khác khe thời gian.

Tổ chức của TCH/H phức tạp hơn 1 chút. Hình 4.15 chỉ ra 1 ví dụ tổ chức của 2 kênh lưu lượng bán tốc TCH 0 và TCH 1.



Hình 4.14 Cấu trúc khung đối với kênh lưu lượng toàn tốc trên khe 1

Việc mô tả kênh bán tốc sẽ gồm số kênh con 0 hoặc 1 ngoài số khe thời gian và tần số sóng mang. Ví dụ ở hình 2.15 chỉ ra rằng TCH/H (tức là TCH 0 hoặc TCH 1) và SACCH liên kết của nó (SACCH 0 hoặc SACCH 1) sử dụng trung bình cách khe (every other slot) trong đa khung. Lưu ý rằng giản đồ này khác với hình 4.14, chỉ biểu diễn các khe thời gian từ cùng kênh vật lí; các khe thời gian từ 7 kênh vật lí còn lại được bỏ qua.



TCH 0 and SACCH 0 form sub-channel 0  
TCH 1 and SACCH 1 form sub-channel 1

Hình 4.15 Tổ chức kênh bán tốc

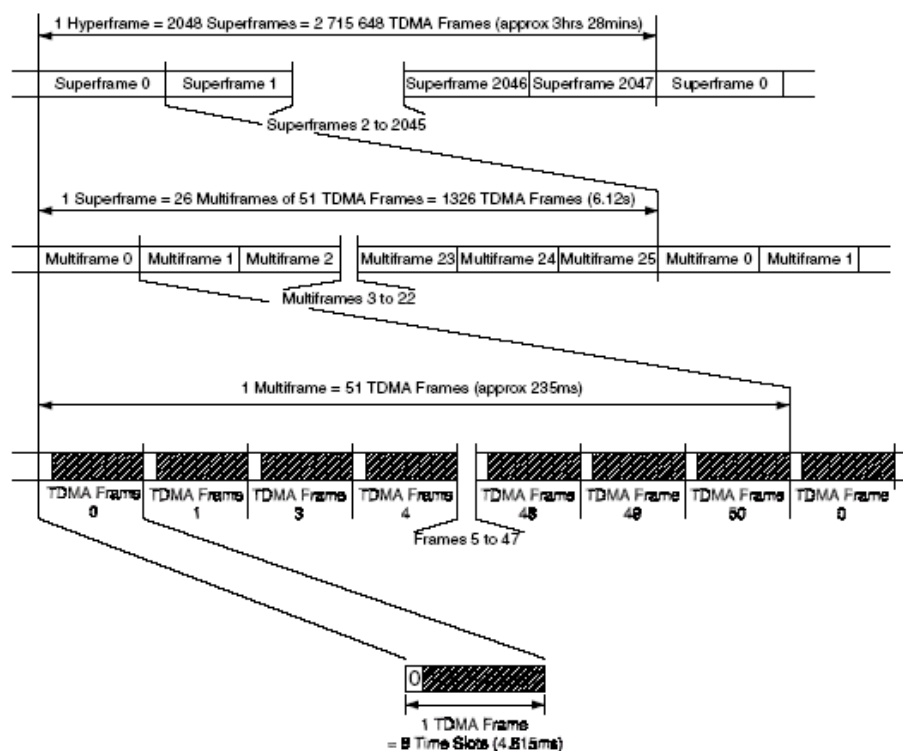
Hình 4.14 chỉ rằng cấp tiếp theo trong cấu trúc khung cao hơn đa khung là *siêu khung*, trong trường hợp TCH/F và TCH/H gồm 51 đa khung. Độ dài của siêu khung là 6.12 s. Cấp cuối cùng trong cấu trúc khung là *siêu siêu khung* gồm

2048 siêu khung và có độ dài khoảng 3,5 giờ. Ta sẽ thảo luận mục đích của các cấp cao hơn này sau khi mô tả cấu trúc khung dùng trên kênh điều khiển.

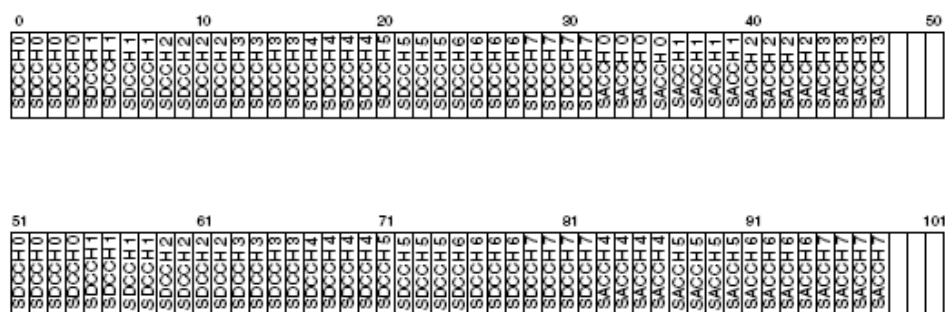
Cấu trúc khung của tập kênh điều khiển trên khe thời gian 0 được cho trên hình 4.16. Trong trường hợp này đa khung gồm 51 khung TDMA và dài khoảng 235 ms. Tất cả các kênh, trừ TCH/F và TCH/H, đều dùng đa khung 51 khung. Từ bảng 4.16 ta thấy có 4 tổ hợp kênh điều khiển khác nhau và tất cả đều dùng đa khung 51 khung.

Hình 4.17 chỉ ra cách ánh xạ nhóm 8 kênh SDCCH lên 1 kênh vật lí. Ánh xạ cụm dựa trên chu kì 2 đa khung, tức là nó lặp lại cứ 2 đa khung, và giản đồ chỉ ra 2 đa khung với các khung đánh số 0-50 và 51-101. Các khe thời gian được dùng bởi SDCCH cụ thể được dán nhãn  $n$  (ví dụ SDCCH 0) và các khe thời gian được dùng bởi SACCH đi kèm nó được dán nhãn SACCH  $n$  (SACCH 0), với  $n$  có thể nhận các trị bất kì từ 0-7. Cách kết hợp này được kí hiệu SDCCH/8. Hình này chỉ rằng mỗi SDCCH/8 chiếm tổng cộng 8 khe thời gian trong 2 đa khung (102 khung). SACCH đi kèm, kí hiệu là SACCH/8, chiếm 4 khe thời gian nữa trong cùng chu kì. Có nghĩa là  $8 \times 12 = 96$  khe thời gian bị chiếm và 6 khe còn lại để rồi. Hình 4.17 là trường hợp các khe đường xuống, cấu hình đường lên nhận được bằng cách dịch mỗi khe 15 vị trí sang phải, tức SDCCH 0 sẽ chiếm các khe 15-18 và các khe 66-69; còn SACCH đi kèm của nó chiếm các khe 47-50 trên đường lên. Cách bố trí này có thể sử dụng trên khe thời gian bất kì và sóng mang bất kì, trừ khe thời gian 0 của sóng mang BCCH.

Bảng 4.16 chỉ rằng có 3 tổ hợp có thể của các kênh chung và kênh quảng bá. Hình 4.18 là cách ánh xạ mỗi tổ hợp này lên đa khung điều khiển. Hình 4.18a là bố trí kênh điều khiển cơ bản tồn tại trên khe thời gian 0 của sóng mang BCCH. Đa khung đường xuống được chia nhỏ thành 5 nhóm mỗi nhóm 10 khe thời gian với 1 khe rỗi ở cuối. Khe thời gian đầu tiên của mỗi nhóm được gán cho FCCH và chứa cụm sửa tần. Tương tự, khe thời gian thứ 2 của mỗi nhóm được gán cho SCH và chứa cụm đồng bộ. Trong nhóm đầu tiên, 4 khe thời gian sau FCCH và SCH được gán cho BCCH. Các khe đường xuống còn lại, trừ cụm rỗi ở cuối đa khung, được gán cho PCH và AGCH. Các khe PCH/AGCH có thể được gán cho kênh bất kì trên cơ sở khối-khối, với khối gồm 4 khe (xác định bởi kích thước khối hoán vị). Mỗi khối sẽ chứa đủ thông tin để MS nhận dạng kênh (PCH hoặc AGCH). Trên đường lên, tất cả các khe thời gian được gán cho RACH. Lưu ý rằng 4 khe thời gian sau khe BCCH trên hình 4.18a cũng có thể được gán cho BCCH. Trong trường hợp này, 4 khe này sẽ được gán hoặc cho BCCH, PCH hoặc AGCH trên cơ sở khối-khối.



Hình 4.16 Cấu trúc khung đối với nhóm kênh điều khiển trên khe 0



Hình 4.17 Tổ chức kênh SDCCH/8

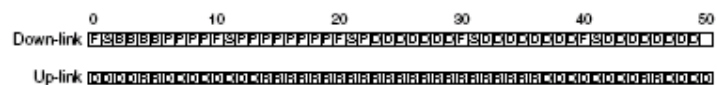
Hình 4.18b là cách sắp xếp kênh điều khiển đối với các tế bào dung lượng nhỏ nơi mà dung lượng PCH và AGCH được giảm đi để dành cho 4 SDCCH. Đa khung đường xuống lại được chia nhỏ thành 5 nhóm 10 khe và mỗi nhóm bắt đầu bằng FCCH và SCH. Nhóm đầu tiên có 4 khe gán cho BCCH và 4 khe còn lại dành cho PCH/AGCH. Tám khe còn lại trong nhóm thứ 2 được dùng bởi PCH/AGCH. Tất cả các khe đường xuống còn lại được sử dụng bởi 4 SDCCH và các SACCH đi kèm của chúng, trừ khe rồi ở cuối đa khung. Trên đường lên, 24 khe được gán cho 4 SDCCH và các SACCH đi kèm của chúng, 27 khe còn lại được sử dụng bởi RACCH. Cách bố trí kênh điều khiển này chỉ có thể sử dụng



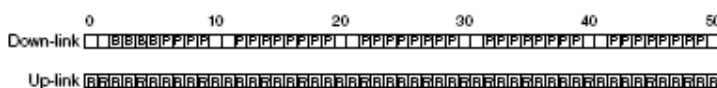
trên khe 0 của sóng mang BCCH.



(a) Normal arrangement



(b) Arrangement for small capacity cells



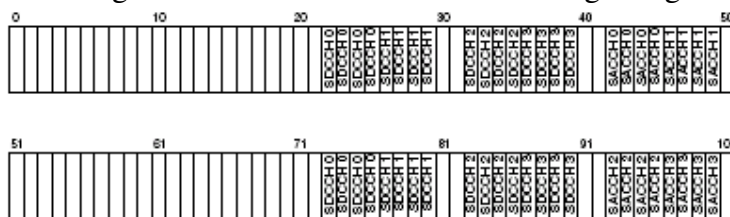
(c) Arrangement for large capacity cells

- ☒ Frequency Correction Channel (FCCH)
- ☒ Synchronisation Channel (SCH)
- ☒ Paging / Access Grant Channel (PCH / AGCH)
- ☒ Random Access Channel (RACH)
- ☒ Stand-alone Dedicated Control Channel (SDCCH) and its SACCH
- ☐ Idle Slot

Hình 4.18 Sắp xếp kênh điều khiển sóng mang BCCH

Hình 4.19 là cách gán các khe thời gian có nhãn “D” trong hình 4.18b cho từng kênh trong 4 SDCCH và các SACCH đi kèm của chúng. Cách kết hợp này được kí hiệu là SDCCH/4 và các kênh đi kèm là SACCH/4.

Cấu hình kênh điều khiển thứ 3 được thiết kế cho các tế bào dung lượng cao nơi mà một PCH/AGCH và RACH là không đủ. Cấu hình đa khung của nhóm kênh này được cho trên hình 4.18c. Điều này hiệu quả như cách sắp xếp kênh điều khiển cơ bản cho trên hình 4.18a, nhưng với các khe FCCH và SCH được thay bằng các khe rỗng. Cách bố trí này chỉ có thể sử dụng trên khe 2, các khe 2 và 4, hoặc các khe 2, 4, 6 của sóng mang BCCH. Tập mở rộng này chỉ có thể sử dụng khi không có SDCCH nào trên khe 0 của sóng mang BCCH.



Hình 4.19 Tổ chức kênh SDCCH/4

Trở lại hình 4.16 ta thấy rằng siêu khung kênh điều khiển gồm 26 đa



khung và dài 6.12 s, đúng bằng độ dài siêu khung lưu lượng. Siêu khung biểu diễn chu kì thời gian nhỏ nhất mà các mối quan hệ kênh điều khiển và kênh lưu lượng được lặp lại. Vì lí do này cấu trúc đa khung đang dùng trên mỗi kênh vật lí chỉ có thể thay đổi ở biên giới đa khung. Hình 4.14 và 4.16 chỉ ra rằng siêu siêu khung là cấp cuối cùng trong cấu trúc khung GSM đối với cả kênh lưu lượng và kênh điều khiển. Nó gồm 2048 siêu khung và kéo dài khoảng 3,5 giờ. Mỗi khe trong 2.715.648 khe trong siêu siêu khung có 1 số duy nhất và số này được dùng trong quá trình mật hóa và các thủ tục nhảy tần.

### **4.3.9 Truyền tiếng nói**

#### **4.3.9.1 Giới thiệu**

Bây giờ ta xem xét các quá trình mã hóa, hoán vị và mật hóa được dùng trên kênh tiếng nói toàn tốc GSM. Tiếp theo ta mô tả các quá trình tương đương đối với kênh dữ liệu người dùng (ví dụ TCH/F9.6) và các kênh báo hiệu (ví dụ SACCH). Trở lại hình 4.2 ta thấy rằng mã hóa tiếng nói được sử dụng để biến đổi tín hiệu tiếng nói tương tự thành tín hiệu số thích hợp với truyền dẫn trên giao diện vô tuyến. Tiếp theo, mã hóa FEC được áp dụng cho dữ liệu tiếng nói để cho phép tất cả hoặc 1 số lỗi truyền dẫn có thể sửa được tại máy thu. Dữ liệu đã mã hóa FEC được hoán vị và mật hóa trước khi được tập hợp thành cụm sẵn sàng để truyền trên giao diện vô tuyến. Sau quá trình san bằng và giải điều chế tại máy thu, dữ liệu khôi phục được giải mật, giải hoán vị và giải mã kênh để loại bớt càng nhiều lỗi truyền dẫn càng tốt. Sau đó dữ liệu được chuyển cho bộ giải mã tiếng nói tại đó nó được biến đổi ngược lại thành tín hiệu tiếng nói tương tự. Để ý rằng sơ đồ hình 4.2 cũng áp dụng được cho cả đường lên và đường xuống. Bây giờ ta xét chi tiết hơn.

#### **4.3.9.2 Mã hóa tiếng nói**

Trong bất kì hệ thống tế bào vùng rộng nào như GSM, phổ tần là tài nguyên quý giá và phải được sử dụng một cách hiệu quả. Trong trường hợp truyền tiếng nói, điều này đặt ra yêu cầu là thông tin tiếng nói phải được truyền trên giao diện vô tuyến với tốc độ càng thấp càng tốt song vẫn phải đảm bảo chất lượng tiếng nói thỏa mãn. Điều này có nghĩa là các bộ mã hóa dạng sóng, như là AD-PCM 32 kb/s là không thích hợp cho GSM vì yêu cầu tốc độ bit khá cao của chúng. Truyền dẫn tiếng nói với chất lượng chuông (toll quality) với tốc độ dữ liệu thấp hơn 16 kb/s đòi hỏi bộ mã hóa tiếng nói rất phức tạp sử dụng các bộ lọc số để mô hình hóa đặc trưng của cơ quan tạo âm (thanh quản). Thông tin tiếng nói được chuyển chở bằng cách phát các hệ số bộ lọc của thanh quản và dây kích thích cho phép khôi phục tiếng nói tại máy thu. Ta chỉ xét các nguyên tắc cơ bản của bộ mã hóa toàn tốc GSM và các đặc điểm chính của nó.

Tại MS, tín hiệu thanh áp của người dùng được biến đổi thành tín hiệu điện tương tự bằng micro. Tín hiệu điện được lấy mẫu tại 8 kHz và mỗi mẫu

được biến đổi thành biểu diễn số 13 bit bằng bộ biến đổi A/D đều. Sau quá trình biến đổi này tín hiệu được chuyển cho bộ mã hóa tiếng nói GSM. Tại phía mạng tình hình phức tạp hơn 1 chút vì các tín hiệu tiếng nói thường được mã hóa bằng khuôn PCM luật A 8 bit để tương thích với PSTN/ISDN. Có nghĩa là trước khi tín hiệu tiếng nói được chuyển cho bộ mã hóa tiếng nói ở phía mạng, trước tiên cần phải biến đổi PCM luật A 8 bit thành PCM đều 13 bit.

Bộ mã hóa GSM thuộc họ các bộ mã hóa dự báo tuyến tính kích thích xung đều RPE-LPC. Nó còn sử dụng dự báo dài hạn LTP bổ xung cho dự báo ngắn hạn STP thông thường, vì thế được gọi là bộ mã hóa tiếng nói RPE-LTP. Bộ mã hóa này có thể chia thành 4 phần: tiền xử lí, lọc phân tích STP, lọc phân tích LTP và tính toán RPE. Ta xét vắn tắt các quá trình này.

**Tiền xử lí** Tín hiệu tiếng nói đã lấy mẫu đầu tiên được cho qua bộ lọc khía để loại bỏ bất kì sai lệch dc nào có thể tồn tại rồi cho qua bộ lọc tiền nhấn phản ứng xung hữu hạn bậc 1 (FIR). Bộ lọc tiền nhấn dùng để nhấn phần tần số cao, công suất thấp của phổ tiếng nói. Điều này cho độ chính xác số tốt hơn trong các tính toán tiếp theo. Sau đó tín hiệu tiếng nói được chia thành các khung không chồng lẫn nhau gồm 160 mẫu, mỗi mẫu dài 20 ms.

**Lọc phân tích STP** Dữ liệu tiếng nói vốn đã chứa mức dư thừa cao, có nghĩa là có thể dự đoán mẫu tiếng nói tương lai từ các mẫu tiếng nói trước đó. Theo thuật ngữ toán học ta có thể nói rằng mẫu tiếng nói có thể xấp xỉ bằng tổ hợp tuyến tính của 1 số mẫu tiếng nói quá khứ (8-16 mẫu) sao cho mẫu tiếng nói dự đoán tại thời điểm  $n$  được cho bởi

$$\bar{s}(n) = \sum_{k=1}^P a_k s(n-k),$$

Trong đó  $a_k$  là các hệ số dự đoán,  $s(n)$  là mẫu tiếng nói tại thời điểm lấy mẫu  $n$  còn  $p$  là số các hệ số dự đoán hay *bậc dự đoán*. Sai số dự đoán  $e(n)$  được xác định như sau

$$\begin{aligned} e(n) &= s(n) - \bar{s}(n) \\ &= s(n) - \sum_{k=1}^P a_k s(n-k). \end{aligned}$$

Lấy biến đổi z của phương trình này ta được

$$E(z) = S(z)A(z),$$

Trong đó

$$A(z) = 1 - \sum_{k=1}^P a_k z^{-k}.$$

Các hệ số  $a_k$  được tính bằng cực tiểu hóa sai số quân phương trên đoạn 20 ms của dạng sóng tiếng nói. Ngược của  $A(z)$  tức là  $H(z) = 1/A(z)$  là bộ lọc số toàn điểm cực mô hình hóa đường bao phổ của dạng sóng tiếng nói. Trong thực

tế các hệ số dự đoán  $a_k$  không được tính trực tiếp. Thay vào đó một số hệ số phản xạ được tính từ các hệ số tự tương quan của khối tiếng nói. Lượng tử hóa đều các hệ số phản xạ là không hiệu quả, vì thế chúng được biến đổi thành tập các hệ số khác gọi là các tỉ số diện tích loga (LAR). Có 8 LAR trên khối 20 ms tiếng nói và chúng được lượng tử hóa bằng 6 bit cho LAR(1) và LAR(2), 5 bit cho LAR(3) và LAR(4), 4 bit cho LAR(5) và LAR(6) và 3 bit cho LAR(7) và LAR(8), tổng cộng 36 bit trên khối tiếng nói. Các phân phối bit này được dựa trên dải động và sự phân bố các giá trị LAR.

**Lọc phân tích LTP** Lọc tiếng nói bằng bộ lọc đảo  $A(z)$  có xu hướng loại bỏ nhiều độ thừa bằng cách trừ mỗi mẫu tiếng nói một giá trị dự đoán của nó dùng  $p$  mẫu quá khứ. Tín hiệu nhận được được gọi là số dư dự đoán ngắn hạn và nói chung nó sẽ có lượng chu kì nhất định liên quan đến chu kì pitch của tiếng nói gốc khi nó được phát âm. Tính chu kì này thể hiện mức dư thừa nữa mà ta có thể loại bỏ bằng bộ dự đoán pitch hay bộ dự đoán dài hạn. Dạng tổng quát của bộ lọc dự đoán dài hạn có dạng

$$\frac{1}{P(z)} = \frac{1}{1 - P_l(z)},$$

Trong đó

$$P_l(z) = \sum_{k=-m_1}^{m_2} G_k z^{-(\alpha+k)}$$

là bộ dự đoán dài hạn,  $m_1, m_2$  xác định số điểm trích bộ dự đoán,  $\alpha$  là độ trễ LTP và  $G_k$  là độ tăng ích LTP. Trong trường hợp mã hóa tiếng nói toàn tốc GSM,  $m_1 = m_2 = 0$ , tạo nên bộ dự đoán 1 điểm trích. Tham số  $\alpha$  và  $G_0$  được xác định bằng cực tiểu hóa sai số còn dư quân phương sau khi dự đoán dài hạn và ngắn hạn trên chu kì 40 mẫu hay 5 ms. Đối với bộ dự đoán 1 điểm trích, sai số còn dư này  $e(n)$  tại thời điểm  $n$  được cho bởi

$$e(n) = r(n) - Gr(n - \alpha),$$

ở đây  $r(n)$  là phần dư tạo nên sau dự đoán ngắn hạn. Phần dư quân phương  $E$  là

$$E = \sum_{n=0}^{39} e^2(n) = \sum_{n=0}^{39} [r(n) - Gr(n - \alpha)]^2$$

Các tham số  $G$  và  $\alpha$  được lượng tử và mã hóa bằng 2 và 7 bit, tạo nên 9 bit trên 5 ms khối con và 36 bit trên khối 20 ms.

**Tính toán RPE** Khử độ thừa khỏi tín hiệu tiếng nói tạo nên tín hiệu dư. Trong bộ giải mã tiếng nói phần dư này được dùng để kích thích các bộ lọc STP và LTP tái thiết. Hệ thống GSM sử dụng phương pháp RPE để mã hóa một cách hiệu quả phần dư. Đối với mỗi đoạn con 5 ms, tín hiệu kích thích gồm 13 xung cách nhau bởi 3 mẫu. Biên độ và điểm xuất phát ban đầu của xung thứ nhất được tính toán nhằm giảm thiểu sai số giữa tiếng nói và phiên bản khôi phục tại chỗ của nó. Với

khoảng cách xung là 3 mẫu, có 3 vị trí lưới có thể cho xung kích đầu tiên và thông tin này được mã hóa bằng 2 bit. Các biên độ xung được chuẩn hóa theo biên độ cao nhất của khối và được lượng tử hóa bằng 3 bit. Sau cùng, các giá trị cực đại được lượng tử hóa bằng 6 bit. Kết quả nhận được 47 bit trên khối con 5 ms. Bảng 4.17 là sự phân phối bit đầy đủ của bộ mã hóa tiếng nói GSM. Mỗi khối 20 ms được mã hóa bằng 260 bit, tạo nên tốc độ bit  $260/20 \text{ ms} = 13 \text{ kb/s}$ .

Bảng 4.17 Tổng kết sơ đồ phân phối bit RPE-LPC

Parameter to be encoded	No. of bits
8 STP coefficients	36
4 LTP gains $G$	$4 \times 2 = 8$
4 LTP delays $D$	$4 \times 7 = 28$
4 RPE grid positions	$4 \times 2 = 8$
4 RPE block maxima	$4 \times 6 = 24$
$4 \times 13 = 52$ pulse amplitudes	$52 \times 3 = 156$
Total number of bits per 20 ms	260
Transmission bit rate	13 kb/s

#### 4.3.9.3 Giải mã tiếng nói

Giải mã dữ liệu tiếng nói là nhiệm vụ ít phức tạp hơn nhiều quá trình mã hóa. Bộ giải mã thực hiện các thao tác ngược lại, cụ thể là giải mã RPE, lọc tổng hợp LTP, lọc tổng hợp STP và hậu xử lí.

**Giải mã RPE** Trong bộ giải mã, vị trí lưới, các cực đại kích thích đoạn con (subsegment) và biên độ xung kích thích được khôi phục từ dữ liệu thu và các biên độ xung thực tế được tính toán bằng cách nhân các biên độ giải mã với các cực đại khối tương ứng của chúng. Mô hình phần dư LTP được khôi phục bằng định vị thích hợp các biên độ xung theo vị trí lưới lệch (offset) ban đầu.

**Lọc tổng hợp LTP** Các tham số của bộ lọc LTP,  $G$  và  $\alpha$ , được khôi phục từ dữ liệu thu và chúng được dùng để xây dựng bộ lọc tổng hợp LTP. Sau đó mô hình kích thích LTP đã khôi phục được dùng để kích thích bộ lọc tổng hợp LTP này để khôi phục đoạn con mới của phần dư STP ước lượng.

**Lọc tổng hợp STP** Bộ lọc STP được khôi phục và kích thích bằng tín hiệu dư STP đã khôi phục để tạo nên tiếng nói.

**Hậu xử lí** Tín hiệu tiếng nói được giải nhân bằng ngược của bộ lọc tiền nhân dùng trong mã hóa.

Các bit dữ liệu tạo ra bởi bộ mã hóa sẽ có tác động khác nhau đến tín hiệu tiếng nói nếu chúng bị thu sai. Vì lí do này, từng bit được xếp hạng theo thứ tự quan trọng và FEC được áp dụng tương ứng. Trong GSM các bit quan trọng nhất được bảo vệ bởi kiểm tra chẵn và mã xoắn mạnh tốc độ  $1/2$ , trong khi các bit ít quan trọng nhất không được bảo vệ. Có 3 cấp bit được xác định dựa trên các thử nghiệm chủ quan và kí hiệu là cấp Ia, Ib và II. Các bit cấp Ia là quan trọng nhất và được bảo vệ tốt nhất. Trong thực tế, nếu phát hiện được lỗi trong các bit Ia thì toàn bộ khung tiếng nói được loại bỏ và các phương pháp nội suy được sử dụng

để khôi phục để tái thiết tiếng nói từ các khung ở 2 phía của khối bị loại bỏ. Các bit cấp Ib kém quan trọng hơn 1 chút và được bảo vệ ít hơn. Các bit cấp II là kém quan trọng nhất và không được bảo vệ.

#### 4.3.9.4 Phát hiện sự hoạt động của tiếng nói

Trong các cuộc nói chuyện điện thoại thông thường, một người nói chung sẽ nói trong khoảng 40% thời gian và còn lại là im lặng cho người khác 60%. Các mức nhiễu có thể giảm bớt và chu trình nạp lại pin MS tăng lên bằng cách tắt máy phát trong các quãng im lặng. Kỹ thuật này được gọi là *phát không liên tục* (DTX) và dựa vào sự phát hiện chính xác các khoảng im lặng trong tiếng nói người dùng. Điều này đạt được bằng phát hiện tích cực tiếng nói (VAD) trong đó năng lượng của tiếng nói được tính toán đối với mỗi khối tiếng nói và thực hiện quyết định theo ngưỡng thích nghi với việc khối chứa tiếng nói hay tạp âm nền. Điều quan trọng là hệ thống phải nhận biết nhanh điểm bắt đầu nói để tránh mất các âm ban đầu. Ngoài ra, độ trễ còn dư được đưa vào cuối câu nói để tránh xén âm xảy ra. Độ trễ dư cỡ 4 khung tiếng nói (80 ms) cũng ngăn hệ thống VAD khỏi phản ứng với các quãng im lặng rất ngắn, ví dụ giữa các âm tiết hoặc trong 1 từ. Về chủ quan, các quãng im lặng hoàn toàn gây bởi quá trình DTX tại máy thu là phiên toái vì chúng tạo cảm giác rằng đường truyền bị mất. Tình trạng này có thể cải thiện bằng cách chèn “tạp âm dễ chịu” để lấp các khoảng im lặng. Tạp âm dễ chịu nhận được từ đường bao phổ của tạp âm nền sử dụng các LAR và nó được chuyên chở ở dạng khung mô tả im lặng (SID). SID có kích thước giống hết khung tiếng nói và được cập nhật 1 lần cứ 4 đa khung, nghĩa là cứ mỗi 480 ms.

#### 4.9.3.5 Mã hóa kênh

Được sử dụng nhằm giảm BER hệ thống đến các mức chấp nhận được, từ đó cải thiện chất lượng tổng. Tuy nhiên, mã FEC đưa độ dư nhất định vào dữ liệu phát đi, vì thế làm tăng tốc độ dữ liệu phát và dải thông kênh. Vì lý do này, mã hóa kênh được sử dụng 1 cách có chọn lọc trong GSM. Từ bảng 4.17 ta thấy rằng bộ mã hóa tiếng nói cho ra 260 bit / 20 ms, tương đương với tốc độ dữ liệu 13 kb/s, và các bit này được chia thành 3 cấp. Hình 4.20a chỉ ra khuôn dạng khung tiếng nói 260 bit tại lối ra bộ mã hóa tiếng nói. **Các bit cấp Ia có nhãn  $\{d_0 \dots d_{49}\}$ , các bit cấp Ib có nhãn  $\{d_{50} \dots d_{181}\}$  và các bit cấp II có nhãn là  $\{d_{182} \dots d_{259}\}$ .** Như đã biết, khung tiếng nói sẽ bị loại bỏ nếu bất kỳ bit nào trong các bit cấp Ia bị thu sai. Do đó, điều quan trọng là máy thu phải có khả năng phát hiện được khi nào các lỗi trong các bit Ia lọt qua quá trình FEC. Điều này đạt được bằng sử dụng mã khối phát hiện lỗi yếu. Mã được sử dụng là mã cyclic rút ngắn (53,50,2) với đa thức sinh cho bởi

$$g(D) = D^3 + D + 1.$$

Quá trình mã hóa này tạo nên 3 bit kiểm tra chẵn  $\{p_1, p_1, p_2\}$  được bổ xung vào

cuối các bit Ia như hình 4.20b. Các bit Ib và 4 bit đuôi “toàn không” sau đó được cộng vào các bit Ia và các bit kiểm tra chẵn, và tất cả các bit được tráo thứ tự theo mỗi quan hệ sau:

$$\begin{aligned} u_k &= d_{2k}, & \text{for } k = 0, 1, \dots, 90, \\ u_{184-k} &= d_{2k+1}, & \text{for } k = 0, 1, \dots, 90, \\ u_k &= 0(\text{tail bits}), & \text{for } k = 185, 186, 187, 188, \end{aligned}$$

ở đây các bit tráo thứ tự được cho bởi  $\{u_0 \dots u_{188}\}$ . Quá trình tráo thứ tự như sau: nhóm các bit dữ liệu đánh số chẵn  $\{d_0 \dots d_{180}\}$  ở đầu khung, các bit đánh số lẻ  $\{d_{181}, d_{179}, \dots, d_1\}$  ở cuối khung theo sau là 4 bit đuôi  $\{d_{185} \dots d_{188}\}$ . Các bit kiểm tra chẵn  $\{p_1, p_1, p_2\}$  được chèn vào giữa của khung đã tráo thứ tự như ở hình 4.20c. Khối 189 bit nhận được  $\{u_0 \dots u_{188}\}$  sau đó được mã hóa xoắn bằng mã tốc độ  $\frac{1}{2}$  với đa thức sinh

$$\begin{aligned} G0 &= 1 + D^3 + D^4, \\ G1 &= 1 + D + D^3 + D^4. \end{aligned}$$

Kết quả được khối mã hóa  $189 \times 2 = 378$  bit và 78 bit loại II được thêm vào để tạo nên khối 456 bit có nhãn  $\{c_0, c_1, c_2, \dots, c_{455}\}$  như hình 4.20b.

#### 4.3.9.6 Xen kẽ

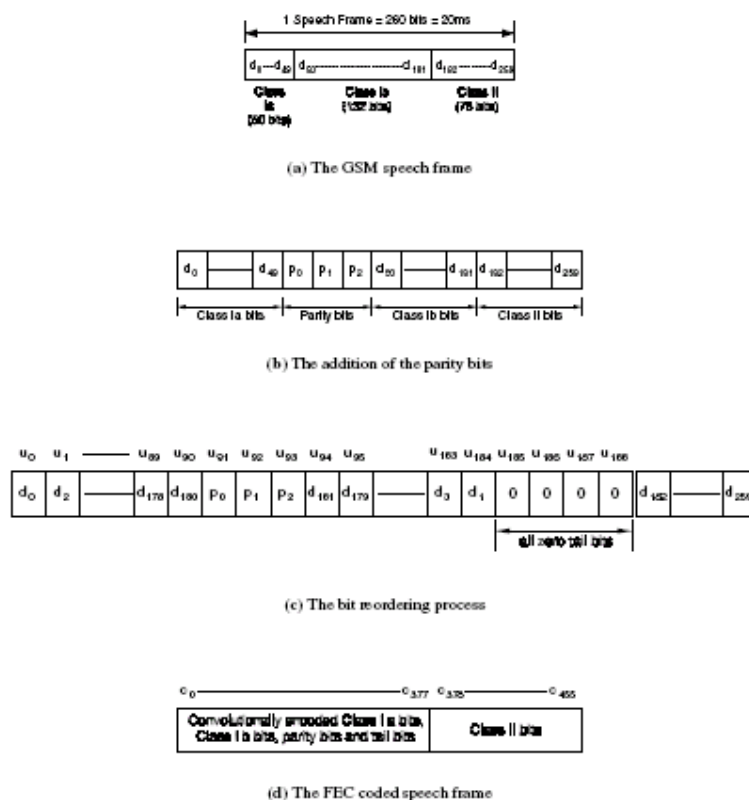
Trong môi trường di động, các lỗi trong các bit phát đi có xu hướng xảy ra thành cụm khi MS di chuyển vào ra các fades sâu. Mã xoắn nêu trên là hiệu quả nhất khi các lỗi phân bố ngẫu nhiên khắp luồng bit. Vì lý do này, các dữ liệu đã mã được xen kẽ trước khi phát đi trên giao diện vô tuyến. Tại máy thu, quá trình giải xen kẽ có xu hướng phân bố các cụm lỗi một cách ngẫu nhiên khắp các dữ liệu thu, nhờ đó tăng hiệu quả của giải mã xoắn sau đó. Hệ thống GSM dùng 2 cấp xen kẽ khác nhau và chúng được mô tả như sau.

**Xen kẽ đường chéo khối** Đối với kênh TCH/FS mang thông tin tiếng nói, khối đã mã 456 bit được chia nhỏ thành 8 khối con mỗi khối 57 bit  $B_0, \dots, B_7$  bằng cách gán bit đã mã  $c_k$  cho khối con  $B_i$  theo nguyên tắc sau

$$i = k \bmod 8$$

Tức là mỗi bit thứ 8 được gán cho cùng khối con. Quá trình này được mô tả trên hình 4.21a. Mỗi khối con khi đó tạo thành 1 nửa của 8 cụm phát liên tiếp trên giao diện vô tuyến. Nửa còn lại của mỗi cụm được chiếm bởi các khối con từ cụm tiếng nói trước đó hoặc cụm tiếp theo như hình 4.21b. Ở đây  $B_i^n$  là khối con thứ  $i$  của khung tiếng nói  $n$ . Cụm cũng chứa 2 cờ đánh cặp  $h_i$  và  $h_u$ , dùng để chỉ ra nửa cụm có bị đánh cặp bởi kênh FACCH hay không.



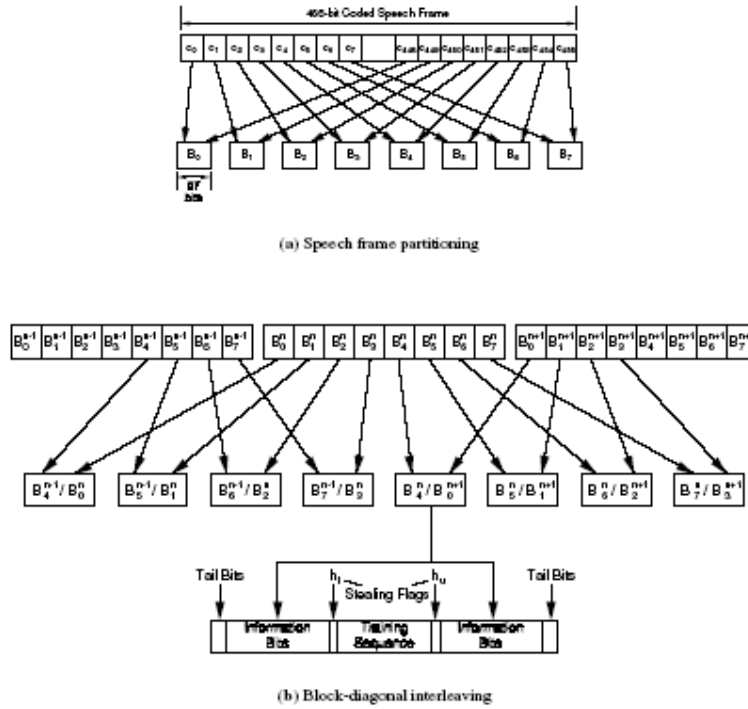


Hình 2.20 Quá trình mã hóa FEC của khung tiếng nói GSM toàn tốc

**Xen kẽ giữa các cụm** Ngoài xen kẽ đường chéo khối nêu trên, các bit dữ liệu còn được xen kẽ trong cụm. Một khối con sẽ chiếm các vị trí bit lẻ hoặc chẵn trong cụm. Chỗ nào mà khối con từ khung tiếng nói chia sẻ cụm của nó với khối con từ khung trước đó, thì nó sẽ chiếm các vị trí bit đánh số chẵn. Ngược lại, chỗ nào khối con chia sẻ cụm của nó với khối con từ khung tiếp theo, thì nó sẽ sử dụng các vị trí bit đánh số lẻ. Nói cách khác, ta có thể nói rằng  $B_0, \dots, B_3$  sẽ dùng các vị trí bit đánh số chẵn còn  $B_4, \dots, B_7$  sẽ dùng các vị trí bit đánh số lẻ. Các bit trong khối con cũng được tráo thứ tự để tăng khoảng cách cực đại giữa các bit liên tiếp.

#### 4.3.9.7 Mật hóa dữ liệu (ciphering)

Hệ thống GSM có khả năng mật hóa thông tin trên đường vô tuyến để giảm sự đe dọa về an ninh do các máy nghe trộm. Quá trình mật hóa bao gồm thực hiện phép cộng modulo-2 của từ mật hóa rộng 114 bit và 114 bit dữ liệu trong cụm. Điều này xáo trộn 1 cách hiệu quả các bit trong cụm theo cách đã biết cho phép khử xáo trộn chúng trong máy thu đã biết trước từ mật hóa liên quan. Việc tạo từ mật hóa sẽ xét sau.



Hình 4.21 Quá trình xen kẽ GSM trên kênh tiếng nói toàn tốc

#### 4.3.10 Truyền dữ liệu người dùng

Hệ thống GSM hỗ trợ các tốc độ dữ liệu 9.6 kb/s, 4.8 kb/s và  $\leq 2.4$  kb/s trên các kênh toàn tốc (TCH/F9.6, TCH/F4.8 và TCH/F2.4) và các tốc độ 4.8 kb/s và  $\leq 2.4$  kb/s trên các kênh bán tốc (TCH/H4.8 và TCH/H2.4). Nó cũng hỗ trợ cả chế độ hoạt động trong suốt và chế độ hoạt động không trong suốt. Trong chế độ trong suốt, việc sửa lỗi được thực hiện chỉ bằng FEC, còn trong chế độ không trong suốt thông tin sẽ được lặp lại nếu nó bị thu sai. Kết nối không trong suốt chỉ có trên các kênh TCH/F9.6 và TCH/H4.8.

##### 4.3.10.1 Mã hóa kênh

Vì mã hóa kênh phụ thuộc mạnh vào loại kênh nên mỗi kênh sẽ được xét riêng biệt.

**TCH/F9.6** Mặc dù dịch vụ dữ liệu làm việc tại 9.6 kb/s, một lượng thông tin phụ nhất định được bổ xung để tạo nên tốc độ dữ liệu trung gian 12 kb/s. Dữ liệu này được đưa đến khối mã hóa ở dạng khối 60 bit cứ 5 ms, và bộ mã hóa làm việc trên nhóm 4 khối tức là 240 bit,  $\{d(0), \dots, d(239)\}$ . Bốn bit đuôi "toàn 0" được bổ xung ở cuối mỗi khối và dữ liệu được mã hóa xoắn tốc độ  $1/2$  với đa thức sinh như đã nói ở trên. Kết quả được khối dữ liệu mã hóa 488 bit,  $\{C(0), \dots, C(487)\}$ . Sau đó kích thước khối được thích nghi để truyền trên đường vô tuyến bằng kỹ



thuật gọi là *đột lỗ*, trong đó 32 bit đã mã bị xóa theo qui tắc sau:

$$\text{Các bit bị xóa} = C(11+15j), \quad j = 0, \dots, 31$$

Điều này có nghĩa là các bit  $C(11), C(26), C(41)$  v.v bị loại bỏ, kết quả được khối 456 bit  $\{c(0), \dots, c(455)\}$ . Việc đục lỗ được sử dụng để thích nghi 1 cách chính xác tốc độ của mã xoắn với các yêu cầu của đường truyền. Tại máy thu, bộ giải mã xoắn sẽ xử lý 1 cách hiệu quả các bit bị xóa như các lỗi và chúng sẽ được sửa theo cách thông thường trong bộ giải mã Viterbi.

**TCH/F4.8** Dữ liệu đưa đến khối mã hóa với tốc độ bit trung gian 6 kb/s, hay chính xác hơn là cứ 10 ms một khối 60 bit. Mỗi khối được mở rộng thành 76 bit bằng thêm vào 16 bit toàn 0, chèn trong các khối thứ 4, cứ 15 bit 1 lần. Hai trong các khối này sau đó được móc xích tạo nên một khối 152 bit, rồi được mã xoắn tốc độ 1/3 với đa thức sinh sau:

$$\begin{aligned} G1 &= 1 + D + D^3 + D^4, \\ G2 &= 1 + D^2 + D^4, \\ G3 &= 1 + D + D^2 + D^3 + D^4. \end{aligned}$$

Kết quả nhận được khối đã mã gồm 456 bit.

**TCH/H4.8** Dữ liệu được đưa đến khối mã hóa theo từng khối 60 bit thông tin mỗi 10 ms, hay 6 kb/s. Bốn khối trong chúng được nhóm cùng nhau tạo thành khối 240 bit. Các quá trình mã hóa tiếp theo giống như kênh TCH/F9.6.

**TCH/F2.4** Dữ liệu đến khối mã hóa với tốc độ 3.6 kb/s ở dạng các khối 36 bit cứ mỗi 10 ms. Khối mã hóa làm việc trên các khối 72 bit, tạo nên bằng móc xích 2 khối 36 bit. Ban đầu 4 bit toàn 0 được thêm vào ở cuối khối tạo nên khối 76 bit. Sau đó khối này được mã hóa xoắn tốc độ 1/6 dùng các đa thức sinh sau. Kết quả nhận được khối dữ liệu đã mã hóa 456 bit.

$$\begin{aligned} G1 &= 1 + D + D^3 + D^4, \\ G2 &= 1 + D^2 + D^4, \\ G3 &= 1 + D + D^2 + D^3 + D^4, \\ G1 &= 1 + D + D^3 + D^4, \\ G2 &= 1 + D^2 + D^4, \\ G3 &= 1 + D + D^2 + D^3 + D^4. \end{aligned}$$

**TCH/H2.4** Dữ liệu đến khối mã hóa với tốc độ 3.6 kb/s ở dạng khối 36 bit mỗi 10 ms. Hai khối được móc xích tạo thành một khối 72 bit và mỗi khối được mở rộng bằng thêm 4 bit đuôi toàn 0 ở cuối. Hai khối 76 bit này sau đó lại được móc xích tạo thành 1 khối 152 bit cho mã hóa kênh. Khối này được mã hóa xoắn tốc độ 1/3 tạo nên khối dữ liệu 456 bit giống kênh TCH/F4.8.

#### 4.3.10.2 Xen kẽ

Quá trình xen kẽ có thể chia làm 2 cấp: xen kẽ đường chéo khối và xen kẽ giữa các cụm. Kênh TCH/H2.4 sử dụng cùng sơ đồ xen kẽ như TCH/FS đã nói ở

trên. Các kênh còn lại sử dụng sơ đồ xen kẽ phức tạp được mô tả dưới đây đối với kênh TCH/F9.6.

Nhắc lại rằng mã hóa xoắn dẫn đến khối 456 bit sau đục lỗ. Vì nói chung kênh dữ liệu có thể chấp nhận độ trễ tổng thể lớn hơn kênh tiếng nói, nên độ sau xen kẽ đường chéo khối tăng lên đến 22 cụm, từ đó tăng khả năng của hệ thống ngẫu nhiên hóa các lỗi chùm. Tiếc thay 456 bit không thể chia đều cho 22 cụm, do đó sơ đồ xen kẽ trở nên phức tạp. Hai cách xem xét quá trình xen kẽ khối là:

- Khối 456 bit được chia nhỏ thành 4 khối con 114 bit, mỗi khối con được phân bố đều trên 19 cụm với 6 bit mỗi cụm. Các khối con được xen kẽ đường chéo khối với dịch 1 cụm giữa mỗi khối con.

- Khối 456 bit được chia nhỏ thành 2 khối 6 bit đặt trong các cụm 0 và 21, 2 khối 12 bit đặt trong các cụm 1 và 20; 2 khối 18 bit đặt trong các cụm 2 và 19; và 16 khối 24 bit đặt trong các cụm 3 đến 18. Do đó, mỗi khối 456 bit được xen kẽ trên 22 cụm. Các khối dữ liệu cũng được xen kẽ đường chéo với khối mới bắt đầu mỗi cụm thứ 4.

Lưu ý rằng các bit dữ liệu được tráo thứ tự trong mỗi cụm.

#### **4.3.10.3 Mật hóa**

Các cụm được mật hóa giống như trong phần trước đối với kênh tiếng nói toàn tốc.

### **4.3.11 Truyền dữ liệu điều khiển**

#### **4.3.11.1 Kênh điều khiển liên kết chậm SACCH**

Dữ liệu SACCH được đưa đến khối mã hóa theo từng khối cố định gồm 184 bit thông tin. Việc mã hóa ban đầu được thực hiện bằng mã cyclic nhị phân rút ngắn xác định bởi đa thức sinh sau đây

$$g(D) = (D^{23} + 1)(D^{17} + D^3 + 1)$$

Loại mã này thường được gọi là mã lửa và được dùng để phát hiện các lỗi cụm còn “dư” không sửa được bằng bộ giải mã xoắn. Kết quả của quá trình mã hóa này là tạo ra 40 bit kiểm tra chẵn bỏ xung vào cuối khối dữ liệu để tạo thành khối 224 bit. Khối này được mở rộng thành 228 bit nhờ thêm vào 4 bit đuôi toàn 0 ở cuối khối. Sau đó khối dữ liệu này được mã hóa xoắn tốc độ  $\frac{1}{2}$  với đa thức sinh sau đây

$$\begin{aligned} G0 &= 1 + D^3 + D^4, \\ G1 &= 1 + D + D^3 + D^4 \end{aligned}$$

Kết quả được khối 456 bit đã mã hóa. Các bit được tráo thứ tự và chia nhỏ thành 8 khối con 57 bit giống như kênh TCH/FS, nghĩa là 1 số khối chiếm các vị trí bit chẵn và 1 số khối chiếm các vị trí bit lẻ. Tuy nhiên trong trường hợp khối SACCH, việc xen kẽ khối xảy ra trên 4 cụm đầy đủ với mỗi cụm chứa các bit từ cùng khối trong cả vị trí bit lẻ và bit chẵn. Kỹ thuật này được gọi là *xen kẽ vuông khối* và khối dữ liệu mới bắt đầu 1 lần mỗi cụm thứ 4 và được xen kẽ trên 4 cụm.

Lưu ý rằng các cụm SACCH xảy ra 1 lần cứ mỗi 26 cụm hay 120 ms (trong trường hợp kênh toàn tốc), có nghĩa là độ trễ gây bởi các quá trình mã hóa kênh và xen kẽ sẽ là  $4 \times 120 = 480$  ms. Trong trường hợp cụm SACCH, các cờ đánh cắp luôn được đặt bằng 1.

#### **4.3.11.2 Kênh điều khiển liên kết nhanh FACCH**

Thông tin FACCH đi đến bộ mã hóa kênh theo các khối 184 bit; các khối này được mã hóa khối và mã xoắn giống như đối với SACCH. Sơ đồ xen kẽ là khác nhau đối với FACCH trên kênh toàn tốc và bán tốc. Đối với kênh toàn tốc sơ đồ xen kẽ giống như sơ đồ dùng cho các khung tiếng nói mã hóa 456 bit toàn tốc. Nghĩa là khối được chia thành 8 khối con 57 bit rồi được xen kẽ đường chéo khối trên 8 cụm liên tiếp với 4 khối con đầu tiên chỉ chiếm các vị trí bit chẵn và 4 khối con sau cùng chiếm các vị trí bit lẻ. Ở chỗ các bit chẵn của cụm bị đánh cắp bởi FACCH, cờ  $h_u$  được đặt bằng 1 logic, còn cờ  $h_l$  bằng 1 khi các vị trí bit lẻ bị đánh cắp. Sự tương tự giữa xen kẽ FACCH và tiếng nói toàn tốc có nghĩa là khối FACCH 456 bit sẽ thay thế hoàn toàn khối tiếng nói mã hóa 456 bit trên cơ sở 1-1. Như vậy việc chen khối FACCH sẽ dẫn đến mất mát khối tiếng nói 20 ms.

Vì TCH/F2.4 cũng dùng cùng sơ đồ xen kẽ, việc chen khối FACCH dẫn đến mất mát 1 khối thông tin đã mã 456 bit, hoặc khối thông tin 72 bit. Trong trường hợp TCH/F9.6, sự khác nhau giữa 2 sơ đồ xen kẽ có nghĩa là việc chen FACCH dẫn đến mất mát tối đa 24 bit đã mã trong mỗi khối 114 bit, còn trong trường hợp TCH/F4.8, tối đa 48 bit đã mã sẽ bị mất trong mỗi 228 bit.

Khi FACCH được chen trên kênh bán tốc, khối FACCH 184 bit được mã hóa khối và mã xoắn hết như khối SACCH để tạo nên khối dữ liệu đã mã 456 bit. Khối được xen kẽ trên 6 cụm như sau: khối 456 bit được chia thành 8 khối con với 4 khối con đầu tiên  $\{B(0), \dots, B(3)\}$  chiếm các vị trí bit chẵn và 4 khối sau cùng  $\{B(4), \dots, B(7)\}$  chiếm các vị trí bit lẻ. Các khối con  $B(2)$  và  $B(3)$  được kết hợp với các khối con  $B(4), B(5)$  để lấp đầy 2 cụm đầy đủ, còn các khối con còn lại lấp đầy các nửa cụm. Do đó, các khối được xen kẽ đường chéo khối 1 cách hiệu quả trên 6 cụm với khối dữ liệu mới bắt đầu 1 lần cứ mỗi cụm thứ 4. Khối FACCH đánh cắp các bit chẵn của 2 cụm đầu tiên của TCH/H ( $h_u = 1$ ), tất cả các bit của 2 cụm tiếp theo ( $h_u = h_l = 1$ ), và các bit lẻ của 2 cụm tiếp theo ( $h_l = 1$ ). Ảnh hưởng của việc đánh cắp bit FACCH đến kênh TCH/HS là sự mất mát của 2 khung tiếng nói liên tiếp. Trong trường hợp TCH/H4.8 và TCH/H2.4, tối đa 24 bit trong mỗi 114 bit mã sẽ bị mất.

#### **4.3.11.3 Kênh truy nhập ngẫu nhiên RACH**

Các cụm RACH ngắn phát trên đường lên chỉ chứa 8 bit thông tin. Sáu bit kiểm tra chẵn được tạo ra bằng mã cyclic hệ thống đơn giản với đa thức hồi tiếp sau:

$$G(D) = D^6 + D^5 + D^3 + D^2 + D + 1$$

Sau đó 6 bit này được cộng modulo-2 theo từng bit với mã nhận dạng trạm gốc 6 bit (BSIC) của BTS mà thông báo RACH định gửi đến. Quá trình này được thực hiện để bảo đảm rằng 2 BTS với cùng tần số sóng mang BCCH không thể cùng giải mã và trả lời khung RACH từ 1 MS. Chỉ BTS có cùng BSIC như BSIC được sử dụng trong tạo cụm RACH là có thể giải mã thành công thông tin này. Quá trình này dẫn đến khối 14 bit được cộng thêm 4 bit đuôi toàn 0 để tạo thành khối 18 bit. Sau đó khối này được mã hóa xoắn tốc độ  $\frac{1}{2}$  bằng đa thức sinh giống như của TCH/FS, kết quả được khối mã hóa 36 bit. Trở lại hình 4.9, ta thấy rằng khối này khớp khít vào 1 cụm RACH. Lưu ý rằng không có xen kẽ trên kênh RACH.

#### 4.3.11.4 Kênh đồng bộ SCH

Các cụm đồng bộ mỗi cụm chứa 25 bit thông tin được phát trên khe thời gian 0 của sóng mang BCCH đường xuống. Dữ liệu phát đi bao gồm BSIC và số khung của khung hiện thời trong siêu khung. Mười bit kiểm tra chẵn được tạo ra bằng đa thức sau

$$G(D) = D^{10} + D^8 + D^6 + D^5 + D^4 + D^2 + 1$$

Rồi 4 bit đuôi toàn 0 được thêm vào để tạo nên khối dữ liệu 39 bit. Khối này được mã xoắn tốc độ  $\frac{1}{2}$  bằng cùng mã như TCH/FS để tạo nên khối dữ liệu đã mã 78 bit. Trở lại hình 4.9, khối thông tin này khớp khít 1 cụm. Lưu ý rằng xen kẽ không được dùng trên SCH.

#### 4.3.11.5 Các kênh điều khiển khác

Các kênh BCCH, PCH, AGCH, CBCH và SDCCH tất cả đều sử dụng cùng sơ đồ mã hóa và xen kẽ như SACCH đã miêu tả ở trên.

#### 4.3.12 Mật hóa dữ liệu điều khiển

SCH, BCCH, PCH, AGCH và CBCH không bao giờ được mật hóa vì chúng phải có sẵn cho mọi MS trong tế bào, và cơ chế an ninh của GSM được thiết kế sao cho thông tin mật hóa chỉ có thể giải mật bằng 1 người dùng biết trước. RACH cũng không bao giờ được mật hóa vì BTS phải giải mã được cụm này mà không biết trước nhận dạng của MS. Các kênh điều khiển duy nhất có thể mật hóa là SACCH, FACCH và SDCCH. Dữ liệu trên các kênh này được mật hóa bằng phép HOẶC LOẠI TRỪ 114 bit trong cụm với từ mật hóa 114 bit, bằng cách đó xáo trộn dữ liệu theo cách đã biết.

### 4.4 Điều khiển tài nguyên vô tuyến

Trong phần này ta xét cách phân phối và sử dụng tài nguyên vô tuyến trong hệ thống GSM.

#### 4.4.1 Lựa chọn tế bào

Khi MS bật nguồn, nhiệm vụ đầu tiên của nó là xác định BTS thích hợp để có thể truy nhập mạng khi có nhu cầu. Điều này đạt được bằng cách tìm kiếm băng tần liên quan đối với các sóng mang BCCH, sau đó giải mã thông tin mang bởi các sóng này để chọn BTS thích hợp. MS có thể thực hiện 1 trong 2 thuật toán tìm kiếm khác nhau tùy thuộc vào sự hiểu biết của nó về các sóng mang BCCH đang dùng.

Thuật toán thứ nhất được áp dụng khi MS không biết gì về các sóng mang BCCH được dùng trong PLMN cụ thể. Ban đầu MS tìm kiếm toàn bộ băng tần đường xuống (tức là 124 sóng mang đối với băng GSM900 cơ bản, 174 sóng mang đối với E-GSM900 và 374 sóng mang đối với DCS1800) và đo cường độ tín hiệu thu của mỗi sóng mang. Mức tín hiệu thu của từng sóng mang được xác định từ trung bình của ít nhất 5 phép đo trải đều trên khoảng thời gian 3-5 s. Sau đó MS điều hướng lại vào sóng mang mạnh nhất và đợi cụm FCCH (cụm sóng sin thuần túy). Nếu cụm FCCH (xuất hiện cứ 10 hoặc 11 khung thời gian trên khe thời gian 0 của sóng mang BCCH) không tìm thấy, thì MS điều hướng lại vào sóng mang mạnh nhất thứ 2 và lặp lại quá trình. Một khi MS nhận dạng được sóng mang BCCH nhờ cụm FCCH, nó đồng bộ với BTS và thử giải điều chế thông tin đồng bộ. Cụm FCCH được MS sử dụng để sửa gốc thời gian trong của nó nhằm đảm bảo rằng tần số sóng mang của nó chính xác đến  $10^{-7}$  so với tín hiệu thu được từ BTS. MS sử dụng gốc thời gian trong của nó để tạo các phiên bản tại chỗ của sóng mang cao tần cho giải điều chế, và các tín hiệu đồng hồ cho các bộ đếm bên trong của nó.

Sau khi đã sửa tần, MS cố gắng giải mã cụm đồng bộ chứa trong khe thời gian SCH. Khe này dễ dàng xác định vì nó luôn luôn đi ngay sau khe thời gian FCCH trên cùng kênh vật lí, tức là sau 8 khe thời gian. Cụm đồng bộ chứa đủ thông tin cho MS nhận dạng vị trí của nó trong cấu trúc khung GSM đầy đủ. Cụm này chứa 25 bit thông tin trước khi mã hóa kênh trong đó có 6 bit để phát BSIC. 19 bit còn lại dùng để phát số khung rút gọn TDMA (RFN) của khe thời gian chứa cụm đồng bộ. RFN gồm 3 tham số,  $T1$  (11 bit),  $T2$  (5 bit) và  $T3'$  (3 bit) được xác định từ số khung đầy đủ (FN) duy nhất đối với mỗi khung TDMA trong siêu khung. FN có giá trị từ 0 đến 2715647 và các tham số RFN được xác định như sau:

$$\begin{aligned} T1 &= \text{FN div } (26 \times 51), & (11 \text{ bits}), & \text{ range 0 to 2047,} \\ T2 &= \text{FN mod } 26, & (5 \text{ bits}), & \text{ range 0 to 25,} \\ T3' &= (T3 - 1) \text{ div } 10, & (3 \text{ bits}), & \text{ range 0 to 4,} \end{aligned}$$

Trong đó  $T3$  là số trong dải 0 đến 50 và được xác định bởi

$$T3 = \text{FN mod } 51$$

Các toán tử 'mod' và 'div' cho kết quả nguyên và phần dư của phép chia nguyên. Như vậy  $T1$  cung cấp vị trí của siêu khung trong siêu siêu khung,  $T2$  cung cấp vị trí của đa khung trong siêu khung. Đa khung điều khiển chứa 51 khung TDMA và vị trí của khung (chứa trong cụm đồng bộ) trong đa khung được xác định bởi

T3 yêu cầu 6 bit. Tuy nhiên, **cụm đồng bộ chỉ có thể chiếm 1 trong 5 vị trí khác nhau trong đa khung, do đó thông tin này được phát đi bằng 3 bit T3'**. Lưu ý rằng **cụm đồng bộ luôn luôn chiếm khe thời gian 0 của khung TDMA và không cần phát thông tin này.**

Ngoài FN, MS còn cần duy trì các bộ đếm số khe thời gian (TN) và số ¼ bit (QN). Bộ đếm QN được thiết lập bằng dãy huấn luyện kéo dài nằm ở giữa cụm đồng bộ và được tăng lên cứ mỗi 12/13 microgiây. QN đếm các chu kỳ ¼ bit và giá trị của nó nằm trong dải 0 đến 624, tức là từ 0 đến 156 bit. Bộ đếm TN được đặt về 0 khi thu được cụm đồng bộ và nó được tăng lên mỗi khi việc đếm QN thay đổi từ 624 về 0. Bộ đếm TN dùng để duy trì vị trí của khe thời gian trong khung TDMA và có giá trị từ 0 đến 7. Khi giá trị của TN thay đổi từ 7 về 0, FN tăng lên 1 đơn vị.

Sau khi đồng bộ thành công với BS, MS có thể tiếp tục giải mã thông tin hệ thống chứa trên BCCH. BCCH để dành xác định vị trí vì nó luôn luôn chiếm cùng vị trí trong đa khung kênh điều khiển. Kênh này chứa 1 số tham số ảnh hưởng đến việc lựa chọn tế bào, bao gồm công suất tối đa mà MS có thể phát khi truy nhập BTS (tham số *MS\_TXPWR\_MAX\_CCH*) và công suất thu cực tiểu tại MS để truy nhập (tham số *RXLEV\_ACCESS\_MIN*). Các tham số này được kết hợp với công suất thu của trạm gốc *R* và công suất ra cực đại của MS *P* để tạo nên tham số gọi là *C1* xác định bởi

$$C1 = A - B \text{ với } B > 0,$$

$$C1 = A \text{ với } B \leq 0$$

Trong đó

$$A = R - RXLEV\_ACCESS\_MIN,$$

$$B = MS\_TXPWR\_MAX\_CCH - P,$$

Tất cả các giá trị được tính theo dBm. Nếu *C1* đối với BTS đã cho có giá trị lớn hơn 0, thì MS được coi là có khả năng truy nhập BTS đó khi cần. BTS có *C1* cao nhất được coi là BTS thích hợp nhất khi đề cập đến giao diện vô tuyến. Một tham số khác ảnh hưởng đến quá trình lựa chọn tế bào là cờ *CELL\_BAR\_ACCESS*. Đúng như tên gọi, cờ này chỉ ra tế bào có bị chặn truy nhập hay không. Nó dùng để ngăn các thuê bao thông thường khỏi truy nhập tế bào tích cực, chẳng hạn để thử máy. MS chuyên dụng sẽ bỏ qua cờ này.

Sử dụng thuật toán lựa chọn tế bào, MS sẽ chọn tế bào không bị chặn với *C1* dương cao nhất trong vùng định vị hiện thời của nó. Đối với các tế bào nằm ngoài vùng định vị hiện thời, có thêm hệ số bất lợi được đưa vào để ngăn MS khỏi chuyển đi chuyển lại giữa 2 tế bào trong các vùng định vị khác nhau vì điều này dẫn đến tải cập nhật vị trí không thể chấp nhận được. Thời gian tối đa cho phép để đồng bộ với sóng mang BCCH là 0.5 s, còn thời gian tối đa cho phép để đọc dữ liệu BCCH là 1.9 s, một khi MS đã đồng bộ. Khi MS đã chọn được tế bào thích hợp nhất, nó sẽ “cắm trại” tại tế bào đó và chuyển sang chế độ rồi.

Thuật toán chọn tế bào thứ 2 dùng cho các trường hợp MS đã biết về các sóng mang BCCH sử dụng trong mạng. Trong trường hợp này lúc đầu MS sẽ chỉ tìm kiếm các sóng mang đã lưu trong danh sách BCCH của nó và áp dụng thuật toán chọn tế bào. Trường hợp quá trình này không cho sóng mang BCCH hợp lệ, MS sẽ trở về thuật toán chọn tế bào đầy đủ đã nói ở trên. Việc lưu thông tin sóng mang BCCH trong MS là đặc điểm tùy chọn và cách lập danh sách có thể thay đổi. Ví dụ MS có thể lưu danh sách các sóng mang BCCH đang dùng khi nó bật nguồn lần cuối cùng. Tuy nhiên cách này có thể không thích hợp nếu MS tắt nguồn và di chuyển đến vị trí hoàn toàn mới. It is incumbent upon an MS để chọn tế bào mạnh nhất thứ 4 (ở nơi 3 tế bào mạnh nhất đầu tiên không phù hợp) và có thể trả lời thông báo tìm gọi trong vòng 30 s, giả sử các sóng mang BCCH tất cả đều được thu với C/I thích đáng.

#### **4.4.2 Chế độ rỗi**

Sau khi chọn được tế bào thích hợp, MS chuyển sang chế độ “rỗi” tại đó nó phải theo dõi kênh tìm gọi BTS và tiếp tục đảm bảo rằng nó được cắm trại trên tế bào thích hợp nhất.

##### **4.4.2.1 Tìm gọi**

Tín hiệu tìm gọi phát đi trên kênh PCH dùng để báo cho MS biết về cuộc gọi đến. Vì thế, MS phải luôn luôn theo dõi PCH liên quan với các tín hiệu tìm gọi chứa địa chỉ duy nhất của nó. MS có thể xác định toàn bộ tổ chức kênh điều khiển trên sóng mang BCCH nhờ dữ liệu chứa trong BCCH. Trong các tế bào mà các kênh tìm gọi nằm trên nhiều hơn 1 khe thời gian, MS sẽ xác định PCH liên quan nhờ 3 số sau cùng của IMSI duy nhất của nó. Bằng cách này các MS được phân bố ngẫu nhiên giữa các tài nguyên vô tuyến phân cho PCH. Hệ thống GSM cũng hỗ trợ chế độ tìm gọi phân khe, trong đó PCH được chia thành một số khối tìm gọi con và MS chỉ cần nghe kênh trong khối con tìm gọi gán cho nó. MS sẽ giảm công suất trong những quãng thời gian nó không theo dõi PCH, nhờ đó tăng chu trình nạp lại pin. Kỹ thuật này được gọi là *thu gián đoạn* (DRX).

Các thông báo gửi đi trên PCH sẽ chứa IMSI của MS cần tìm. Một khi MS nhận diện được IMSI riêng của nó, nó sẽ trả lời bằng chuyển sang chế độ truy nhập. Các thông báo tìm gọi không được trả lời sẽ được lặp lại để cho phép vài thay đổi trong kênh vô tuyến; tuy nhiên chính sách lặp lại chính xác là vấn đề đối với nhà khai thác mạng.

##### **4.4.2.2 Chọn lại tế bào**

Khi trong chế độ rỗi, MS phải liên tục theo dõi cường độ tín hiệu đường xuống của các BTS xung quanh nhằm đảm bảo rằng nó luôn cắm trại trên BTS thích hợp nhất. MS sẽ liên tục đo cường độ tín hiệu thu từ BTS phục vụ và từ 6 sóng mang BCCH mạnh nhất chứa trong thông báo danh sách láng giềng mang



trên BCCH của BTS phục vụ. Ít nhất cứ 5 s một lần, MS lại được yêu cầu thực hiện thuật toán chọn tế bào để nhận dạng xem có cần HandOver trong chế độ rồi sang tế bào thích hợp hơn hay không. Nếu tế bào mới được chứa trong vùng định vị hiện thời, MS chỉ việc chuyển sang tế bào mới và bắt đầu giải mã dữ liệu PCH. Chỗ nào mà tế bào mới thuộc về vùng định vị khác, MS phải thực hiện cập nhật vị trí trước khi nó có thể thu cuộc gọi đến.

#### **4.4.3 Chế độ truy nhập**

Được dùng để mô tả quá trình mà nhờ đó MS trong chế độ rồi được truy nhập mạng và có được kênh dành riêng. MS sẽ vào chế độ truy nhập để thực hiện cập nhật vị trí, hoặc để trả lời cuộc gọi tìm gọi, hoặc như kết quả của cuộc gọi xuất phát từ thuê bao. Ban đầu MS truy nhập BTS bằng RACH trên đường lên của sóng mang BCCH. Mặc dù MS có thể chỉ phát yêu cầu truy nhập trong các khe đường lên gán cho RACH, không có sự hạn chế nào về khe mà nó có thể dùng. Vì thế va chạm giữa 2 MS hoặc hơn có thể xảy ra tại BTS. Trong tình hình này hoặc 1 hoặc không truy nhập nào được giải mã và trả lời. Có nghĩa là tất các các yêu cầu truy nhập không được trả lời phải được lặp lại để đảm bảo cơ hội thành công hợp lí. Chiến lược lặp lại phải sao cho giảm thiểu tải trên RACH trong khi vẫn giữ mức thành công truy nhập là thỏa mãn. Lưu ý rằng thời gian giữa các lần phát lại không thể là tham số cố định, nếu không thế thì 2 MS va chạm lại tiếp tục va chạm trong lần cố gắng truy nhập kế tiếp. Vì lí do này, chu kì lặp lại là ngẫu nhiên, mặc dù thời gian trung bình giữa các lần phát lại và số lần phát lại tối đa được điều khiển qua các tham số phát quảng bá đều đặn trên BCCH. Có thể điều khiển tải RACH bằng cách cấm MS không được cố gắng truy nhập hệ thống trong thời gian cho trước sau khi thử truy nhập thất bại. Cách khác để giảm tải RACH là cấm 1 bộ phận trong toàn bộ các MS không được truy nhập mạng. Đặc biệt, toàn bộ thuê bao được chia thành 10 nhóm con bằng nhau sử dụng thông tin lưu trong thẻ SIM. Khi đó một nhóm con có thể bị cấm truy nhập mạng trừ trường hợp đặc biệt (gọi cấp cứu). Bằng cách này có thể giảm tải RACH từng bước 10% số lần tắc nghẽn.

Cụm RACH rất ngắn so với các cụm khác và nó chỉ chứa 8 bit thông tin trước mã hóa kênh; như thế là không đủ để phát địa chỉ duy nhất của MS tức IMSI của nó. Yêu cầu chính của cụm RACH là nó chứa đủ thông tin để MS nhận biết phản ứng của mạng đối với cụm RACH của nó. Do đó, MS phát 1 số ngẫu nhiên 5 bit tự chọn, cùng với số 3 bit thông báo cho mạng về lí do truy nhập mạng ví dụ trả lời cuộc gọi tìm gọi, cuộc gọi khẩn cấp v.v. Công suất phát MS dùng cho cụm truy nhập được xác định theo các tham số hệ thống phát đi trên BCCH. Một số bit trong cụm truy nhập được hoặc loại trừ với BSIC của BTS mà thông báo muốn gửi đến. Điều này đảm bảo rằng chỉ BTS chỉ định (intended) mới giải mã đúng thông báo và mới trả lời. Khi thu cụm truy nhập trên kênh RACH, BTS sẽ chuyển tiếp thông báo cho BSC cùng với đánh giá (ước lượng)



độ trễ truyền dẫn giữa thời điểm đến của cụm truy nhập và lịch biểu của BTS. Tham số này được dùng để khởi xướng sớm thời gian tại MS và để tránh va chạm với dữ liệu từ các MS khác tại BTS một khi MS vào chế độ dành riêng. Tại giai đoạn này, BSC sẽ phân phối kênh rồi trên BTS và khi BTS xác nhận rằng kênh đã được kích hoạt thành công, thông báo gán kênh ban đầu được hình thành. Thông báo này chứa các chi tiết về kênh được phân phối, sớm thời gian ban đầu cần dùng tại MS, công suất phát cực đại ban đầu và địa chỉ cho phép MS nhận dạng đích đến của thông báo.

Tham số sớm thời gian (TA) được phát đi như số 6 bit cung cấp 64 bước TA mỗi bước ứng với chu kỳ một bit, cụ thể là  $3.69 \mu s$ . Có nghĩa là hệ thống có thể dùng sớm thời gian tối đa  $63 \times 3.69 \mu s \approx 232 \mu s$ , ứng với khoảng cách lan truyền đi-về cỡ 70 km và khoảng cách tối đa từ BS đến biên giới tế bào cỡ 35 km. Các tế bào lớn có thể dung hòa bằng cách tăng thời gian bảo vệ xung quanh mỗi khe thời gian bằng cách chỉ dùng các khe luân phiên (nghĩa là khe 0, 2, 4, 6). Bằng cách này, việc truyền đường lên có thể lấn sang khe lân cận và bán kính tế bào có thể tăng lên đến hơn 120 km. Cách giải quyết này sẽ dẫn đến giảm dung lượng tế bào và nó được triển khai trong trường hợp đặc biệt, ví dụ với các BTS bờ biển đảm bảo thông tin hàng hải. Kỹ thuật này cũng giải thích cho việc dùng các khe thời gian 0, 2, 4, 6 cho các kênh điều khiển chung, vì chúng là các khe duy nhất được cung cấp trong các tế bào lớn.

Thông báo gán kênh ban đầu từ BTS được gửi đến MS thích hợp bằng cách gửi kèm nội dung chính xác của cụm truy nhập phát đi từ MS đến BTS cùng với chuẩn thời gian mô tả thời điểm tại đó thu được cụm truy nhập. Thông báo này được gửi cho MS bằng kênh AGCH chia sẻ cùng kênh vật lý như PCH. MS liên tục theo dõi AGCH cho đến khi nó phát hiện được thông báo chứa cả nội dung của cụm truy nhập ban đầu của nó và mốc thời gian ứng với thời điểm phát thông báo. Lưu ý rằng tại điểm này MS phải được nhận dạng 1 cách rõ ràng vì có xác suất hữu hạn rằng 2 MS có thể phát cụm truy nhập giống nhau trong cùng khe thời gian RACH.

Một khi MS thu được thông báo gán kênh ban đầu thích hợp, nó điều hướng lại về kênh dành riêng mới và gửi đi thông báo ban đầu dùng tham số TA chứa trong thông báo gán kênh ban đầu. Khuôn dạng của thông báo này phụ thuộc vào lý do truy nhập, ví dụ trả lời cuộc gọi tìm gọi. Thông báo ban đầu chứa các chi tiết về MS bao gồm classmark và IMSI của nó. Khi BTS nhận được thông báo này, nội dung của nó được gửi trả lại MS mà không có thay đổi nào. Nếu MS nhận được thông báo khác với thông báo phát đi của nó, nó sẽ rời kênh ngay lập tức và bắt đầu lại quá trình truy nhập. Điều này đảm bảo rằng bất kỳ sự mập mờ nào còn lại đều được loại bỏ và chỉ MS đúng mới truy nhập kênh dành riêng. Sau khi thiết lập kết nối trên kênh dành riêng, MS sẽ chuyển sang chế độ dành riêng.

#### **4.4.4 Chuyển giao (HandOver)**

H/O là quá trình nhờ đó MS giải phóng kết nối của nó với 1 BTS trong khi thiết lập kết nối mới với BTS khác mà vẫn đảm bảo duy trì cuộc gọi hiện thời. H/O cũng được thực hiện để giảm nhiễu, hoặc để giảm tắc nghẽn lưu lượng. Toàn bộ quá trình H/O có thể chia thành 2 giai đoạn khác nhau: chuẩn bị và thi hành.

#### **4.4.4.1 Chuẩn bị H/O**

Quyết định thực hiện H/O và nhận dạng BTS mới thích hợp nhất được dựa trên vài phép đo khác nhau, thực hiện cả tại MS và cả tại BTS. Nó cũng dựa trên 1 số tham số tĩnh và trên phân bố tải lưu lượng trong mạng. Các phép đo được dùng trong quá trình H/O là:

*\* Các phép đo thực hiện tại BTS*

- + Mức tín hiệu đường lên thu từ MS (tham số *RXLEV\_UL*).
- + Chất lượng (BER) của tín hiệu đường lên thu từ MS (tham số *RXQUAL\_UL*).
- + Khoảng cách giữa MS và BTS dựa trên tham số sớm thời gian TA thích nghi
- + Mức nhiễu trong các khe thời gian rời.

*\* Các phép đo thực hiện tại MS*

- + Mức tín hiệu đường xuống thu từ tế bào phục vụ (tham số *RXLEV\_DL*).
- + Chất lượng (BER) của tín hiệu đường xuống thu từ tế bào phục vụ (tham số *RXQUAL\_DL*).
- + Mức tín hiệu đường xuống thu từ tế bào lân cận thứ *n* (tham số *RXLEV\_NCELL(n)*).

Các tham số *RXQUAL* và *RXLEV* được mã hóa bằng sơ đồ trong bảng 4.18 và 4.19 tương ứng.

Quá trình H/O cũng đưa công suất phát cực đại của MS, của BTS phục vụ và của các BTS lân cận vào tính toán. H/O cũng có thể sử dụng để phân bố lưu lượng đồng đều hơn khắp mạng bằng cách sử lý các MS từ các BTS tắc nghẽn sang các BTS lân cận ít tắc nghẽn hơn, với điều kiện là các láng giềng có thể hỗ trợ MS. Vì thế, quá trình H/O cũng đưa tải lưu lượng trong mạng vào tính toán.

**Lịch đo của MS:** Cấu trúc khung phức tạp trong GSM, bằng nhiều cách được giải thích bởi yêu cầu rằng MS phải đo không chỉ tín hiệu đường xuống của BTS phục vụ mà cả của các BTS xung quanh. Mỗi BTS phát một danh sách láng giềng chứa các tần số mang BCCH của các BTS lân cận của nó. MS sẽ đo cường độ tín hiệu thu được đối với mỗi BTS trong danh sách láng giềng. Việc xem xét lịch trình thu phát tại MS khám phá ra 3 “cửa sổ” trong đó các phép đo này có thể xảy ra. Có khe hở 2 khe thời gian (trừ đi sớm thời gian) giữa thu cụm đường xuống và phát cụm đường lên. Với sớm thời gian là cực đại, cửa sổ này dài 920  $\mu$ s và quá ngắn cho mục đích đo lường. Cửa sổ thứ 2 xảy ra giữa phát cụm đường lên và thu cụm đường xuống, và độ dài tối thiểu của nó là 4 khe thời gian hay 2.3 ms (không có sớm thời gian) như trên hình 4.22.

Bảng 4.18 Tham số RXQUAL và BER kênh tương ứng (đường lên và xuống)

<i>RXQUAL</i> 0	BER < 0.2%
<i>RXQUAL</i> 1	BER = 0.2% to 0.4%
<i>RXQUAL</i> 2	BER = 0.4% to 0.8%
<i>RXQUAL</i> 3	BER = 0.8% to 1.6%
<i>RXQUAL</i> 4	BER = 1.6% to 3.2%
<i>RXQUAL</i> 5	BER = 3.2% to 6.4%
<i>RXQUAL</i> 6	BER = 6.4% to 12.8%
<i>RXQUAL</i> 7	BER > 12.8 %

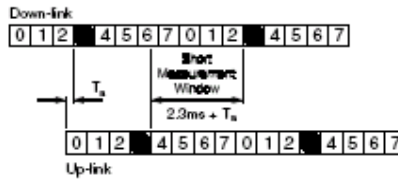
Bảng 4.19 Tham số RXLEV và cường độ tín hiệu thu tương ứng (đường lên xuống, các tế bào lân cận)

	Received signal level (dBm)
<i>RXLEV</i> 0	< -110
<i>RXLEV</i> 1	-110 to -109
<i>RXLEV</i> 2	-109 to -108
<i>RXLEV</i> 3	-108 to -107
.	.
.	.
.	.
<i>RXLEV</i> 62	-49 to -48
<i>RXLEV</i> 63	> -48

Cửa sổ này được MS sử dụng để đo cường độ tín hiệu đường xuống của các sóng mang BCCH trong tế bào lân cận. Trong thời gian này, MS phải điều hướng lại về sóng mang BCCH cần đo, thực hiện phép đo, rồi điều hướng lại về tần số đường xuống hiện thời để kịp thu cụm tiếp theo. Thứ tự chặt chẽ này không cho MS thời gian để đợi cụm tích cực, vì thế mọi khe trên sóng mang BCCH đều phải tích cực. Điều này đạt được bằng sử dụng các cụm giả để lấp đầy các khe bình thường là không tích cực. Cũng có yêu cầu rằng sóng mang BCCH được phát đi với toàn bộ công suất và do đó việc điều khiển công suất đường xuống *không được* áp dụng. Lưu ý rằng DTX có thể không được sử dụng trên bất kì khe nào của sóng mang BCCH.

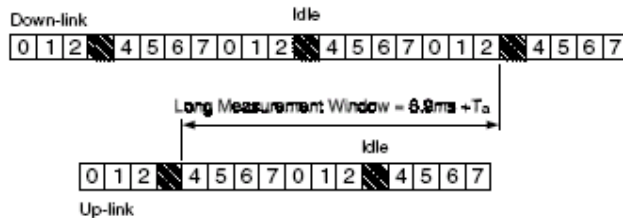
Cửa sổ đo thứ 3 được tạo nên bởi khung rỗi chứa trong mỗi đa khung lưu lượng (nghĩa là 26 khung TDMA). Cửa sổ này dài tối thiểu 12 khe thời gian hay gần 7 ms như hình 4.23. Cửa sổ đo này được dùng để đảm bảo rằng các phép đo sóng mang BCCH nói trên luôn luôn liên quan với BTS đúng. Vì các tần số mang BCCH được dùng lại bởi các BTS khác nhau khắp mạng, nên không thể bảo đảm rằng MS đang đo BTS cụ thể đơn giản chỉ cần biết tần số sóng mang trên đó thực hiện các phép đo. Vì lí do này, MS định kì lại được yêu cầu kiểm tra nhận dạng BTS bằng cách giải mã cụm đồng bộ phát đi trên sóng mang BCCH và lấy ra BSIC. Đây là mã màu 6 bit và được gán cho các BTS sao cho 2 BTS dùng chung sóng mang BCCH sẽ có BSIC khác nhau nếu có xác suất nhiễu cùng

kênh. MS báo cáo BSIC cho mạng cùng với các kết quả đo BCCH; điều này cho phép mạng bảo đảm rằng các phép đo liên quan với BTS đúng.



Hình 4.22 Cửa sổ đo ngắn đối với trường hợp liên lạc trên khe 3

Trong cửa sổ đo dài, MS được yêu cầu điều hướng lại về sóng mang BCCH, nhận dạng và giải mã cụm đồng bộ hợp lệ, sau đó điều hướng lại về tần số đường xuống hiện thời của nó để thu cụm tiếp theo từ BTS phục vụ. Ta giả sử rằng cụm đồng bộ trên sóng mang BCCH lân cận rơi vào cửa sổ đo 12 khe. Các cụm đồng bộ xuất hiện tại các khoảng 10 hoặc 11 khung TDMA trong đa khung điều khiển 51 khung. Do đó không có đảm bảo rằng cửa sổ đo sẽ đồng chỉnh với cụm đồng bộ mọi lúc. Tuy nhiên, cấu trúc khung thời gian bảo đảm rằng cửa sổ khung rồi trong đa khung lưu lượng 26 khung sẽ trượt dần qua đa khung điều khiển 51 khung, nhờ đó cửa sổ khung rồi sẽ trùng với cụm đồng bộ. BSIC của BCCH được giải mã ít nhất 1 lần cứ 10 s. MS cũng sẽ giải mã và lưu thông tin đồng bộ mang trong cụm đồng bộ, nghĩa là các tham số đa khung, siêu khung và siêu siêu khung  $T1$ ,  $T2$ ,  $T3'$ , và nó có thể dùng thông tin này để lập lịch giải mã BSIC. Thông tin đồng bộ này cũng được dùng để giảm thời gian chuyển mạch tại H/O.



Hình 4.23 Cửa sổ đo dài khi liên lạc trên khe 3

**Lấy trung bình các phép đo của MS** Các kết quả đo của MS được báo cáo cho mạng qua kênh SACCH ở dạng thông báo báo cáo đo lường. MS có thể báo cáo đến 6 tế bào lân cận trong cùng bản báo cáo đo lường, ngoài tế bào phục vụ. Thông tin mang trên SACCH được xen kẽ trên 4 cụm, tương ứng độ trễ  $4 \times 120 = 480$  ms. Chu kỳ thời gian này được gọi là *chu kỳ báo cáo* và các phép đo tại MS được lấy trung bình trên chu kỳ này trước khi chúng được báo cáo cho mạng. Việc lấy trung bình lần nữa sẽ xảy ra một khi các phép đo đến hệ thống con trạm gốc (BSS). BSS phải có khả năng lưu ít nhất 32 mẫu đo, trong đó mẫu được xác định như giá trị đánh giá bởi MS trong chu kỳ báo cáo đo 480 ms. BSS

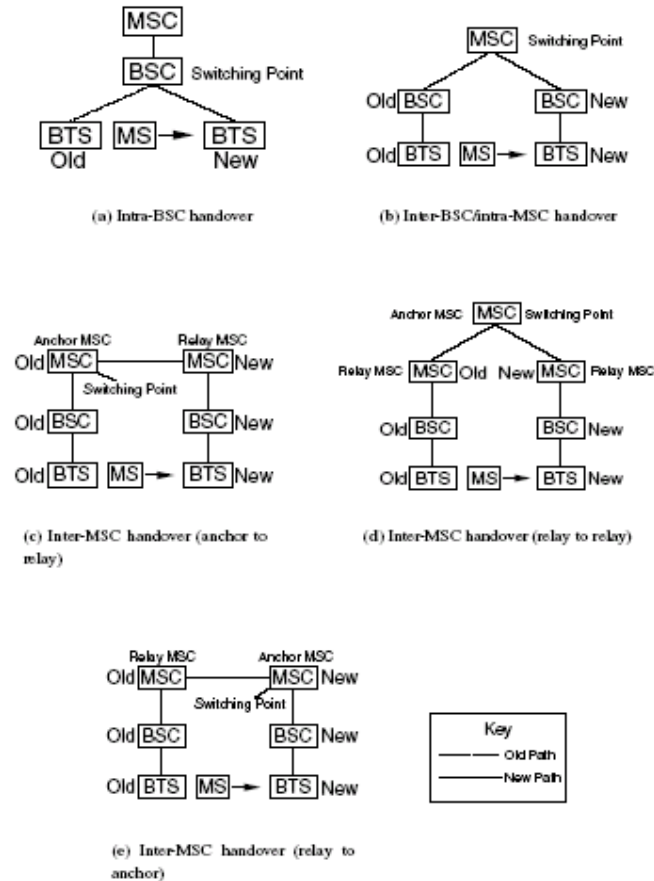
có thể thực hiện lấy trung bình không có trọng số 32 mẫu, hoặc có thể lấy trọng số các mẫu để tăng độ quan trọng hơn cho các phép đo mới hơn.

#### **4.4.4.2 Thực thi H/O**

Một khi đã quyết định bắt đầu H/O và đã nhận dạng được tế bào mới thích hợp nhất, MS và mạng bước vào giai đoạn thực thi H/O. Trong giai đoạn này, kết nối với BTS cũ được giải phóng và kết nối với BTS mới được thiết lập. Quá trình thực thi H/O chịu ảnh hưởng mạnh bởi vị trí của điểm chuyển mạch trong hạ tầng cơ sở, ví dụ đó là H/O trong BSC, trong MSC hay giữa các MSC và vào việc các BTS cũ và mới có đồng bộ hay không. Để đơn giản hóa việc mô tả H/O, ta qui ước như sau: Các thuật ngữ BTS, BSC, MSC có thêm chữ “cũ” nếu chúng là 1 phần của đường liên lạc trước H/O, và thêm chữ “mới” nếu là 1 phần của đường liên lạc sau H/O.

Vị trí của điểm chuyển mạch đối với các kịch bản khác nhau được cho trên hình 4.24. Chỗ nào mà BTS-cũ và BTS-mới được điều khiển bởi cùng BSC, điểm chuyển mạch sẽ là BSC (hình 4.24a). Nếu BTS-cũ và BTS-mới được điều khiển bởi các BSC khác nhau, song cả hai cùng nối với 1 MSC, thì MSC sẽ là điểm chuyển mạch (hình 4.24b). Các hình 4.24c, d, e ứng với trường hợp BTS-cũ và BTS-mới được nối đến các MSC khác nhau và *MSC-mở neo* sẽ là điểm chuyển mạch. MSC-mở neo là MSC mà MS được nối đến lúc bắt đầu cuộc gọi và nó vẫn duy trì điều khiển liên lạc trong quá trình gọi. H/O bất kì giữa các BTS nối với các MSC khác nhau dẫn đến MSC-mới được bổ xung vào chuỗi liên lạc cùng với MSC-mở neo (hình 4.24c). Trong trường hợp này MSC-mới đôi khi được gọi là MSC-chuyển tiếp. Ở chỗ mà kết nối đã bao gồm MSC-chuyển tiếp và MSC-mới không phải là MSC-mở neo, thì một MSC-chuyển tiếp khác tức là MSC-mới được bổ xung vào đường liên lạc (hình 4.24d). Ở chỗ mà MSC-mới không phải là MSC-cũ và MSC-mới là MSC-mở neo, thì MSC-chuyển tiếp được loại khỏi đường liên lạc (hình 4.24e). Vị trí của điểm chuyển mạch xác định kiểu thông báo được phát đi giữa các máy khác nhau ở phía hạ tầng cơ sở.

Bước đầu tiên của giai đoạn thực thi H/O là BSC mới được BSC cũ thông báo về yêu cầu H/O. Trừ trường hợp BSC-cũ và BSC-mới là như nhau, thông báo này được phát đi qua điểm chuyển mạch. Tại điểm này, đường liên lạc mới giữa điểm chuyển mạch và BSC-mới được thiết lập. Sau khi được thông báo về yêu cầu H/O, BSC-mới thử phân phối kênh thích hợp trên BTS-mới. Nếu quá trình này thành công, thì BSC-mới gửi các chi tiết của kênh mới ngược về cho BSC-cũ qua điểm chuyển mạch. Lúc này điểm chuyển mạch tạo thông báo lệnh H/O rồi gửi qua BSC-cũ và BTS-cũ đến MS. Thông báo lệnh H/O chứa các chi tiết của kênh mới trên BTS mới và 1 số tham số cần thiết liên quan đến tế bào mới, ví dụ tần số sóng mang BCCH.



Hình 4.24 Các loại H/O khác nhau trong GSM

MS hoàn toàn không biết gì về H/O đang đến cho đến khi nó thu được thông báo lệnh H/O. Tại giai đoạn này, MS điều hướng lại về kênh mới. Từ điểm này trở đi, hoạt động của MS được điều khiển bởi mối quan hệ thời gian giữa BTS-cũ và BTS-mới. Thông báo lệnh H/O chứa chỉ thị về BTS-cũ và BTS-mới có đồng bộ hay không. Nếu chúng đồng bộ, thì MS có thể xác định trước sớm thời gian TA được sử dụng tại BTS-mới. Trong tình hình này, sau khi đã điều hướng lại về kênh mới, MS phát một vài cụm truy nhập ngắn không có sớm thời gian để BTS-mới có thể xác định sớm thời gian yêu cầu. Sau đó nó bắt đầu phát bình thường sử dụng sớm thời gian tính toán từ trước. Đây là lần duy nhất trong đó các cụm không phải cụm thường được dùng trên kênh dành riêng. Trong trường hợp BTS-cũ và BTS-mới không đồng bộ với nhau, MS không thể tính toán sớm thời gian mới và nó tiếp tục phát các cụm truy nhập ngắn trên kênh mới. BTS sử dụng các cụm này để xác định sớm thời gian mới và báo cáo cho MS. Khi MS nhận được thông báo này, nó bắt đầu phát bình thường trên kênh mới. Sau khi MS đã thiết lập liên kết với BTS-mới, nó gửi thông báo hoàn thành

H/O và đây là dấu hiệu để đường liên lạc chuyển từ BTS-cũ sang BTS-mới. Thời gian gián đoạn trong thực thi H/O có thể giảm từ 200 ms xuống 100 ms nếu H/O đồng bộ được dùng thay cho H/O không đồng bộ vì MS không cần đợi mạng tính toán sớm thời gian yêu cầu.

#### **4.4.5 Điều khiển công suất**

Hệ thống GSM sử dụng điều khiển công suất để đảm bảo rằng MS và BTS chỉ phát công suất đủ để duy trì kết nối chấp nhận được, nhờ đó giảm can nhiễu đối với các tế bào lân cận và cải thiện hiệu quả phổ. MS có thể giảm công suất phát của nó từng nấc 2 dB từ giá trị cực đại đối với cấp của nó xuống đến 5 dBm đối với GSM900 và 0 dBm đối với DCS1800. Công suất phát của MS được điều khiển bởi thông báo của mạng trên kênh SACCH. Sau khi thu được lệnh điều khiển công suất, MS điều chỉnh công suất phát của nó đến mức yêu cầu với tốc độ cực đại 2 dB mỗi 60 ms. Như vậy công suất phát thay đổi 30 dB trong khoảng 900 ms. Thuật toán điều khiển công suất dựa trên các phép đo tín hiệu đường lên thực hiện tại BTS. BTS phải có khả năng điều chỉnh động công suất của nó trong ít nhất 15 bước 2 dB. Nhà khai thác có thể lựa chọn sử dụng hay không sử dụng điều khiển công suất của cả đường lên và đường xuống, hoặc sử dụng độc lập trên từng hướng. Tuy nhiên điều khiển công suất đường xuống không thể áp dụng cho bất kỳ khe thời gian nào trên sóng mang BCCH vì nó phải phát đi với công suất không đổi bởi để các MS trong các tế bào xung quanh đo đạc chuẩn bị cho H/O.

#### **4.4.6 Nhảy tần**

GSM sử dụng nhảy tần chậm (SFH) để giảm nhẹ ảnh hưởng của fading đa tia và can nhiễu. Mỗi cụm thuộc kênh vật lý cụ thể sẽ được phát đi trên tần số sóng mang khác nhau trong mỗi khung TDMA. Như vậy tốc độ nhảy tần bằng tốc độ khung (tức khoảng 217 khung/s). Các kênh vật lý duy nhất không cho phép nhảy là kênh điều khiển chung và điều khiển quảng bá (tức là FCH, SCH, BCCH, PCH và AGCH). Đó là vì MS phải dễ dàng xác định các kênh này khi bật nguồn và quá trình này sẽ trở nên phức tạp hơn nếu cho phép nhảy tần trên các kênh này. Kênh vô tuyến trên đó các kênh điều khiển chung và quảng bá này được phát đi gọi là sóng mang BCCH. Sóng mang BCCH được đo bởi các MS trong các tế bào lân cận để xác định xem BTS có là ứng viên thích hợp cho H/O hay không. Vì thế, sóng mang BCCH phải phát đi liên tục và với công suất không đổi. Có nghĩa là điều khiển công suất đường xuống và phát gián đoạn DTX cũng không thể sử dụng trên sóng mang BCCH. Kênh lưu lượng và kênh điều khiển dành riêng có thể sử dụng tần số sóng mang BCCH như 1 phần của dãy nhảy của nó, song vẫn phải tuân thủ các qui tắc trên khi dùng sóng mang đó, nghĩa là điều khiển công suất và DTX bị cấm. Hai ích lợi quan trọng có được từ triển khai SFH trong GSM là:

**Tác động của nhảy tần đến can nhiễu** Trong hệ thống GSM không nhảy tần, MS có xu hướng bị nhiễu từ cùng tập MS trong các tế bào cùng kênh lân cận trong suốt cuộc gọi, nếu MS không bị H/O. Mức nhiễu này sẽ thay đổi tùy thuộc vào vị trí tương đối của các MS. Ví dụ mức nhiễu sẽ cao nếu tất cả các MS đều ở mép tế bào tương ứng của chúng, trong khi mức nhiễu sẽ thấp nếu các MS ở gần các BTS đang phục vụ chúng. Điều này có nghĩa là trong hoàn cảnh MS bị mức nhiễu cao, rất có thể là nó vẫn sẽ tiếp tục bị nhiễu trong suốt cuộc gọi. Trong hệ thống nhảy tần, các mẫu nhảy (tức là dãy các tần số phát) là khác nhau trong các tế bào cùng kênh và MS sẽ chịu nhiễu từ các tập MS khác nhau trên mỗi cụm. Điều này ngẫu nhiên hóa một cách hiệu quả can nhiễu và mỗi MS sẽ chịu một mức nhiễu trung bình. Tình trạng này được ưa thích hơn trường hợp không nhảy tần trong đó có thể một số MS chịu mức nhiễu rất cao trong khi các MS khác chịu mức nhiễu rất thấp.

**Tác động của nhảy tần đến fading đa tia** Kênh truyền sóng vô tuyến di động gây nên những thay đổi biên độ lớn cho tín hiệu thu vì một số tia khác nhau được cộng xây dựng hoặc cộng phá hủy tại anten thu. Vị trí của các thăng giáng tín hiệu phụ thuộc mạnh vào môi trường, ví dụ vị trí các cao ốc hoặc xe cộ, và vào tần số công tác. Tại các vận tốc di chuyển lớn, tốc độ fading tín hiệu cao và độ dài các thăng giáng sẽ ngắn gây nên các cụm lỗi. Các cụm lỗi được khắc phục bằng xen kẽ symbol và mã hóa kênh. Tại các vận tốc nhỏ hơn, MS sẽ chịu thăng giáng tín hiệu lâu hơn và hiệu quả của xen kẽ và mã hóa kênh sẽ kém hơn. Nhảy tần có thể được sử dụng để bảo đảm rằng MS không bị các thăng giáng tín hiệu lâu. Bằng cách bảo đảm rằng sự thay đổi tần số giữa 2 lần nhảy liên tiếp nằm ngoài dải thông coherent của kênh, MS khó có thể nhảy từ một thăng giáng này trực tiếp sang thăng giáng khác. Do đó, nhảy tần có thể dùng để giảm nhẹ ảnh hưởng của fading nhanh khi vận tốc của MS thấp.

**Các dãy nhảy tần** Dãy nhảy xác định thứ tự sử dụng các tần số sóng mang khác nhau trên đường lên và đường xuống. Vì các tần số đường lên và đường xuống luôn cách nhau một khoảng cố định (45 MHz với GSM900 và 95 MHz với DCS1800) nên chỉ cần một dãy nhảy để mô tả một đường truyền song công đầy đủ. Tham số *phân phối di động* qui định các tần số sóng mang có thể sử dụng bởi mỗi MS trong dãy nhảy của nó. Đối với 124 kênh sóng mang TDMA có thể, tham số phân phối di động yêu cầu tối thiểu 124 bit để mô tả một cách duy nhất mọi tổ hợp sóng mang có thể. Nhắc lại rằng các thông báo gán kênh ban đầu được phát đi trên kênh AGCH trong đó kích thước thông báo nên giữ ngắn để bảo toàn dung lượng truy nhập của hệ thống. Để tránh phát toàn bộ tham số phân phối di động khi gán kênh ban đầu, một phương pháp 2 bước được sử dụng. Mỗi BTS phát chỉ tiết của tất cả các sóng mang mà nó đang dùng ở dạng thông báo (được mang trên BCCH) mô tả kênh của tế bào. Thông báo này có dạng bản đồ 124 bit trong đó mỗi bit biểu diễn 1 sóng mang, còn '1' hoặc '0' được chèn vào để chỉ sóng mang cụ thể nào đang dùng tại BTS. MS giải mã và lưu thông tin này



khi nó ở chế độ rời. Khi gán ban đầu, phân phối di động được mô tả như tập con của phân phối tế bào, nhờ vậy giảm mào đầu (overhead) báo hiệu trên AGCH.

Sau khi thiết lập danh sách các tần số sóng mang được gán cho kênh nhảy tần, MS cũng phải xác định dãy sử dụng mỗi tần số. Dãy nhảy được miêu tả bằng 2 tham số: số thứ tự dãy nhảy (HSN) và dịch chỉ số phân phối di động (MAIO). HSN chọn 1 trong 64 dãy nhảy “ngẫu nhiên” xác định trước, còn MAIO chọn điểm xuất phát trong dãy. MAIO có thể nhận nhiều giá trị như các tần số trong phân phối di động. Giá trị HSN=0 chọn dãy vòng (cyclic) trong đó các tần số trong phân phối di động được sử dụng lần lượt. Các kênh nhảy tần có cùng HSN nhưng có MAIO khác nhau, sẽ không bao giờ sử dụng cùng tần số đồng thời vì chúng trực giao. Do đó, tất cả các kênh nhảy tần trong tế bào sử dụng cùng HSN nhưng có MAIO khác nhau. Ở chỗ nào các kênh nhảy tần sử dụng HSN khác nhau, chúng sẽ nhiễu nhau trong  $1/n$  các cụm, do đó các kênh nhảy tần trong các tế bào cùng kênh sẽ sử dụng các HSN khác nhau.

## **4.5 Các vấn đề an ninh**

### **4.5.1 Giới thiệu**

Các hệ thống thế hệ 1 như NMT, TACS và AMPS có ít đặc điểm an ninh, vì thế dẫn đến các mức độ hoạt động lừa đảo đáng kể làm hại cả thuê bao và nhà khai thác mạng. Hệ thống GSM có 1 số đặc điểm an ninh được thiết kế để bảo đảm cho thuê bao và nhà khai thác mạng một mức độ bảo vệ tốt hơn chống lại các hoạt động lừa đảo. Các cơ chế nhận thực bảo đảm rằng chỉ các thuê bao ngay thẳng sở hữu các thiết bị ngay thẳng (không phải bị đánh cắp hoặc không tiêu chuẩn) mới được phép truy nhập mạng. Sau khi kết nối được thiết lập, thông tin trên đường vô tuyến được mật mã hóa để tránh nghe trộm. Mọi riêng tư của thuê bao được bảo vệ bằng cách đảm bảo rằng các chi tiết nhận dạng và vị trí của thuê bao được bảo vệ. Điều này đạt được bằng cách gán cho mỗi người dùng một số nhận dạng thuê bao di động tạm thời (TMSI) thay đổi từ cuộc gọi này đến cuộc gọi khác. Do đó, không cần phát IMSI của người dùng trên giao diện vô tuyến và như vậy khó nghe trộm nó để nhận dạng và định vị người dùng.

### **4.5.2 Bảo vệ mã PIN**

Cấp bảo vệ đầu tiên và cơ bản nhất chống lại việc sử dụng trái phép MS là mã nhận dạng cá nhân (PIN), được thiết kế để bảo vệ chống lại việc sử dụng trái phép thẻ SIM bị đánh cắp. Trong SIM, PIN có dạng mã số thập phân 4-8 số. Người dùng có thể lựa chọn dùng hay không dùng cấp bảo vệ PIN này. SIM có thể lưu PIN 4-8 số thứ 2 gọi là PIN2 để bảo vệ 1 số tính năng truy nhập thuê bao. Sau khi PIN và PIN2 được nhập đúng, thiết bị di động (ME) có thể truy nhập dữ liệu giữ trong SIM. Sau 3 lần liên tiếp nhập PIN không đúng, SIM sẽ bị khóa và mọi cố gắng nhập PIN sau đó đều vô hiệu, ngay cả khi tháo SIM ra khỏi ME. SIM có thể mở khóa bằng cách nhập mã 8 số khác gọi là chìa mở khóa PIN

(PUK) cũng được lưu trên SIM. Sau 10 lần nhập PUK không đúng, chìa mở khóa tự hủy và không còn cách gì có thể mở được SIM nữa.

#### **4.5.3 Nhận thực**

Thủ tục nhận thực được kích hoạt khi MS thực hiện 1 trong các hành động sau:

- \* thay đổi thông tin liên quan đến thuê bao lưu trong HLR hoặc VLR, bao gồm cập nhật vị trí (các chi tiết của thuê bao được lưu trong VLR mới và đăng kí mạng);
- \* truy nhập mạng để gọi hoặc nhận cuộc gọi;
- \* truy nhập mạng lần đầu sau khi bắt đầu lại MSC/VLR;

Nhận thực được mạng khởi xướng ở dạng thông báo *yêu cầu nhận thực* gửi cho MS. Thông báo này chứa số ngẫu nhiên 128-bit, gọi là *RAND*. Tại MS số này được dùng làm 1 dữ liệu vào cho thuật toán bí mật gọi là *A3*. Dữ liệu vào khác cho *A3* là chìa khóa nhận dạng thuê bao  $K_i$ . Cả *A3* và  $K_i$  đều được lưu trong SIM. An ninh của GSM xoay quanh sự bí mật của  $K_i$  và vì lí do này nó được lưu trong SIM với sự bảo vệ nghiêm ngặt. Chìa nhận dạng không thể đọc ra từ SIM và nó chỉ được truy nhập khi SIM được cá nhân hóa dưới sự điều khiển của nhà khai thác mạng. Trong các thủ tục an ninh xảy ra trong GSM,  $K_i$  chỉ được sử dụng nội tại trong SIM.  $K_i$  có thể có khuôn dạng bất kì và chiều dài bất kì. Thuật toán *A3* cũng được giữ kín để tạo thêm an ninh. Kết quả của việc áp dụng thuật toán *A3* đối với  $K_i$  và *RAND* là một số khác *SRES* (Signed RESult) dài 32 bit.

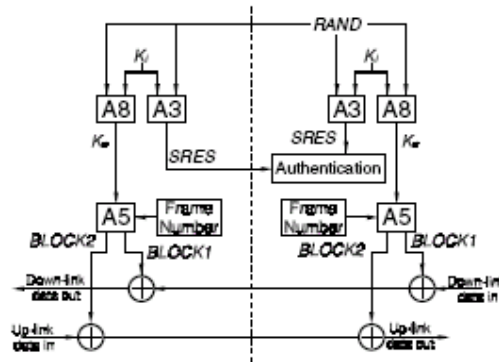
Sau khi đã được tính toán bởi MS, *SRES* được gửi về mạng ở dạng thông báo *trả lời nhận thực*. Về phía mạng, AuC cũng lưu chìa khóa nhận dạng người dùng  $K_i$  và thuật toán *A3* và nó cũng tạo ra phiên bản *SRES* theo cùng cách như ở MS. Sau đó HLR gửi *SRES* cho MSC/VLR tạm trú tại đó 2 phiên bản được so sánh với nhau. Nếu giống nhau thì MS được coi là hợp lệ. Thuật toán bí mật *A3* có tính chất là tương đối dễ tạo *SRES* từ *RAND* và  $K_i$ , song rất khó xác định  $K_i$  từ *SRES* và *RAND* hoặc từ nhiều cặp *SRES* và *RAND*. Thuật toán *A3* không phải là duy nhất và mỗi nhà khai thác có quyền tự do lựa chọn phiên bản riêng của mình. Điều này rõ ràng gây nên một số khó khăn khi xét roaming liên mạng giữa các nhà khai thác dùng các *A3* khác nhau. Vấn đề được khắc phục bằng cách yêu cầu việc tính toán *SRES* phải được tiến hành tại HLR của mạng chủ của thuê bao và gửi đến MSC/VLR tạm trú tại đó thực hiện nhận thực. MSC/VLR lưu một số cặp *RAND* và *SRES* đối với mỗi MS để giảm số chuyển giao thông tin giữa HLR và MSC/HLR. HLR và VLR có thể ở các nước khác nhau.

#### **4.5.4 Mật hóa**

Sau khi thuê bao đã được nhận thực, như vậy là đã bảo vệ thuê bao và nhà khai thác mạng khỏi ảnh hưởng của truy nhập trái phép, người dùng phải được bảo vệ tránh nghe trộm. Điều này đạt được bằng cách mật hóa dữ liệu trên giao

diện vô tuyến sử dụng chìa khóa thứ 2  $K_c$  và thuật toán bí mật A5.  $K_c$  được tạo ra trong giai đoạn nhận thực bằng  $K_i$ ,  $RAND$  và thuật toán bí mật A8 cũng được lưu trong SIM. Giống như A3, thuật toán A8 cũng không duy nhất và có thể chọn bởi nhà khai thác. Chìa khóa  $K_c$  đối với mỗi người dùng được tính toán trong AuC của mạng chủ để khắc phục vấn đề roaming liên mạng. Trong 1 số thể hiện, A3 và A8 được kết hợp thành một thuật toán A38 sử dụng  $RAND$  và  $K_i$  để tạo  $K_c$  và  $SRES$ .

Khác với A3 và A8 (có thể không như nhau đối với mỗi nhà khai thác), A5 sẽ được chọn từ danh sách các ứng cử khác nhau (số ứng cử không vượt quá 7). Trước khi bắt đầu mật hóa, giai đoạn thương lượng sẽ xảy ra trong đó MS và mạng sẽ quyết định dùng phiên bản A5 nào. Chỗ nào mà mạng và MS không có phiên bản A5 nào chung, kết nối vẫn tiếp tục ở dạng không mật hóa hoặc phải ngắt kết nối. Thuật toán A5 nhận chìa khóa  $K_c$  dài 64-bit và số khung TDMA dài 22-bit rồi tạo nên 2 từ mật mã dài 114-bit  $BLOCK1$  và  $BLOCK2$  để dùng trên đường lên và đường xuống tương ứng. Các từ mật mã được HOẶC loại trừ với 114 bit dữ liệu trong mỗi cụm. Bởi vì dữ liệu đã mật hóa được tính toán có dùng số khung TDMA, các từ sẽ thay đổi từ cụm này sang cụm khác và không lặp lại trên chu kỳ siêu siêu khung (khoảng 3,5 giờ). Quá trình nhận thực và mật hóa được tổng kết trên hình 4.25.



Hình 4.25 Quá trình nhận thực và mật hóa trong GSM

#### 4.5.5 Nhận dạng thuê bao di động tạm thời (TMSI)

Một số truyền dẫn trên đường vô tuyến không thể bảo vệ bằng mật hóa. Ví dụ sau gán kênh ban đầu, MS phải phát nhận dạng của nó cho mạng trước khi mật hóa có thể được kích hoạt. Điều này rõ ràng sẽ cho phép kẻ nghe trộm xác định được vị trí của thuê bao bằng cách nghe trộm thông báo này. Vấn đề này được giảm bớt trong GSM bằng các sử dụng nhận dạng thuê bao di động tạm thời. Đây là bí danh được VLR gán cho mỗi MS. TMSI được phát cho MS trong kết nối mật hóa trước đó và được MS và mạng sử dụng trong bất kì thủ tục tìm gọi và truy nhập tương lai nào. TMSI sẽ chỉ hợp lệ trong vùng định vị phục vụ bởi VLR cụ thể.

