

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUẢN LÝ VÀ CÔNG NGHỆ HẢI PHÒNG



ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

NGÀNH: ĐIỆN TỬ TRUYỀN THÔNG

Sinh viên : Hoàng Đức Thuận
Giảng viên hướng dẫn: ThS. Nguyễn Văn Dương

HẢI PHÒNG - 2024

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUẢN LÝ VÀ CÔNG NGHỆ HẢI PHÒNG

NGHIÊN CỨU KỸ THUẬT MÃ HÓA KÊNH TRONG
MẠNG 5G

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

Sinh viên : Hoàng Đức Thuận
Giảng viên hướng dẫn: ThS. Nguyễn Văn Dương

HẢI PHÒNG - 2024

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUẢN LÝ VÀ CÔNG NGHỆ HẢI PHÒNG

NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP

Sinh viên: **Hoàng Đức Thuận** – MSV: 2112103001

Lớp: DTL2501 – Ngành Điện Tử Truyền Thông

Tên đề tài: Nghiên cứu kỹ thuật mã hóa kênh trong mạng 5G

NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI

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

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

2. Các số liệu cần thiết để thiết kế tính toán xây dựng hệ thống :

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

3. Địa điểm triển khai nâng cấp hệ thống :

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

CÁC CÁN BỘ HƯỚNG DẪN ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP

Họ và tên: Nguyễn Văn Dương

Học hàm, học vị: Thạc sĩ

Cơ quan công tác: Trường Đại học Quản lý và Công nghệ Hải Phòng

Nội dung hướng dẫn: Nghiên cứu kỹ thuật mã hóa kênh trong mạng 5G

Đề tài tốt nghiệp được giao ngày tháng năm 20

Yêu cầu phải hoàn thành xong trước ngày.....thángnăm 20

Đã nhận nhiệm vụ Đ.T.T.N

Đã giao nhiệm vụ Đ.T.T.N

Sinh Viên

Cán bộ hướng dẫn Đ.T.T.N

Hoàng Đức Thuận

ThS. Nguyễn Văn Dương

Hải Phòng, ngày.....tháng.... năm 20

TRƯỞNG KHOA

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

Độc Lập - Tự Do - Hạnh Phúc

PHIẾU NHẬN XÉT CỦA GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN TỐT NGHIỆP

Họ và tên giảng viên: Nguyễn Văn Dương

Đơn vị công tác : Trường Đại học Quản lý và Công nghệ Hải Phòng

Họ và tên sinh viên : Hoàng Đức Thuận

Chuyên ngành : Điện tử truyền thông

Nội dung hướng dẫn: Toàn bộ đề tài

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

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

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

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

3. Ý kiến của giảng viên hướng dẫn tốt nghiệp

Được bảo vệ Không được bảo vệ Điểm hướng dẫn

Hải phòng, ngàythángnăm 2024

Giảng viên hướng dẫn

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

Độc Lập - Tự Do - Hạnh Phúc

NHẬN XÉT ĐÁNH GIÁ CỦA GIẢNG VIÊN CHẤM PHẢN BIỆN

Họ và tên giảng viên:

Đơn vị công tác:

Họ và tên sinh viên: Chuyên ngành:

Đề tài tốt nghiệp:

.....

1. Phần nhận xét của giảng viên chấm phản biện

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

2. Những mặt còn hạn chế

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

3. Ý kiến của giảng viên chấm phản biện

Được bảo vệ Không được bảo vệ Điểm phản biện

Hải phòng, ngày.....thángnăm 2024

Giảng viên chấm phản biện

MỤC LỤC

Trang

| | |
|--|-----------|
| MỞ ĐẦU | 1 |
| Chương 1. TỔNG QUAN HỆ THỐNG THÔNG TIN DI ĐỘNG THẾ HỆ THỨ 5 | 2 |
| 1.1 Tổng quan mạng thông tin di động | 2 |
| 1.1.1 Mạng thông tin di động thế hệ thứ nhất (1G)..... | 3 |
| 1.1.2 Mạng thông tin di động thế hệ thứ hai (2G)..... | 4 |
| 1.1.3 Mạng thông tin di động thế hệ thứ ba (3G)..... | 5 |
| 1.1.4 Mạng thông tin di động thế hệ thứ tư (4G) | 8 |
| 1.1.5 Mạng thông tin di động thế hệ thứ năm (5G)..... | 10 |
| 1.2 Tổng quan về 5G..... | 11 |
| 1.2.1 Khái niệm mạng di động 5G | 11 |
| 1.2.2 Mục tiêu..... | 12 |
| 1.3 Các thành phần công nghệ của 5G..... | 13 |
| 1.3.1 Phổ tần mới..... | 13 |
| 1.3.2 Định dạng chùm nhiều đầu vào nhiều đầu ra (MIMO) và Beamforming..... | 14 |
| 1.3.3 Cắt mạng (Network Slicing)..... | 14 |
| 1.3.4 Kết nối kép và cùng tồn tại với LTE | 14 |
| 1.3.5 Hỗ trợ triển khai điện toán đám mây và điện toán biên. | 14 |
| 1.4 Phổ tần dành cho 5G | 15 |
| 1.5 Dung lượng của 5G | 17 |
| 1.6 Ứng dụng..... | 18 |
| 1.7 Cơ hội và thách thức | 19 |
| 1.7.1 Cơ hội | 19 |
| 1.7.2 Thách thức | 19 |
| Chương 2. KỸ THUẬT MÃ HÓA KIỂM TRA CHẴN LẼ MẬT ĐỘ THẤP TRONG 5G | 22 |
| 2.1 Giới thiệu..... | 22 |
| 2.1.1 Biểu đồ cơ sở và ma trận kiểm tra chẵn lẻ | 23 |
| 2.1.2 Tính toán ma trận kiểm tra chẵn lẻ..... | 25 |

| | |
|--|-----------|
| 2.1.3 Chuỗi mã hóa và giải mã LDPC..... | 26 |
| 2.2 Chuỗi mã hóa LDPC | 26 |
| 2.2.1 CRC khối truyền tải..... | 26 |
| 2.2.2 Lựa chọn biểu đồ cơ sở LDPC | 27 |
| 2.2.3 Phân mảnh khối mã và gắn CRC khối mã..... | 27 |
| 2.2.4 Mã hóa LDPC | 28 |
| 2.2.5 Thích ứng tốc độ..... | 29 |
| 2.2.6 Kết nối khối mã | 29 |
| 2.3 Chuỗi giải mã LDPC..... | 29 |
| 2.3.1 Tách nối khối mã | 29 |
| 2.3.2 Giải thích ứng tốc độ | 29 |
| 2.3.3 Giải mã LDPC | 30 |
| 2.3.4 Giải phân mảnh khối mã..... | 30 |
| 2.3.5 Kiểm tra CRC | 30 |
| 2.4 Mã hóa LDPC..... | 30 |
| 2.5 Giải mã LDPC..... | 31 |
| 2.5.1 Thuật toán giải mã Sum-Product (SPA)..... | 34 |
| 2.5.2 Giải thuật phân lớp | 35 |
| Chương 3: MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ MÃ HÓA VÀ GIẢI MÃ LDPC | 38 |
| 3.1 Lưu đồ mã hóa và giải mã LDPC..... | 38 |
| 3.2 Mã hóa LDPC..... | 38 |
| 3.3 Giải mã LDPC..... | 40 |
| 3.3.1 Giải thuật Sum Product (SPA) | 40 |
| 3.3.2 Giải thuật SPA phân lớp..... | 42 |
| 3.3.3 Giải thuật Min-Sum (MSA) | 43 |
| 3.3.4 Giải thuật MSA phân lớp (LMSA)..... | 44 |
| 3.4 Mô phỏng giải mã LDPC | 45 |
| KẾT LUẬN | 52 |
| TÀI LIỆU THAM KHẢO | 53 |

DANH MỤC CÁC BẢNG

| | |
|--|----|
| Bảng 1.1 Đặc điểm của các mạng thông tin di động | 3 |
| Bảng 2.1 Tập kích thước nâng của LDPC | 24 |
| Bảng 3.2 Giá trị của K' | 28 |
| Bảng 3.1 Thực hiện thuật toán mã hóa LDPC | 40 |
| Bảng 3.2 Thực hiện giải thuật SPA | 41 |
| Bảng 3.3 Thực hiện giải thuật LSPA..... | 43 |
| Bảng 3.4 Thực hiện giải thuật MSA | 44 |
| Bảng 3.5 Thực hiện giải thuật LMSA..... | 44 |
| Bảng 3.6 Các tham số của khối truyền tải trong chuỗi mã hóa LDPC | 45 |
| Bảng 3.7 Tham số mô phỏng | 46 |

DANH MỤC CÁC HÌNH

| | | |
|------------|---|----|
| Hình 1.1. | Sự phát triển của mạng thông tin di động..... | 3 |
| Hình 1.2. | Hành trình từ 1G lên 3G..... | 8 |
| Hình 1.3. | Xu hướng tiến lên 3G..... | 8 |
| Hình 1.4. | So sánh 3G và 4G..... | 10 |
| Hình 1.5. | Khái quát về mạng di động thế hệ thứ 5..... | 11 |
| Hình 1.6. | Các mục tiêu chính của 5G..... | 12 |
| Hình 1.7. | Các thành phần mấu chốt của 5G..... | 13 |
| Hình 1.8. | Phổ tần cho 5G và ứng dụng..... | 15 |
| Hình 1.9. | Tùy chọn phổ tần 5G trên thế giới..... | 16 |
| Hình 1.10. | Ứng dụng của 5G..... | 19 |
| Hình 2.1. | Cấu trúc khối của biểu đồ cơ sở..... | 25 |
| Hình 2.2. | Chuỗi mã hóa LDPC..... | 26 |
| Hình 2.3. | Chuỗi giải mã LDPC..... | 26 |
| Hình 2.4. | Bộ mã hóa LDPC..... | 31 |
| Hình 2.5. | Bộ giải mã LDPC..... | 31 |
| Hình 2.6. | Ma trận kiểm tra và đồ hình Tanner..... | 32 |
| Hình 2.7. | Vòng lặp giữa các nút biên và nút kiểm tra..... | 32 |
| Hình 2.8. | Kỹ thuật phân lớp..... | 35 |
| Hình 3.1. | Sơ đồ khối thực hiện mã hóa và giải mã LDPC..... | 38 |
| Hình 3.2. | Kết quả mô phỏng với khối truyền tải (2400,872)..... | 46 |
| Hình 3.3. | Kết quả mô phỏng SPA và LSPA..... | 47 |
| Hình 3.4. | Kết quả mô phỏng MSA và LMSA..... | 47 |
| Hình 3.5. | Kết quả mô phỏng giải thuật LSPA với số vòng lặp khác nhau..... | 48 |
| Hình 3.6. | Kết quả mô phỏng giải thuật LMSA với số vòng lặp giải mã khác nhau..... | 48 |
| Hình 3.7. | Kết quả mô phỏng giải thuật LSPA và LMSA với số vòng lặp 15 và 30..... | 49 |
| Hình 3.8. | Giải thuật LMSA với các tỉ lệ mã khác nhau (BLER theo SNR)..... | 49 |
| Hình 3.9. | Giải thuật LMSA với các tỉ lệ mã khác nhau (BLER theo E_b/N_0)..... | 50 |

MỞ ĐẦU

Trong 20 năm qua đã chứng kiến sự phát triển ấn tượng trong truyền thông di động toàn cầu từ dịch vụ 1G/2G tập trung vào giọng nói sang dịch vụ dữ liệu 3G bắt đầu từ năm 2001 và băng thông rộng di động 4G bắt đầu từ năm 2010. Tại Nhật Bản, NTT DOCOMO đã ra mắt dịch vụ Internet di động đầu tiên trên thế giới, “ i-mode,” vào tháng 2 năm 1999 trên hệ thống PDC-Packet(2G), và dịch vụ này đã lan rộng khắp Nhật Bản trong kỷ nguyên 3G. Điện thoại thông minh đã được giới thiệu trên hệ thống 3G và việc sử dụng nó đã lan rộng trong kỷ nguyên 4G. Số lượng thuê bao và thiết bị di động đã tăng lên nhanh chóng và việc sử dụng dữ liệu đã bùng nổ. Tốc độ dữ liệu đã tăng từ 2,4 kbps vào năm 1993 lên 1,2 Gbps vào năm 2019, tức là tăng gấp 500.000 lần chỉ trong một phần tư thế kỷ. Hiện chúng ta đang chứng kiến sự khởi đầu của bước quan trọng tiếp theo trong quá trình phát triển: 5G. 5G là một trong những trụ cột chính để mang lại giá trị cho khách hàng cũng như cơ hội đồng sáng tạo giá trị với các đối tác trong những năm 2020. 5G cũng mang đến một số thách thức mới mà ngành phải đáp ứng để thực hiện tất cả những lời hứa này.

Chính vì vậy em chọn nghiên cứu đề tài “**Nghiên cứu Kỹ thuật Mã hóa kênh trong mạng 5G**” mong muốn được nghiên cứu, tìm hiểu để nắm bắt được công nghệ phát triển đó của tương lai.

Hải Phòng, ngàythángnăm 2024

Sinh viên thực hiện

Hoàng Đức Thuận

Chương 1.

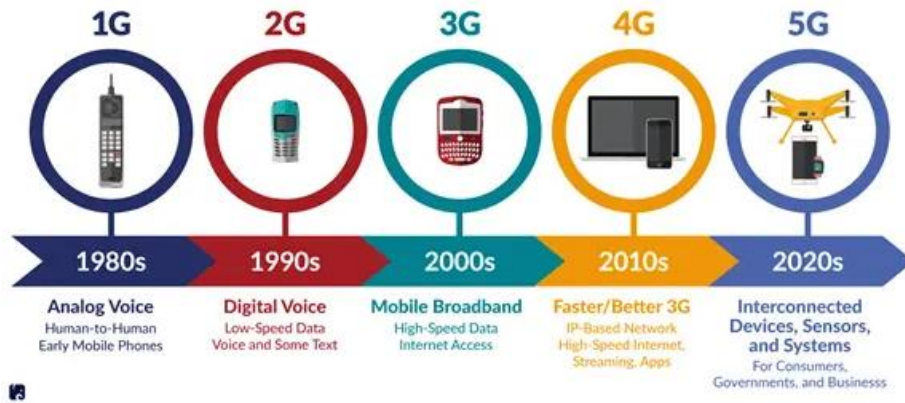
TỔNG QUAN HỆ THỐNG THÔNG TIN DI ĐỘNG THẾ HỆ THỨ 5

1.1 Tổng quan mạng thông tin di động

Các mạng di động đang phát triển qua nhiều thế hệ (hình 1). Mạng thông tin di động không dây thế hệ thứ nhất (1G) là hệ thống tương tự được sử dụng cho dịch vụ thoại công cộng với tốc độ lên tới 2,4kbps. Thế hệ thứ hai (2G) dựa trên công nghệ số và hạ tầng mạng. So với thế hệ đầu tiên, thế hệ thứ hai có thể hỗ trợ nhắn tin văn bản. Thành công của nó và sự gia tăng nhu cầu về thông tin trực tuyến qua internet đã thúc đẩy sự phát triển của hệ thống không dây di động với khả năng kết nối dữ liệu được cải thiện, cuối cùng dẫn đến các hệ thống thế hệ thứ ba (3G).

Hệ thống 3G đề cập đến các tiêu chuẩn công nghệ đang phát triển cho thế hệ tiếp theo của hệ thống thông tin di động. Một trong những mục tiêu chính của nỗ lực tiêu chuẩn hóa 3G là tạo ra một cơ sở hạ tầng phổ quát có khả năng hỗ trợ các dịch vụ hiện tại và tương lai. Điều này đòi hỏi cơ sở hạ tầng phải được thiết kế sao cho có thể phát triển khi công nghệ thay đổi mà không ảnh hưởng đến các dịch vụ hiện có trên các mạng hiện có. Việc tách biệt công nghệ truy cập, công nghệ truyền tải, công nghệ dịch vụ và ứng dụng người dùng với nhau giúp yêu cầu khắt khe này trở nên khả thi.

Mạng internet di động không dây thế hệ thứ 4 (4G) là hạng mục nghiên cứu của học viện, sẽ tích hợp các mạng di động 3G hiện có (ví dụ: OFDM, CDMA2000, WCDMA và TD_SCDMA) và mạng Wi-Fi (tức là mạng LAN không dây) với internet cố định để hỗ trợ Internet di động không dây có chất lượng dịch vụ tương tự như Internet cố định, đây là một sự phát triển không chỉ để vượt qua những hạn chế và vấn đề của 3G mà còn để nâng cao chất lượng dịch vụ, tăng băng thông và giảm chi phí tài nguyên .



Hình 1.1. Sự phát triển của mạng thông tin di động

Bảng 1.1 Đặc điểm của các mạng thông di động

| Đặc điểm | 1G | 2G | 3G | 4G | 5G |
|---------------------|-----------------|----------------|----------------|---------------------|---------------|
| Bắt đầu/ Phát triển | 1970/1984 | 1980/1999 | 1990/2002 | 2000/2010 | 2010/2015 |
| Công nghệ | AMPS, NMT, TACS | GSM | WCDMA | LTE, WiMax | MIMO, mm Wave |
| Tần số | 30 KHz | 1.8 Ghz | 1.6 – 2 GHz | 2 – 8 GHz | 3 – 30 Ghz |
| Tốc độ mạng | 2 kbps | 14.4 – 64 kbps | 2 Mbps | 2000 Mbps to 1 Gbps | ≥1 Gbps |
| Hệ thống truy cập | FDMA | TDMA/C DMA | CDMA | OFDMA/ SC-FDMA | OFDM/BD MA |
| Mạng lõi | PSTN | PSTN | Packet Network | Internet | Internet |

1.1.1 Mạng thông tin di động thế hệ thứ nhất (1G)

Mạng di động thế hệ đầu tiên được giới thiệu vào những năm 1980. Điều này bắt đầu với Dịch vụ điện thoại di động nâng cao (AMPS) được phát minh tại Bell Labs và được cài đặt lần đầu tiên vào năm 1982. AMPS cũng đã được sử dụng ở Anh (gọi là TACS) và Nhật Bản (gọi là MCS-L1). Ý tưởng chính của mạng di động 1G là khu vực địa lý được chia thành các ô (thường là 10-25km), mỗi ô được phục vụ bởi một “trạm cơ sở”. Các ô

nhỏ để việc sử dụng lại tần số có thể được khai thác trong các ô lân cận (nhưng không liền kề). Điều này cho phép nhiều người dùng hơn được hỗ trợ trong một khu vực nhất định. Ví dụ: so với IMTS, AMPS có thể hỗ trợ nhiều người dùng hơn từ 5 đến 10 lần trong cùng một khu vực 100 dặm bằng cách chia khu vực thành 20 ô nhỏ hơn sử dụng lại các dải tần giống nhau. Ngoài ra, các tế bào nhỏ hơn cũng yêu cầu các thiết bị nhỏ hơn, mạnh hơn và rẻ hơn để truyền và nhận thông tin.

Trên thực tế, hệ thống thông tin di động không dây thế hệ đầu tiên không phải là công nghệ kỹ thuật số, mà là hệ thống điện thoại di động tương tự chỉ được sử dụng cho dịch vụ thoại vào đầu những năm 1980. Hệ thống Điện thoại Di động Tiên tiến (AMPS) này là một hệ thống vô tuyến di động tương tự được điều chế tần số sử dụng Đa truy nhập Phân chia theo Tần số (FDMA) với các kênh 30kHz chiếm dải tần 824MHz - 894MHz và là hệ thống di động thương mại đầu tiên được triển khai cho đến đầu những năm 1990

1.1.2 Mạng thông tin di động thế hệ thứ hai (2G)

Mạng di động thế hệ thứ hai (2G), được giới thiệu vào cuối những năm 1980, dựa trên truyền dẫn kỹ thuật số. Truyền kỹ thuật số cung cấp một số lợi ích so với analog. Các cách tiếp cận khác nhau đối với 2G đã được phát triển ở Mỹ và Châu Âu. Ở Hoa Kỳ, sự khác biệt đã xảy ra do chỉ có một trình phát (AMPS) tồn tại trong 1G. Vì điều này, một số người chơi đã nổi lên để cạnh tranh trong 2G. Mặc dù có nhiều người chơi nổi lên, nhưng hai người sau đã sống sót ở Mỹ:

- ✓ IS-54 và IS-135: tương thích ngược với phân bổ tần số AMPS (chế độ kép-analog và kỹ thuật số)
- ✓ IS-95: sử dụng trải phổ

Ở châu Âu, điều ngược lại đã xảy ra – có sự hội tụ vì có nhiều (hơn 5) hệ thống 1G không tương thích mà không có người chiến thắng rõ ràng. Điều này gây ra một vấn đề lớn cho người dùng (bạn không thể sử dụng điện thoại của mình khi đi từ Anh sang Pháp). Châu Âu PTT (Bưu điện, Điện thoại và Điện báo) tài trợ phát triển GSM hiện đang rất phổ biến, sử dụng dải tần số mới và truyền thông kỹ thuật số hoàn chỉnh

Mặc dù có nhiều công nghệ cạnh tranh trong bối cảnh mạng di động 2G, nhưng GSM cho đến nay vẫn thống trị thế giới với hơn 200 triệu người dùng ở hơn một trăm quốc gia. GSM rất phổ biến ở châu Âu và hiện cũng đang trở nên phổ biến ở Mỹ. Các mạng này hoạt động ở tốc độ 9,6 Kb/giây và dựa trên các tiêu chuẩn quốc tế do Viện Tiêu chuẩn Viễn thông Châu Âu (ETSI) xác định. Do sự phổ biến của GSM, chúng ta hãy xem xét GSM một cách kỹ lưỡng.

GSM được thiết kế hoàn toàn từ đầu (không có khả năng tương thích ngược với các hệ thống 1G như AMPS). Nó có thể cung cấp tốc độ dữ liệu lên tới 9,6 Kb/giây bằng cách sử dụng 124 kênh trên mỗi ô; mỗi kênh có thể hỗ trợ 8 người dùng thông qua TDMA (tối đa 992 người dùng trên mỗi ô, trên thực tế là khoảng 500). Một số kênh GSM được sử dụng làm tín hiệu điều khiển cho các thiết bị di động để định vị các trạm gốc gần nhất.

Ngoài thoại, điện thoại GSM cung cấp dịch vụ dữ liệu cho người dùng không dây; tức là bạn kết nối điện thoại GSM với PC và nó hoạt động như một modem cho email, fax, duyệt Internet, v.v. GSM cũng cho phép chuyển vùng giữa các quốc gia Bắc Mỹ và các quốc gia Châu Âu. Để làm cho nó hoạt động, do sự khác biệt về tần số, bạn phải tháo thẻ SIM dành riêng cho người dùng khỏi bên trong điện thoại của mạng Mỹ và đặt nó vào điện thoại của mạng châu Âu hoặc ngược lại.

Giao diện vô tuyến của GSM dựa trên công nghệ TDMA băng hẹp, trong đó các dải tần khả dụng được chia thành các khe thời gian, với mỗi người dùng có quyền truy cập vào một khe thời gian theo các khoảng thời gian đều đặn. TDMA băng thông hẹp cho phép tám giao tiếp đồng thời trên một bộ ghép kênh vô tuyến duy nhất và được thiết kế để hỗ trợ 16 kênh nửa tốc độ.

1.1.3 Mạng thông tin di động thế hệ thứ ba (3G)

Tầm nhìn của thế hệ thứ ba (3G) là tạo ra một tập hợp toàn cầu thống nhất các yêu cầu tiêu chuẩn có thể dẫn đến việc triển khai thương mại các phương tiện truyền thông không dây đa phương tiện tiên tiến. Mục tiêu của các hệ thống 3G là cho phép các nhà cung cấp dịch vụ không dây cung cấp các dịch vụ được tìm thấy trên các mạng hữu tuyến ngày nay.

3G không phải là một tiêu chuẩn; đó là một nhóm các tiêu chuẩn mà tất cả có thể làm việc cùng nhau. Đây là lý do chính tại sao có quá nhiều thuật ngữ và tiêu chuẩn trong không gian 3G. Liên minh Viễn thông Quốc tế (ITU) đang điều phối việc hài hòa quốc tế các tiêu chuẩn 3G này dưới sự bảo trợ chung của Viễn thông Di động Quốc tế 2000 (IMT 2000). Xem thanh bên “Chế độ xem 3G của ITU” để biết các yêu cầu đang thúc đẩy sự phát triển của 3G.

Mục tiêu của các hệ thống không dây 3G là cung cấp dịch vụ dữ liệu không dây với tốc độ dữ liệu từ 144kbps đến 384kbps trong vùng phủ sóng rộng và 2Mbps trong vùng phủ sóng cục bộ. Các ứng dụng có thể bao gồm truy cập dựa trên web không dây, E-mail, cũng như hội nghị truyền hình qua video và các dịch vụ đa phương tiện bao gồm các luồng dữ liệu và thoại hỗn hợp. Sau mười năm phát triển, IMT-2000 (International Mobile Viễn thông-2000) đã chấp nhận một tiêu chuẩn 3G mới từ Trung Quốc, tức là TD-SCDMA. Như vậy, có ba tiêu chuẩn mạng di động 3G mới. Đó là CDMA2000 của Mỹ, WCDMA của Châu Âu và TD-SCDMA của Trung Quốc.

Ví dụ nổi tiếng nhất về 3G là UMTS (Hệ thống Viễn thông Di động Toàn cầu) – một từ viết tắt được sử dụng để mô tả hệ thống 3G có nguồn gốc từ Châu Âu và đang được sử dụng ở những nơi khác. Trên thực tế, một số nhà phân tích cho rằng UMTS-3G. Ý tưởng tổng thể là người dùng UMTS sẽ có thể sử dụng công nghệ 3G trên toàn thế giới dưới các biểu ngữ khác nhau. Khả năng chuyển vùng này để sử dụng các thiết bị trên các mạng khác nhau sẽ được thực hiện nhờ các mạng trên mặt đất và vệ tinh. UMTS cung cấp môi trường dịch vụ nhất quán ngay cả khi chuyển vùng qua “Môi trường gia đình ảo” (VHE). Một người chuyển vùng từ mạng của mình tới các nhà khai thác UMTS khác sẽ trải nghiệm một tập hợp nhất quán các dịch vụ, không phụ thuộc vào vị trí hoặc chế độ truy cập (vệ tinh hoặc mặt đất).

Dù tên gọi là gì, 3G được thiết kế để tăng tốc độ dữ liệu lên 2 megabit/giây (2 Mbps) – tốc độ cao hơn nhiều so với 2G và 2,5G. Cụ thể, các hệ thống 3G cung cấp tốc độ từ 144 Kbps đến 384 Kbps cho tính di động cao và vùng phủ sóng cao, và 2 Mbps cho các ứng dụng vùng phủ sóng thấp và tính di động thấp. Nói cách khác, các hệ thống 3G bắt buộc tốc độ dữ liệu là 144 Kbps ở tốc độ lái xe, 384 Kbps đối với tốc độ sử dụng cố định hoặc

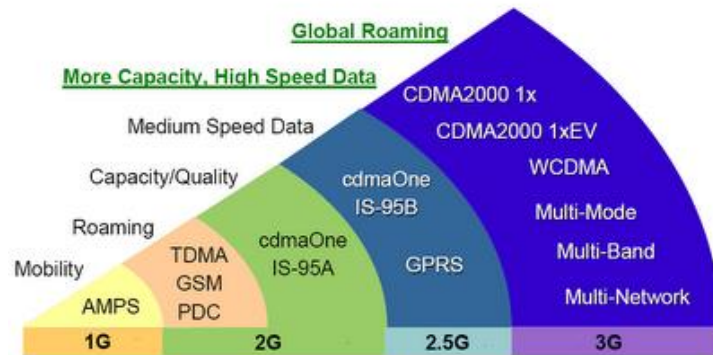
đi bộ bên ngoài và 2 Mbps trong nhà. Tuy nhiên, tốc độ 2 Mb/giây trong nhà từ 3G cạnh tranh với mạng LAN không dây 802.11 tốc độ cao cung cấp tốc độ dữ liệu từ 11 đến 54 Mb/giây. Điểm hấp dẫn chính của 3G là tốc độ dữ liệu 384 Kbps để sử dụng ngoài trời như một dịch vụ chuyển mạch gói dựa trên IP trên các khu vực rộng lớn. Dịch vụ này có thể hỗ trợ truy cập Internet không dây trên các khu vực địa lý rất rộng.

Các hệ thống 3G dựa trên chuyển mạch gói thay vì các hệ thống chuyển mạch kênh cũ hơn được sử dụng trong 2G. Điều đó có nghĩa là gì? Trong các mạng di động 2G, hầu hết các giao tiếp dữ liệu, ngoài Dịch vụ tin nhắn ngắn (SMS), đều yêu cầu kết nối chuyển mạch trong đó người dùng phải kết nối với máy chủ để kiểm tra email chẳng hạn. Hạn chế chính của phương pháp này là người dùng phải trực tuyến ngay cả khi họ không gửi dữ liệu, vì vậy họ phải trả chi phí cao hơn và dung lượng mạng bị lãng phí.

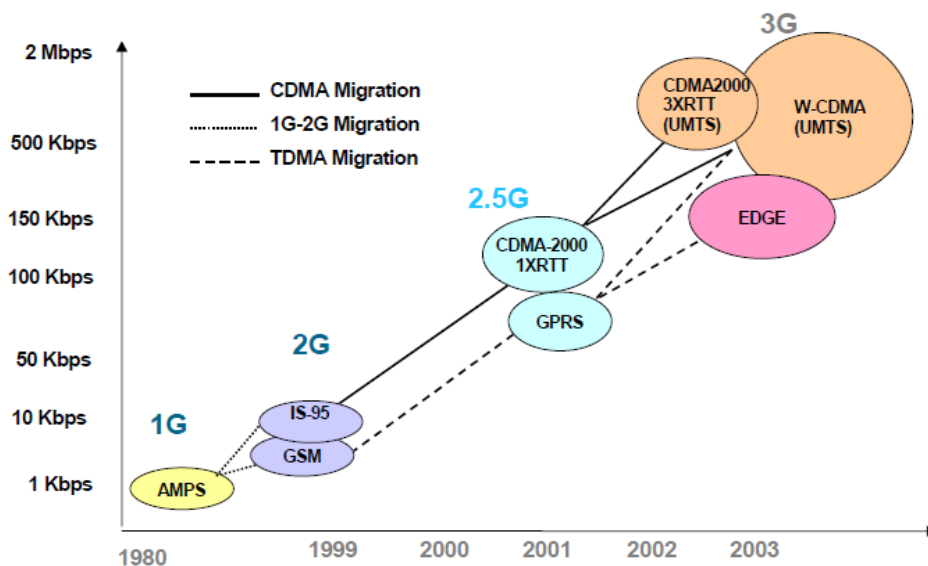
Mạng 3G sử dụng cơ chế liên lạc không kết nối (chuyển mạch gói). Dữ liệu được chia thành các gói mà một địa chỉ xác định đích duy nhất được thêm vào. Phương thức truyền này, trong đó truyền thông được chia thành các gói, cho phép cùng một đường dẫn dữ liệu được chia sẻ giữa nhiều người dùng trong mạng. Bằng cách chia dữ liệu thành các gói nhỏ hơn di chuyển song song trên các kênh khác nhau, tốc độ dữ liệu có thể tăng lên đáng kể. Ví dụ: chia một tin nhắn thành 6 gói về mặt lý thuyết có thể tăng tốc độ dữ liệu lên sáu lần (ví dụ: từ 9,6 Kbps lên 56 Kbps, đại khái). Ngoài ra, người dùng có thể trực tuyến xuyên suốt mà không bị tính phí cho thời gian trực tuyến. Thay vào đó, họ chỉ trả tiền cho lượng dữ liệu mà họ lấy được. Điều này trái ngược với mạng chuyển mạch kênh như mạng điện thoại thông thường, nơi đường dẫn liên lạc được dành riêng cho người gọi, do đó chặn đường dẫn đó đến những người dùng khác trong khoảng thời gian đó. Điều này có nghĩa là mặc dù một thiết bị cầm tay 3G, trên thực tế, được kết nối vĩnh viễn với mạng, nhưng nó chỉ sử dụng băng thông khi cần thiết.

3G đã phát triển từ 2G và được xây dựng trên sự thành công của GSM (GSM, GSM1800 và GSM1900). Thiết bị đầu cuối chế độ kép dễ dàng di chuyển từ 2G sang 3G. Mặc dù có nhiều tùy chọn cho 3G, nhưng công nghệ vô tuyến trong 3G có thể sẽ là CDMA băng rộng (đa truy cập phát hiện va chạm). Điều này tương tự với các công nghệ mạng cục

bộ như Ethernet. Tại Hoa Kỳ, CDMA2000 sẽ được sử dụng (điều này tương tự như Wideband CDMA nhưng tương thích ngược với IS-95).



Hình 1.2. Hành trình từ 1G lên 3G



Hình 1.3. Xu hướng tiến lên 3G

1.1.4 Mạng thông tin di động thế hệ thứ tư (4G)

Trong viễn thông, 4G là thế hệ thứ tư của tiêu chuẩn không dây di động. Nó là sự kế thừa cho các họ tiêu chuẩn 3G và 2G. Năm 2009, tổ chức ITU-R đã chỉ định các yêu cầu IMT-Advanced (Tiên tiến Viễn thông Di động Quốc tế) cho các tiêu chuẩn 4G, đặt ra các yêu cầu về tốc độ tối đa cho dịch vụ 4G ở mức 100 Mbit/giây cho liên lạc di động cao (chẳng hạn như từ tàu hỏa và ô tô) và 1 Gbit/giây cho giao tiếp di động thấp (chẳng hạn như người đi bộ và người dùng đứng yên).

Dịch vụ LTE công khai đầu tiên trên thế giới đã được khai trương tại hai thủ đô của Scandinavia là Stockholm (các hệ thống của Ericsson và Nokia Siemens Networks) và Oslo (một hệ thống của Huawei) vào ngày 14 tháng 12 năm 2009.

Một trong những công nghệ chính cho 4G và hơn thế nữa được gọi là Kiến trúc không dây mở (OWA), hỗ trợ nhiều giao diện vô tuyến không dây trong một nền tảng kiến trúc mở.

Hệ thống 4G dự kiến sẽ cung cấp giải pháp băng thông rộng di động toàn diện và an toàn dựa trên IP cho modem không dây của máy tính xách tay, điện thoại thông minh và các thiết bị di động khác. Các tiện ích như truy cập Internet băng thông siêu rộng, điện thoại IP, dịch vụ trò chơi và truyền phát đa phương tiện có thể được cung cấp cho người dùng.

Vào giữa những năm 1990, tổ chức ITU-R đã chỉ định các thông số kỹ thuật IMT-2000 cho những tiêu chuẩn nào nên được coi là hệ thống 3G. Tuy nhiên, thị trường điện thoại di động chỉ gắn nhãn một số tiêu chuẩn IMT-2000 là 3G (ví dụ: WCDMA và CDMA2000), chứ không phải tất cả (3GPP EDGE, DECT và mobile-WiMAX đều đáp ứng các yêu cầu của IMT-2000 và được chính thức chấp nhận là tiêu chuẩn 3G, nhưng thường không được gắn thương hiệu là 3G). Năm 2008, ITU-R đã chỉ định các yêu cầu IMT-Advanced (Tiên tiến Viễn thông Di động Quốc tế) cho các hệ thống 4G.

Các phiên bản LTE và WiMAX tuân thủ IMT-Advanced đang được phát triển và được gọi là "LTE Advanced" và "WirelessMAN-Advanced" tương ứng. ITU đã quyết định rằng LTE Advanced và WirelessMAN-Advanced nên được đặt tên chính thức là IMT-Advanced. Vào ngày 6 tháng 12 năm 2010, ITU đã công nhận rằng các phiên bản hiện tại của LTE, WiMax và các công nghệ 3G phát triển khác không đáp ứng các yêu cầu "IMT-Advanced" vẫn có thể được coi là "4G", miễn là chúng đại diện cho các công nghệ tiên thân của IMT-Advanced và "một mức độ cải thiện về hiệu suất và khả năng đối với các hệ thống thế hệ thứ ba ban đầu hiện được triển khai."

Như có thể thấy bên dưới, trong tất cả các đề xuất cho 4G, công nghệ vô tuyến trải phổ CDMA được sử dụng trong các hệ thống 3G và IS-95 bị loại bỏ và được thay thế bằng OFDMA và các sơ đồ cân bằng miền tần số khác. Điều này được kết hợp với MIMO

(Multiple In Multiple Out), ví dụ: nhiều ăng-ten, phân bổ kênh động và lập lịch phụ thuộc vào kênh.

Hệ thống di động 4G là một hệ thống mạng hoàn toàn dựa trên IP. Các tính năng của 4G có thể được tóm tắt bằng một từ- tích hợp. Công nghệ 4G nên tích hợp các công nghệ mạng không dây hiện tại và tương lai khác nhau (ví dụ: OFDM, MC-CDMA, LAS-CDMA và Network-LMDS) để đảm bảo tự do di chuyển và chuyển vùng liền mạch từ công nghệ này sang công nghệ khác. Chúng sẽ cung cấp các ứng dụng đa phương tiện cho người dùng di động bằng cách truy cập các công nghệ khác nhau trong một kết nối liên tục và luôn tốt nhất có thể.

Mạng 4G có thể tích hợp một số mạng truy cập vô tuyến với mạng internet cố định làm đường trục. Giao diện lõi nằm giữa mạng lõi và mạng truy cập vô tuyến, và một tập hợp các giao diện vô tuyến được sử dụng để liên lạc giữa mạng truy cập vô tuyến và người dùng di động. Loại tích hợp này kết hợp nhiều giao diện truy cập vô tuyến vào một mạng duy nhất để cung cấp khả năng chuyển vùng/chuyển giao liền mạch và các dịch vụ được kết nối tốt nhất.

| Items | 3G | 4G |
|--------------|---|---|
| Speed | Up to 2Mbps | Full-mobility: up to 100Mbps Low-mobility: up to 1Gbps |
| Services | Difficulty of global roaming | Roaming smoothly |
| Core Network | Wide-area concept Circuit and packet switching | Broadband, Entirely IP-based packet switching |
| Technologies | WCDM, CDMA2000, TD-SCDMA | All access convergence including: OFDM, MC-CDMA, LAS-CDMA, Network-LMPS |

Hình 1.4. So sánh 3G và 4G

1.1.5 Mạng thông tin di động thế hệ thứ năm (5G)

5G (mạng di động thế hệ thứ 5 hoặc hệ thống không dây thế hệ thứ 5) là tên gọi được sử dụng trong một số tài liệu và dự án nghiên cứu để biểu thị giai đoạn quan trọng tiếp theo

của các tiêu chuẩn viễn thông di động ngoài tiêu chuẩn 4G/IMT-Advanced có hiệu lực từ năm 2011. Hiện tại, 5G chưa một thuật ngữ được sử dụng chính thức cho bất kỳ thông số kỹ thuật cụ thể nào hoặc trong bất kỳ tài liệu chính thức nào được công bố bởi các công ty viễn thông hoặc cơ quan tiêu chuẩn hóa như 3GPP, Diễn đàn WiMAX hoặc ITU-R. Các bản phát hành tiêu chuẩn mới ngoài 4G đang được các cơ quan tiêu chuẩn hóa tiến hành, nhưng tại thời điểm này chúng không được coi là thế hệ di động mới mà dưới cái ô 4G.

Các mạng internet di động không dây thứ 5 là thế giới không dây thực sự sẽ được hỗ trợ bởi LAS-CDMA, OFDM, MC-CDMA, UWB, Network-LMDS và IPv6. IPv6 là một giao thức cơ bản để chạy trên cả 4G và 5G.

Vấn đề là 5G được thiết kế cho World Wide Wireless Web (WWWW) cho người dùng di động dựa trên quản lý truy cập mạng, nhưng IPv6 chỉ định bất kỳ địa chỉ IP nào cho bất kỳ nút di động nào dựa trên quản lý vị trí. Điều này sẽ gây lãng phí tài nguyên mạng không dây 5G và IPv6 khó hoạt động trên World Wide Wireless Web (WWWW). Để giải quyết vấn đề này, chúng tôi đã đề xuất giao thức kiểm soát tối ưu hóa băng thông và đường dẫn dữ liệu băng thông hỗn hợp cho thế giới không dây thực 5G trong tương lai. Giao thức điều khiển tối ưu hóa băng thông (BOCP) được triển khai ở giữa lớp MAC và lớp TCP/IP, được sử dụng để thiết lập băng thông hỗn hợp.

1.2 Tổng quan về 5G

1.2.1 Khái niệm mạng di động 5G

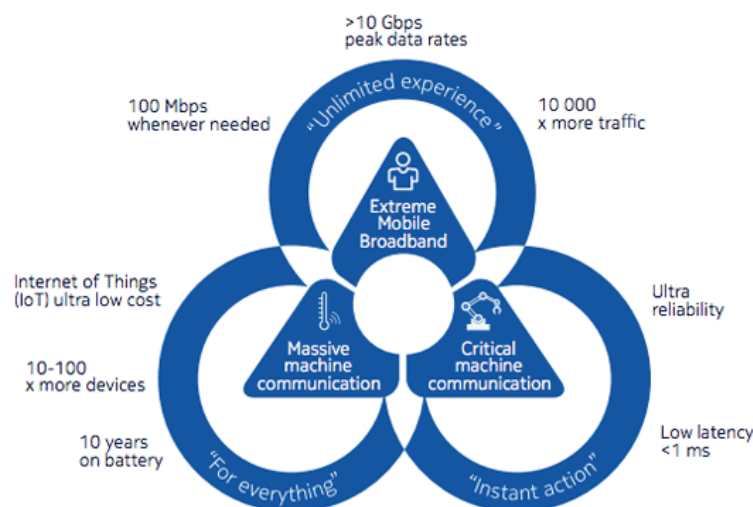


Hình 1.5. Khái quát về mạng di động thế hệ thứ 5

Vô tuyến 5G đại diện cho một bước quan trọng trong khả năng của mạng di động. Từ trước đến nay, các mạng di động chủ yếu cung cấp kết nối cho điện thoại thông minh, máy tính bảng và máy tính xách tay cho người tiêu dùng. 5G sẽ đưa băng thông rộng di động truyền thống lên mức cao nhất về tốc độ dữ liệu, dung lượng và tính khả dụng. Ngoài ra, 5G sẽ cho phép các dịch vụ mới bao gồm kết nối Internet of Things (IoT) công nghiệp và liên lạc quan trọng. Các mục tiêu 5G được đặt rất cao với tốc độ dữ liệu lên tới 20 Gbps và dung lượng tăng lên tới 1000 lần với nền tảng linh hoạt để kết nối thiết bị, độ trễ cực thấp và độ tin cậy cao. Một số trường hợp sử dụng và ứng dụng mới có thể chạy trên mạng di động 5G. Người ta kỳ vọng rằng 5G về cơ bản có thể tác động đến tất cả các bộ phận của xã hội bằng cách cải thiện hiệu quả, năng suất và an toàn. Mạng 4G được thiết kế và phát triển cách đây 10 năm, chủ yếu bởi các nhà khai thác viễn thông và nhà cung cấp cho trường hợp sử dụng điện thoại thông minh.

Thiết kế và triển khai hệ thống 5G cần phải khác so với các thế hệ mạng di động trước đó do các yêu cầu mới. Các giải pháp 4G không đủ tốt để mang lại những lời hứa 5G thực sự. Cuốn sách này mô tả các thông số kỹ thuật, công nghệ, kiến trúc mạng và các khía cạnh triển khai và tối ưu hóa 5G cũng như một số khía cạnh thực tế liên quan đến việc triển khai các thiết bị 5G. Tầm nhìn tổng thể về mạng trong tương lai ngoài radio, bao gồm nhiều lĩnh vực công nghệ sẽ tạo điều kiện cho kỷ nguyên kỹ thuật số mới

1.2.2 Mục tiêu

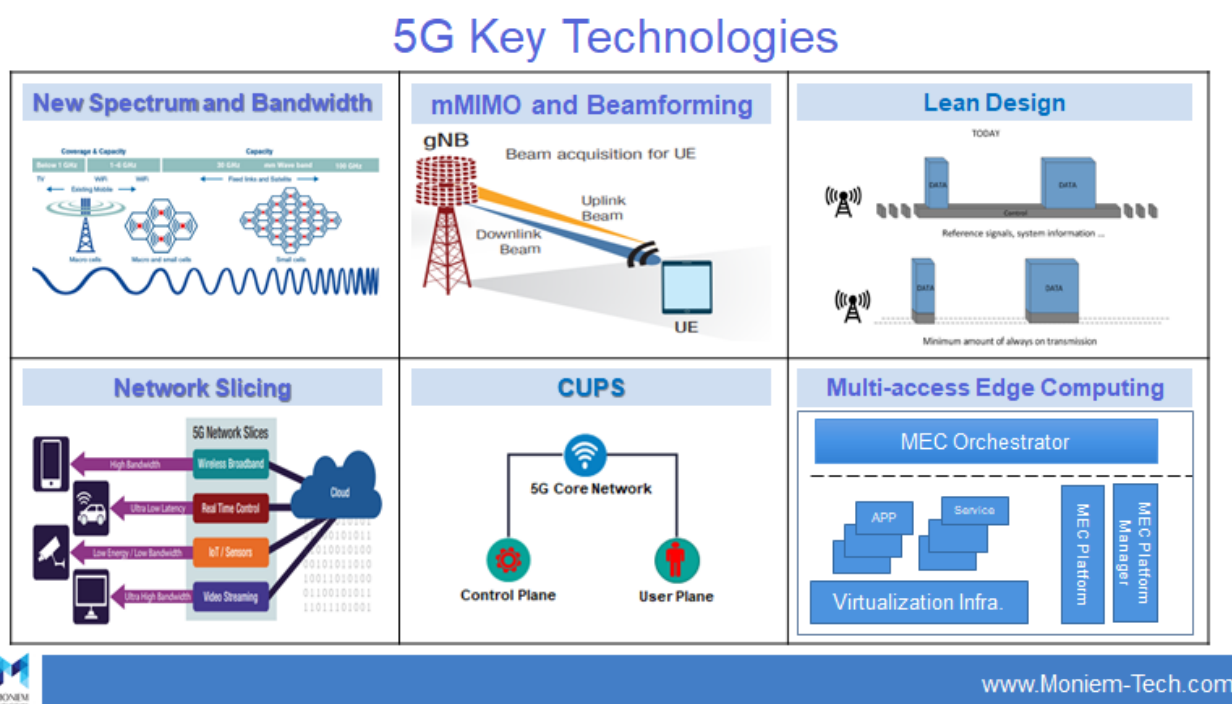


Hình 1.6. Các mục tiêu chính của 5G

Các mục tiêu 5G được minh họa trong Hình 1.6. Ba nền tảng chính là băng thông rộng di động cực cao, truyền thông IoT quy mô lớn và URLLC. Băng thông rộng di động cực cao tập trung vào tốc độ dữ liệu vượt quá 10 Gbps, tốc độ dữ liệu ổn định hơn với khả năng tối thiểu 100 Mbps ở mọi nơi và dung lượng lưu trữ lớn hơn 10.000 ×. Massive IoT nhằm mục đích tối ưu hóa mạng và thiết bị để kết nối với hàng tỷ thiết bị giá rẻ có thời lượng pin dài. Nền tảng thứ ba nhắm đến việc cung cấp độ trễ rất thấp dưới 1 mili giây với độ tin cậy cực cao 99,9999%.

1.3 Các thành phần công nghệ của 5G

Các mục tiêu của mạng 5G nằm ngoài khả năng của các mạng di động hiện có. Một số công nghệ mới là cần thiết để hoàn thành tất cả các mục tiêu đó. Các thành phần chính của công nghệ mới được thể hiện trong Hình 1.3.



Hình 1.7. Các thành phần mấu chốt của 5G

1.3.1 Phổ tần mới

5G là công nghệ vô tuyến di động đầu tiên được thiết kế để hoạt động trên bất kỳ dải tần nào trong khoảng từ 400 MHz đến 90 GHz. Băng tần thấp cần thiết cho vùng phủ sóng và băng tần cao cho tốc độ và dung lượng dữ liệu cao. Các lần triển khai 5G ban đầu sử

dụng Song công phân chia theo thời gian (TDD) trong khoảng 2,5 đến 5,0 GHz, Song công phân chia theo tần số (FDD) dưới 2,7 GHz và TDD ở sóng milimet ở 24–39 GHz.

1.3.2 Định dạng chùm nhiều đầu vào nhiều đầu ra (MIMO) và Beamforming

MIMO có thể tăng đáng kể hiệu quả quang phổ và vùng phủ sóng mạng. Beamforming thực tế hơn ở tần số cao hơn vì kích thước ăng-ten tương đương với bước sóng và kích thước ăng-ten trở nên nhỏ hơn ở tần số cao hơn. Trong thực tế, MIMO lớn có thể được sử dụng ở tần số trên 1 GHz trong các trạm gốc và ở sóng milimet ngay cả trong các thiết bị. Massive MIMO sẽ là một phần của thông số kỹ thuật và triển khai 5G từ ngày đầu tiên.

1.3.3 Cắt mạng (Network Slicing)

Các lớp vật lý và giao thức trong 5G cần được thiết kế linh hoạt để hỗ trợ các trường hợp sử dụng khác nhau, các dải tần số khác nhau và để tối đa hóa hiệu suất năng lượng và quang phổ. Chia mạng sẽ tạo các phân đoạn mạng ảo cho các dịch vụ khác nhau trong cùng một mạng 5G. Khả năng cắt này cho phép các nhà khai thác hỗ trợ các trường hợp sử dụng khác nhau và các khách hàng doanh nghiệp mà không cần phải xây dựng các mạng chuyên dụng.

1.3.4 Kết nối kép và cùng tồn tại với LTE

5G có thể được triển khai như một hệ thống độc lập, nhưng điển hình hơn là 5G sẽ được triển khai cùng với LTE trong giai đoạn đầu. Một thiết bị 5G có thể có các kết nối vô tuyến đồng thời tới 5G và LTE. Kết nối kép có thể giúp việc giới thiệu 5G trở nên đơn giản hơn, có thể tăng tốc độ dữ liệu của người dùng và cải thiện độ tin cậy. 5G cũng được thiết kế để cùng tồn tại LTE, giúp chia sẻ phổ tần khả thi và đơn giản hóa việc tái tạo phổ tần.

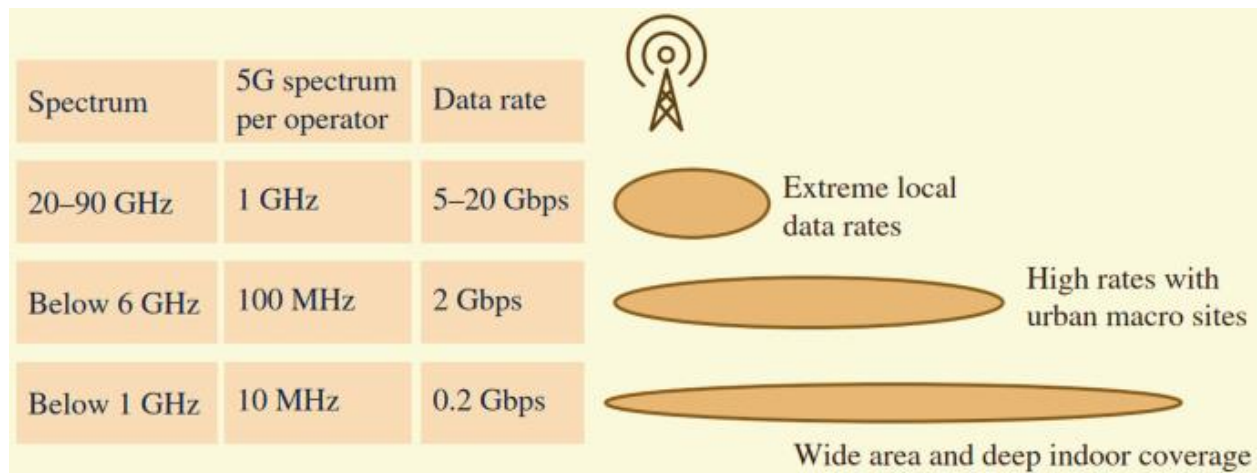
1.3.5 Hỗ trợ triển khai điện toán đám mây và điện toán biên.

Kiến trúc hiện tại trong các mạng LTE được phân phối đầy đủ trong đài phát thanh và tập trung hoàn toàn trong mạng lõi. Độ trễ thấp yêu cầu nội dung phải được đưa đến gần radio, điều này dẫn đến đột phá cục bộ và điện toán cạnh. Khả năng mở rộng yêu cầu các lợi ích của đám mây phải được mang đến các mạng vô tuyến với kiến trúc đám mây biên.

Các mạng lõi và vô tuyến 5G được chỉ định để triển khai đám mây gốc, bao gồm các giao diện mới bên trong mạng vô tuyến.

1.4 Phổ tần dành cho 5G

Vô tuyến 5G được thiết kế để sử dụng linh hoạt tất cả các tùy chọn phổ tần có sẵn từ 400 MHz đến 90 GHz bao gồm cả cấp phép, chia sẻ và không cấp phép; song công FDD và TDD; và phân bổ băng hẹp và băng rộng. Ba tùy chọn phổ chính được minh họa trong Hình 1.8. Phổ sóng milimet trên 20 GHz có thể cung cấp băng thông rộng lên đến 1–2 GHz, giúp tăng tốc độ dữ liệu lên mức rất cao 5–20 Gbps cho dung lượng băng thông rộng di động cực cao. Sóng milimet chủ yếu phù hợp cho việc sử dụng cục bộ như các sự kiện lớn, điểm phát sóng ngoài trời và trong nhà cũng như trường hợp sử dụng không dây cố định. Sóng milimet cũng có thể được sử dụng để giảm tải lưu lượng truy cập từ băng tần thấp ở các khu vực điểm truy cập bận rộn. Một trường hợp sử dụng sóng milimet là cung cấp công suất rất cao cho các hệ thống giao thông công cộng như tàu hỏa hoặc xe điện.

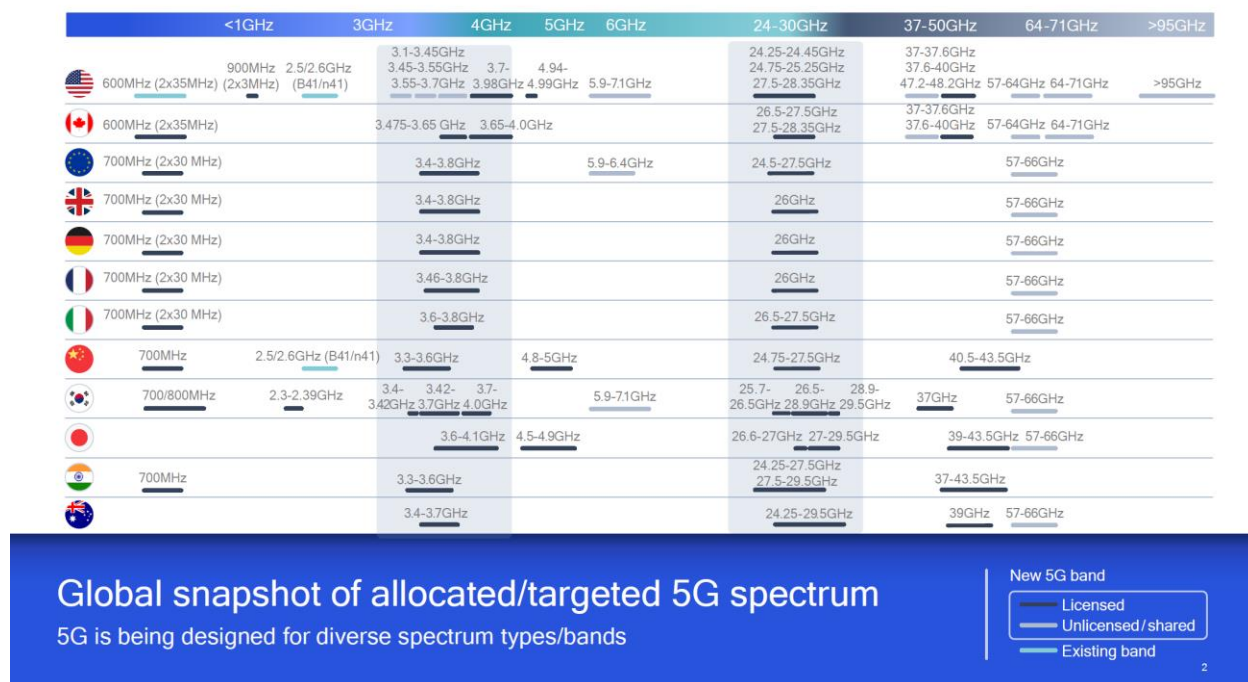


Hình 1.8. Phổ tần cho 5G và ứng dụng

Phổ tần giữa dải tần 2,5–5,0 GHz sẽ được sử dụng cho dung lượng và vùng phủ sóng 5G ở các khu vực đô thị bằng cách sử dụng lại các vị trí trạm gốc hiện có. Phổ tần khoảng 3,5 GHz rất hấp dẫn đối với 5G vì nó có sẵn gần như trên toàn cầu và lượng băng thông có thể lên tới 100 MHz trở lên cho mỗi nhà khai thác ở tần số đó. Tốc độ dữ liệu tối đa là 2 Gbps với băng thông 100 MHz và 4×4 MIMO. Vùng phủ sóng 5G ở 3,5 GHz có thể tương tự như vùng phủ sóng LTE1800 nếu sử dụng định dạng chùm MIMO lớn.

Các băng tần thấp dưới 3 GHz, đối với FDD, là cần thiết để phủ sóng vùng nông thôn trên diện rộng, độ trễ thấp và độ tin cậy cao cũng như khả năng thâm nhập sâu trong nhà. Phạm vi phủ sóng rộng rãi rất quan trọng đối với các trường hợp sử dụng mới như IoT và giao tiếp quan trọng. Băng tần thấp có thể là 700 MHz, được cung cấp ở nhiều quốc gia cùng lúc với 5G. Một tùy chọn khác là 900 MHz, hầu hết được chiếm bởi 2G và 3G ngày nay, hoặc 600 MHz ở Hoa Kỳ. Bất kỳ băng tần FDD nào khác cũng có thể được giới thiệu thành 5G. LTE và 5G có thể được triển khai trên cùng một băng tần bằng cách sử dụng giải pháp chia sẻ phổ tần động, giúp quá trình tái trang bị diễn ra suôn sẻ.

Các tùy chọn phổ tần 5G toàn cầu được hiển thị trong Hình 1.9. Có thể tìm thấy phổ tần giữa dải tần từ 2,5 đến 5,0 GHz ở hầu hết các quốc gia cũng như phổ sóng milimet ở một số quốc gia đang phát triển. Giai đoạn 3GPP đầu tiên cho 5G cung cấp hỗ trợ dải tần số lên tới 52,6 GHz và các dải tần số cao hơn sẽ được xử lý trong các phiên bản 5G sau này. Ở các băng tần thấp, 5G có thể sử dụng phân bổ 600 hoặc 700 MHz mới hoặc thực hiện điều chỉnh lại các băng tần hiện có. 5G có thể kết hợp nhiều băng tần với nhau để tăng hiệu suất vượt xa những gì đạt được chỉ với một băng tần. Giải pháp có thể là tổng hợp sóng mang hoặc kết nối kép.



Hình 1.9. Tùy chọn phổ tần 5G trên thế giới

1.5 Dung lượng của 5G

Vô tuyến 5G có thể mang lại những lợi ích lớn về hiệu suất và hiệu quả của mạng so với đài LTE; xem tóm tắt trong Hình 1.6. Chúng tôi mong đợi tốc độ dữ liệu cao hơn đáng kể, chi phí trên mỗi bit thấp hơn rõ ràng, hiệu suất quang phổ cao hơn, hiệu suất năng lượng mạng cao hơn, hiệu quả sử dụng năng lượng của thiết bị IoT được cải thiện và độ trễ thấp hơn. Các giá trị dựa trên các giả định sau:

Tốc độ cao nhất là 10 Gbps giả định băng thông 1 GHz với điều chế 2×2 MIMO và 256 QAM với 10 bps/Hz.

Chi phí cho mỗi byte xem xét chi phí vốn mạng (capex) và chi phí hoạt động (opex). Tính toán giả định thông lượng trung bình trong giờ bận là 1 Gbps cho trạm cơ sở vĩ mô ba khu vực, giờ bận chia sẻ 7% lưu lượng hàng ngày, thời gian khấu hao là 5 năm, 20% số trạm gốc mang 50% lưu lượng, chi phí đầu tư cho trạm gốc 40 000 EUR, và opex đó bằng capex. Chi phí cho mỗi byte trong 5G có thể thấp hơn 10 lần so với LTE trong trường hợp tham chiếu do hiệu suất phổ cao hơn và băng thông rộng hơn, cung cấp nhiều dung lượng hơn cho mỗi sóng mang trong 5G.

Thời gian truyền trong 5G là 0,125 mili giây và thậm chí còn ít hơn với khe cắm mini, cho phép thời gian khứ hồi là 1–2 mili giây cùng với kiến trúc 5G cho phép cung cấp dịch vụ cục bộ. Thời gian khứ hồi LTE thực tế là 10–15 mili giây.

Mức tiêu thụ điện năng trung bình cho một thiết bị IoT được giả định là 300 mW trong thời gian hoạt động và 0,02 mW trong khi ngủ sâu. Với một lần truyền mỗi phút và mỗi lần truyền kéo dài 0,1 giây, mức tiêu thụ năng lượng ít hơn 10 μ Wh trên mỗi lần truyền.

Hiệu suất năng lượng giả định một trạm cơ sở vĩ mô 100 MHz ba khu vực, thông lượng trung bình trong giờ bận là 1 Gbps, tỷ lệ chia sẻ trong giờ bận là 7%, mức tiêu thụ điện năng trung bình của trạm gốc là 200 W và 20% trạm gốc đó mang 50% lưu lượng. Cải thiện hiệu quả gấp 5 lần so với LTE nhờ các kỹ thuật tiết kiệm năng lượng ở mức tải thấp và với sóng mang băng rộng lên đến 100 MHz.

- Hiệu suất phổ 10 bps/Hz/ô giả định việc sử dụng định dạng chùm MIMO lớn và bốn thiết bị ăng-ten. Hiệu suất đường xuống LTE điển hình là 1,5–2,0 bps/Hz/cell trong mạng trực tiếp với 2×2 MIMO.

1.6 Ứng dụng

- Các nhà khai thác dịch vụ mạng toàn cầu bắt đầu tung ra mạng 5G mới vào đầu năm 2019. Ngoài ra, tất cả các nhà sản xuất điện thoại lớn đều đang thương mại hóa điện thoại 5G. Trong tương lai không xa, thậm chí nhiều người có thể truy cập 5G. Tính đến thời điểm hiện tại, 5G đã được triển khai ở hơn 60 quốc gia và đang tiếp tục tăng lên.

- Ba lĩnh vực ứng dụng chính:

1. Băng thông di động nâng cao (eMBB): Mạng điện thoại di động, các điểm phát sóng tốt hơn. Tốc độ dữ liệu cao, mật độ người dùng cao. Giao tiếp lấy con người làm trung tâm.

2. Truyền thông siêu tin cậy và độ trễ thấp (URLLC): Giao tiếp giữa các phương tiện, IoT công nghiệp, trò chơi 3D. Giao tiếp lấy con người và máy làm trung tâm.

3. Truyền thông thời gian máy khối lượng lớn (mMTC): Số lượng thiết bị rất lớn, tốc độ dữ liệu thấp, năng lượng thấp. IoT với thời gian sử dụng pin dài. Bổ sung cho GSM, LoRa, Zigbee, v.v. Giao tiếp lấy máy làm trung tâm.

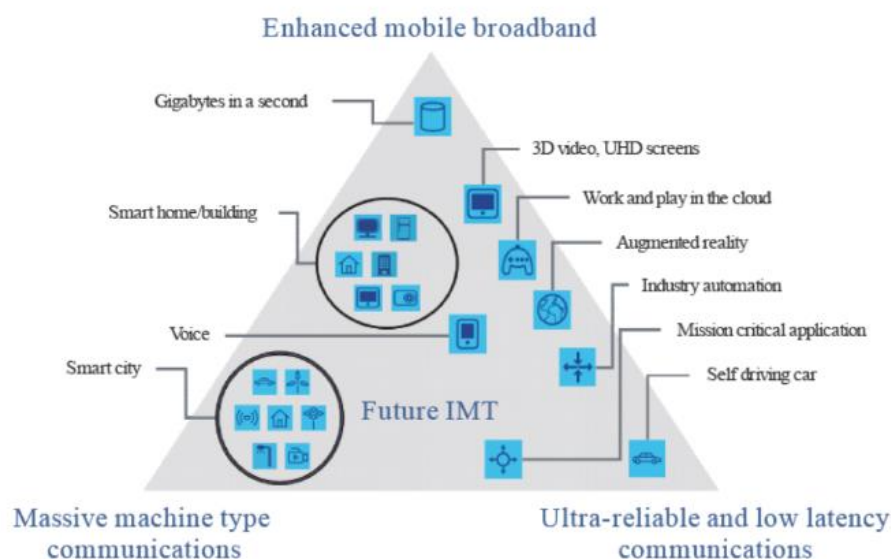
- Dưới đây là một số ứng dụng của công nghệ 5G hiện nay:

- Cung cấp các dịch vụ internet gia đình dựa trên mạng 5G băng tần trung và băng tần cao thay thế các đường truyền cáp quang tới từng nhà bằng một điểm cáp quang di động và kết nối đến các hộ gia đình qua modem không dây (dịch vụ này đã được thử nghiệm và triển khai bởi T-Mobile và Verizon Communications)

- Điều khiển từ xa robot và máy bay không người lái sử dụng 5G để gửi lại dữ liệu video và cảm biến đóng vai trò trong ngành công nghiệp, nông nghiệp và cứu hỏa.

- Riêng trong ngành y tế, 5G đang cách mạng hóa cách các chuyên gia y tế và bệnh nhân làm việc cùng nhau. Trên mạng 5G, Trí tuệ nhân tạo đang được nghiên cứu và phát

triển để có thể sớm chẩn đoán và phát triển các kế hoạch điều trị cho con người tốt hơn cả những gì bác sĩ có thể làm.



Hình 1.10. Ứng dụng của 5G

1.7 Cơ hội và thách thức

1.7.1 Cơ hội

- Với sự phát triển của 5G, khả năng cho phép kết nối nhân rộng sẽ thúc đẩy sự phát triển của mạng lưới IoT ứng dụng trong công nghiệp và đời sống. Với tốc độ cao, thời gian phản hồi nhanh và độ trễ cực thấp sẽ đóng góp lớn vào sự phát triển của các giải pháp sáng tạo cũng như điều khiển máy móc từ xa. Gia tăng hiệu suất của các hệ thống tự động hóa. Bên cạnh đó là giảm thiểu chi phí và năng lượng tiêu thụ trên thiết bị.

1.7.2 Thách thức

- Cơ sở hạ tầng để có thể phục vụ cho việc thiết kế kiến trúc và triển khai mạng 5G là rất phức tạp. Các yêu cầu về cơ sở hạ tầng mạng 5G liên quan đến tần số mmWave, chỉ có thể phủ sóng trong một khoảng cách ngắn. Do đó, đòi hỏi cần phải có một mạng lưới siêu dày đặc các trạm thu phát sóng nhỏ.

- Việc bổ sung các thành phần cơ sở hạ tầng mạng 5G có nghĩa là cần có thêm phần cứng và phần mềm hỗ trợ. Trên hết là chi phí để mua phổ tần, cấu hình, kiểm tra và quản lý

mạng, hay chi phí bảo trì và cập nhật liên tục.

- Việc triển khai 5G cũng yêu cầu triển khai hệ thống cáp quang. Tùy theo vị trí địa lý mà việc lắp đặt có thể mất đến vài tháng nên sẽ bao gồm cả việc phải mở rộng mạng không dây (thời tiết mưa và các yếu tố khác có thể ảnh hưởng đến hiệu suất truyền tín hiệu không dây, chẳng hạn như vi sóng và mmWave).

- Những thách thức với 5G bao gồm khả năng cung cấp băng thông cần thiết cho người dùng với các thiết bị có tốc độ dữ liệu cao hơn. Sử dụng tần số trên 6GHz cho phép các mạng thực hiện điều này. Tuy nhiên, tần số cao gây ra các vấn đề với 5G. Đối với người mới bắt đầu, phạm vi của nó ngắn, đó là lý do tại sao cần nhiều ô nhỏ để bao phủ một khu vực. Cây cối, tòa nhà và các vật thể khác có thể cản trở tín hiệu, nên có thể sẽ yêu cầu các tháp di động để tránh mất đường tín hiệu.

- Phần lớn các cơ sở hạ tầng công nghệ viễn thông không dây 5G có thể sẽ được kế thừa, cải tiến và lắp đặt dựa trên nền tảng của các hệ thống viễn thông công nghệ sẵn có, chẳng hạn như mạng 4G LTE. Điều này đồng nghĩa với việc bất kỳ lỗ hổng nào đã tồn tại trong các mạng trước đó sẽ đe dọa an ninh của mạng 5G. Điều này đặt ra thách thức đối không nhỏ đối với an ninh mạng 5G.

- Nhiều thành phần hơn cũng tham gia vào việc triển khai công nghệ 5G, giúp tăng số lượng điểm truy cập và biên mạng. Cơ sở hạ tầng công nghệ 5G thường dựa vào tháp di động, tạo chùm tia, tế bào nhỏ và thiết bị di động. Điều này làm tăng bề mặt tấn công kỹ thuật số.

- 5G không thay đổi các nguyên tắc cơ bản về bảo mật. Như với 4G, người dùng cuối vẫn sẽ phải giải quyết các vấn đề liên quan đến tính xác thực và bảo mật 5G để bảo vệ thông tin của họ. Sự khác biệt bây giờ là, việc mất hiệu lực bảo mật cho mạng không dây di động 5G có thể dẫn đến nhiều hệ quả lớn – mất quyền điều khiển hệ thống máy móc kỹ thuật tự động hay các hệ thống giám sát từ xa.

1.8 Tổng kết chương

Chương này đã giới thiệu tổng quan về các mạng viễn thông di động từ khi bắt đầu xuất hiện mạng 1G đến mạng 5G hiện nay cũng như những ưu điểm nổi bật, những thách

thức cần nghiên cứu của mạng 5G. Qua đó, cung cấp cái nhìn tổng quan về lý do lựa chọn đề tài. Ngoài ra, nội dung Chương I cũng bước đầu đề cập đến vai trò của mạng 5G trong hiện tại và tương lai.

Chương 2.

KỸ THUẬT MÃ HÓA KIỂM TRA CHẴN LẼ MẬT ĐỘ THẤP TRONG 5G

2.1 Giới thiệu

Mã hóa kênh đã xuất hiện kể từ khi Shannon áp dụng lý thuyết xác suất để nghiên cứu hệ thống thông tin liên lạc. Các lỗi gây ra bởi nhiễu kênh có thể được giảm xuống mức mong muốn bằng cách sử dụng lược đồ mã hóa thích hợp cho tốc độ truyền đã cho nhỏ hơn hoặc bằng dung lượng kênh. Mã hóa kênh có thể giảm thiểu ảnh hưởng của nhiễu kênh bằng cách sử dụng bộ mã hóa mã hóa các bit thông tin bằng cách thêm các bit dư thừa và bộ giải mã khai thác các bit dư thừa và truy xuất các bit thông tin bằng thuật toán giải mã. Có nhiều phương thức mã hóa kênh, bao gồm mã chập, mã Turbo, mã Polar (mã cực) và mã LDPC (mã kiểm tra chẵn lẻ mật độ thấp). Mã chập và mã Turbo được sử dụng cho phiên bản LTE của thế hệ thứ tư (4G) (LTE). Trong tiêu chuẩn 3GPP 5G, mã cực (Polar) và mã LDPC được khuyến nghị cho 5G NR. Mã cực được áp dụng cho các kênh điều khiển 5G NR và mã LDPC phù hợp với các kênh chia sẻ 5G NR.

Mã cực lần đầu tiên được đề xuất bởi Arikan vào năm 2009. Khả năng đạt được năng lực của các mã cực có thể được chứng minh bằng một hiện thực cụ thể. Hơn nữa, giải mã hủy liên tiếp đơn giản là đủ để đạt được Năng lực nền. Trong 5G, thông tin điều khiển thường được truyền với một lượng nhỏ bit thông tin và kích thước khối nhỏ, do đó cần có tốc độ mã thấp với hiệu suất tốt trong BLER thấp hơn. Mã cực có thể đáp ứng yêu cầu này.

Gallager đã phát minh ra mã LDPC vào năm 1962. Mã LDPC là mã khối tuyến tính dựa trên ma trận kiểm tra chẵn lẻ thưa thớt. Nó bị lãng quên hàng chục năm vì khả năng tính toán hạn chế. Trong những năm gần đây, mã LDPC thu hút nhiều sự chú ý hơn do thuật toán giải mã hiệu quả, khả năng sửa lỗi tuyệt vời và hiệu suất của chúng gần với giới hạn Shannon đối với độ dài mã lớn. 5G cần hỗ trợ thông lượng cao lên đến 20 Gbps và nhiều kích thước khối với tốc độ mã khác nhau cho các kênh dữ liệu và yêu cầu lặp lại tự động kết hợp (HARQ). Mã LDPC có thể đáp ứng các yêu cầu.

Mã LDPC được xác định là sơ đồ mã hóa kênh dữ liệu 5G NR tại 2016 Hội nghị

3GPP. Sau đó, nghiên cứu triển khai mã 5G LDPC được tăng dần. Ma trận cơ sở của tốc độ mã ban đầu được chia nhỏ và càng nhỏ ma trận cơ sở con được sử dụng để thay thế toàn bộ ma trận cơ sở, giúp cải thiện hiệu quả và thông lượng mã hóa và giải mã. Việc triển khai mã hóa LDPC có độ trễ thấp luôn là trọng tâm của LDPC nghiên cứu ứng dụng. Để thực hiện bộ mã hóa, nếu thuật toán nhân ma trận sinh G được sử dụng trực tiếp, độ phức tạp lưu trữ dữ liệu và tính toán là bậc hai trong độ dài mã. Các biểu đồ cơ sở được xác định trong 3GPP TS 38.212 là ma trận kiểm tra chẵn lẻ có cấu trúc, có thể hỗ trợ hiệu quả HARQ và khả năng tương thích tốc độ có thể hỗ trợ lượng bit thông tin được truyền tùy ý với tốc độ mã thay đổi.

Trong 5G NR, sơ đồ mã hóa kênh cũng sử dụng mã QC-LDPC (LDPC giả vòng). Để tương thích với nhiều kịch bản, tiêu chuẩn 5G đã phát triển hai biểu đồ cơ sở khác nhau, BG1 và BG2, tương ứng với hai ma trận cơ sở khác nhau, H_{BG1} và H_{BG2} . Theo kích thước nâng của mã 5G QC-LDPC, ma trận H_{BG} tương ứng với tổng số 16 ma trận kiểm tra chẵn lẻ (PCM) xác định sơ đồ mã hóa 5G LDPC. Do đó, phần cứng hỗ trợ mã 5G NR phải cung cấp mức độ linh hoạt cao để đáp ứng các PCM khác nhau.

5G NR có ba kịch bản, Mobile Broadband tăng cường (eMBB), Giao tiếp độ trễ thấp cực kỳ đáng tin cậy (URLLC) và Giao tiếp loại Machine lớn (mMTC). Cụ thể, nó yêu cầu thông lượng tối đa là 10 Gbps cho đường lên, 20 Gbps cho đường xuống và độ trễ mặt phẳng người dùng là 4 mili giây đối với eMBB và 1 mili giây đối với URLLC. Sau khi đánh giá bởi 3GPP, đã xác nhận rằng lược đồ mã hóa LDPC trong BG2 được thiết kế cho các kịch bản eMBB được sử dụng trong các kịch bản URLLC (chủ yếu là độ trễ thấp). Trong một số nghiên cứu, bộ mã hóa 5G LDPC được thiết kế theo chuỗi mã hóa hoàn chỉnh của các kênh đường lên và đường xuống, bao gồm mã hóa kiểm tra vòng dư CRC, phân đoạn khối mã, mã hóa LDPC, thích ứng tốc độ và xen kẽ bit. Tại máy phát trạm gốc, mã hóa kênh là hoạt động quan trọng ảnh hưởng đến thời gian xử lý bit trong lớp vật lý. Do đó, cần đề xuất thuật toán mã hóa song song cao hơn và kiến trúc phần cứng cho 5G QC-LDPC.

2.1.1 Biểu đồ cơ sở và ma trận kiểm tra chẵn lẻ

Trong tiêu chuẩn 3GPP TS 38.212, có hai loại biểu đồ cơ sở và việc sử dụng chúng

được xác định bởi tốc độ mã và kích thước của bit thông tin, biểu đồ cơ sở 1 có 46 hàng và 68 cột, biểu đồ cơ sở 2 có 42 hàng và 52 cột cho NR 5G.

Với biểu đồ cơ sở 1:

$$K = 22Z_c \quad (2.1)$$

Với biểu đồ cơ sở 2:

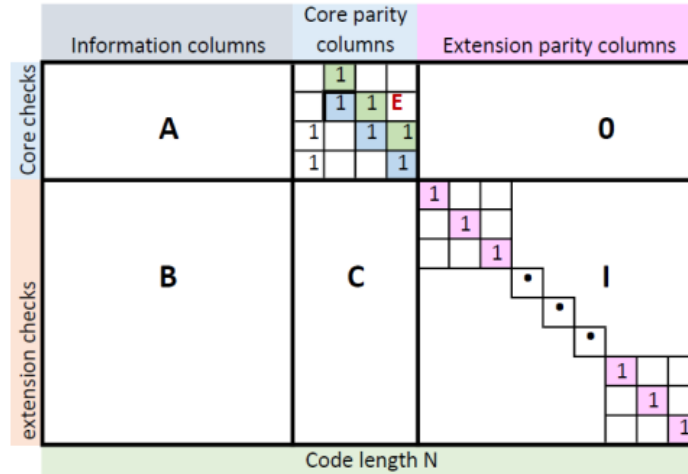
$$K = 10Z_c \quad (2.2)$$

Trong đó: K là số bit thông tin tối đa và Z_c là kích thước nâng được thể hiện trong bảng 2.1. Có 51 kích thước nâng từ 2 đến 384 cho mỗi biểu đồ cơ sở.

Bảng 2.1 Tập kích thước nâng của LDPC

| Chỉ số i_{LS} | Kích thước nâng Z_c |
|-----------------|-------------------------|
| 0 | 2,4,8,16,32,64,128,256 |
| 1 | 3,6,12,24,48,96,192,384 |
| 2 | 5,10,20,40,80,160,320 |
| 3 | 7,14,28,56,112,224 |
| 4 | 9,18,36,72,144,288 |
| 5 | 11,22,44,88,176,352 |
| 6 | 13,26,52,104,208 |
| 7 | 15,30,60,120,240 |

Cả biểu đồ cơ sở 1 và biểu đồ cơ sở 2 đều có cấu trúc khối như Hình 2.1. Các cột bao gồm cột thông tin, cột chẵn lẻ cốt lõi và cột chẵn lẻ mở rộng. Các hàng được chia thành các hàng kiểm tra cốt lõi và các hàng kiểm tra mở rộng.



Hình 2.1. Cấu trúc khối của biểu đồ cơ sở

2.1.2 Tính toán ma trận kiểm tra chẵn lẻ

Ma trận kiểm tra chẵn lẻ H thu được bằng cách thay thế từng phần tử của đồ thị cơ sở H_{BG} bằng ma trận $Z_c \times Z_c$, theo các quy tắc sau:

- + Mỗi phần tử có giá trị -1 trong H_{BG} được thay thế bằng một ma trận toàn không có kích thước $Z_c \times Z_c$;
- + Mỗi phần tử có giá trị 0 trong H_{BG} được thay thế bằng một ma trận đơn vị có kích thước $Z_c \times Z_c$;
- + Mỗi phần tử có giá trị từ 1 đến $Z_c - 1$ trong H_{BG} được ký hiệu là Số P_i ; j được thay thế bằng ma trận hoán vị vòng tròn $I(P_{i,j})$ có kích thước $Z_c \times Z_c$, trong đó i và j là chỉ số hàng và cột của phần tử và $I(P_{i,j})$ thu được bằng cách dịch chuyển tròn ma trận đơn vị I có kích thước $Z_c \times Z_c$ sang phải $V_{i,j}$ lần.

Ưu điểm chính của việc sử dụng ma trận nhận dạng chuyển dịch tròn là nó có thể giảm yêu cầu bộ nhớ để thực hiện đồng thời có thể tạo thuận lợi cho việc sử dụng mạng chuyển đổi đơn giản để mã hóa và giải mã.

Giả sử B là biểu đồ cơ sở với kích thước nâng là 4:

$$B = \begin{bmatrix} 2 & -1 & 1 & 3 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 3 & 2 & 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

B là kích thước của thông tin khối vận chuyển với các bit CRC và $B = A + L$.

Nếu $A > 3824$, đa thức sinh g_{CRC24A} được sử dụng:

$$g_{CRC24A}(D) = [D^{24} + D^{23} + D^{18} + D^{17} + D^{14} + D^{11} + D^{10} + D^7 + D^6 + D^5 + D^4 + D^3 + D + 1] \quad (2.3)$$

Chiều dài L của các bit chẵn lẻ là 24.

Nếu không, đa thức sinh g_{CRC16} được sử dụng:

$$g_{CRC16}(D) = [D^{16} + D^{12} + D^5 + 1] \quad (2.4)$$

Chiều dài L của các bit chẵn lẻ là 16.

Các bit bản tin sau khi gắn CRC đạt được thông qua biểu thức sau:

$$b_k = \begin{cases} b_k = a_k; & \text{với } k = 1, 2, \dots, A \\ p_{k-A+1}; & \text{với } k = A + 1, A + 2, \dots, A + L \end{cases} \quad (2.5)$$

2.2.2 Lựa chọn biểu đồ cơ sở LDPC

Biểu đồ cơ sở LDPC được lựa chọn dựa trên kích thước của bản tin khối truyền tải A và tỉ lệ mã khối truyền tải R. Nếu $A \leq 292$ hoặc nếu $A \leq 3824$ và $R \leq 0,67$ hoặc nếu $R \leq 0,25$, sẽ lựa chọn biểu đồ cơ sở 2. Ngược lại, sẽ lựa chọn biểu đồ cơ sở 1.

2.2.3 Phân mảnh khối mã và gắn CRC khối mã

Bản tin đầu vào của phân mảnh khối mã là bản tin truyền tải có CRC ký hiệu là $b_1; b_2; \dots; b_B$, với B là kích thước của bản tin đầu vào. Giả sử kích thước khối mã cực đại là K_{cb} , với $K_{cb} = 8448$ cho biểu đồ cơ sở 1 và $K_{cb} = 3840$ với biểu đồ cơ sở 2. Phân mảnh khối mã dựa trên quy tắc sau. Giả sử C là số lượng khối mã.

Nếu $B \leq K_{cb}$:

$$C = 1; L_{cbCRC} = 0, B' = B \quad (2.6)$$

Ngược lại:

$$C = \left\lceil \frac{B}{K_{cb} - L_{cbCRC}} \right\rceil, L_{cbCRC} = 24, B' = B + CL \quad (2.7)$$

Giả sử đầu ra của phân mảnh khối mã là $c_r 1, c_r 2, \dots, c_r K_r$, trong đó $1 \leq r \leq c$ là số khối mã và $K_r = K$ là số bit của khối mã r .

$$K_b \cdot Z_c \geq K' \quad (2.8)$$

Trong đó K' là số bit thông tin và bit CRC trong khối mã và $K' = B'/C$. K' liên quan đến loại biểu đồ cơ sở và kích thước bản tin đầu vào B như thể hiện trong bảng 3.2

Bảng 3.2 Giá trị của K'

| Base graph | B | K_b |
|------------|--------------------|-------|
| 1 | all | 22 |
| 2 | $B > 640$ | 10 |
| 2 | $560 < B \leq 640$ | 9 |
| 2 | $192 < B \leq 560$ | 8 |
| 2 | $B \leq 192$ | 6 |

Đầu ra của phân mảnh khối mã c_{rk} được tính toán theo:

Nếu $C=1$:

$$c_k = \begin{cases} b_k; & \text{với } 1 \leq k \leq B \\ 0; & \text{với } B + 1 \leq k \leq K \end{cases} \quad (2.9)$$

Nếu $C>1$, khối mã có gắn CRC sử dụng đa thức sinh $g_{CRC24B}(D)$ với chiều dài bit kiểm tra $L=24$

$$g_{CRC24B}(D) = [D^{24} + D^{23} + D^6 + D + 1] \quad (2.10)$$

Giả sử các bit CRC là $p_{r1}; p_{r2}; \dots; p_{rL}$:

$$c_k = \begin{cases} b_k & \text{với } 1 \leq k \leq K' - L_{cbCRC} \\ p_{r(k+L_{cbCRC}-K')} & \text{với } K' - L_{cbCRC} + 1 \leq k \leq K' \\ 0 & K' + 1 \leq k \leq K \end{cases} \quad (2.11)$$

Trong đó $1 \leq r \leq C$ và K là số bit thông tin cực đại của biểu đồ cơ sở.

2.2.4 Mã hóa LDPC

Bản tin đầu vào của bộ mã hóa LDPC là $c_r 1, c_r 2, \dots, c_r K_r$ và mỗi bản tin khối mã được mã hóa độc lập. Chi tiết của phân mã hóa LDPC sẽ được trình bày ở **mục....**

2.2.5 Thích ứng tốc độ

Mục tiêu của thích ứng tốc độ đó là thực hiện thích nghi với các tốc độ mã khác nhau. Thích ứng tốc độ dựa trên phiên bản dư thừa (RV) từ 0 đến 3. Mỗi RV chia biểu đồ cơ sở, ngoại trừ hai cột đầu tiên, thành bốn phần ở các vị trí khác nhau. RV0 rất phù hợp cho lần truyền đầu tiên và có khả năng tự giải mã tốt. Khi không có tín hiệu chỉ số RV rõ ràng, RV0 là tùy chọn tốt nhất cho cả biểu đồ cơ sở 1 và biểu đồ cơ sở 2.

Thích ứng tốc độ được thực hiện độc lập trên từng khối mã. Giả sử rằng bản tin đầu vào cho khối mã thứ r là d_1, d_2, \dots, d_N , trong đó $N = 66Z_c$ đối với biểu đồ cơ sở 1 và $N = 50Z_c$ đối với biểu đồ cơ sở 2. E_r là độ dài của thông báo đầu ra khớp tốc độ của khối mã thứ r . Thông báo đầu ra sau khi thích ứng tốc độ của khối mã thứ r là e_1, e_2, \dots, e_{E_r} được tính bằng:

$$e_k = d_k, \text{ nếu } d_k \neq 0, \text{ với } 1 \leq k \leq E_r \quad (2.12)$$

2.2.6 Kết nối khối mã

Mục đích của nối khối mã là nối tất cả bản tin khối mã thành một chuỗi bản tin khối truyền tải, bản tin này sẽ được truyền qua kênh vật lý. Giả sử rằng bản tin đầu ra của khối nối mã là g_1, g_2, \dots, g_G với G là chiều dài mong muốn của khối truyền tải:

$$g_k = e_{rj}, \text{ với } 1 \leq k \leq G, 1 \leq r \leq C, 1 \leq j \leq E_r \quad (2.13)$$

2.3 Chuỗi giải mã LDPC

2.3.1 Tách nối khối mã

Tách nối khối mã được sử dụng để chia bản tin khối truyền tải thành C bản tin khối mã. Giả sử rằng bản tin đầu vào cho quá trình tách nối khối mã là y_1, y_2, \dots, y_G . Bản tin đầu ra từ việc tách khối mã là $f_{r1}, f_{r2}, \dots, f_{rE_r}$

$$f_{rj} = y_k, \text{ với } 1 \leq k \leq G, 1 \leq r \leq C, 1 \leq j \leq E_r \quad (2.14)$$

2.3.2 Giải thích ứng tốc độ

Mục đích của việc giải thích ứng tốc độ là chuyển đổi bản tin khối mã sang định dạng có thể được sử dụng cho ma trận kiểm tra chẵn lẻ 5G LDPC để xử lý giải mã. Giải thích

ứng tốc độ được thực hiện trên mỗi khối mã một cách độc lập. Giả sử rằng bản tin đầu vào là f_1, f_2, \dots, f_{E_r} . Bản tin đầu ra từ việc giải thích ứng tốc độ là $g_1, g_2, \dots, g_{N+2Z_c}$, trong đó $N = 66Z_c$ cho biểu đồ cơ sở 1 và $N = 50Z_c$ cho biểu đồ cơ sở 2.

$$c_k = \begin{cases} 0 & \text{với } 1 \leq k \leq 2Z_c \\ f_k & \text{với } 2Z_c + 1 \leq k \leq E_r \\ 0 & E_r + 1 \leq k \leq N + 2Z_c \end{cases} \quad (2.15)$$

2.3.3 Giải mã LDPC

Giải mã LDPC được thực hiện độc lập trên từng khối mã. Hiện nay có nhiều thuật toán được sử dụng để giải mã LDPC. Chi tiết của phần này được trình bày ở mục.....

2.3.4 Giải phân mảnh khối mã

Giải phân mảnh khối mã được sử dụng để trích xuất các bit bản tin và các bit CRC đính kèm khối truyền tải. Giả sử rằng đầu ra từ việc giải phân mảnh khối mã là $\hat{b}_1, \hat{b}_2, \dots, \hat{b}_B$, trong đó B là kích thước của thông tin khối truyền tải ban đầu với các bit CRC đính kèm. Đầu vào cho quá trình giải phân mảnh khối mã là $h_{r1}, h_{r2}, \dots, h_{rN+2Z_c}$:

$$\hat{b}_k = h_{rs}, \text{ với } 1 \leq k \leq B, 1 \leq r \leq C, 1 \leq s \leq K' - L_{cbCRC} \quad (2.16)$$

Với K' là chiều dài của bit mang tin và CRC trong khối mã và L_{cbCRC} là chiều dài của CRC trong khối mã.

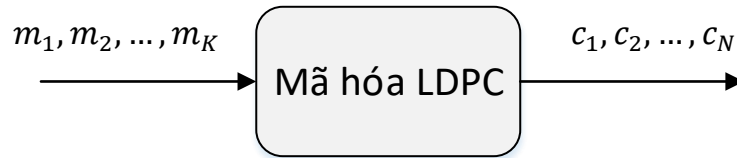
2.3.5 Kiểm tra CRC

Kiểm tra CRC được sử dụng để trích xuất các bit CRC trong khối truyền tải sau khi thông tin được truyền trong các kênh chia sẻ 5G NR. Sau đó, các bit CRC được trích xuất sẽ được kiểm tra với các bit CRC ban đầu được gắn vào thông tin khối truyền tải trước khi truyền đi.

2.4 Mã hóa LDPC

Mã hóa LDPC nhằm mục đích thêm các bit dư thừa vào thông báo từ người gửi để lấy từ mã sẽ được truyền đến người nhận. Giả sử thông điệp được mã hóa được ký hiệu là m_1, m_2, \dots, m_K , trong đó K là số bit bản tin. Các bit dư thừa được gọi là bit chẵn lẻ ký hiệu là p_1, p_2, \dots, p_L , trong đó L là số bit chẵn lẻ. Bản tin được mã hóa được gọi là từ mã ký hiệu

là c_1, c_2, \dots, c_N , trong đó N là số bit bản tin được mã hóa. Quy trình được thể hiện trong Hình 3.7.



Hình 2.4. Bộ mã hóa LDPC

Mối quan hệ giữa vector bit bản tin \mathbf{m} , vector bit kiểm tra \mathbf{p} và vector từ mã \mathbf{c} :

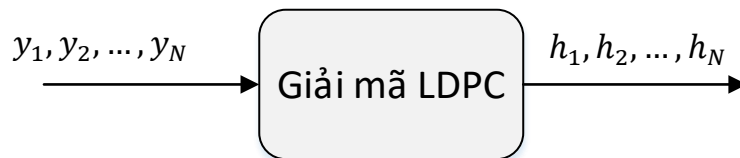
$$\mathbf{c}^T = \begin{bmatrix} \mathbf{m}^T \\ \mathbf{p}^T \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

$$\mathbf{H} \times \mathbf{c}^T = \mathbf{0} \quad (2.18)$$

Trong đó \mathbf{H} là ma trận kiểm tra, $\mathbf{0}$ là vector toàn 0 kích thước $N \times 1$

2.5 Giải mã LDPC

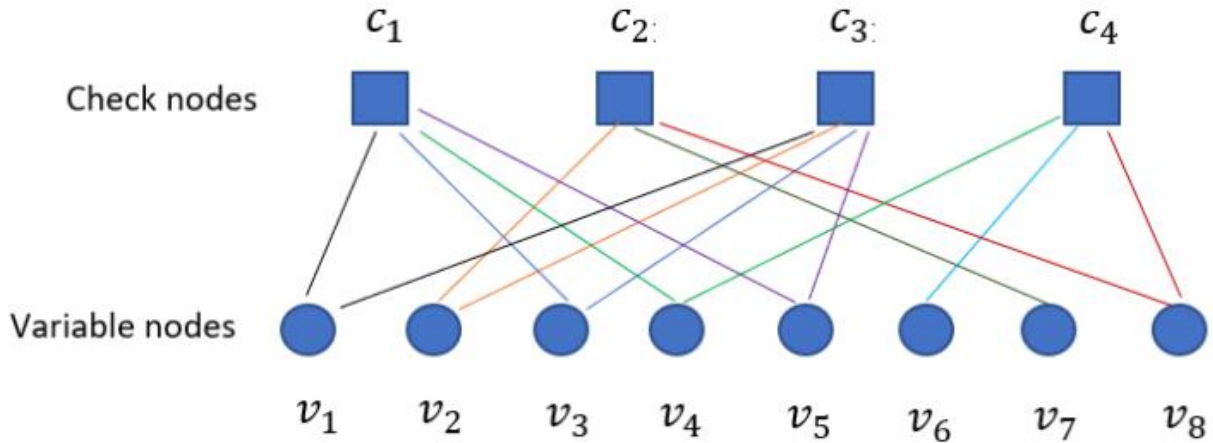
Giải mã LDPC được mô tả trong Hình 3.8 thực hiện sửa lỗi bằng thuật toán vòng lặp bản tin. Có hai loại thuật toán giải mã để giải mã LDPC. Một thuật toán giải mã được gọi là giải mã quyết định cứng, trong đó bản tin được truyền chứa giá trị thực của các bit, chẳng hạn như Thuật toán lật bit (Bit Flipping). Thuật toán giải mã khác được gọi là giải mã quyết định mềm, trong đó bản tin được truyền là giá trị xác suất liên quan đến sự xuất hiện của một bit cụ thể. Giải mã quyết định mềm dựa trên ý tưởng lan truyền độ tin cậy. Ví dụ, Thuật toán BP là giải mã quyết định mềm.



Hình 2.5. Bộ giải mã LDPC

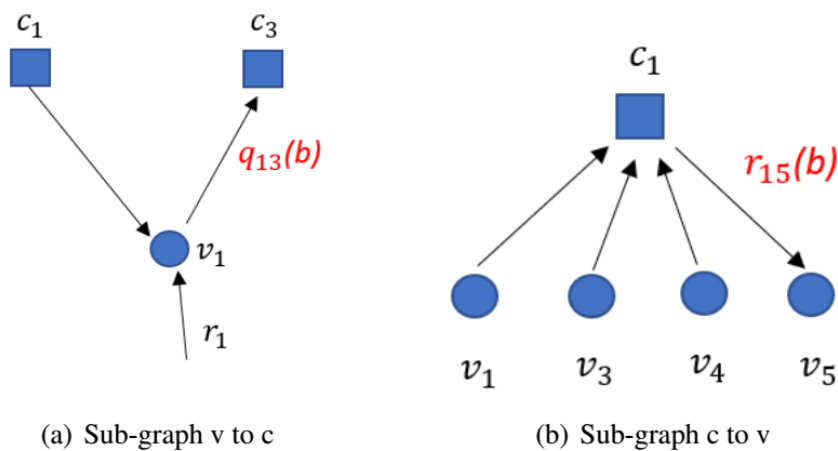
Mã LDPC có thể được biểu diễn bằng ma trận chẵn lẻ \mathbf{H} hoặc đồ hình Tanner do Tanner giới thiệu. Có hai phần trong đồ hình Tanner: các nút biến và các nút kiểm tra tương ứng với các hàng và cột trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ như minh họa ở Hình 2.6.

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



Hình 2.6. Ma trận kiểm tra và đồ hình Tanner

Đồ hình Tanner là một cách hiệu quả để minh họa quá trình giải mã bản tin lặp đi lặp lại mà các bản tin được truyền từ các nút biến sang các nút kiểm tra, sau đó từ các nút kiểm tra đến các nút biến trong mỗi lần lặp. Việc giải mã bản tin có thể được chia thành hoạt động của các nút biến, còn được gọi là hoạt động của hàng và hoạt động của các nút kiểm tra, còn được gọi là hoạt động của cột. Thuật toán chuyển bản tin dựa trên thuật toán độ tin cậy của Pearl mô tả các bước giải mã vòng lặp. Có các thuật toán chuyển bản tin vòng lặp khác nhau do các loại bản tin được truyền khác nhau hoặc các tính toán khác nhau tại các nút, chẳng hạn như SPA (Sum-Product) và MSA (Min-Sum).



Hình 2.7. Vòng lặp giữa các nút biến và nút kiểm tra

Một vòng lặp truyền bản tin có thể được chia thành hai phần. Một nửa vòng lặp là từ

các nút biến đến các nút kiểm tra như trong **Hình 2.7(a)**, trong đó tất cả thông tin v_1 được gửi đến nút kiểm tra c_3 trừ thông tin mà nút kiểm tra c_3 đã sở hữu. Trong trường hợp này, nút kiểm tra thông tin c_3 sở hữu được gọi là thông tin bên ngoài. Nửa vòng lặp còn lại là từ các nút kiểm tra đến các nút biến, được minh họa trong **Hình 2.7(b)**, trong đó nút kiểm tra c_1 chuyển tất cả thông tin mà nó có sẵn cho mỗi nút biến v_i ngoại trừ thông tin mà nút nhận đã sở hữu. Trong trường hợp này, chỉ thông tin phù hợp với $c_1 + c_3 + c_4 + c_5 = 0$ được gửi đi. Xác suất bản tin được truyền giữa các nút kiểm tra và các nút biến có thể được gọi là độ tin cậy, chẳng hạn như $q_{13}(b)$ trong **Hình 2.7(a)** và $r_{15}(b)$ trong **Hình 2.7(b)**.

Độ tin cậy được tính toán theo nguyên tắc sau. Giả sử chuỗi các bit mang tin độc lập c_1, c_2, \dots, c_N . Xác suất để $c_k = 1$ được định nghĩa:

$$P_r(c_k = 1) = p_k \quad (2.19)$$

Xác suất mà c bit mang tin chứa số chẵn bit 1 được tính toán theo:

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \prod_{k=1}^N (1 - 2p_k) \quad (2.20)$$

Xác suất để c bit mang tin chứa số lẻ bit 1 được tính toán theo:

$$\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \prod_{k=1}^N (1 - 2p_k) \quad (2.21)$$

Giả sử rằng $q_{ij}(b)$ là xác suất để $c_i = b$; $b \in \{0,1\}$, thông tin bên ngoài cho trước từ tất cả các nút kiểm tra, ngoại trừ nút kiểm tra c_j và mẫu kênh y_i , được mô tả trong **Hình 2.7(a)** và $r_{ij}(b)$ là xác suất của phương trình kiểm tra thứ j được thỏa mãn với $c^i = b$ cho trước và các bit khác có phân bố tách rời được đưa ra bởi $\{q_{ij'}\} \neq j$, được thể hiện trong **hình 2.7(b)**.

$$r_{ij}(0) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \prod_{i' \in V_j/i} (1 - 2p_{i'}(1)) \quad (2.22)$$

$$r_{ij}(1) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \prod_{i' \in V_j/i} (1 - 2p_{i'}(1)) \quad (2.23)$$

$$\mathbf{q}_{ij}(0) = (\mathbf{1} - \mathbf{P}_i) \prod_{j' \in C_j/i} r_{ji'}(\mathbf{0}) \quad (2.24)$$

$$\mathbf{q}_{ij}(1) = \mathbf{P}_i \prod_{j' \in C_j/i} r_{ji'}(\mathbf{0}) \quad (2.25)$$

Trong đó:

V_j : các nút biến nối với nút kiểm tra thứ j

V_j/i : cá nút biến nối với nút kiểm tra j /các nút biến i

C_i : các nút kiểm tra nối với nút biến i

C_i/j : (các nút kiểm tra nối với nút biến j)/(nút kiểm tra j)

$P_i = P_r(c_i = \frac{1}{y_i})$, y_i là mẫu kênh tại nút biến j

Thuật toán chuyển bản tin có thể được biểu diễn trong miền xác suất và miền loga mà xác suất được biểu diễn dưới dạng Tỷ lệ Log-Likelihood (LLR). Thuật toán giải mã miền LLR có thể giảm độ phức tạp triển khai vì các phép nhân trong miền xác suất có thể được biểu thị dưới dạng phép cộng trong miền loga. Bên cạnh đó, nhiều phép nhân xác suất liên quan có thể trở nên không ổn định về số lượng, vì vậy thuật toán miền nhật ký được ưu tiên hơn trong giải mã LDPC.

2.5.1 Thuật toán giải mã Sum-Product (SPA)

Thuật toán SP hay còn gọi là thuật toán lan truyền độ tin cậy là kỹ thuật giải mã quyết định mềm cơ bản với việc truyền bản tin theo xác suất.

Đầu vào của bộ giải mã LDPC sử dụng giá trị LLR, thuật toán giải mã SP dựa trên:

$$L(c_i) = \log \left(\frac{P_r(c_i=0|y_i)}{P_r(c_i=1|y_i)} \right) = \log \left(\frac{P_r(x_i=+1|y_i)}{P_r(x_i=-1|y_i)} \right) \quad (2.26)$$

Trong đó $L(c_i)$ là đầu vào LLR của bộ giải mã.

Hoạt động các nút biến thể hiện trong:

$$L(r_{ij}) = \log \left(\frac{r_{ij}(0)}{r_{ij}(1)} \right) = 2 \tanh^{-1} \left(\prod_{i' \in \frac{V_j}{i}} \tanh \left(\frac{1}{2} L(q_{i'j}) \right) \right) = \left(\prod_{i' \in \frac{V_j}{i}} \alpha_{ij} \right) \varphi \left(\sum_{i' \in \frac{V_j}{i}} \varphi(\beta_{i'j}) \right) \quad (2.27)$$

Trong đó: $\alpha_{ij} = \text{sign} \left(L(q_{i'j}) \right)$; $\beta_{i'j} = |L(q_{i'j})|$; $\varphi(x) = \log \frac{e^x + 1}{e^x - 1}$

Hoạt động của các nút kiểm tra:

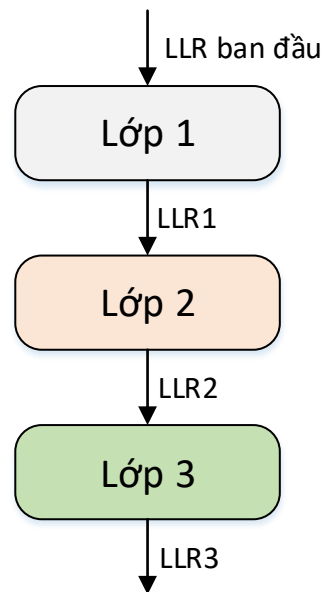
$$L(q_{ij}) = L(c_i) + \sum_{j' \in C_i/j} L(r_{j'i}) \quad (2.28)$$

$$L(Q_i) = L(c_i) + \sum_{j' \in C_i} L(r_{j'i}) \quad (2.29)$$

Trong đó $L(Q_i)$ là đầu ra LLR từ bộ giải mã và có thể được sử dụng để ra quyết định.

2.5.2 Giải thuật phân lớp

Giả sử ma trận kiểm tra chẵn lẻ H có thể được nhóm thành nhiều tập hợp con, và mỗi tập hợp con tuân theo trọng số cột của mỗi tập hợp con nhiều nhất là 1 và hết tập hợp con này đến tập hợp con khác. Trong trường hợp đó, giải mã phân lớp có thể được sử dụng. Giải mã phân lớp có thể đẩy nhanh thời gian hội tụ. Do các hoạt động nút kiểm tra có thể được xử lý khi các hoạt động của các nút biến trong một lớp được thực hiện thay vì chờ tất cả các hoạt động của các nút biến trong toàn bộ ma trận kiểm tra chẵn lẻ được thực hiện.



Hình 2.8. Kỹ thuật phân lớp

Việc xử lý phân lớp có thể được minh họa bằng Hình 2.8. Mỗi lớp xử lý hoạt động của các nút biến và kiểm tra hoạt động của các nút một cách độc lập. Đầu vào LLR của lớp hiện tại là đầu ra của LLR trước đó. Hình 3.12 cho thấy quy trình phân lớp với ba lớp. LLR ban đầu được gán cho Lớp1. LLR1 là đầu ra LLR của Lớp1 và đầu vào LLR của Lớp2. LLR2 là đầu ra LLR của Lớp2 và đầu vào LLR của Lớp3. Đầu ra LLR của lớp cuối cùng là đầu ra LLR của thuật toán giải mã và sẽ được sử dụng để đưa ra quyết định.

Hoạt động của các nút biến và nút kiểm tra trong mỗi lớp đều giống với SPA hoặc MSA. Sự khác biệt là LLR được cập nhật cho mỗi lớp. Đầu vào LLR của lớp hiện tại có thể được cập nhật thông qua:

$$l_{layer_{k+1},i} = L_{layer_{k,i}} - l_{layer_{k+1},i'} \quad (2.30)$$

Trong đó: $l_{layer_{k+1},i}$ là đầu vào LLR được cập nhật của lớp k+1; $L_{layer_{k,i}}$ là đầu ra LLR của lớp trước đó, $l_{layer_{k+1},i'}$ là đầu ra LLR cũ của lớp k+1.

2.6 Kỹ thuật đa truy nhập phi trực giao

Đa truy cập nằm ở trung tâm của các hệ thống truyền thông di động. Nó đề cập đến một kỹ thuật cho phép nhiều người dùng chia sẻ một kênh liên lạc. Thế hệ đầu tiên (1G) đến thế hệ thứ tư (4G) của các mạng di động đã áp dụng các sơ đồ đa truy cập hoàn toàn khác nhau. Cụ thể, các mạng di động 1G đến 4G đã áp dụng một hoặc nhiều phương thức đa truy cập sau:

- Đa truy nhập phân chia theo tần số (FDMA)
- Đa truy cập phân chia theo thời gian (TDMA)
- Đa truy cập phân chia theo mã (CDMA)
- Đa truy nhập phân chia theo tần số trực giao (OFDMA)
- Đa truy cập phân chia theo không gian (SDMA)

Ví dụ, trong OFDMA đã được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống 4G, tín hiệu của những người dùng khác nhau là trực giao trong miền tần số và/hoặc thời gian. Nói cách khác, một khối tài nguyên ghép kênh phân chia theo tần số trực giao (OFDM) (180 kHz) không thể được phân bổ cho nhiều người dùng hơn.

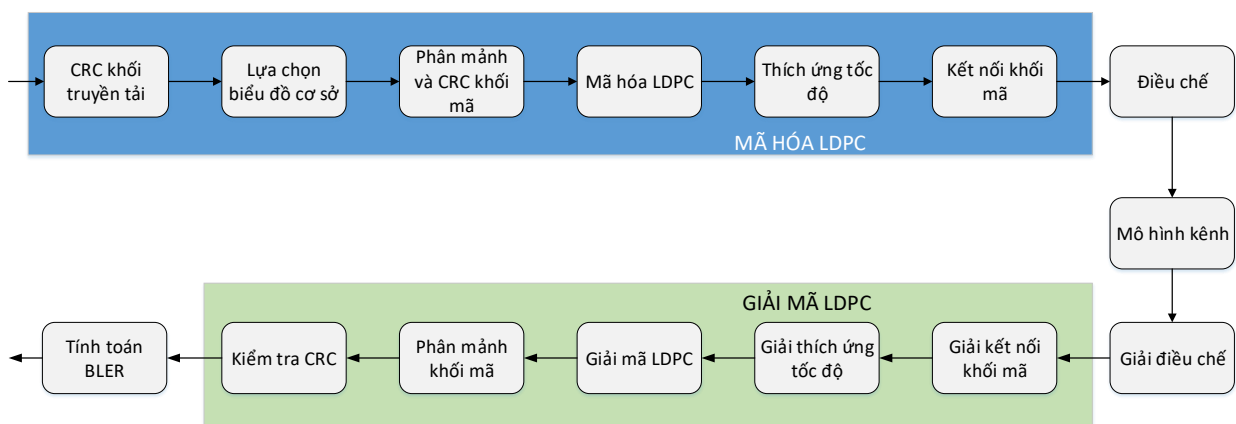
Ngược lại, đa truy cập không trực giao (NOMA) cho phép nhiều người dùng chia sẻ cùng các thành phần tài nguyên, có thể là trong miền thời gian, tần suất, không gian hoặc mã. NOMA hiện là một chủ đề nghiên cứu hấp dẫn cho các hệ thống 5G và hơn thế nữa, cả trong giới học thuật và ngành công nghiệp. Mặc dù nó liên quan đến “tính không trực giao” của đa truy cập, nhưng có vẻ như cộng đồng nghiên cứu đang nhìn nhận thuật ngữ

này theo những cách hơi khác nhau. Do các cách giải thích khác nhau, không có sự đồng thuận về việc áp dụng thuật ngữ này cho một số kỹ thuật nổi tiếng hiện có như CDMA. Trong khi phần lớn các công trình gần đây coi CDMA là kỹ thuật đa truy cập trực giao (OMA), có một nhóm các bài báo khác phân loại nó là kỹ thuật NOMA.

Chương 3: MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ MÃ HÓA VÀ GIẢI MÃ LDPC

3.1 Lưu đồ mã hóa và giải mã LDPC

Chuỗi mã hóa và giải mã LDPC được thể hiện trong Hình 3.1. Các tham số, được sử dụng trong chuỗi mã hóa LDPC, được tính toán dựa trên kích thước khối truyền tải và độ dài của bit thông tin khối truyền tải theo thông số kỹ thuật 3GPP TS 38.212. Chuỗi mã hóa LDPC được xử lý theo các bước được mô tả trong phần 3.2.1. Nếu có giá trị NULL trong các bit thông tin khi thực hiện mã hóa LDPC, giá trị NULL được coi là 0 để tính toán các bit chẵn lẻ. Sau chuỗi mã hóa LDPC, thông báo được mã hóa được điều chế trước khi truyền qua kênh nhiễu. Sau đó, bản tin được giải điều chế trước khi chuyển sang chuỗi giải mã LDPC, được thực hiện theo các bước trong phần 3.2.2. Nếu có giá trị NULL trong các bit thông báo trước khi giải mã LDPC, thì giá trị NULL được thay thế bằng f , được thực hiện trong quá trình khớp lại tốc độ. Giá trị NULL được thay thế bằng 0 để mã hóa và giá trị NULL được thay thế bằng f để giải mã vì MATLAB được sử dụng để phát triển chuỗi mã hóa và NULL vẫn là NULL bất kể thao tác nào được sử dụng trong MATLAB. 0 trong các bit thông tin không góp phần tính toán các bit chẵn lẻ và trong f hầu như không ảnh hưởng đến việc giải mã.



Hình 3.1. Sơ đồ khối thực hiện mã hóa và giải mã LDPC

3.2 Mã hóa LDPC

Như được mô tả trong phần 2.1, các biểu đồ cơ sở được xác định trong 3GPP Ts

38.212 có cấu trúc và ma trận con E là ma trận cấu trúc đường chéo kép có thể được sử dụng đầy đủ để xử lý mã hóa LDPC. Điểm chính của mã hóa LDPC là tính toán các bit chẵn lẻ. Trong phần này các bit chẵn lẻ được tính toán dựa trên cấu trúc đường chéo kép.

Xét ví dụ minh họa, giả sử H là ma trận kiểm tra, I_k là ma trận đơn vị được dịch vòng sang phải k lần.

Các bit bản tin là $m = [m_1 \ m_2 \ m_3 \ m_4]$; các bit kiểm tra là $p = [p_1 \ p_2 \ p_3 \ p_4]$;

$$H = \begin{bmatrix} I_1 & 0 & I_3 & 1 & I_1 & I_2 & I & 0 & 0 \\ I_2 & I & 0 & I_3 & 0 & I & I & I & 0 \\ 0 & I_1 & I_2 & I & I_1 & 0 & I & I & I \\ I_3 & I_1 & I & 0 & I_2 & 0 & 0 & 0 & I \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$H \times \begin{bmatrix} m^T \\ p^T \end{bmatrix} = \mathbf{0} \quad (3.2)$$

Kết hợp (3.1) và (3.2) để được:

$$I_1 m_1 + I_3 m_3 + I_1 m_4 + I_2 p_1 + I p_2 = 0 \quad (3.3)$$

$$I_2 m_1 + I m_2 + I_3 m_4 + I p_2 + I p_3 = 0 \quad (3.4)$$

$$I_1 m_2 + I_2 m_3 + I m_4 + I_1 p_1 + I p_3 + I p_4 = 0 \quad (3.5)$$

$$I_3 m_1 + I_1 m_2 + I m_3 + I_2 p_1 + I p_4 = 0 \quad (3.6)$$

Kết hợp (3.3) (3.4) (3.5) và (3.6) để nhận được:

$$I_1 p_1 = I_1 m_1 + I_3 m_3 + I_1 m_4 + I_2 m_1 + I m_2 + I_3 m_4 + I_1 m_2 + I_2 m_3 + I m_4 + I_3 m_1 + I_1 m_2 + I m_3 \quad (3.7)$$

Từ (3.7) tính được bit kiểm tra p_1 .

Sử dụng p_1 trong (3.3) để được p_2 ; sử dụng p_2 trong (3.4) để được p_3 , sử dụng p_1 và p_3 trong (3.5) để được p_4 .

Thủ tục tương tự được thực hiện với biểu đồ cơ sở NR trong 5G. Với 4 hàng đầu tiên, mã hóa đường chéo kép được thực hiện để tính $p = [p_1 \ p_2 \ p_3 \ p_4]$. Sau đó p_i có thể được tính ở hàng i , trong đó i là số nguyên. Khi sử dụng bit bản tin để tính các bit kiểm tra, giá trị NULL được thay bằng giá trị 0, nếu giá trị NULL nằm ở các bit bản tin.

$$p = [p_1 p_2 p_3 , \dots \dots , p_{N-K+2Z_c}] \quad (3.8)$$

Trong đó K là số bit thông tin cực đại của biểu đồ cơ sở. N là độ dài từ mã; $N = 66Z_c$ với LDPC biểu đồ cơ sở 1 và $N = 50Z_c$ cho biểu đồ cơ sở 2.

Sau khi tính toán được bit kiểm tra, các bit từ mã được xác định bởi biểu thức (3.9). Hai khối bản tin đầu tiên trong biểu đồ cơ sở sẽ không được truyền đi trong NR 5G. Chúng luôn được sử dụng để cải thiện hiệu năng. Giả sử các bit từ mã là $c_1, c_2, c_3, \dots, c_N$:

$$c_k = \begin{cases} m_{k+2Z_c}; & \text{với } 1 \leq k \leq K - 2Z_c \\ p_{k-K+2Z_c}; & \text{với } K - 2Z_c + 1 \leq k \leq N \end{cases} \quad (3.9)$$

Giải thuật thực hiện mã hóa LDPC được thể hiện ở bảng 3.1

Bảng 3.1 Thực hiện thuật toán mã hóa LDPC

| Bước | Hoạt động |
|------|---|
| 1 | Thay NaN bởi 0 cho các bit thông tin If msg(k) == NaN, codeword(k) = 0, else, codeword(k) = msg(k) Where 1 <= k <= K K là số bit thông tin cực đại của biểu đồ cơ sở |
| 2 | Tính bit kiểm tra $p = [p_1 p_2 p_3 , \dots \dots , p_{N-K+2Z_c}]$ |
| 3 | Tính bit từ mã $c_k = \begin{cases} m_{k+2Z_c}; & \text{với } 1 \leq k \leq K - 2Z_c \\ p_{k-K+2Z_c}; & \text{với } K - 2Z_c + 1 \leq k \leq N \end{cases}$ K là số bit thông tin cực đại của biểu đồ cơ sở. N là độ dài từ mã |

3.3 Giải mã LDPC

3.3.1 Giải thuật Sum Product (SPA)

Giả sử có ma trận chuyển bản tin $Rcv(M \times N)$ để lưu giá trị LLR. $Rcv[i, j] \neq 0$ nếu $H[i, j] \neq 0$, trong đó H là ma trận kiểm tra. Các nút biến tương ứng với hàng trong ma trận Rcv , các nút kiểm tra tương ứng với cột trong ma trận Rcv . Giả sử L_i là LLR đầu ra và r là bản tin đầu vào của kênh tới bộ giải mã.

Trong các bước tiếp theo, bước 2 có thể thực hiện lưu lại các tính toán do sum product ở mỗi hàng được tính đầu tiên, và giá trị nút biến được cập nhật đồng thời. Giải thuật giải mã SPA có nhiều ưu điểm hơn.

Bước 1- Khởi tạo tất cả $Rcv[i, j] \neq 0$

$$L = r; Rcv[i, j] = L[i] \quad (3.10)$$

Bước 2 – Tính LLR tổng trong mỗi hàng nút biến (hàng trong ma trận Rcv) và các dấu:

$$Smag_i = \sum \varphi(|Rcv_{ij}|) \quad (3.11)$$

$$\hat{x} = sign(Rcv_{ij}) \quad (3.12)$$

$$parity = \prod \hat{x} \quad (3.13)$$

Bước 3 – Cập nhật ma trận chuyển bản tin

$$Rcv_{ij} = parity * \hat{x} * \varphi(Smag_i - \varphi(|Rcv_{ij}|)) \quad (3.14)$$

Bước 4 – Cập nhật LLR đầu ra

$$L = L + \sum Rcv_{ij} \quad (3.15)$$

Bước 5 – Cập nhật ma trận chuyển bản tin

$$Rcv_{ij} = L - Rcv_{ij} \quad (3.16)$$

Bước 6 – Ra quyết định

$$\hat{c}_i = \begin{cases} 1 & \text{nếu } L < 0 \\ 0 & \text{còn lại} \end{cases} \quad (3.17)$$

Lặp lại bước 2 tới bước 5 đến khi vòng lặp lớn nhất được thực hiện hoặc $H\hat{c}^T = 0$.
Thực hiện giải thuật SPA được thể hiện ở Bảng 3.2

Bảng 3.2 Thực hiện giải thuật SPA

| Bước | Hoạt động |
|------|---|
| 1 | Khởi tạo các bản tin kênh cho mỗi nút biến $L = r; Rcv[i, j] = L[i]$ r là bản tin đầu vào của kênh tới bộ giải mã |
| 2 | Tính $Smag_i = \sum \varphi(Rcv_{ij})$ $\hat{x} = sign(Rcv_{ij})$ $parity = \prod \hat{x}$ |

| | |
|---|---|
| 3 | Cập nhật ma trận chuyển bản tin $Rcv_{ij} = parity * \hat{x} * \varphi(Smag_i - \varphi(Rcv_{ij}))$ |
| 4 | Cập nhật LLR đầu ra $L = L + \sum Rcv_{ij}$ |
| 5 | Cập nhật ma trận chuyển bản tin $Rcv_{ij} = L - Rcv_{ij}$ |
| 6 | Ra quyết định $\hat{c}_i = \begin{cases} 1 & \text{nếu } L < 0 \\ 0 & \text{còn lại} \end{cases}$ |
| 7 | If ($H\hat{c}^T = 0$) OR (số vòng lặp = giá trị lớn nhất) OR (điều kiện dừng khác) STOP Else Lặp lại bước 2 |

3.3.2 Giải thuật SPA phân lớp

Giải thuật SPA phân lớp (LSPA) là phương pháp tối ưu của SPA. Thuật toán chuyển bản tin phân lớp chính là sự lựa chọn tốt cho giải mã LDPC trong NR 5G do ma trận kiểm tra vốn là ma trận dịch phải bởi kích thước nâng Z sử dụng ma trận cơ sở trong tiêu chuẩn 3GPP TS 38.212 phù hợp với yêu cầu là trọng số trong mỗi lớp tối đa là 1. Mỗi hàng khối trong ma trận cơ sở Z hàng trong ma trận kiểm tra có thể được thấy ở trong mỗi lớp. Ý tưởng phân lớp khi giải mã là hoạt động của các cột được xử lý khi từng hàng được thực hiện xong ở trong mỗi lớp đơn lẻ.

Bước 1 – Khởi tạo lớp đầu tiên

Bước 2 – Cập nhật ma trận chuyển bản tin và LLR đầu ra trong lớp thứ k sử dụng phương trình từ Bước 2 đến Bước 4 của SPA.

Bước 3 – Cập nhật LLR đầu ra của lớp k+1 qua:

$$Rcv_{layer_{k+1},i} = L_{layer_k,i} - Rcv_{layer_{k+1},i'} \quad (3.18)$$

Trong đó $Rcv_{layer_{k+1},i}$ đầu vào LLR được cập nhật của lớp k+1; $L_{layer_k,i}$ là đầu ra LLR của lớp trước đó; $Rcv_{layer_{k+1},i'}$ là đầu vào LLR cũ của lớp k+1.

Bước 4 – Lặp lại bước 2 ở lớp k+1.

Bước 5 – Ra quyết định dựa trên đầu ra LLR của lớp cuối cùng sử dụng (3.17).

Nếu phải sử dụng thêm vòng lặp, lặp lại bước 2 đến bước 5 cho đến khi vòng lặp lớn nhất được thực hiện hoặc $H\hat{c}^T = 0$. Thực hiện giải thuật LSPA được thể hiện ở Bảng 3.3

Bảng 3.3 Thực hiện giải thuật LSPA

| Bước | Hoạt động |
|------|--|
| 1 | Khởi tạo lớp đầu tiên $L = r; Rcv[i, j] = L[i]$ r là bản tin đầu vào của kênh tới bộ giải mã |
| 2 | Cập nhật ma trận chuyển bản tin và LLR đầu ra của lớp k $Smag_i = \sum \varphi(Rcv_{ij})$ $\hat{x} = sign(Rcv_{ij})$ $parity = \prod \hat{x}$ $Rcv_{ij} = parity * \hat{x} * \varphi(Smag_i - \varphi(Rcv_{ij}))$ $L = L + \sum Rcv_{ij}$ |
| 3 | Cập nhật LLR đầu vào của lớp k+1 $Rcv_{layer_{k+1}, i} = L_{layer_k, i} - Rcv_{layer_{k+1}, i'}$ |
| 4 | Lặp lại bước 2 với lớp k+1 |
| 5 | Cập nhật ma trận chuyển bản tin $Rcv_{ij} = L - Rcv_{ij}$ |
| 6 | Ra quyết định $\hat{c}_i = \begin{cases} 1 & \text{nếu } L < 0 \\ 0 & \text{còn lại} \end{cases}$ |
| 7 | If ($H\hat{c}^T = 0$) OR (số vòng lặp = giá trị lớn nhất) OR (điều kiện dừng khác) STOP Else Lặp lại bước 3 |

3.3.3 Giải thuật Min-Sum (MSA)

Các thủ tục của giải thuật MSA giống như SPA ngoại trừ bước 2 và bước 3. Khi đó bước 2 của MSA sẽ thực hiện tính toán giá trị tuyệt đối nhỏ nhất và cập nhật ma trận chuyển bản tin.

Tìm giá trị tuyệt đối nhỏ nhất m_1 và chỉ số vị trí của nó pos và giá trị tuyệt đối nhỏ nhất thứ 2 m_2 trong từng hàng của ma trận chuyển bản tin. Thay thế giá trị m_1 bằng m_2 , thay thế các giá trị khác bằng m_1 . Xác định dấu của từng phần tử:

$$Rcv_{i_{pos}} = m_2; Rcv_{ij \neq pos} = m_1 \quad (3.19)$$

$$Rcv_{ij} = parity * \hat{x} * Rcv_{ij} \quad (3.20)$$

Trong đó $parity$ và \hat{x} được xác định từ (3.12) và (3.13). Thực hiện giải thuật MSA được thể hiện ở Bảng 3.4

Bảng 3.4 Thực hiện giải thuật MSA

| Bước | Hoạt động |
|------|---|
| 1 | Khởi tạo các bản tin kênh cho mỗi nút biến $L = r; Rcv[i, j] = L[i]$ r là bản tin đầu vào của kênh tới bộ giải mã |
| 2 | Cập nhật ma trận chuyển bản tin $[min1, pos] = \min(abs(Rcv_{ij}))$ $[min2, pos] = \min(abs(Rcv_{ij \neq pos}))$ $\hat{x} = sign(Rcv_{ij})$ $parity = \prod \hat{x}$ $Rcv_{ipos} = m_2; Rcv_{ij \neq pos} = m_1$ $Rcv_{ij} = parity * \hat{x} * Rcv_{ij}$ |
| 3 | Cập nhật LLR đầu ra $L = L + \sum Rcv_{ij}$ |
| 4 | Cập nhật ma trận chuyển bản tin $Rcv_{ij} = L - Rcv_{ij}$ |
| 5 | Ra quyết định $\hat{c}_i = \begin{cases} 1 & \text{nếu } L < 0 \\ 0 & \text{còn lại} \end{cases}$ |
| 6 | If ($H\hat{c}^T = 0$) OR (số vòng lặp = giá trị lớn nhất) OR (điều kiện dừng khác) STOP Else Lặp lại bước 2 |

3.3.4 Giải thuật MSA phân lớp (LMSA)

Giải thuật LMSA là phương pháp tối ưu cho MSA. Các bước cũng giống như LSPA ở phần 3.3.2 ngoại trừ hoạt động của nút biến trong mỗi lớp sử dụng xấp xỉ được định nghĩa trong (). Thực hiện giải thuật LMSA được thể hiện ở Bảng 3.5

Bảng 3.5 Thực hiện giải thuật LMSA

| Bước | Hoạt động |
|------|--|
| 1 | Khởi tạo lớp đầu tiên $L = r; Rcv[i, j] = L[i]$ r là bản tin đầu vào của kênh tới bộ giải mã |
| 2 | Cập nhật ma trận chuyển bản tin và LLR đầu ra của lớp k $[min1, pos] = \min(abs(Rcv_{ij}))$ |

| | |
|---|---|
| | $[min2, pos] = \min(abs(Rcv_{ij \neq pos}))$ $\hat{x} = sign(Rcv_{ij})$ $parity = \prod \hat{x}$ $Rcv_{ipos} = m_2; Rcv_{ij \neq pos} = m_1$ $Rcv_{ij} = parity * \hat{x} * Rcv_{ij}$ $L = L + \sum Rcv_{ij}$ |
| 3 | Cập nhật LLR đầu vào của lớp k+1 $Rcv_{layer_{k+1},i} = L_{layer_{k,i}} - Rcv_{layer_{k+1},i}$ |
| 4 | Lặp lại bước 2 với lớp k+1 |
| 5 | Cập nhật ma trận chuyển bản tin $Rcv_{ij} = L - Rcv_{ij}$ |
| 6 | Ra quyết định dựa trên đầu ra LLR lớp cuối cùng $\hat{c}_i = \begin{cases} 1 & \text{nếu } L_{lastlayer} < 0 \\ 0 & \text{còn lại} \end{cases}$ |
| 7 | If ($H\hat{c}^T = 0$) OR (số vòng lặp = giá trị lớn nhất) OR (điều kiện dừng khác) STOP Else Lặp lại bước 3 |

3.4 Mô phỏng giải mã LDPC

Các thông số của các khối truyền tải trong chuỗi mã hóa LDPC được minh họa ở Bảng 3.6. Hiệu năng của các giải thuật được đánh giá dựa trên tỉ số BLER theo S/N.

Bảng 3.6 Các tham số của khối truyền tải trong chuỗi mã hóa LDPC

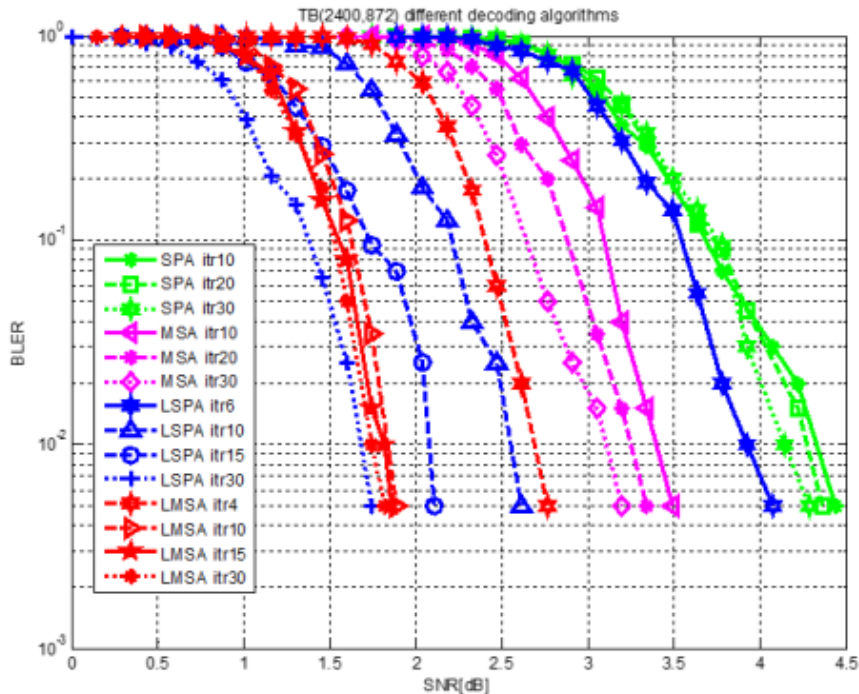
| Khối truyền tải | Tỉ lệ mã | Loại CRC | Biểu đồ cơ sở | Kích thước nâng | Khối mã |
|-----------------|----------|----------|---------------|-----------------|---------|
| (2400,872) | 0,36 | CRC16 | 2 | 96 | 1 |
| (2400,1608) | 0,67 | CRC16 | 2 | 176 | 1 |
| (2400,1992) | 0,83 | CRC16 | 1 | 96 | 1 |
| (7200,4824) | 0,67 | CRC24 | 1 | 224 | 1 |
| (14794,9912) | 0,67 | CRC24 | 1 | 240 | 2 |

Các thông số mô phỏng khác được thể hiện ở Bảng 3.7

Bảng 3.7 Tham số mô phỏng

| Tham số mô phỏng | Giá trị |
|--------------------------|----------|
| Số lượng khối truyền tải | 200 |
| Phương thức điều chế | BPSK |
| Mô hình kênh truyền | AWGN |
| Số vòng lặp giải mã | Tùy chọn |

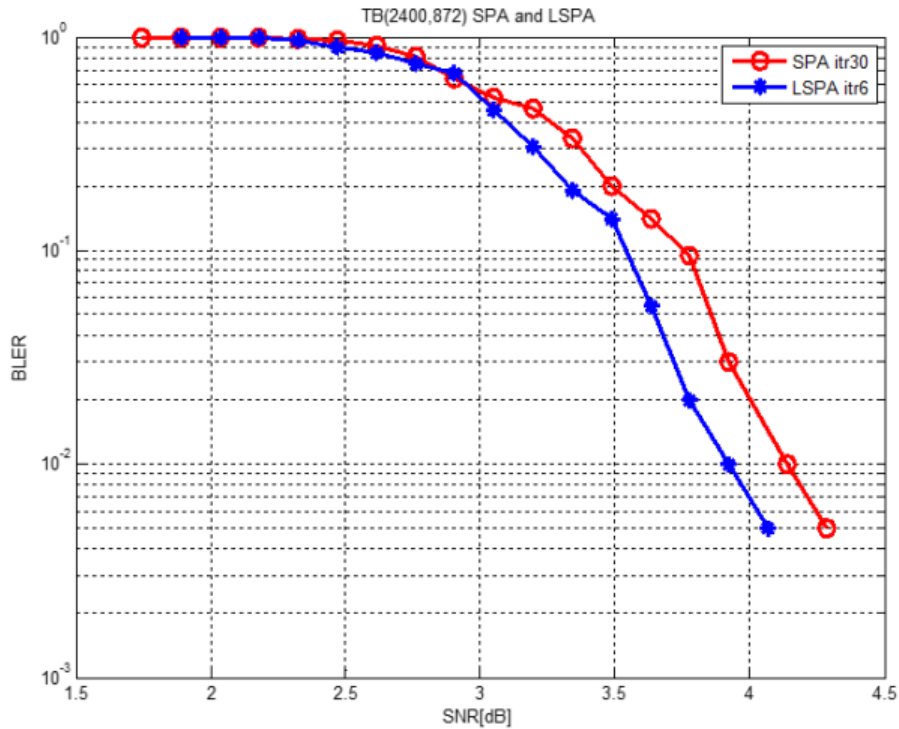
Các giải thuật giải mã LDPC được sử dụng trong mô phỏng bao gồm: SPA, MSA, LSPA và LMSA. Hình 3.2 thể hiện kết quả mô phỏng khi khối truyền tải được sử dụng là (2400, 872) với các giải thuật khác nhau và số vòng lặp giải mã khác nhau.



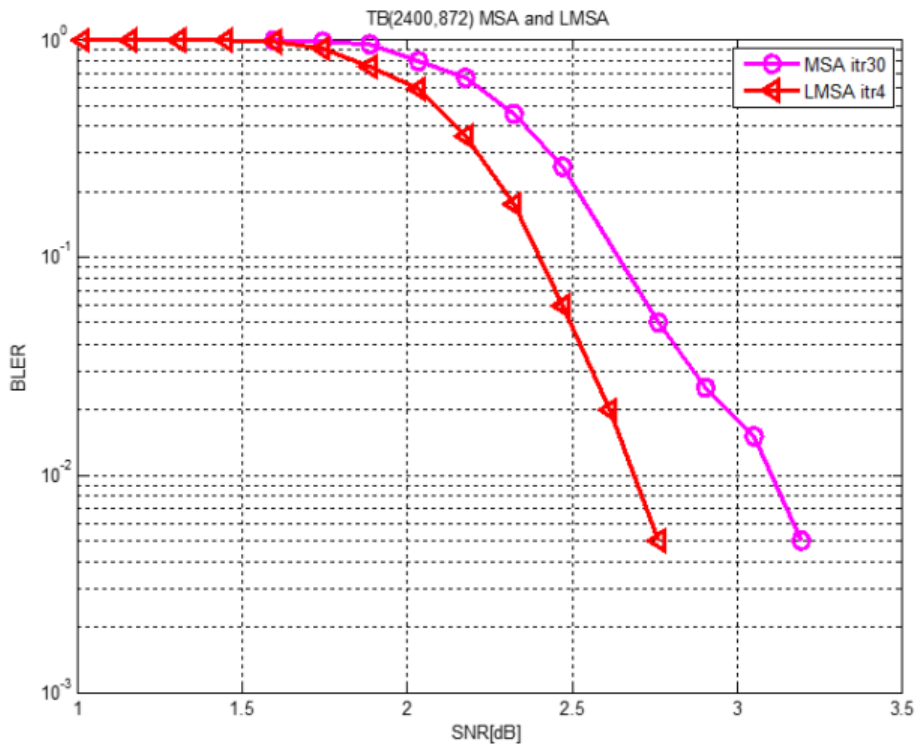
Hình 3.2. Kết quả mô phỏng với khối truyền tải (2400,872)

Từ Hình 3.3 nhận thấy, thuật toán phân lớp là một giải pháp hiệu quả để thực hiện SPA và MSA khi so sánh LSPA itr6 (thuật toán LSPA 6 vòng lặp) và LMSA itr4 với SPA itr30 và MSA itr30. Có thể thấy, LSPA chỉ cần 6 vòng lặp giải mã để đạt được hiệu năng tốt hơn 0,3dB so với SPA phải sử dụng đến 30 vòng lặp. Với LMSA, chỉ cần đến 4 vòng lặp sẽ cho kết quả tốt hơn đến 0,6dB so với MSA phải sử dụng đến 30 vòng lặp như minh họa ở Hình 3.4. Thuật toán LSPA cũng cho hiệu năng được cải thiện rõ rệt khi tăng số vòng lặp giải mã như minh họa ở Hình 3.5. Tuy nhiên, với LMSA, khi có vòng lặp lớn hơn 15 thì hiệu năng cải thiện không nhiều khi tăng số vòng lặp như thể hiện ở Hình 3.6. Khi số

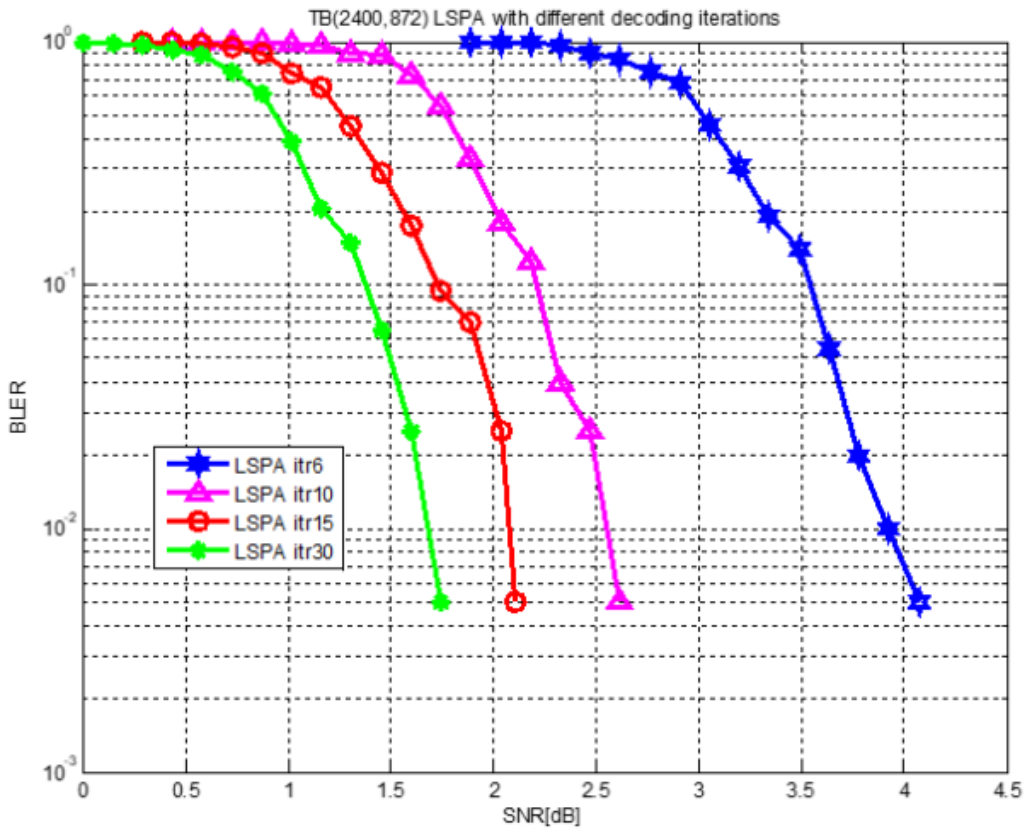
vòng lặp lớn hơn 30 thì LSPA cho hiệu năng tốt hơn LMSA, ngược lại LMSA cho hiệu năng hoạt động tốt hơn LSPA với số vòng lặp nhỏ hơn 30 (ví dụ như sử dụng 15 vòng lặp) như thể hiện ở Hình 3.7.



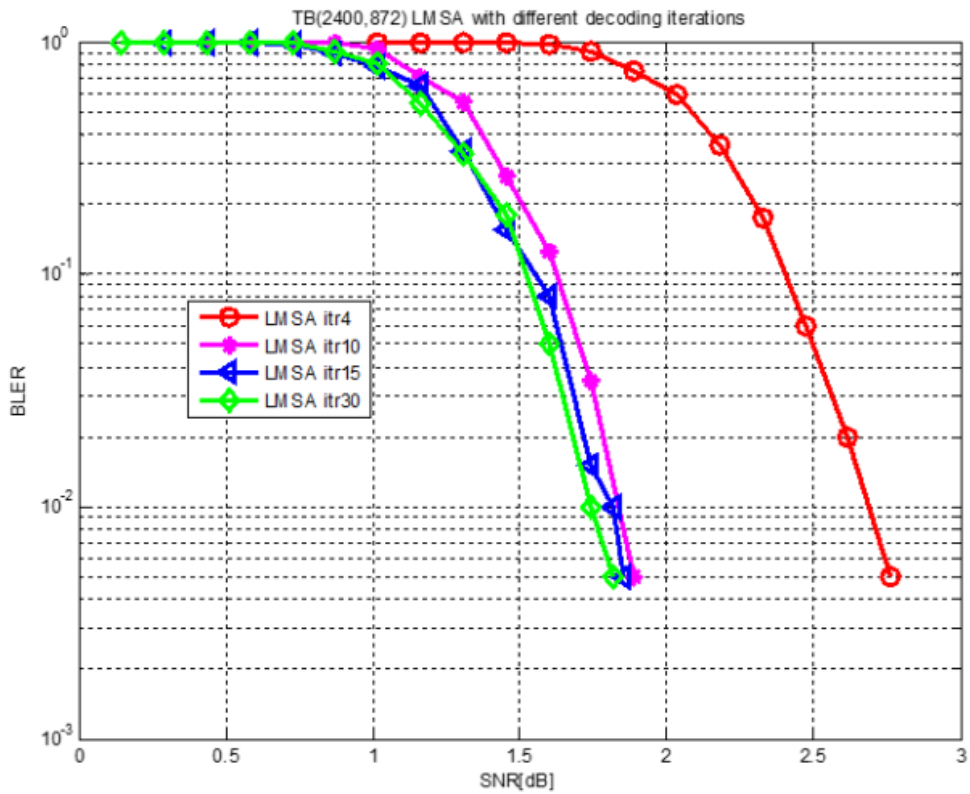
Hình 3.3. Kết quả mô phỏng SPA và LSPA



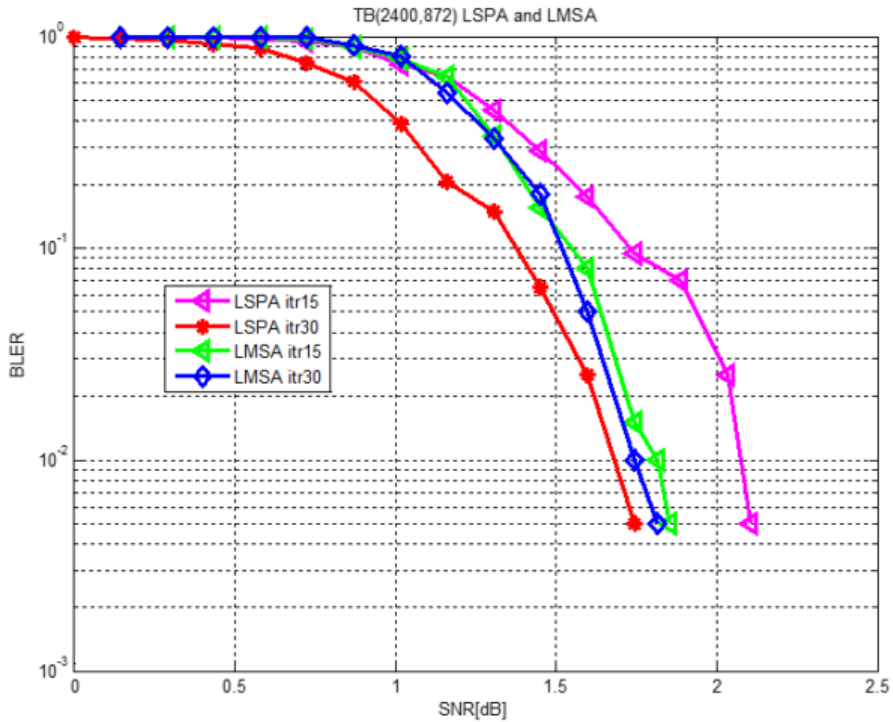
Hình 3.4. Kết quả mô phỏng MSA và LMSA



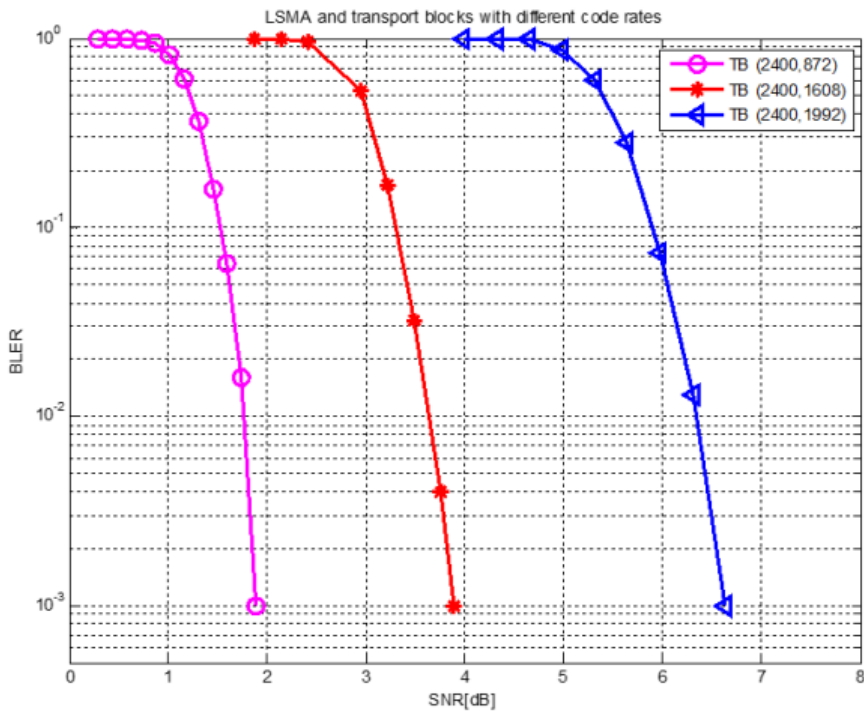
Hình 3.5. Kết quả mô phỏng giải thuật LSPA với số vòng lặp khác nhau



Hình 3.6. Kết quả mô phỏng giải thuật LMSA với số vòng lặp giải mã khác nhau



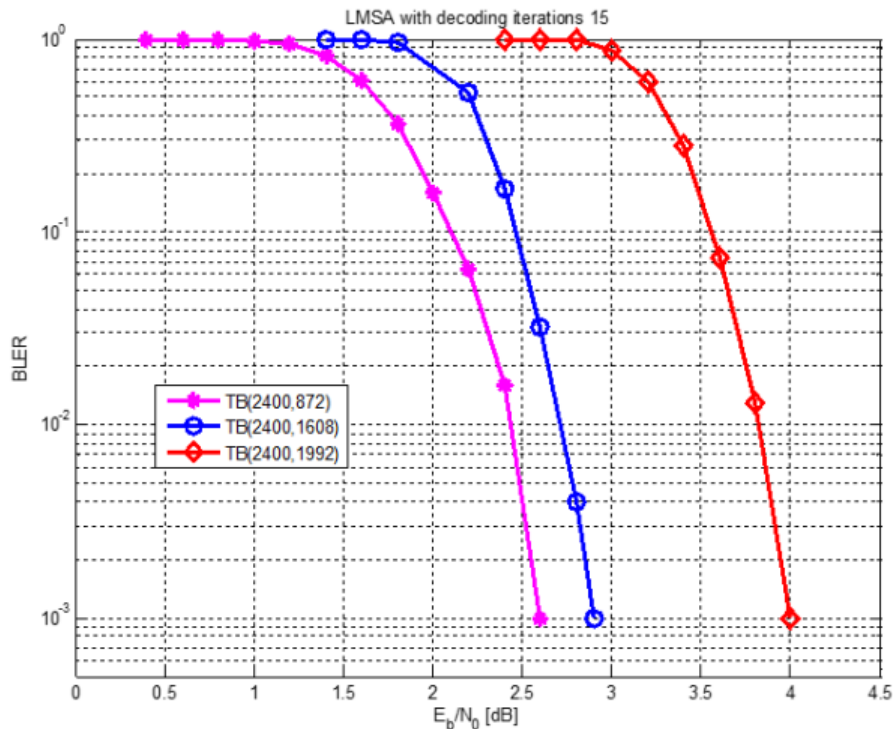
Hình 3.7. Kết quả mô phỏng giải thuật LSPA và LMSA với số vòng lặp 15 và 30



Hình 3.8. Giải thuật LMSA với các tỉ lệ mã khác nhau (BLER theo SNR)

Tiếp tục thực hiện mô phỏng với các khối truyền tải (2400,872), (2400,1608) và (2400,1992), các khối truyền tải này có tỉ lệ mã hóa khác nhau. Số lượng khối truyền tải được sử dụng là 1000. Cả hai biểu đồ cơ sở cùng được sử dụng để đánh giá, biểu đồ cơ sở 1 sử dụng với khối truyền tải (2400,1992) còn biểu đồ cơ sở 2 sử dụng với khối truyền tải

(2400,872) và (2400,1608). Kết quả mô phỏng với giải thuật LMSA được thể hiện ở Hình 3.8. Với tỉ lệ mã thấp hơn, đồ thị BLER theo SNR hội tụ ở SNR thấp và tốc độ hội tụ lớn hơn so với tỉ lệ mã cao. Đối với khối truyền tải (2400,872), cần khoảng 1,5dB để BLER từ 1 đến BLER 0,001, đối với khối truyền tải (2400,1608) cần 1,8dB cho sự thay đổi BLER tương tự, còn với khối truyền tải (2400,1992) thì phải cần đến 2,6dB cũng cho sự thay đổi BLER tương tự.



Hình 3.9. Giải thuật LMSA với các tỉ lệ mã khác nhau (BLER theo E_b/N_0)

Đồ thị BLER theo E_b/N_0 với giải thuật LMSA được thể hiện ở Hình 3.9. Có thể thấy, với cùng biểu đồ cơ sở, BLER hội tụ ở E_b/N_0 thấp hơn với tỉ lệ mã thấp nhưng tốc độ hội tụ với tỉ lệ mã thấp sẽ chậm hơn so với tỉ lệ mã cao. Cho sự thay đổi BLER từ 1 đến 0,001, với khối truyền tải (2400,872), cần đến 2dB, khối truyền tải (2400,1608) cần 1,6dB còn khối truyền tải (2400,1992) cần 1,6dB.

SPA được coi là có hiệu suất gần như tối ưu, nhưng nó phức tạp hơn các giải thuật giải mã LDPC khác do các hoạt động của các nút biến. Nó cần nhiều vòng lặp giải mã hơn để có hiệu suất tốt hơn cho SPA, do giới hạn thời gian, nhiều nhất chỉ có 30 lần lặp giải mã được sử dụng cho SPA, vì vậy SPA không thể hiện hiệu suất tốt hơn các thuật toán giải mã LDPC khác.

Có sự khác biệt về tốc độ hội tụ giữa đồ thị BLER so với SNR (Hình 3.8) và đồ thị BLER so với E_b/N_0 (Hình 3.9) đối với LMSA. Lý do là đối với E_b/N_0 , tốc độ mã được bao gồm và bù trừ. Đồ thị của BLER so với E_b/N_0 có thể cho thấy mức độ hiệu quả của thuật toán đối với các tốc độ mã khác nhau từ góc độ năng lượng được truyền. Đồ thị của BLER so với E_b/N_0 (Hình 3.9) cho thấy tốc độ mã cao có thể tăng tốc độ hội tụ cho LMSA.

LSPA và LMSA hiệu quả hơn SPA và MSA. Lý do là thuật toán chuyển bản tin theo lớp có thể thực hiện kiểm tra các hoạt động của nút khi các hoạt động của các nút biến trong một lớp được thực hiện thay vì đợi tất cả các hoạt động của các nút biến được thực hiện trong ma trận kiểm tra chẵn lẻ. Có 46 lớp cho biểu đồ cơ sở 1 và 42 lớp cho biểu đồ cơ sở 2, vì vậy thuật toán truyền bản tin theo lớp hiệu quả hơn.

KẾT LUẬN

Sau khi hoàn thành nghiên cứu đề tài: "Nghiên cứu kỹ thuật mã hóa kênh trong mạng 5G" dưới sự giúp đỡ chỉ bảo tận tình của thầy giáo ThS. Nguyễn Văn Dương em đã nghiên cứu, tìm hiểu nắm rõ được về kỹ thuật mã hóa và giải mã trong mạng 5G.

Để đạt được khả năng liên lạc nhanh với ít lỗi nhất trên nhiều ứng dụng 5G, các kỹ thuật mã hóa kênh đóng một vai trò to lớn. Hai lược đồ mã hóa kênh, LDPC và mã Polar đã được đề xuất sử dụng trong các hệ thống liên lạc 5G. Không kỹ thuật mã hóa nào có thể đáp ứng tất cả các yêu cầu 5G và việc lựa chọn kỹ thuật mã hóa kênh phù hợp là rất quan trọng để đạt được việc truyền dữ liệu hiệu quả và an toàn. Loại ứng dụng, phần cứng cơ bản và thuật toán giải mã ảnh hưởng đến việc lựa chọn mã kênh phù hợp. Mã kênh tốt sẽ hỗ trợ nhiều độ dài khối dữ liệu và tốc độ mã dữ liệu khác nhau. Theo cách này, có thể tránh sử dụng các bit dữ liệu không cần thiết và tốc độ mã không mong muốn có ảnh hưởng tiêu cực đến thông lượng, độ trễ, mức tiêu thụ năng lượng và khả năng sửa lỗi.

Để chứng minh việc lựa chọn sơ đồ mã hóa kênh thích hợp, việc truyền các bản tin có độ dài thay đổi qua PDSCH, PDCCH, PUSCH và PUCCH (từ UE đến gNodeB và ngược lại) cho các tốc độ mã khác nhau đã được nghiên cứu. Kết quả BER thu được bằng cách sử dụng QPSK để liên lạc qua AWGN, như một chức năng của SNR, thể hiện hiệu suất BER của mã Polar vượt trội so với mã LDPC khi các thông báo ngắn hơn được truyền đi.

Hải phòng, ngày.... tháng... năm 2024

Sinh Viên

Hoàng Đức Thuận

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. "3GPP TS 38.212. Technical Specification Group Radio Access Network; NR; Multiplexing and channel coding (release 16)." [Online]. Available: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3214>
- [2]. Bae, Jung Hyun, et al. "An overview of channel coding for 5G NR cellular communications." APSIPA Transactions on Signal and Information Processing 8 (2019): e17.
- [3]. Hamidi-Sepehr, Fatemeh, Ajit Nimbalker, and Gregory Ermolaev. "Analysis of 5G LDPC codes rate-matching design." 2018 IEEE 87th Vehicular Technology Conference (VTC Spring). IEEE, 2018.
- [4]. Nguyen, Tram Thi Bao, Tuy Nguyen Tan, and Hanho Lee. "Efficient QC-LDPC encoder for 5G new radio." Electronics 8.6 (2019): 668.
- [5]. A. Thangaraj, "LDPC and Polar Codes in 5G Standard." [Online]. Available: <https://nptel.ac.in/noc/courses/noc19/SEM1/noc19-ee29/>
- [6]. Jun, Lin, et al. "An improved min-sum based column-layered decoding algorithm for LDPC codes." 2009 IEEE Workshop on Signal Processing Systems. IEEE, 2009.
- [7]. R. Maunder, "A Vision for 5G Channel Coding," 2016. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Vision-for-5G-Channel-Coding-Maunder/58332a3ecb10aa3af27adef729b59ac17046fa47#citing-papers>
- [8]. Jadhav, M. M., Ankit Pancholi, and Dr AM Sapkal. "Analysis And Implementation Of Soft-Decision Decoding Algorithm Of LDPC." International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) 4 (2013).
- [9]. Jose, Rinu, and Ameenudeen Pe. "Analysis of hard decision and soft decision decoding algorithms of LDPC codes in AWGN." 2015 IEEE International Advance Computing Conference (IACC). IEEE, 2015.
- [10] L. Su, C. Yang, and C.-L. I, "Energy and Spectral Efficient Frequency Reuse of Ultra," IEEE Trans. Wirel. Commun, 2016.
- [11] ETSI, 5G Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz (3GPP TR 38.901 version 15.0.0 Release 15), ETSI TR 138 901 V15.0.0 (2018-07), 2018