

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



**ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG ĐƯỜNG TRUYỀN
TRONG MẠNG 5G NR**

ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ KỸ THUẬT
(Theo định hướng ứng dụng)

HÀ NỘI - 2025

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



**ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG ĐƯỜNG TRUYỀN
TRONG MẠNG 5G NR**

CHUYÊN NGÀNH: KỸ THUẬT VIỄN THÔNG

MÃ SỐ: 8.52.02.08

ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ KỸ THUẬT

(Theo định hướng ứng dụng)

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: PGS.TS. Nguyễn Tiến Ban

HÀ NỘI - 2025

TÓM TẮT

Trong ngành viễn thông di động, công nghệ 5G New Radio (5G NR) đang là một trong những xu hướng tiên tiến nhất, mang lại tốc độ truyền dữ liệu cao và hiệu suất mạng tốt hơn so với các thế hệ trước. Để đảm bảo hiệu suất hoạt động của mạng 5G NR, việc đánh giá hiệu năng của đường truyền là cực kỳ quan trọng. Đề án này tập trung vào đánh giá hiệu năng của đường truyền trong 5G NR thông qua yếu tố khoảng cách sóng mang con. Kết quả dự kiến của nghiên cứu sẽ cung cấp thông tin chi tiết về khoảng cách sóng mang con và hiệu năng đường truyền trong mạng 5G NR, giúp các nhà mạng và nhà sản xuất thiết bị định hướng và tối ưu hóa mạng để đảm bảo trải nghiệm người dùng tốt nhất. Đồng thời, đề án cũng đưa ra các khuyến nghị để cải thiện hiệu suất và hiệu quả của đường truyền trong mạng 5G NR trong tương lai.

Từ khóa: 5G NR, Cấu trúc mạng 5G, tốc độ truyền dữ liệu, hiệu suất mạng.

LỜI CẢM ƠN

Tôi xin gửi lời tri ân chân thành đến những cá nhân và tổ chức đã hỗ trợ và đóng góp cho quá trình nghiên cứu và hoàn thành của đề án này. Đầu tiên, tôi xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến PGS.TS. Nguyễn Tiến Ban - người đã dành thời gian và kiến thức quý báu để hướng dẫn và hỗ trợ tôi trong suốt quá trình thực hiện đề án. Những lời chỉ dẫn và sự động viên từ thầy là nguồn động lực lớn giúp tôi vượt qua những thách thức trong quá trình nghiên cứu.

Tôi cũng muốn bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến quý thầy cô giảng viên trong Khoa Viễn thông 1 nói riêng và Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông nói chung, những người đã tạo điều kiện tốt nhất để hỗ trợ đồng thời cũng chia sẻ kiến thức, kinh nghiệm trong suốt thời gian học tập tại trường của tôi.

Tôi cũng xin gửi lời cảm ơn đến những người bạn, những thành viên trong lớp M23CQTE02-B đã giúp tôi học tập và tích lũy thêm nhiều kiến thức bổ ích trong các bài giảng cũng như các kỹ năng giúp đỡ tôi rất nhiều trong khi thực hiện đề án.

Cuối cùng, tôi xin gửi lời cảm ơn đến gia đình và bạn bè của tôi, những người luôn luôn tin tưởng, ủng hộ, chia sẻ khó khăn và hân hoan với tôi trong mọi thử thách của cuộc sống và học tập.

Hà Nội, ngày 5 tháng 8 năm 2025

Học viên



Trần Thị Mai

MỤC LỤC

MỤC LỤC	1
DANH MỤC HÌNH VẼ	3
DANH MỤC BẢNG	4
DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT.....	5
MỞ ĐẦU	7
CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU CHUNG.....	8
1.1 Tổng quan về hệ thống thông tin di động	8
1.1.1 Các thành phần của hệ thống thông tin di động	8
1.1.2 Sự phát triển của hệ thống thông tin di động	8
1.2 Tổng quan về hệ thống di động 5G.....	11
1.2.1 Các dịch vụ mới trong 5G	11
1.2.2 Kiến trúc mạng 5G	12
1.2.3 Các công nghệ trong 5G.....	14
1.2.4 Tần số sóng mang	16
1.3 Kết luận chương 1	17
CHƯƠNG 2. CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN HIỆU NĂNG ĐƯỜNG TRUYỀN MẠNG 5G	18
2.1 Phổ tần số và dải tần sử dụng.....	18
2.1.1 Phổ tần 5G băng tần thấp	18
2.1.2 Phổ tần 5G băng tần trung bình	19
2.1.3 Phổ tần 5G băng tần cao.....	21
2.2 Beamforming	23
2.2.1 Tổng quan về Beamforming	23
2.2.2 Định hình chùm tia.....	24
2.2.3 Lợi ích của việc định hình chùm tia	26
2.2.4 Tương lai và thách thức đối với công nghệ tạo chùm tia.....	26
2.3 Hiệu ứng đa đường (Multipath Fading).....	27
2.3.1 Nguyên nhân của hiệu ứng đa đường.....	27

2.3.2	Ảnh hưởng của hiệu ứng đa đường.....	27
2.3.3	Giải pháp khắc phục hiệu ứng đa đường.....	27
2.4	MIMO và Beamforming – Cải thiện hiệu suất truyền dẫn	28
2.4.1	MIMO trong 5G	28
2.4.2	Phân loại MIMO	29
2.5	Kết luận chương 2.....	30
CHƯƠNG 3.	ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG ĐƯỜNG TRUYỀN TRONG MẠNG 5G NR	31
3.1	Bài toán đánh giá hiệu năng đường truyền trong mạng 5G NR	31
3.2	Mô hình mô phỏng	31
3.3	Kết quả mô phỏng.....	32
3.4	Kết luận chương 3.....	39
KẾT LUẬN		41
PHỤ LỤC		42
	Phụ lục 1. Chương trình mô phỏng tính suy hao.....	42
	Phụ lục 2. Chương trình mô phỏng tính tỷ lệ lỗi bit (BER), xác suất dừng, và dung lượng kênh	45
TÀI LIỆU THAM KHẢO		49

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1: Quá trình phát triển mạng di động từ 1G đến 5G [1]	9
Hình 1.2: Dịch vụ của mạng 5G [5]	11
Hình 1.3: Kiến trúc của mạng 5G.....	12
Hình 1.4: Công nghệ sử dụng trong mạng 5G.....	14
Hình 1.5: Dải tần của mạng 5G	16
Hình 2.1: Kỹ thuật Beamforming	24
Hình 2.2: Phương pháp tạo chùm tia tương tự.....	25
Hình 2.3: Phương pháp tạo chùm tia kỹ thuật số.....	25
Hình 2.4: Phương pháp tạo chùm tia lai.....	26
Hình 2.5: Kỹ thuật đa ăng-ten MIMO.....	28
Hình 2.6: Single-User MIMO (SU-MIMO) và Multi-User MIMO (MU-MIMO).....	30
Hình 3.1: Ví dụ kịch bản triển khai mạng 5G NR cho vùng nông thôn và đô thị	31
Hình 3.2: Sự thay đổi của suy hao do truyền qua không gian tự do (trái) và sau khi qua kênh rayleigh fading (phải)	33
Hình 3.3: Tỷ lệ lỗi bit (BER) phân tích trên kênh Rayleigh fading.....	35
Hình 3.4: Khảo sát xác suất dừng cho khoảng cách từ 0 tới 5 km với ngưỡng SNR bằng 0 dB với 3 trường hợp tần số khác nhau	36
Hình 3.5: Khảo sát dung lượng kênh trong khoảng cách từ 0.1 tới 5 km.....	38

DANH MỤC BẢNG

Bảng 1.1: So sánh các thể hệ mạng di động [3].....	10
Bảng 2.1: Bảng tần thấp của đường lên và đường xuống trong 5G.....	18
Bảng 2.2: Bảng tần trung bình của đường lên và đường xuống trong 5G	20
Bảng 2.3: Bảng tần cao của đường lên và đường xuống trong 5G	22

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

Từ viết tắt	Nghĩa tiếng Anh	Nghĩa tiếng Việt
NR	New Radio	Hệ thống truyền thông vô tuyến mới
SCS	Subcarrier Spacing	Khoảng cách sóng mang con
IoT	Internet of Things	Kết nối vạn vật
1G	First Generation	Thế hệ mạng di động đầu tiên
2G	Second Generation	Thế hệ mạng di động thứ hai
3G	Third Generation	Thế hệ mạng di động thứ ba
4G	Fourth Generation	Thế hệ mạng di động thứ tư
5G	Fifth Generation	Thế hệ mạng di động thứ năm
CDMA	Code Division Multiple Access	Đa truy cập phân chia theo mã
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	Hệ thống viễn thông di động toàn cầu
LTE	Long-Term Evolution	Mạng 4G
WWW	World Wide Wireless Web	Mạng không dây toàn cầu
PSTN	Public Switched Telephone Network	Mạng điện thoại chuyển mạch công cộng
FDMA	Frequency Division Multiple Access	Đa truy cập phân chia tần số
TDMA	Time Division Multiple Access	Đa truy cập phân chia thời gian
uRLLC	Ultra Reliable Low Latency Communication	Giao tiếp có độ trễ thấp cực kỳ đáng tin cậy
eMBB	Enhanced Mobile Broadband	Băng thông rộng di động nâng cao
mMTC	Massive Machine Type Communications	Kết nối rộng lớn
VR	Virtual Reality	Thực tế ảo
AR	Augmented Reality	Thực tế tăng cường
UE	UE User equipment	Thiết bị người dùng
RAN	Radio Access Network	Mạng truy cập vô tuyến
AMF	Access and Mobility Management Function	Chức năng quản lý truy cập và di động

UPF	User Plane Function	Chức năng mặt phẳng người dùng
AUSF	Authentication Server Function	Chức năng máy chủ xác thực
SMF	Service Management Function	Chức năng quản lý dịch vụ
IP	Internet Protocol	Giao thức Internet
PDU	Protocol Data Unit	Đơn vị dữ liệu giao thức
NEF	Network Exposure Function	Chức năng tiếp xúc với mạng
NRF	Network Repository Function	Chức năng lưu trữ mạng
NF	Network Function	Chức năng mạng
PCF	Policy Control Function	Chức năng kiểm soát chính sách
UDM	Unified Data Management	Quản lý dữ liệu hợp nhất
NVF	Network Virtualization Function	Chức năng ảo hóa mạng
SDN	Software-Defined Networking	Mạng xác định bằng phần mềm
MIMO	Multiple-Input Multiple- Output	Nhiều đầu vào - Nhiều đầu ra
MEC	Multi-Access Edge Computing	Điện toán biên đa truy cập
NOMA	Non-Orthogonal Multiple Access	Đa truy cập không trực giao
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	Ghép kênh phân chia tần số trực giao
RB	Resource Block	Khối tài nguyên
TBS	Transport Block Size	Kích thước khối vận chuyển
MCS	Modulation and Coding Scheme	Sơ đồ điều chế và mã hóa
BER	Bit Error Rate	Tỷ lệ lỗi bit
SNR	Signal-to-Noise Ratio	Tỷ lệ tín hiệu trên tạp âm
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel	Kênh chia sẻ đường xuống vật lý
VoIP	Voice over Internet Protocol	Giao thức thoại qua Internet
SA	Standalone	Trạm cơ sở độc lập
NSA	Non-Standalone	Trạm cơ sở không độc lập

MỞ ĐẦU

Mạng di động đang trải qua sự chuyển đổi đáng kể từ công nghệ 4G sang công nghệ 5G. Các nhà cung cấp mạng đang triển khai hạ tầng 5G để cung cấp tốc độ truyền dữ liệu nhanh hơn và độ trễ thấp hơn. Việc triển khai 5G đã mở ra nhiều tiềm năng cho các ứng dụng mới như xe tự lái, thực tế ảo, và IoT. Sự phát triển của các ứng dụng trực tuyến và dịch vụ streaming đã dẫn đến một sự gia tăng đáng kể trong lưu lượng dữ liệu trên mạng di động. Người dùng mạng di động đang có những thói quen sử dụng thay đổi. Họ cần tốc độ truyền dữ liệu cao hơn để xem video chất lượng cao, chơi game trực tuyến mượt mà, và làm việc từ xa một cách hiệu quả. Đây là thách thức lớn đối với các nhà cung cấp mạng để đảm bảo mạng luôn ổn định và có thể đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng của người dùng. Để đạt được các lợi ích to lớn của mạng 5G thì việc đánh giá hiệu năng đường truyền của mạng 5G là vô cùng quan trọng.

Đánh giá hiệu năng đường truyền là quá trình đo lường và phân tích hiệu suất của mạng. Từ các dữ liệu thu thập được sẽ phân tích điểm mạnh và điểm yếu để từ đó có thể tối ưu đường truyền giúp người dùng có trải nghiệm tốt nhất. Khoảng cách sóng mang con là một trong số những yếu tố đánh giá đường truyền của mạng. Trong 4G LTE thì khoảng cách sóng mang con là cố định một giá trị còn trong 5G thì khoảng cách sóng mang con có thể thay đổi linh hoạt hơn.

Mục tiêu của đề án là đo lường và phân tích thông lượng của đường truyền tập trung vào tham số khoảng cách sóng mang con. Cụ thể sẽ là:

- Xây dựng mô hình mô phỏng mạng 5G NR;
- Đo lường và thu thập các dữ liệu về thông lượng, khoảng cách sóng mang con;
- Phân tích được sự ảnh hưởng của khoảng cách sóng mang lên đường truyền.

Trong đề án cũng sẽ sử dụng các công cụ mô phỏng mạng (Matlab 5G tools) để thiết lập môi trường mô phỏng 5G NR cho phép thực hiện các bài đo và thử nghiệm.

Đề án được trình bày trong 3 chương với các nội dung chính như sau:

Chương 1: Trình bày tổng quan về hệ thống mạng 5G và các kiến thức cơ bản liên quan đến đề tài đề án.

Chương 2: Nghiên cứu về khoảng cách sóng mang con.

Chương 3: Mô phỏng và đánh giá.

Do thời gian và kiến thức còn hạn chế nên đề án không tránh khỏi vẫn còn nhiều thiếu sót. Học viên rất mong nhận được những ý kiến đóng góp để nội dung đề án được hoàn thiện hơn.

CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU CHUNG

1.1 Tổng quan về hệ thống thông tin di động

1.1.1 Các thành phần của hệ thống thông tin di động

Hệ thống thông tin di động là một mạng truyền thông không dây cho phép các thiết bị di động như điện thoại di động, máy tính bảng và thiết bị IoT (Internet of Things) truyền tải dữ liệu và liên lạc với nhau. Hệ thống này cho phép người dùng di chuyển mà vẫn duy trì kết nối liên tục, cung cấp dịch vụ thoại, truyền dữ liệu và các ứng dụng Internet khác.

Các thành phần chính của hệ thống thông tin di động bao gồm:

Người dùng: Bao gồm các cá nhân và tổ chức sử dụng các thiết bị di động để truy cập vào các dịch vụ mạng, bao gồm cuộc gọi, tin nhắn, Internet, ứng dụng di động và dịch vụ IoT.

Các thiết bị di động: Bao gồm điện thoại di động, máy tính bảng, đồng hồ thông minh, thiết bị đeo thông minh và các cảm biến IoT. Những thiết bị này có khả năng kết nối không dây và được sử dụng để truy cập vào mạng di động.

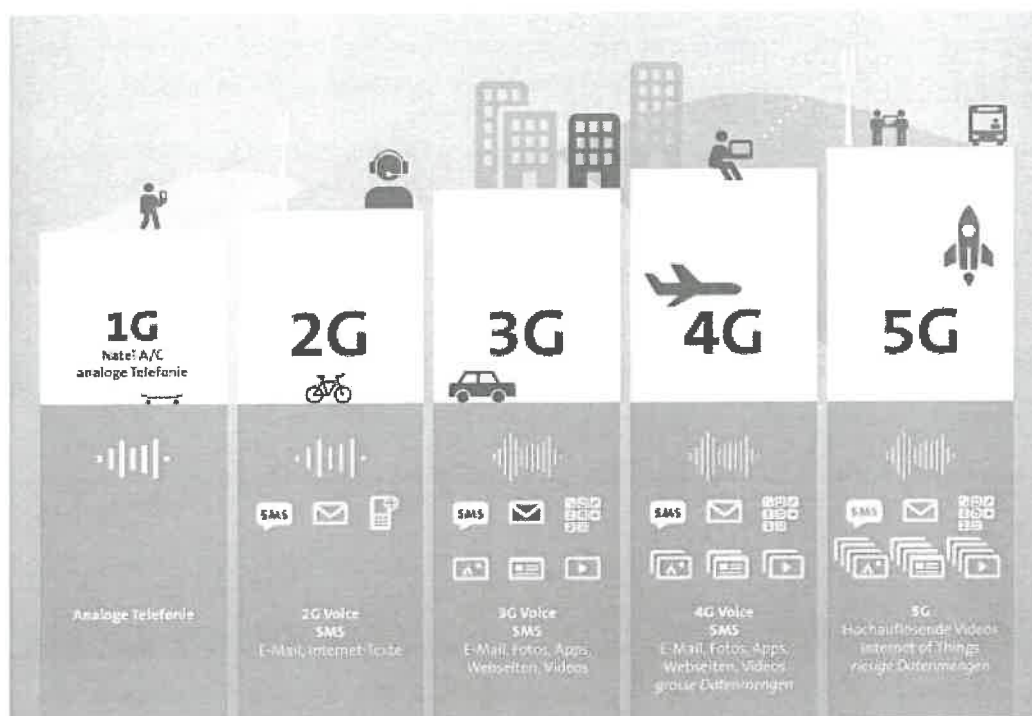
Mạng di động: Hệ thống gồm các cơ sở hạ tầng và thiết bị mạng để truyền tải dữ liệu giữa các thiết bị di động và các ứng dụng trên Internet. Mạng di động bao gồm các thành phần như cell towers, trạm cơ sở, trạm thu phát, các hệ thống viễn thông và các giao thức truyền thông.

Cơ sở hạ tầng: Bao gồm các thiết bị vật lý như các cell towers, trạm cơ sở, anten, các phương tiện truyền thông, và các máy chủ mạng. Cơ sở hạ tầng hỗ trợ việc truyền dữ liệu và thông tin giữa các thiết bị di động và hệ thống mạng.

Dịch vụ và ứng dụng: Bao gồm các dịch vụ và ứng dụng được cung cấp cho người dùng di động, bao gồm các dịch vụ thoại, tin nhắn, truyền dữ liệu, truy cập Internet, ứng dụng di động, trò chơi và các dịch vụ IoT.

1.1.2 Sự phát triển của hệ thống thông tin di động

Mạng di động đã trải qua nhiều bước tiến từ khi ra đời thế hệ đầu tiên vào cuối những năm 1970 cho đến nay. Sau mỗi thế hệ mạng di động đều mang đến những cải tiến đáng kể về tốc độ dữ liệu, dung lượng mạng, chất lượng dịch vụ và khả năng kết nối.



Hình 1.1: Quá trình phát triển mạng di động từ 1G đến 5G [1]

Mạng 1G: 1G (viết tắt của First Generation) là thế hệ mạng di động đầu tiên được triển khai thương mại vào cuối những năm 1970 và đầu những năm 1980. Mặc dù 1G đã lỗi thời và được thay thế bởi các thế hệ mạng di động tiên tiến hơn song nó vẫn đóng vai trò quan trọng trong lịch sử phát triển của ngành viễn thông di động. 1G đã đặt nền móng cho sự phát triển của các thế hệ mạng di động sau này [2] [3].

Mạng 3G: 3G (viết tắt của Third Generation) là thế hệ mạng di động thứ ba được triển khai thương mại vào đầu những năm 2000. 3G là một bước tiến quan trọng trong lịch sử phát triển của ngành viễn thông di động. Nó đã mang đến cho người dùng trải nghiệm di động hoàn toàn mới với tốc độ truy cập Internet nhanh hơn, chất lượng video tốt hơn và khả năng sử dụng nhiều dịch vụ di động tiên tiến. Mặc dù hiện nay 3G không còn là lựa chọn tối ưu, nó vẫn đóng vai trò nhất định trong việc cung cấp dịch vụ di động ở một số khu vực [2] [3].

Mạng 4G: 4G (viết tắt của Fourth Generation) là thế hệ mạng di động thứ tư, đánh dấu một bước tiến đột phá trong ngành viễn thông di động. Được triển khai thương mại vào đầu những năm 2010, 4G mang đến cho người dùng tốc độ dữ liệu cao hơn, độ trễ thấp hơn và khả năng kết nối nhiều thiết bị hơn so với các thế hệ trước. Mặc dù 4G vẫn có một số hạn chế, nó đóng vai trò thiết yếu trong việc kết nối mọi người và mọi thứ trong thế giới ngày nay [2] [3].

Mạng 5G: 5G (viết tắt của Fifth Generation) là thế hệ mạng di động thứ năm, hứa hẹn mang đến một cuộc cách mạng trong ngành viễn thông di động. Được triển khai

thương mại vào đầu những năm 2020, 5G cung cấp tốc độ dữ liệu cực cao, độ trễ siêu thấp và khả năng kết nối hàng triệu thiết bị trong một phạm vi nhỏ. 5G là một thế hệ mạng di động mang tính cách mạng, hứa hẹn mang đến nhiều lợi ích cho người dùng, doanh nghiệp và xã hội [2] [3].

Bảng 1.1: So sánh các thế hệ mạng di động [3]

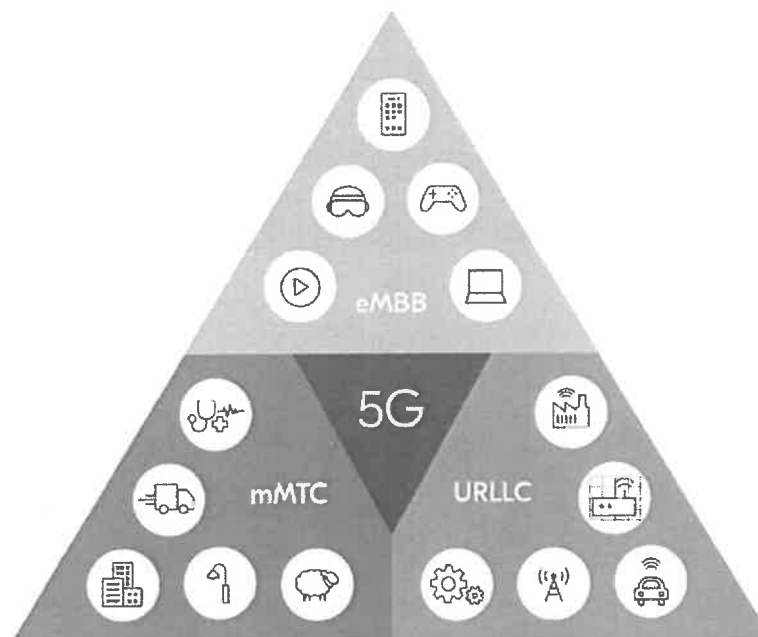
	1G	2G	3G	4G	5G
Băng thông dữ liệu	2Kbps	64Kbps	2Mbps	1Gbps	>1Gbps
Công nghệ	Analog	Digital	CDMA 2000, UMTS	Wi-Max, Wi-Fi, LTE	WWWW
Mạng lõi	PSTN	PSTN	PacketN/W	Internet	Internet
Ghép kênh	FDMA	TDMA/CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Dịch vụ chính	Cuộc gọi điện thoại tương tự	Cuộc gọi và nhắn tin điện thoại kỹ thuật số	Cuộc gọi điện thoại, tin nhắn, dữ liệu	Dịch vụ toàn IP (bao gồm cả tin nhắn thoại)	Tốc độ cao, dung lượng cao và cung cấp khả năng truyền phát dữ liệu lớn tính bằng Gbps
Điểm khác biệt chính	Tính cơ động	An toàn, áp dụng đại trà	Trải nghiệm Internet tốt hơn	Internet băng thông rộng nhanh hơn, độ trễ thấp hơn	Vùng phủ sóng tốt hơn, độ trễ thấp hơn nhiều, hiệu suất tốt hơn
Nhược điểm	Hiệu suất quang phổ kém, vấn đề bảo mật lớn	Tốc độ dữ liệu hạn chế, khó hỗ trợ nhu cầu Internet	Tốn chi phí dữ liệu di động, lỗi kết nối	Sử dụng pin nhiều hơn, yêu cầu phần cứng phức tạp và đắt tiền	

1.2 Tổng quan về hệ thống di động 5G

1.2.1 Các dịch vụ mới trong 5G

Dịch vụ 5G là một bước đột phá trong lĩnh vực viễn thông di động, mang đến những trải nghiệm vượt trội và tiềm năng khác biệt so với các thế hệ trước đó. Với tốc độ truyền dữ liệu siêu nhanh, độ trễ thấp và khả năng kết nối hàng tỷ thiết bị cùng lúc, 5G mở ra nhiều cơ hội mới cho các ngành công nghiệp và đời sống của mọi người. Dịch vụ của 5G tập trung vào 3 khía cạnh chính là uRLLC (Ultra Reliable Low Latency Communication) – độ trễ thấp và độ tin cậy cao, eMBB (Enhanced Mobile Broadband):

- Tốc độ truyền dữ liệu nhanh hơn và mMTC (Massive Machine Type Communications);
- Kết nối hàng tỉ thiết bị [4].



Hình 1.2: Dịch vụ của mạng 5G [5]

uRLLC (Ultra Reliable Low Latency Communication): URLLC cho phép truyền dữ liệu với độ trễ cực thấp, thường chỉ từ vài mili giây đến vài chục mili giây. Điều này làm cho URLLC thích hợp cho các ứng dụng yêu cầu phản hồi nhanh, chẳng hạn như xe tự lái, hệ thống điều khiển tự động, hoặc các ứng dụng y tế tương tác thời gian thực. URLLC cũng đảm bảo độ tin cậy gần như tuyệt đối trong việc truyền dữ liệu. Điều này làm cho URLLC phù hợp cho các ứng dụng yêu cầu tính an toàn và độ tin cậy cao như giao thông thông minh, hệ thống quản lý năng lượng, hệ thống sản xuất tự động [4, 5].

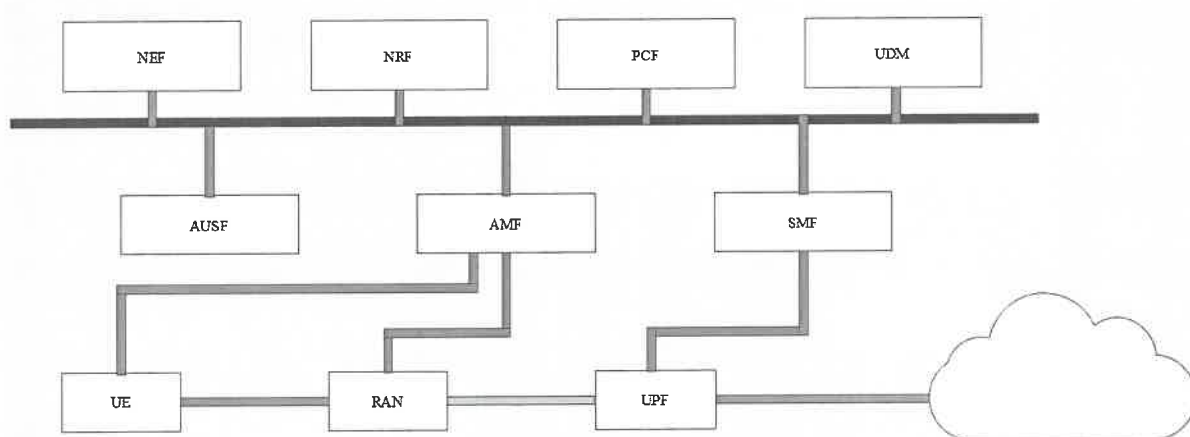
eMBB (Enhanced Mobile Broadband): với eMBB, người dùng có thể tải xuống và xem nội dung chất lượng cao mà không gặp gián đoạn. Tốc độ truyền dữ liệu siêu nhanh cho phép xem video 4K/8K mượt mà, chơi game trực tuyến không lag và trải nghiệm

các ứng dụng đòi hỏi băng thông cao một cách tuyệt vời. eMBB cung cấp trải nghiệm đa dạng hơn cho người dùng di động. Từ việc xem video chất lượng cao trên điện thoại di động đến làm việc từ xa và học tập trực tuyến, eMBB giúp nâng cao hiệu suất và tiện ích của các hoạt động hàng ngày. Với eMBB, các công nghệ như thực tế ảo (VR) và thực tế tăng cường (AR) trở nên phổ biến hơn và chân thực hơn. Việc có băng thông rộng và độ trễ thấp làm cho trải nghiệm AR/VR trở nên mượt mà và hấp dẫn hơn. eMBB cung cấp khả năng kết nối liên tục và ổn định hơn, đảm bảo người dùng luôn có truy cập nhanh chóng và không bị gián đoạn vào bất kỳ lúc nào [4] [5].

mMTC (Massive Machine Type Communications): mMTC cho phép kết nối đồng thời hàng tỷ thiết bị IoT, từ cảm biến thông minh đến thiết bị điện tử tiêu dùng và các thiết bị công nghiệp. Việc này mở ra tiềm năng lớn cho các ứng dụng quy mô lớn và phát triển các hệ thống tự động hoá. mMTC tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng cho các thiết bị IoT, giúp kéo dài tuổi thọ pin và tăng tính bền vững của hệ thống. Các ứng dụng của mMTC rất đa dạng, từ các hệ thống giám sát môi trường đến các giải pháp trong giao thông, y tế, nông nghiệp và quản lý đô thị thông minh. mMTC cung cấp khả năng mở rộng linh hoạt để hỗ trợ số lượng thiết bị ngày càng tăng lên trong tương lai, đảm bảo sự linh hoạt và độ tin cậy của hệ thống [4] [5].

1.2.2 Kiến trúc mạng 5G

Kiến trúc mạng 5G được mô tả như trên hình 1.3 [6].



Hình 1.3: Kiến trúc của mạng 5G

Thiết bị người dùng (UE): Các thiết bị di động 5G, chẳng hạn như điện thoại thông minh, kết nối qua mạng truy cập vô tuyến mới 5G với lõi 5G và sau đó với Internet.

Mạng truy cập vô tuyến (RAN): Điều phối tài nguyên mạng trên các thiết bị không dây.

Chức năng quản lý truy cập và di động (AMF): Điểm đầu vào duy nhất của kết nối UE cho kết nối UE. AMF chọn SMF dựa trên yêu cầu dịch vụ của UE.

Chức năng mặt phẳng người dùng (UPF): Mang lưu lượng dữ liệu IP – mặt phẳng người dùng – giữa UE và các mạng bên ngoài.

Chức năng máy chủ xác thực (AUSF): Cho phép AMF xác thực UE và truy cập các dịch vụ.

Chức năng quản lý phiên (SMF): Chịu trách nhiệm quản lý Đơn vị dữ liệu giao thức (PDU) phân bổ địa chỉ IP, quản lý đường hầm và quản lý thông báo đường xuống.

Chức năng hiển thị mạng (NEF): Hiển thị các dịch vụ và khả năng một cách an toàn cho các bên thứ ba được phê duyệt.

Chức năng kho lưu trữ mạng (NRF): Phục vụ như một kho lưu trữ trung tâm cho các chức năng mạng (NF).

Chức năng kiểm soát chính sách (PCF): Hỗ trợ khung chính sách thống nhất chi phối hành vi mạng.

Quản lý dữ liệu hợp nhất (UDM): Hỗ trợ ủy quyền nâng cao và cho phép người vận hành dễ dàng điều chỉnh theo nhu cầu của khách hàng.

Trong 5G trạm cơ sở hay còn được gọi là gNodeB (gNB), là một thành phần quan trọng trong hệ thống mạng viễn thông. Nó đóng vai trò kết nối các thiết bị di động với mạng lõi và cung cấp các dịch vụ không dây. Trạm gốc 5G có những đặc điểm và khả năng vượt trội hơn so với các thế hệ trước như 4G LTE, mang lại nhiều cải tiến đáng kể cho cả người dùng và nhà cung cấp dịch vụ.

Vai trò của trạm cơ sở 5G:

Kết nối và truyền tải dữ liệu: Trạm cơ sở gNB là điểm truy cập cuối cùng trong mạng, tiếp nhận và truyền tải dữ liệu giữa thiết bị di động và mạng lõi.

Quản lý tài nguyên mạng: gNB quản lý tài nguyên vô tuyến, điều phối băng tần và công suất truyền tải để đảm bảo chất lượng dịch vụ cho người dùng.

Hỗ trợ dịch vụ mới: Trạm cơ sở 5G tạo nền tảng cho nhiều dịch vụ và ứng dụng mới, từ giải trí, giáo dục, y tế đến giao thông thông minh và sản xuất công nghiệp.

Trong hệ thống mạng 5G, trạm cơ sở có thể được chia thành hai loại: trạm cơ sở độc lập (Standalone, SA) và trạm cơ sở không độc lập (Non-Standalone, NSA) [6].

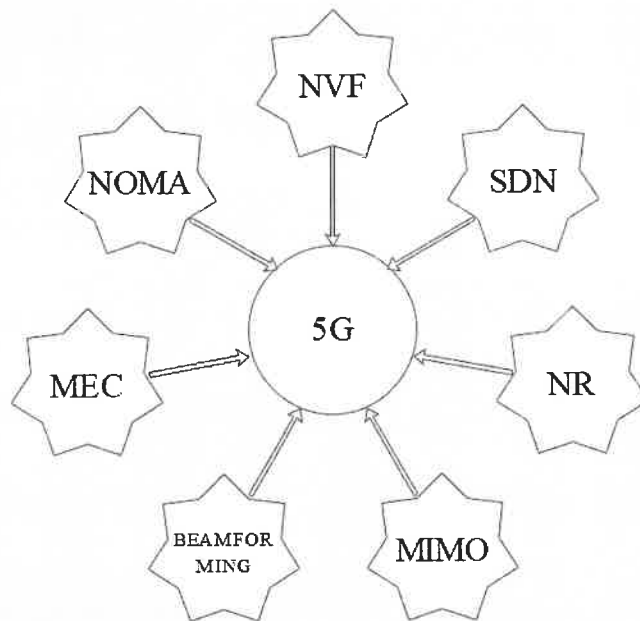
Trạm cơ sở độc lập (SA) là một cấu trúc mạng mà trong đó các trạm cơ sở 5G hoạt động một cách hoàn toàn độc lập, không dựa vào các công nghệ mạng trước đó như 4G

LTE. Trạm cơ sở SA bao gồm cả mạng lõi 5G và các trạm gốc 5G, giúp khai thác tối đa các khả năng của 5G như tốc độ cao, độ trễ thấp và khả năng kết nối đa dạng. Cấu trúc này mang lại sự linh hoạt và hiệu suất tối ưu cho các ứng dụng đòi hỏi băng thông lớn và phản hồi nhanh như thực tế ảo (VR), thực tế tăng cường (AR) và IoT công nghiệp.

Trạm cơ sở không độc lập (NSA), ngược lại, sử dụng cơ sở hạ tầng mạng 4G LTE hiện tại để hỗ trợ cho việc triển khai 5G. Trạm cơ sở NSA kết hợp giữa trạm gốc 4G và trạm gốc 5G, trong đó mạng lõi vẫn là 4G. Điều này giúp các nhà mạng dễ dàng và nhanh chóng nâng cấp lên 5G mà không cần thay đổi toàn bộ hệ thống hiện có. Mặc dù không tận dụng được hết toàn bộ lợi ích của 5G như trong cấu trúc SA, NSA vẫn mang lại những cải tiến đáng kể về tốc độ và dung lượng kết nối so với 4G truyền thống.

1.2.3 Các công nghệ trong 5G

Trên hình 1.4 minh họa các công nghệ sử dụng trong 5G [7].



Hình 1.4: Công nghệ sử dụng trong mạng 5G

NVF (Network Function Virtualization): NVF là một công nghệ quan trọng trong việc chuyển đổi cơ sở hạ tầng mạng từ các thiết bị và chức năng dựa trên phần cứng sang các phần mềm chạy trên các máy chủ thông thường hoặc trong môi trường đám mây. NVF giúp tạo ra một môi trường linh hoạt và dễ dàng mở rộng hơn cho các dịch vụ mạng. Thay vì sử dụng các thiết bị chuyên dụng (từ các hệ thống phần cứng như router, firewall, hay các trạm cơ sở di động), các chức năng mạng như định tuyến (routing), chuyển mạch (switching), bảo mật (security), và cả các ứng dụng dịch vụ khác được triển khai và quản lý như các ứng dụng phần mềm trên nền tảng ảo hóa.

SDN (Software-Defined Networking): SDN trong mạng 5G đóng vai trò quan trọng trong việc tạo ra một môi trường mạng linh hoạt, dễ mở rộng và có khả năng tự động hóa cao hơn. SDN trong mạng 5G bao gồm các ứng dụng và cải tiến để tối ưu hóa quản lý mạng và cung cấp các dịch vụ điện toán đám mây (cloud computing) trên nền tảng 5G. Đặc điểm chính của SDN là phân tách điều khiển (Control Plane) và dữ liệu (Data Plane). Công nghệ SDN trong mạng 5G phân tách các chức năng điều khiển mạng và chuyển tiếp dữ liệu. Điều này cho phép quản trị mạng tập trung điều khiển toàn bộ mạng thông qua một trung tâm điều khiển SDN (SDN Controller), trong khi dữ liệu vẫn được chuyển tiếp theo các quy tắc đã được định nghĩa trước.

NR (New Radio): NR là một phần quan trọng của chuẩn 5G được phát triển bởi 3GPP (Third Generation Partnership Project). NR là tiêu chuẩn kỹ thuật cho các mạng di động 5G và cung cấp nền tảng cho các tính năng và dịch vụ mới trong mạng di động. NR cải thiện khả năng kết nối và phạm vi phủ sóng bằng cách sử dụng dải tần số rộng hơn và hỗ trợ các kỹ thuật như mmWave (tần số siêu cao) để đạt được hiệu suất tốt hơn trong môi trường có nhiều người dùng. NR cũng có khả năng linh hoạt và dễ mở rộng, cho phép các nhà cung cấp dịch vụ triển khai và cung cấp các tính năng và dịch vụ mới nhanh chóng và hiệu quả.

MIMO (Multiple-Input Multiple-Output): đóng vai trò quan trọng trong việc cải thiện hiệu suất của mạng di động. Massive MIMO sử dụng một số lượng lớn các anten trên trạm cơ sở, thường từ hàng chục đến hàng trăm anten. Số lượng anten lớn này cho phép trạm cơ sở gửi và nhận dữ liệu đồng thời từ nhiều thiết bị người dùng (user devices) khác nhau. Mặc dù sử dụng nhiều anten, Massive MIMO có thể tiết kiệm năng lượng và tài nguyên so với các kỹ thuật truyền thống, nhờ vào khả năng phân bổ tài nguyên thông minh và hiệu quả cao hơn trong việc sử dụng sóng vô tuyến.

Beamforming: được sử dụng để tăng cường hiệu suất truyền dẫn không dây bằng cách tập trung năng lượng sóng vô tuyến (RF signals) theo hướng của các thiết bị người dùng (user devices) cụ thể, thay vì phát sóng ngang rộng. Điều này giúp cải thiện chất lượng kết nối, tăng tốc độ truyền dữ liệu và giảm độ trễ trong mạng di động. Bằng cách tập trung năng lượng sóng, Beamforming cải thiện khả năng kết nối và ổn định của mạng 5G. Nó giúp giảm thiểu nhiễu và hiện tượng đa đường (multi-path fading), dẫn đến chất lượng kết nối tốt hơn.

MEC (Mobile Edge Computing): cho phép xử lý một phần dữ liệu và các yêu cầu tính toán tại cạnh mạng, giảm tải cho mạng trung tâm và giúp tối ưu hóa hoạt động của hệ thống mạng 5G. MEC giúp cải thiện hiệu suất mạng, giảm độ trễ và hỗ trợ triển khai các ứng dụng và dịch vụ mới như IoT, thực tế tăng cường (AR/VR), xe tự lái và các ứng dụng di động khác. MEC có thể giảm thiểu lưu lượng mạng, tiết kiệm năng lượng và

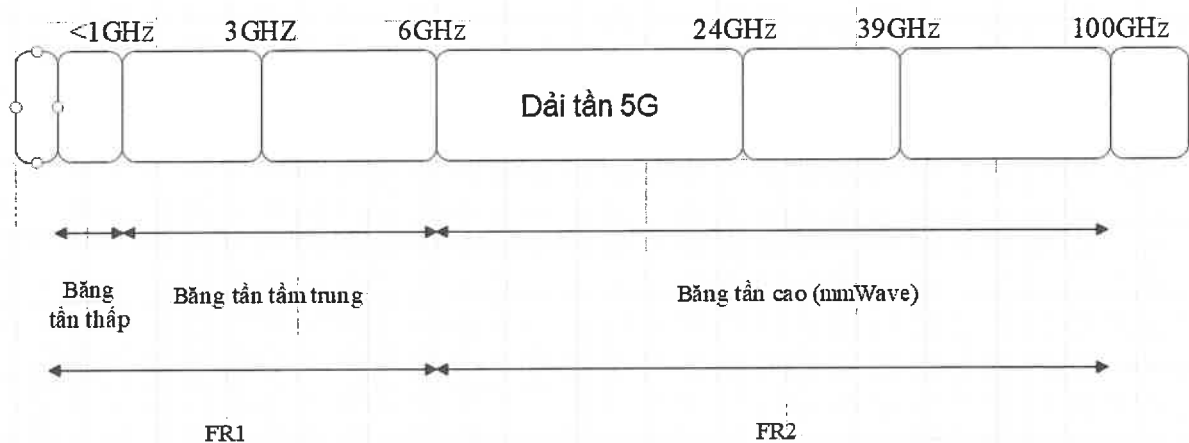
tăng hiệu suất toàn diện của mạng 5G bằng cách phân phối tính toán và xử lý dữ liệu một cách thông minh và hiệu quả.

NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access): là một trong những công nghệ truy cập đa người dùng không trực giao được áp dụng trong mạng 5G để tăng khả năng kết nối, cải thiện hiệu suất mạng và hỗ trợ các ứng dụng đa dịch vụ. NOMA cho phép nhiều thiết bị người dùng sử dụng cùng một tài nguyên mạng (như tần số, không gian, thời gian) một cách không trực giao. Điều này có nghĩa là các tín hiệu từ các thiết bị người dùng có thể trùng lẫn nhau một phần, nhưng vẫn có thể được phân biệt và xử lý một cách hiệu quả. NOMA tăng khả năng kết nối của mạng bằng cách cho phép nhiều người dùng sử dụng cùng một tài nguyên, giúp tăng dung lượng mạng và đáp ứng được nhiều yêu cầu sử dụng khác nhau.

1.2.4 Tần số sóng mang

Tần số sóng mang là tần số của một sóng mang, là một sóng điện từ có tần số cao có thể được điều chế với một tín hiệu thông tin như âm thanh, video hoặc dữ liệu để truyền đi. Nó được ký hiệu là f_c .

Trong 5G tần số sóng mang trải trên các dải tần, trên hình 1.5 chỉ ra 3 dải tần chính [6]:



Hình 1.5: Dải tần của mạng 5G

Băng tần thấp: hoạt động dưới 2 GHz cung cấp phạm vi phủ sóng rộng. Băng tần này hiện đang được sử dụng cho 4G LTE.

Băng tần tầm trung: hoạt động ở dải tần 2-6 GHz cung cấp dung lượng cho các khu vực thành thị. Dải tần này có tốc độ lên đến vài trăm Mbps.

Băng tần cao (mmWave): cung cấp tần số cao, hoạt động ở dải tần 24-100 GHz. Do tần số cao nên bị hạn chế bởi các chướng ngại vật, phạm vi phủ sóng nhỏ.

1.3 Kết luận chương 1

Trong chương 1 đã giới thiệu tổng quan về hệ thống thông tin di động, sự ra đời và phát triển của các thế hệ di động. Sau đó là phần trình bày về hệ thống di động 5G: kiến trúc mạng, các thành phần hệ thống và chức năng của chúng, các đặc điểm kỹ thuật cũng như là các dịch vụ cung cấp trong mạng di động 5G. Tiếp đến là phần giới thiệu về các dải tần số sóng mang sử dụng trong 5G.

Các nội dung trình bày trong chương này là tiền đề cho các nghiên cứu sẽ tiến hành tại các chương sau.

CHƯƠNG 2. CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN HIỆU NĂNG ĐƯỜNG TRUYỀN MẠNG 5G

2.1 Phổ tần số và dải tần sử dụng

2.1.1 Phổ tần 5G băng tần thấp

Phổ tần số có thể sử dụng dưới 1GHz được gọi là Băng tần thấp trong 5G. Phổ tần số thấp cung cấp phạm vi phủ sóng toàn diện hơn và có thể xuyên qua chướng ngại vật tốt hơn. Các nhà cung cấp dịch vụ đã quen thuộc với các băng tần này kể từ khi mạng 2G ra đời và chúng được sử dụng phổ biến trên toàn cầu.

Các băng tần thấp phổ biến sử dụng trong 5G được chỉ ra trong bảng 2.1.

Phổ tần số có thể sử dụng dưới 1GHz được gọi là Băng tần thấp trong 5G. Phổ tần số thấp cung cấp phạm vi phủ sóng toàn diện hơn và có thể xuyên qua chướng ngại vật tốt hơn. Các nhà cung cấp dịch vụ đã quen thuộc với các băng tần này kể từ khi mạng 2G ra đời và chúng được sử dụng phổ biến trên toàn cầu.

Các băng tần thấp phổ biến sử dụng trong 5G được chỉ ra trong bảng 2.1.

Bảng 2.1: Băng tần thấp của đường lên và đường xuống trong 5G

NR Dải hoạt động	Đường lên		Đường xuống		Chế độ song công
	Thấp	Cao	Thấp	Cao	
n71	663MHz	698MHz	617MHz	652MHz	FDD
n28	703MHz	748MHz	758MHz	803MHz	FDD
n5	824MHz	849MHz	869MHz	894MHz	FDD
n8	880MHz	915MHz	925MHz	960MHz	FDD

Ưu điểm:

- **Phạm vi phủ sóng rộng:** Nhờ vào bước sóng dài, các băng tần dưới 1GHz có khả năng bao phủ khu vực rộng lớn, đặc biệt hữu ích ở vùng nông thôn và ngoại ô.

- **Xuyên vật cản tốt:** So với các băng tần trung và cao, sóng vô tuyến ở băng tần thấp có thể dễ dàng xuyên qua các tòa nhà, cây cối và các vật cản khác.
- **Độ trễ thấp và ổn định:** Dù tốc độ không cao bằng băng tần trung và cao, nhưng băng tần thấp vẫn cung cấp kết nối ổn định và ít bị ảnh hưởng bởi nhiễu tín hiệu.

Nhược điểm:

- **Băng thông hạn chế:** Do tần số thấp, dung lượng dữ liệu truyền tải của các băng tần này bị giới hạn, dẫn đến tốc độ tải xuống và tải lên thấp hơn so với các băng tần trung và cao.
- **Khả năng hỗ trợ số lượng lớn thiết bị kém hơn:** Do băng thông nhỏ, băng tần thấp khó đáp ứng nhu cầu của các khu vực có mật độ người dùng cao như trung tâm đô thị.
- **Chỉ phù hợp với một số ứng dụng:** Băng tần thấp phù hợp cho các dịch vụ IoT diện rộng, dịch vụ thoại và kết nối di động cơ bản, nhưng không lý tưởng cho các ứng dụng yêu cầu tốc độ cao như truyền phát video 4K hoặc AR/VR.

Ứng dụng của băng tần thấp trong 5G

- **Phủ sóng khu vực rộng lớn:** Các nhà mạng tận dụng băng tần thấp để mở rộng vùng phủ sóng 5G đến các vùng xa, đảm bảo kết nối ổn định.
- **Internet vạn vật (IoT):** Do tiêu thụ năng lượng thấp và phạm vi phủ sóng rộng, băng tần thấp rất phù hợp cho các thiết bị IoT như cảm biến nông nghiệp, thiết bị giám sát giao thông và hệ thống quản lý đô thị thông minh.
- **Hỗ trợ mạng lai (NSA - Non-Standalone):** Nhiều nhà mạng triển khai 5G trên băng tần thấp để duy trì kết nối liền mạch với mạng 4G LTE.

2.1.2 Phổ tần 5G băng tần trung bình

Tần số băng tần trung là lựa chọn tốt cho cả khu vực thành thị và ngoại ô vì nó cân bằng giữa vùng phủ sóng và dung lượng. Băng tần trung thường được sử dụng trong các triển khai 5G trước đó do băng thông cao hơn để cung cấp tốc độ dữ liệu cao hơn so với băng tần thấp.

Các băng tần trung bình phổ biến sử dụng trong 5G được chỉ ra trong bảng 2.2.

Bảng 2.2: Bảng tần trung bình của đường lên và đường xuống trong 5G

NR Dải hoạt động	Đường lên		Đường xuống		Chế độ song công
	Thấp	Cao	Thấp	Cao	
n1	1920MHz	1980MHz	2110MHz	2170MHz	FDD
n2	1850MHz	1910MHz	1930MHz	1990MHz	FDD
n3	1710MHz	1785MHz	1805MHz	1880MHz	FDD
n80	1710MHz	1785MHz	Không có	Không có	SUL
n40	2300MHz	2400MHz	2300MHz	2400MHz	TDD
n41	2496MHz	2690MHz	2496MHz	2690MHz	TDD
n7	2500MHz	2570MHz	2620MHz	2690MHz	FDD
n78	3300MHz	3800MHz	3300MHz	3800MHz	TDD
n77	3300MHz	4200MHz	3300MHz	4200MHz	TDD
n79	4400MHz	5000MHz	4400MHz	5000MHz	TDD

Ưu điểm của băng tần trung trong 5G:

- **Cân bằng giữa vùng phủ sóng và dung lượng:** Băng tần trung có khả năng cung cấp tốc độ dữ liệu cao hơn so với băng tần thấp, trong khi vẫn duy trì phạm vi phủ sóng hợp lý.
- **Tốc độ dữ liệu cao:** Nhờ băng thông lớn, băng tần trung cho phép truyền tải dữ liệu với tốc độ nhanh hơn, phù hợp với các ứng dụng yêu cầu băng thông cao như phát video 4K, hội nghị truyền hình và chơi game trực tuyến.

- **Phạm vi phủ sóng tương đối rộng:** Mặc dù không bằng băng tần thấp, băng tần trung vẫn có khả năng phủ sóng tốt, đặc biệt là trong các khu vực thành thị và ngoại ô, nơi nhu cầu dữ liệu cao.
- **Tiết kiệm chi phí triển khai:** Việc sử dụng băng tần trung giúp các nhà mạng tận dụng hạ tầng hiện có và không cần xây dựng quá nhiều trạm phát sóng mới, giúp tiết kiệm chi phí triển khai.

Nhược điểm của băng tần trung trong 5G:

- **Khả năng xuyên vật cản kém hơn băng tần thấp:** Băng tần trung không thể xuyên qua các vật cản tốt như băng tần thấp, điều này có thể gây giảm chất lượng tín hiệu trong môi trường đô thị với nhiều tòa nhà cao tầng.
- **Không thể cung cấp tốc độ cực nhanh như băng tần cao:** Mặc dù tốc độ dữ liệu của băng tần trung cao hơn băng tần thấp, nhưng vẫn chưa thể sánh với băng tần cao trong việc cung cấp tốc độ cực nhanh, đặc biệt là đối với các ứng dụng yêu cầu băng thông rất lớn.
- **Có thể gặp quá tải trong tương lai:** Nếu không được triển khai hợp lý, băng tần trung có thể trở nên quá tải khi nhu cầu dữ liệu tiếp tục gia tăng, đặc biệt ở các khu vực có mật độ người dùng cao.

Ứng dụng của băng tần trung trong 5G:

- **Mạng 5G tại khu vực thành thị và ngoại ô:** Băng tần trung được sử dụng để triển khai mạng 5G ở các khu vực đô thị và ngoại ô, giúp cân bằng giữa tốc độ và phạm vi phủ sóng.
- **Truyền phát nội dung tốc độ cao:** Các dịch vụ phát video trực tuyến, hội nghị truyền hình và chơi game đám mây tận dụng băng tần trung để có trải nghiệm mượt mà và chất lượng cao.
- **Triển khai 5G độc lập (SA - Standalone):** Băng tần trung đóng vai trò quan trọng trong triển khai 5G độc lập, giúp tối ưu hóa các lợi ích của công nghệ 5G như độ trễ thấp và tốc độ truyền tải cao.
- **Hỗ trợ doanh nghiệp và nhà máy thông minh:** Băng tần trung rất phù hợp cho các hệ thống IoT trong nhà máy, sản xuất tự động và các giải pháp công nghiệp yêu cầu kết nối ổn định và băng thông hợp lý.

2.1.3 Phổ tần 5G băng tần cao

Các băng tần cao cung cấp khả năng truyền dữ liệu nhanh và thời gian phản hồi nhanh, nhưng phạm vi phủ sóng của chúng bị hạn chế và chủ yếu được sử dụng ở các

thành phố đông đúc. Phổ tần cao hoạt động trong dải tần số sóng milimet, phù hợp với các ứng dụng băng thông cao hơn cho dữ liệu cực nhanh.

Các băng tần cao phổ biến sử dụng trong 5G được chỉ ra trong bảng 2.3.

Bảng 2.3: Băng tần cao của đường lên và đường xuống trong 5G

NR Dải hoạt động	Đường lên		Liên kết xuống		Chế độ song công
	Thấp	Cao	Thấp	Cao	
n257	26,5 GHz	29,5 GHz	26,5 GHz	29,5 GHz	TDD
n258	24,25 GHz	27,5 GHz	24,25 GHz	27,5 GHz	TDD
n260	37 GHz	40 GHz	37 GHz	40 GHz	TDD
n261	27,5 GHz	28,35 GHz	27,5 GHz	28,35 GHz	TDD

Ưu điểm của băng tần cao trong 5G:

- **Truyền dữ liệu nhanh và thời gian phản hồi nhanh:** Băng tần cao cung cấp băng thông lớn, giúp truyền tải dữ liệu với tốc độ rất nhanh và giảm độ trễ, mang lại trải nghiệm mượt mà cho các ứng dụng yêu cầu băng thông cao và thời gian phản hồi cực thấp.
- **Hỗ trợ ứng dụng băng thông cực cao:** Các băng tần cao chủ yếu được sử dụng cho các ứng dụng yêu cầu truyền tải dữ liệu cực lớn, như phát video 8K, thực tế ảo (VR), thực tế tăng cường (AR), và các trò chơi điện tử trực tuyến yêu cầu độ phân giải và tốc độ cực kỳ cao.
- **Hiệu quả cao trong khu vực có mật độ người dùng cao:** Do khả năng truyền tải dữ liệu nhanh chóng và hiệu suất cao, băng tần cao được triển khai ở các khu vực đông dân cư, giúp đảm bảo tốc độ mạng nhanh và ổn định cho số lượng người dùng lớn.

Nhược điểm của băng tần cao trong 5G:

- **Phạm vi phủ sóng hạn chế:** Mặc dù tốc độ truyền dữ liệu rất nhanh, nhưng băng tần cao có phạm vi phủ sóng hạn chế, vì sóng milimet dễ bị

hấp thụ và suy giảm bởi vật cản như tòa nhà, cây cối và các yếu tố thời tiết.

- **Khả năng xuyên vật cản kém:** Sóng ở dải tần cao không thể xuyên qua các vật cản như băng tần thấp hoặc trung, điều này khiến cho việc duy trì kết nối ổn định trong các tòa nhà hoặc khu vực có nhiều vật cản trở thành một thách thức.
- **Cần nhiều trạm phát sóng:** Để đảm bảo vùng phủ sóng trong khu vực sử dụng băng tần cao, cần triển khai nhiều trạm phát sóng với mật độ cao. Điều này dẫn đến chi phí triển khai và bảo trì hạ tầng cao, đặc biệt là trong các thành phố đông đúc.

Ứng dụng của băng tần cao trong 5G:

- **Truyền phát video chất lượng cực cao:** Băng tần cao là lựa chọn lý tưởng để phục vụ các dịch vụ truyền phát video với độ phân giải 8K, hội nghị video chất lượng cao, và các ứng dụng đa phương tiện yêu cầu băng thông rất lớn.
- **Thực tế ảo và thực tế tăng cường (VR/AR):** Các ứng dụng yêu cầu tốc độ truyền tải cực nhanh và độ trễ thấp như VR và AR sẽ được hưởng lợi lớn từ băng tần cao, giúp mang lại trải nghiệm mượt mà và chân thực.
- **Mạng 5G trong thành phố đông đúc:** Băng tần cao phù hợp để triển khai 5G tại các khu vực có mật độ dân cư cao như các khu thương mại và trung tâm đô thị, nơi nhu cầu băng thông lớn và số lượng người dùng đồng thời rất cao.
- **Kết nối xe tự lái và các ứng dụng IoT tiên tiến:** Với tốc độ cao và độ trễ thấp, băng tần cao cũng rất hữu ích trong các ứng dụng như xe tự lái, nơi cần truyền tải dữ liệu lớn và yêu cầu phản hồi ngay lập tức.

2.2 Beamforming

2.2.1 Tổng quan về Beamforming

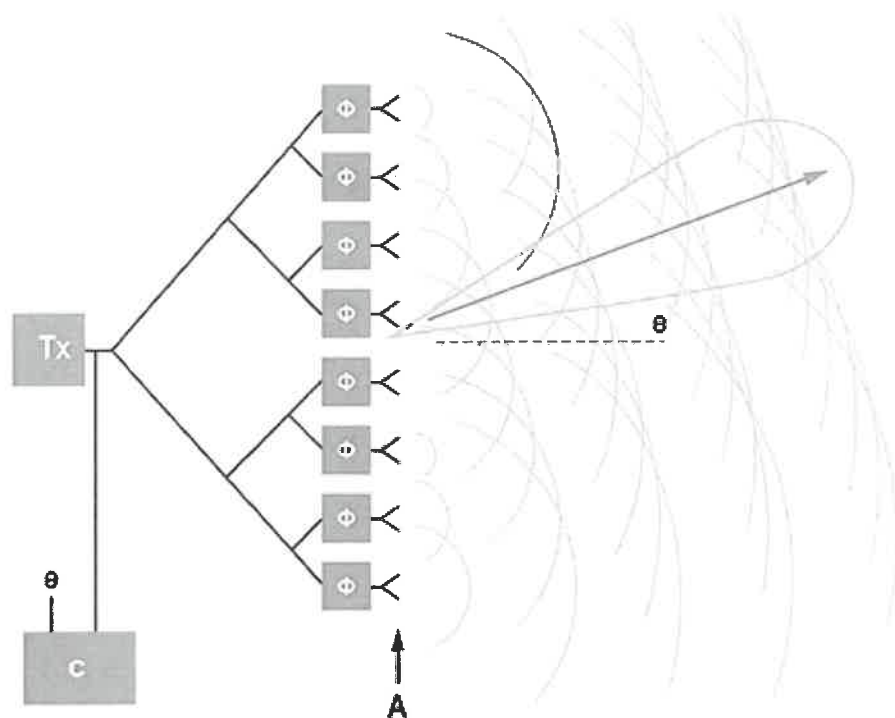
Beamforming sử dụng hệ thống ăng-ten mảng pha để tập trung tín hiệu không dây vào một hướng cụ thể, thường là hướng của một thiết bị thu (UE). Điều này giúp cải thiện tín hiệu tại thiết bị người dùng và giảm nhiễu giữa các tín hiệu của các UE khác nhau.

Mảng ăng-ten pha được thiết kế sao cho các mẫu bức xạ từ từng phần tử ăng-ten kết hợp với nhau theo cách xây dựng, tạo thành một mẫu bức xạ hiệu quả - thùy chính -

truyền năng lượng theo hướng mong muốn. Đồng thời, thiết kế này cũng đảm bảo rằng các tín hiệu gửi theo hướng không mong muốn sẽ tự động gây nhiễu lẫn nhau, tạo ra các điểm không và thùy bên.

Mục tiêu của thiết kế hệ thống ăng-ten là tối đa hóa năng lượng bức xạ ở thùy chính, đồng thời giảm năng lượng ở các thùy phụ xuống mức chấp nhận được. Hướng của thùy chính hay chùm tia được điều khiển thông qua việc điều chỉnh tín hiệu vô tuyến cấp cho mỗi phần tử ăng-ten trong mảng.

Mỗi ăng-ten trong mảng được cấp cùng một tín hiệu truyền, nhưng pha và biên độ của tín hiệu cấp cho từng phần tử được điều chỉnh, từ đó điều khiển chùm tia theo hướng mong muốn. Việc điều khiển này có thể thực hiện nhanh chóng nhờ khả năng điều chỉnh pha và biên độ của mỗi tín hiệu, cho phép thay đổi hướng chùm tia trong thời gian rất ngắn.



Hình 2.1: Kỹ thuật Beamforming

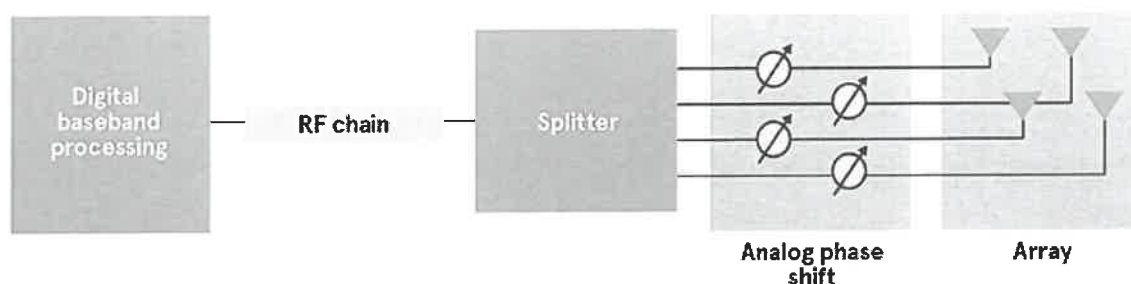
2.2.2 Định hình chùm tia

Có ba phương pháp thực hiện định hình chùm tia ăng-ten:

Tạo chùm tia tương tự

Là phương pháp đơn giản nhất, với pha tín hiệu được thay đổi trong miền tương tự. Đầu ra từ một bộ thu phát RF duy nhất được chia thành nhiều đường dẫn, tương ứng với số lượng phần tử ăng-ten trong mảng. Mỗi đường dẫn tín hiệu sau đó đi qua bộ dịch pha và được khuếch đại trước khi đến phần tử ăng-ten.

Đây là phương pháp hiệu quả nhất về chi phí để triển khai định hình chùm tia vì sử dụng ít phần cứng nhất. Tuy nhiên, hệ thống định hình chùm tia tương tự chỉ có thể xử lý một luồng dữ liệu và tạo ra một chùm tín hiệu, do đó hạn chế hiệu quả của nó trong 5G, nơi cần nhiều chùm tia để phục vụ số lượng người dùng lớn.

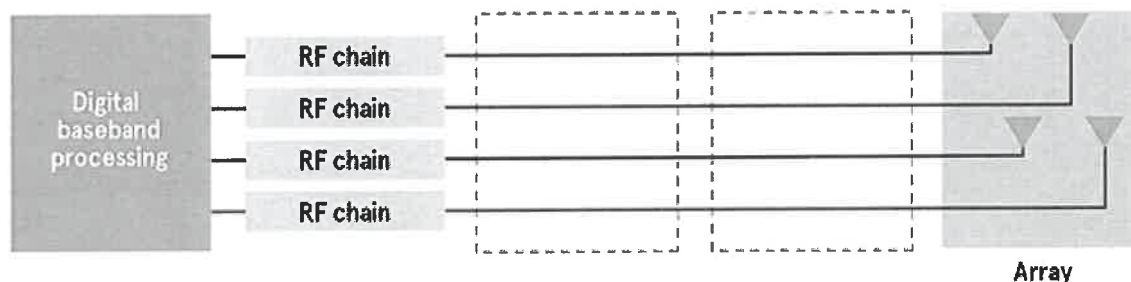


Hình 2.2: Phương pháp tạo chùm tia tương tự

Đây là cách hiệu quả nhất về mặt chi phí để triển khai định hình chùm tia, vì nó sử dụng lượng phần cứng tối thiểu, tuy nhiên hệ thống định hình chùm tia tương tự chỉ có thể xử lý một luồng dữ liệu và tạo ra một chùm tín hiệu, hạn chế hiệu quả của nó trong 5G, nơi cần nhiều chùm tia.

Định hình chùm tia kỹ thuật số

Trong phương pháp này, mỗi phần tử ăng-ten được cấp nguồn bởi bộ thu phát và bộ chuyển đổi dữ liệu riêng và mỗi tín hiệu được mã hóa trước (với các sửa đổi về biên độ và pha) trong quá trình xử lý băng tần cơ sở trước khi truyền RF.

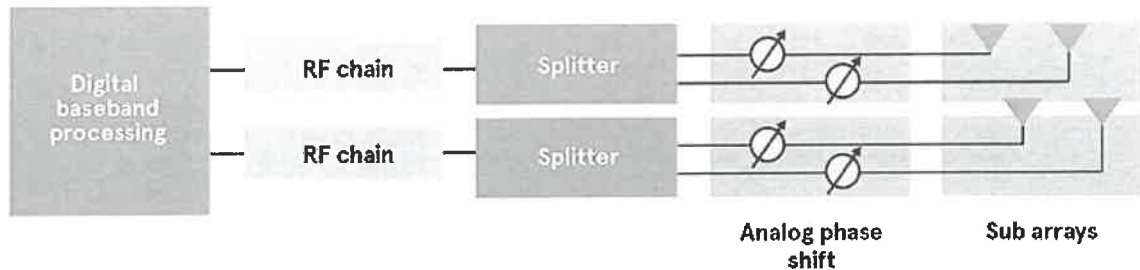


Hình 2.3: Phương pháp tạo chùm tia kỹ thuật số

Kỹ thuật tạo chùm tia kỹ thuật số cho phép tạo ra nhiều bộ tín hiệu và chồng lên các thành phần mảng ăng-ten, cho phép một mảng ăng-ten duy nhất phục vụ nhiều chùm tia và do đó nhiều người dùng. Mặc dù tính linh hoạt này lý tưởng cho mạng 5G, nhưng kỹ thuật tạo chùm tia kỹ thuật số đòi hỏi nhiều phần cứng và xử lý tín hiệu hơn, dẫn đến mức tiêu thụ điện năng tăng lên, đặc biệt là ở tần số mmWave, nơi có thể có hàng trăm thành phần ăng-ten.

Định hình chùm tia lai

Trong phương pháp lai ghép, định hình chùm tia tương tự được thực hiện ở giai đoạn RF và định hình chùm tia kỹ thuật số ở băng tần cơ sở - mang lại sự cân bằng giữa tính linh hoạt của định hình chùm tia kỹ thuật số và chi phí cũng như mức tiêu thụ điện năng thấp hơn của định hình chùm tia tương tự.



Hình 2.4: Phương pháp tạo chùm tia lai

2.2.3 Lợi ích của việc định hình chùm tia

Beamforming sử dụng hiệu quả khoa học về nhiễu điện từ để nâng cao độ chính xác của kết nối 5G, kết hợp với MIMO để cải thiện thông lượng và mật độ kết nối của các cell mạng 5G.

Các truyền dẫn định hướng cao kết quả đặc biệt có lợi với truyền dẫn mmWave, vốn bị ảnh hưởng nặng nề bởi mất đường truyền và không truyền tốt qua các chướng ngại vật như tường. Tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu (SNR) được cải thiện, được kích hoạt bằng cách định hình chùm tia, tăng phạm vi tín hiệu cho cả vùng phủ sóng ngoài trời và - quan trọng là - trong nhà.

Khả năng hủy bỏ hoặc “loại bỏ” nhiễu của Beamforming cũng là một lợi ích đáng kể trong môi trường đô thị đông đúc với mật độ UE cao, nơi nhiều chùm tín hiệu có khả năng gây nhiễu lẫn nhau.

Nhìn chung, bằng cách giảm nhiễu bên trong và bên ngoài cũng như giảm SNR, định hình chùm tia hỗ trợ các sơ đồ điều chế tín hiệu bậc cao, chẳng hạn như 64QAM và 16QAM - tất cả đều góp phần cải thiện đáng kể dung lượng ô mạng.

2.2.4 Tương lai và thách thức đối với công nghệ tạo chùm tia

Giống như nhiều lĩnh vực khác của mạng 5G, các nhà phát triển hệ thống ăng-ten phải đáp ứng nhu cầu kép về việc thu nhỏ các thành phần và giảm mức tiêu thụ điện năng.

Áp lực tăng hiệu suất phổ và thông lượng đang dẫn đến việc chỉ định các mảng ăng-ten ngày càng lớn hơn, với MIMO 64 x 64 và lớn hơn nữa đã xuất hiện. Hiệu quả của việc định hình chùm tia phụ thuộc rất nhiều vào độ chính xác của các mảng ăng-ten, với cường độ của các thùy bên không mong muốn tăng lên khi khoảng cách giữa các

phần tử tiếp cận bước sóng tín hiệu. Ở 60 GHz, bước sóng này là 5mm, cho biết một số ý tưởng về dung sai sản xuất cần thiết.

Bước sóng thu hẹp cũng có nghĩa là các thành phần thu hẹp, chẳng hạn như bộ thu phát RF, phải tích hợp bộ khuếch đại công suất RF với chức năng như ADC. Đồng thời, các nhà thiết kế phải tìm cách cải thiện hiệu suất năng lượng của tất cả các thành phần mạng 5G. Bộ khuếch đại công suất RF cho mmWave theo truyền thống là dành riêng cho vật liệu bán dẫn III-V như GaAs. Tuy nhiên, các thiết bị này không đủ hiệu suất năng lượng và không tích hợp tốt với các chức năng khác. Do đó, những tiến bộ trong CMOS 40 nM được hoan nghênh, cho phép thu nhỏ kích thước và mức tiêu thụ điện năng của các thành phần chính này hơn nữa.

Ngoài ra, khi nhiều chùm tia được tạo ra bởi các gNB riêng lẻ, các yêu cầu xử lý tín hiệu trở nên phức tạp hơn. Nghiên cứu và phát triển các lĩnh vực như đồng bộ hóa chùm tia đang được tiến hành, với các kỹ thuật mạng nơ-ron đang được triển khai - đòi hỏi phần cứng xử lý tiên tiến, kéo dài thêm ngân sách năng lượng và thêm các hạn chế về không gian.

2.3 Hiệu ứng đa đường (Multipath Fading)

2.3.1 Nguyên nhân của hiệu ứng đa đường

Hiệu ứng đa đường xảy ra khi tín hiệu vô tuyến đến máy thu theo nhiều đường khác nhau do bị phản xạ, nhiễu xạ, hoặc khúc xạ từ các vật thể như:

- Tòa nhà cao tầng
- Cây cối, địa hình đồi núi
- Xe cộ hoặc các vật thể di động

Khi các tín hiệu đến máy thu với độ trễ khác nhau, chúng có thể gây ra hiện tượng triệt tiêu hoặc cộng hưởng tín hiệu, dẫn đến biến động cường độ tín hiệu theo thời gian.

2.3.2 Ảnh hưởng của hiệu ứng đa đường

- Gây méo tín hiệu: Do sự chồng lấn của các tín hiệu đến trễ.
- Gây suy hao fading nhanh (Fast Fading): Làm cho tín hiệu dao động mạnh trong khoảng thời gian ngắn.
- Làm tăng độ trễ: Ảnh hưởng đến các ứng dụng thời gian thực như video call hoặc điều khiển từ xa.

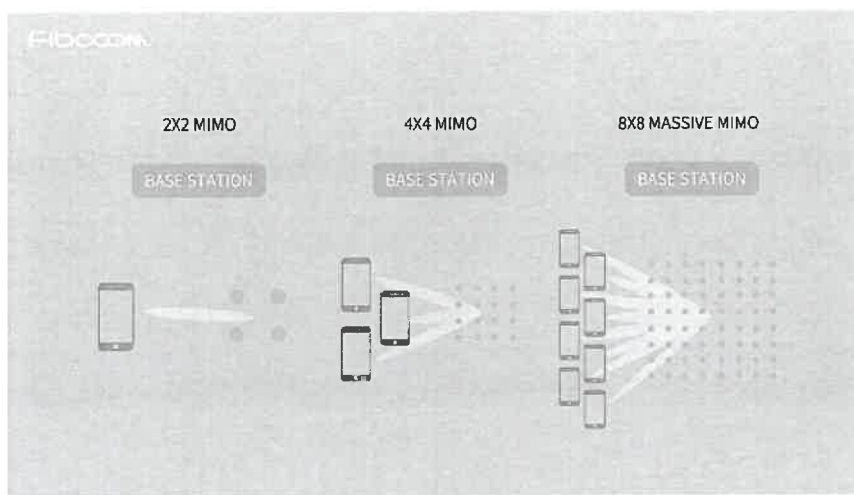
2.3.3 Giải pháp khắc phục hiệu ứng đa đường

- MIMO (Multiple Input Multiple Output): Khai thác tín hiệu từ nhiều đường khác nhau để tối ưu hóa chất lượng truyền dẫn.

- Equalization: Kỹ thuật xử lý tín hiệu để bù đắp ảnh hưởng của đa đường.
- Beamforming: Tập trung tín hiệu vào hướng thiết bị nhận, giảm ảnh hưởng từ các tín hiệu phản xạ.

2.4 MIMO và Beamforming – Cải thiện hiệu suất truyền dẫn

Trong 5G NR, hai công nghệ quan trọng giúp tăng hiệu suất mạng là MIMO và Beamforming. Cả hai đều đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao tốc độ truyền dữ liệu, mở rộng phạm vi phủ sóng và giảm thiểu ảnh hưởng của nhiễu và hiệu ứng đa đường.



Hình 2.5: Kỹ thuật đa ăng-ten MIMO

2.4.1 MIMO trong 5G

Các hệ thống MIMO truyền thống thường sử dụng một số lượng nhỏ ăng-ten, chẳng hạn như 2 hoặc 4, ở cả hai đầu của liên kết truyền thông. Tuy nhiên, các hệ thống MIMO lớn có thể sử dụng hàng trăm ăng-ten tại trạm gốc, cho phép tăng đáng kể số luồng không gian có thể được truyền đồng thời.

Nguyên lý cốt lõi của MIMO là sử dụng truyền đa đường để chia một tín hiệu thành nhiều luồng dữ liệu độc lập và truyền chúng qua các đường dẫn ăng-ten khác nhau, do đó tối đa hóa dung lượng hệ thống và tốc độ dữ liệu. MIMO kết hợp một số chức năng chính, chẳng hạn như mã hóa trước, ghép kênh không gian và mã hóa đa dạng, hoạt động cùng nhau để đảm bảo hoạt động hiệu quả và hiệu suất mạnh mẽ.

Tiền mã hóa liên quan đến việc mã hóa dữ liệu để giảm thiểu nhiễu tín hiệu, trong khi ghép kênh không gian tận dụng hiệu ứng đa đường để truyền đồng thời nhiều luồng dữ liệu độc lập. Mặt khác, mã hóa đa dạng sao chép dữ liệu tại máy phát và gửi dữ liệu qua các đường dẫn ăng-ten khác nhau, cải thiện tính toàn vẹn của tín hiệu tại máy thu. MIMO cải thiện khả năng thông lượng, vùng phủ sóng và độ tin cậy.

2.4.2 Phân loại MIMO

Công nghệ MIMO bao gồm nhiều loại và cấu hình khác nhau, mỗi loại được thiết kế để đáp ứng các yêu cầu cụ thể:

Spatial Diversity MIMO: Spatial Diversity MIMO là dạng MIMO đơn giản nhất và liên quan đến việc sử dụng nhiều anten ở đầu phát hoặc đầu thu (chứ không phải cả hai đầu). Mục đích chính của Spatial Diversity MIMO là hạn chế hiện tượng tín hiệu bị mờ dần và tăng cường độ tin cậy của liên kết. Các cấu hình phổ biến bao gồm phân tập phát (transmit diversity) (nhiều anten ở đầu phát) và phân tập thu (receive diversity) (nhiều anten ở đầu thu).

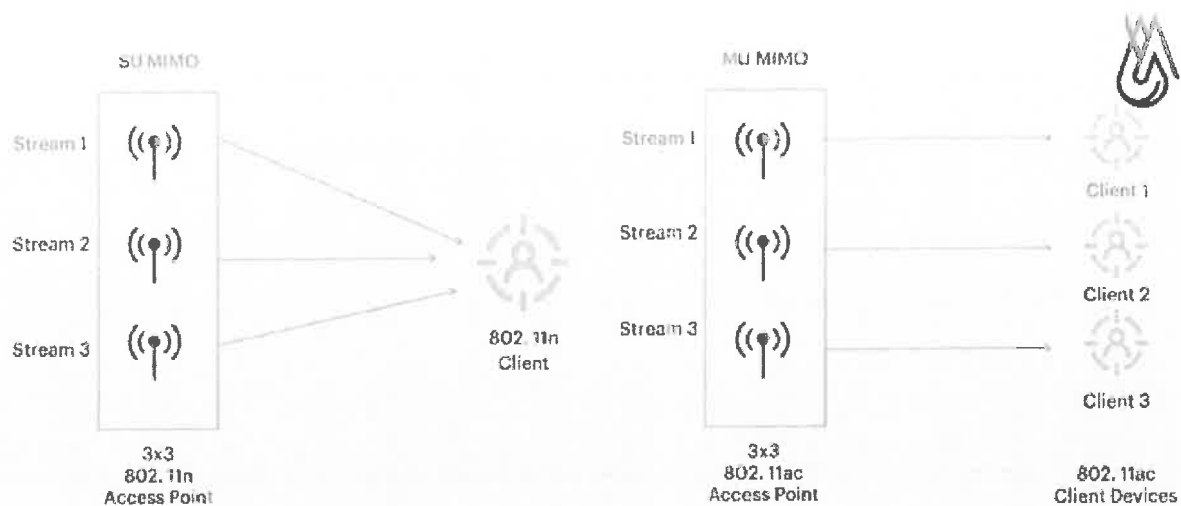
Spatial Multiplexing MIMO: Spatial Multiplexing MIMO được thiết kế để tăng thông lượng dữ liệu bằng cách truyền đồng thời nhiều luồng dữ liệu bằng nhiều anten ở cả đầu phát và đầu thu. Loại MIMO này tận dụng lợi thế của chiều không gian để truyền nhiều luồng dữ liệu độc lập trong cùng một băng tần. Các triển khai phổ biến bao gồm hệ thống MIMO 2×2 , 4×4 và 8×8 , biểu thị số lượng anten ở cả hai đầu.

Precoding hoặc Beamforming MIMO: Precoding, còn được gọi là Beamforming, là một kỹ thuật MIMO tập trung tín hiệu được truyền theo một hướng cụ thể để cải thiện chất lượng tín hiệu và vùng phủ sóng.

Loại MIMO này có thể được sử dụng cho cả SU-MIMO (Single User – Multiple Input – Multiple Output) và MU-MIMO (Multi User – Multiple Input – Multiple Output). Beamforming có thể tăng cường cường độ tín hiệu và giảm nhiễu theo các hướng cụ thể, khiến công nghệ này đặc biệt hữu ích trong các hệ thống truyền thông không dây.

Single-User MIMO (SU-MIMO): SU-MIMO chỉ một thiết bị sử dụng nhiều luồng dữ liệu trên nhiều ăng-ten. Loại MIMO này cải thiện tốc độ dữ liệu bằng cách truyền nhiều luồng không gian đến một người dùng duy nhất cùng lúc. SU-MIMO thường được sử dụng trong mạng Wifi và các tiêu chuẩn di động trước đây, chẳng hạn như 4G LTE.

Multi-User MIMO (MU-MIMO): MU-MIMO nhiều thiết bị có thể sử dụng nhiều luồng dữ liệu đồng thời, tăng hiệu suất mạng. Trong các hệ thống MU-MIMO, nhiều luồng không gian được truyền đến những người dùng hoặc thiết bị người dùng khác nhau, mỗi luồng có một bộ anten riêng. Công nghệ này được sử dụng trong các bộ định tuyến Wifi hiện đại và mạng di động 4G/5G để cải thiện dung lượng mạng và phục vụ nhiều máy khách cùng lúc.



Hình 2.6: Single-User MIMO (SU-MIMO) và Multi-User MIMO (MU-MIMO)

Massive MIMO: Massive MIMO là phần mở rộng của công nghệ MIMO, triển khai một số lượng lớn ăng-ten, thường là hàng chục hoặc thậm chí hàng trăm ăng-ten, ở cả đầu phát và đầu thu. Loại MIMO này chủ yếu được sử dụng trong các mạng di động và có thể tăng đáng kể dung lượng mạng, vùng phủ sóng và hiệu quả phổ. Massive MIMO tận dụng các kỹ thuật xử lý tín hiệu tiên tiến để xử lý số lượng lớn luồng không gian.

Hybrid MIMO: Hybrid MIMO kết hợp việc sử dụng công nghệ Digital Beamforming và Analog Beamforming trong các hệ thống MIMO. Loại MIMO này tạo ra sự cân bằng giữa các lợi thế của Digital Beamforming (tính linh hoạt) và Analog Beamforming (hiệu quả). Hybrid MIMO được sử dụng trong các tình huống mà MIMO kỹ thuật không khả thi do hạn chế về phần cứng.

Multi-Cell MIMO: Multi-cell MIMO liên quan đến việc phối hợp truyền MIMO qua nhiều trạm gốc hoặc điểm truy cập trong mạng di động. Kỹ thuật này nhằm mục đích cải thiện khả năng mạng tổng thể, vùng phủ sóng và quản lý nhiễu ở các khu vực đô thị đông đúc.

2.5 Kết luận chương 2

Trong chương 2 đã trình bày và phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu năng của đường truyền trong mạng 5G. Bắt đầu từ việc phân tích phổ tần 5G trong các dải băng tần thấp, trung bình và cao, các nội dung tiếp theo của chương lần lượt đề cập đến các kỹ thuật Beamforming, giải pháp khắc phục hiệu ứng đa đường và kỹ thuật MIMO.

Đối với mỗi kỹ thuật đều có phân tích các ưu, nhược điểm, các thách thức khi sử dụng cũng như các khuyến nghị trường hợp sử dụng.

CHƯƠNG 3. ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG ĐƯỜNG TRUYỀN TRONG MẠNG 5G NR

3.1 Bài toán đánh giá hiệu năng đường truyền trong mạng 5G NR

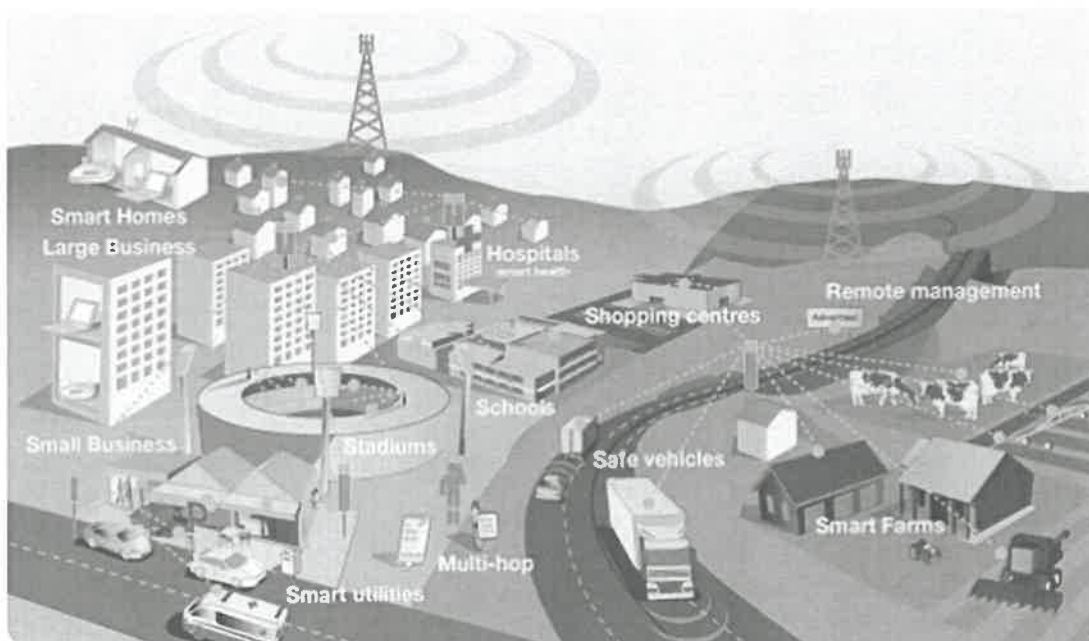
Sau khi nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu năng đường truyền trong mạng 5G NR, trong chương này sẽ tiến hành mô phỏng để đánh giá một số tham số hiệu năng đường truyền đã đề cập, qua đó có thể đưa ra những phân tích, đánh giá và kiểm chứng các kết quả nghiên cứu lý thuyết.

Các nội dung thực hiện trong chương này gồm:

- Xây dựng mô hình mô phỏng kênh vô tuyến 5G NR trong các điều kiện môi trường kênh truyền khác nhau và trong các kịch bản triển khai khác nhau (ví dụ: đô thị và nông thôn).
- Đánh giá hiệu năng đường truyền thông qua các tham số hiệu năng của mạng vô tuyến 5G NR như là thông lượng, BER, SNR, và độ trễ.
- Kết quả mô phỏng được đánh giá thông qua chương trình mô phỏng Matlab.

3.2 Mô hình mô phỏng

Hình 3.1 mô tả kiến trúc mạng 5G NR hoạt động với các máy chủ trung tâm và cục bộ cung cấp nội dung nhanh hơn cho người dùng và các ứng dụng có độ trễ thấp.



Hình 3.1: Ví dụ kịch bản triển khai mạng 5G NR cho vùng nông thôn và đô thị

Mạng di động hiện đại, bao gồm cả mạng 5G, được cấu thành từ hai thành phần chính là mạng truy cập vô tuyến (RAN) và mạng lõi (Core Network). Trong đó, mạng truy cập vô tuyến là phần tiếp xúc trực tiếp với thiết bị đầu cuối, đóng vai trò kết nối người dùng di động với mạng lõi. Nó bao gồm các trạm gốc, cột phát sóng, các ô nhỏ (small cells), và các hệ thống phủ sóng trong nhà hoặc ngoài trời. Đây là nơi xử lý việc truyền tải tín hiệu vô tuyến đến các thiết bị của người dùng.

Trong mạng 5G, mạng truy cập vô tuyến được cải tiến đáng kể với sự xuất hiện của các ô nhỏ (small cells) – đặc biệt quan trọng ở dải tần sóng milimet (mmWave). Tại các dải tần cao này, tín hiệu thường có phạm vi truyền ngắn và dễ bị suy hao bởi vật cản như tường, cây cối hoặc mưa. Vì vậy, các ô nhỏ được bố trí theo cụm tại các khu vực đông người, nơi cần mật độ kết nối cao, nhằm đảm bảo duy trì kết nối liên tục và tốc độ ổn định. Các ô nhỏ sẽ hoạt động bổ sung cho mạng vĩ mô, vốn có khả năng phủ sóng trên diện rộng.

Song song với đó, các ô vĩ mô 5G sử dụng công nghệ MIMO (Multiple Input Multiple Output), cho phép mỗi trạm gốc sử dụng nhiều phần tử ăng-ten để truyền và nhận nhiều luồng dữ liệu đồng thời. Đặc biệt, mạng 5G triển khai công nghệ massive MIMO – nghĩa là sử dụng một số lượng lớn các phần tử ăng-ten nhưng với kích thước vật lý tương đương ăng-ten truyền thống. Nhờ đó, nhiều người dùng có thể kết nối đồng thời với mạng mà vẫn đảm bảo băng thông cao và trải nghiệm liền mạch.

Trong khi đó, mạng lõi là trung tâm điều phối mọi hoạt động của mạng di động. Đây là nơi xử lý các kết nối thoại, dữ liệu, Internet di động và quản lý khả năng di động của người dùng. Với 5G, mạng lõi đã được tái thiết kế toàn diện, theo hướng hiện đại hơn, linh hoạt hơn. Cụ thể, mạng lõi 5G được tích hợp chặt chẽ với Internet và các dịch vụ đám mây, đồng thời phân bổ các máy chủ ra khắp mạng để rút ngắn thời gian phản hồi, giảm độ trễ.

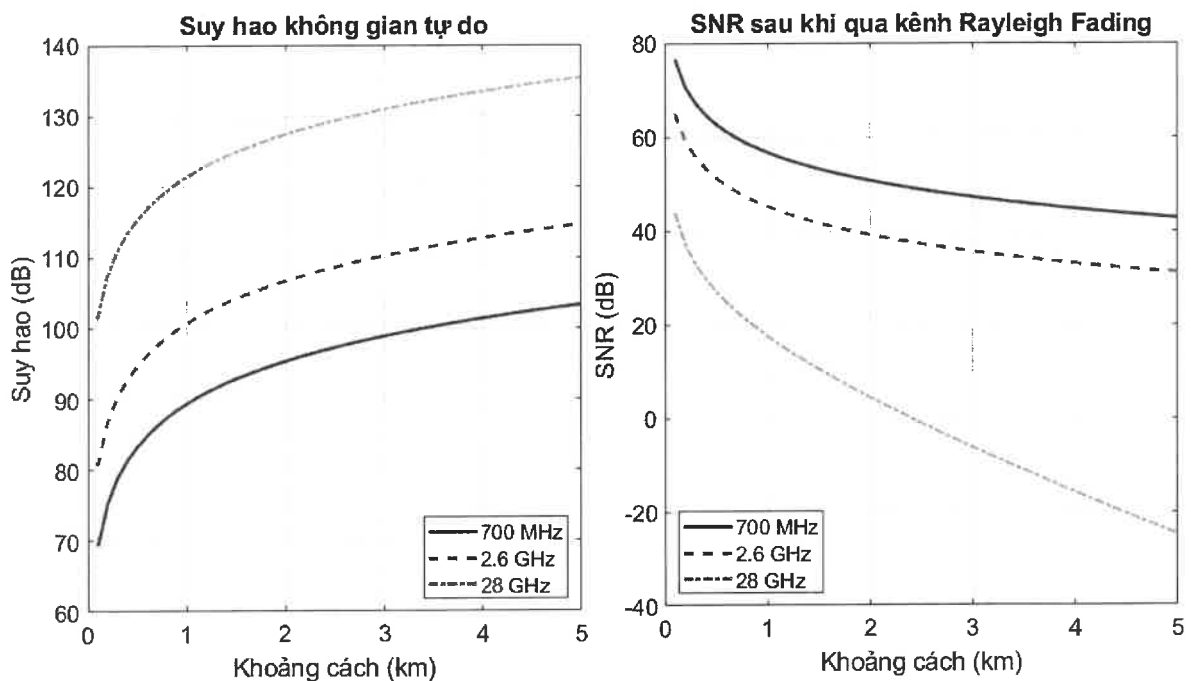
Không những vậy, mạng lõi 5G còn áp dụng các công nghệ tiên tiến như ảo hóa chức năng mạng (NFV) và phân chia mạng (network slicing). Điều này cho phép tách riêng mạng thành nhiều lớp dịch vụ phù hợp với từng nhu cầu khác nhau – ví dụ như truyền dữ liệu độ trễ thấp cho xe tự hành, băng thông cao cho video 4K, hoặc kết nối hàng triệu thiết bị IoT.

3.3 Kết quả mô phỏng

Trong phần này, đề án sẽ đánh giá các tham số hiệu năng như thông lượng, độ trễ, và BER cho hai kịch bản triển khai trong đô thị và nông thôn với các điều kiện kênh

truyền của mạng 5G NR khác nhau. Bên cạnh đó, tham số mô phỏng được tham chiếu theo tiêu chuẩn 5G của 3GPP.

Các kết quả mô phỏng cho thấy suy hao đường truyền do truyền qua không gian tự do (FSPL) tăng đáng kể khi tần số chuyển từ 700 MHz lên 28 GHz, đặc biệt trong khoảng cách từ 0 đến 5 km. Hình 3.2 cho thấy FSPL tại 28 GHz vượt trội so với 700 MHz và 2.6 GHz, đạt mức gần 150 dB tại 5 km, do FSPL tỷ lệ thuận với $20\log_{10}(f)$ trong công thức suy hao không gian tự do. Trong khi đó, 700 MHz có suy hao tổng cộng dưới 100 dB nhờ tần số thấp, lý tưởng cho vùng phủ sóng rộng trong 5G NR.



Hình 3.2: Sự thay đổi của suy hao do truyền qua không gian tự do (trái) và sau khi qua kênh rayleigh fading (phải)

Trong mô phỏng này, hai mô hình chính được sử dụng là mô hình suy hao không gian tự do (Free Space Path Loss - FSPL) và kênh truyền Rayleigh (Rayleigh Fading Channel). Mô hình FSPL phản ánh mức suy hao lý thuyết của tín hiệu khi truyền trong môi trường không có vật cản. Trong khi đó, mô hình Rayleigh được sử dụng để mô phỏng môi trường truyền dẫn không có đường nhìn thẳng (NLOS), vốn rất phổ biến trong đô thị. Ở đây, tín hiệu bị ảnh hưởng mạnh bởi hiện tượng đa đường như phản xạ, khúc xạ và tán xạ – gây ra hiện tượng fading ngẫu nhiên và làm suy giảm chất lượng tín hiệu đáng kể.

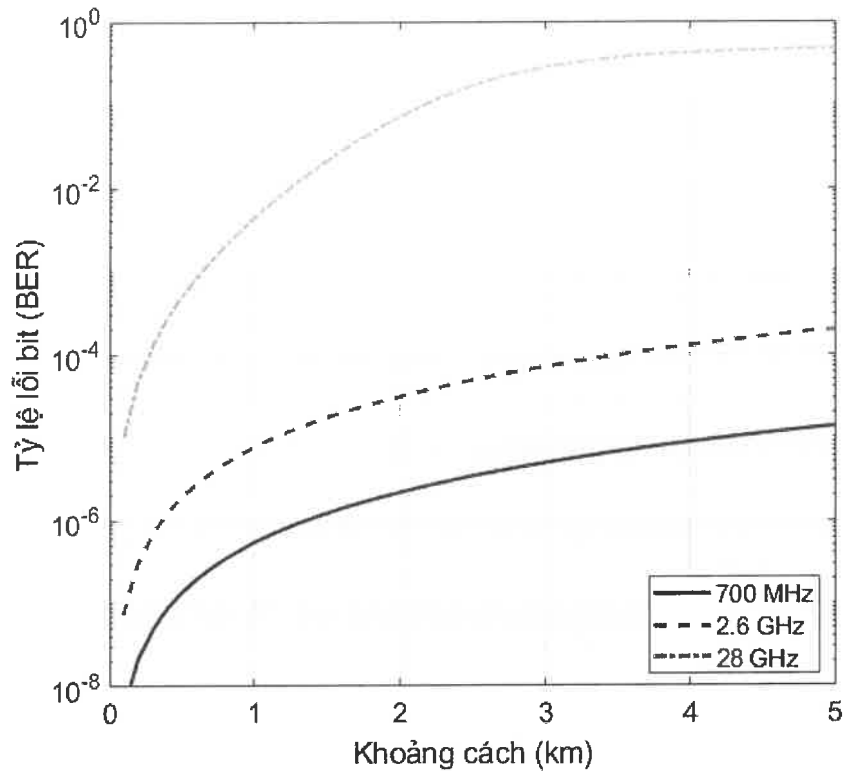
Các tham số chính trong mô phỏng bao gồm ba dải tần: 700 MHz, 2.6 GHz, và 28 GHz. Khoảng cách truyền được xét trong phạm vi từ 0.1 km đến 5 km. Mô phỏng giả định công suất phát như nhau giữa các dải tần để tập trung đánh giá tác động của tần số và kênh truyền. Nhiều nền được giữ cố định, từ đó tính toán SNR (Tỷ số tín hiệu trên nhiễu) tại từng khoảng cách dựa trên suy hao FSPL kết hợp với fading theo mô hình Rayleigh.

Biểu đồ bên trái mô tả mức suy hao không gian tự do theo khoảng cách. Dễ dàng nhận thấy rằng tần số càng cao thì mức suy hao càng lớn. Cụ thể, tại 5 km, suy hao ở 700 MHz chỉ khoảng 104 dB, trong khi ở 28 GHz lên tới hơn 130 dB. Điều này lý giải vì sao các hệ thống hoạt động ở dải tần cao thường cần khoảng cách truyền ngắn hơn và kỹ thuật hỗ trợ như beamforming để bù đắp suy hao.

Biểu đồ bên phải thể hiện giá trị SNR sau khi qua kênh Rayleigh. Kết quả cho thấy SNR giảm nhanh theo khoảng cách, đặc biệt rõ rệt ở dải tần cao. Tại khoảng cách 2 km, SNR của 28 GHz đã xuống dưới 0 dB – không đủ để đảm bảo truyền tin ổn định. Ngược lại, 700 MHz vẫn duy trì SNR trên 50 dB ở cùng khoảng cách. Điều này chứng minh rằng tần số thấp có khả năng phủ sóng xa và ổn định hơn, phù hợp với triển khai tại các khu vực nông thôn.

Sự khác biệt này cũng phản ánh đặc tính quan trọng của mô hình Rayleigh – mô phỏng kênh truyền không có đường nhìn thẳng (NLOS) thường gặp trong đô thị, nơi tín hiệu bị cản trở bởi tòa nhà và các vật thể. Đối với dải tần 28 GHz, tín hiệu không chỉ bị suy hao bởi FSPL mà còn bởi mưa và hấp thụ vật lý, khiến SNR thấp hơn đáng kể. Do đó, việc ứng dụng mmWave (sóng milimet) cần đi kèm với các kỹ thuật tiên tiến như beamforming và massive MIMO, cũng như triển khai ô nhỏ để đảm bảo hiệu quả kết nối trong phạm vi ngắn.

Ngược lại, dải tần 700 MHz, với khả năng xuyên vật cản tốt và SNR cao, rất phù hợp để triển khai trong các ứng dụng yêu cầu vùng phủ rộng như eMBB (enhanced Mobile Broadband) tại nông thôn. Do đó, việc lựa chọn tần số và thiết kế mạng cần được tối ưu hóa theo đặc điểm vùng phủ và môi trường truyền. Mô phỏng cũng cho thấy rõ sự cần thiết của việc áp dụng thiết kế anten thông minh và mô hình kênh phù hợp để đánh giá đúng hiệu suất hệ thống trong thực tế.



Hình 3.3: Tỷ lệ lỗi bit (BER) phân tích trên kênh Rayleigh fading

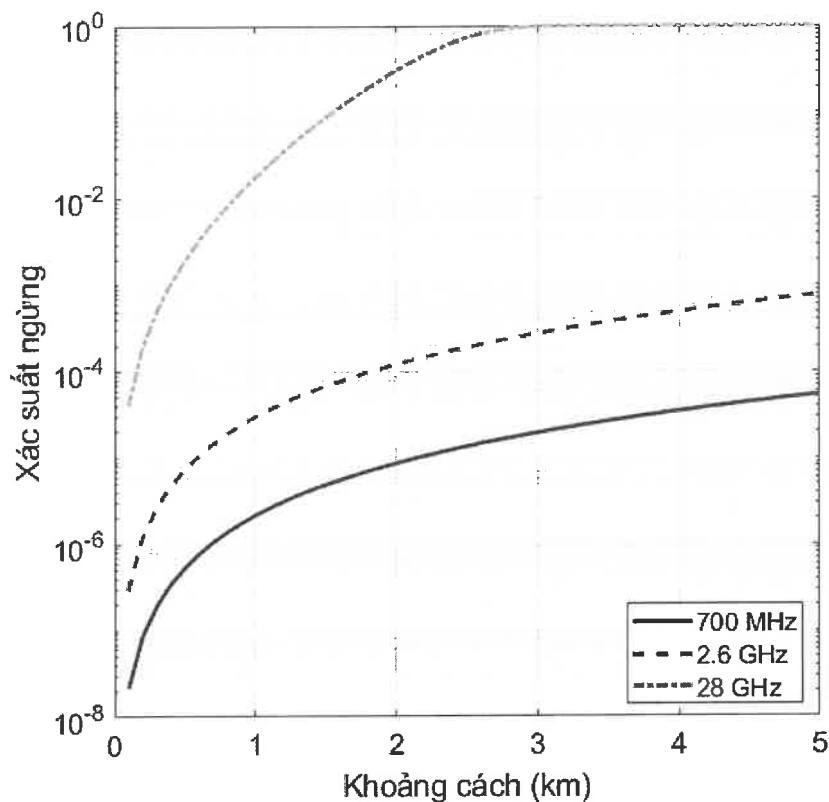
Biểu đồ trên minh họa mối quan hệ giữa tỷ lệ lỗi bit (BER) và khoảng cách truyền đối với ba dải tần số 700 MHz, 2.6 GHz và 28 GHz trong kênh Rayleigh fading, sử dụng sơ đồ điều chế QPSK. Dữ liệu cho thấy sự khác biệt rõ rệt về BER giữa các dải tần khi khoảng cách tăng dần đến 5 km.

Ở khoảng cách lớn, tần số 28 GHz có BER cao nhất, đạt xấp xỉ 10^{-1} tại 5 km – mức lỗi nghiêm trọng có thể làm gián đoạn hoặc giảm chất lượng truyền thông. Đây là kết quả của suy hao lớn tại tần số cao, làm SNR trung bình giảm mạnh như đã phân tích ở các đồ thị trước. Theo lý thuyết, trong môi trường Rayleigh fading không có đường nhìn thẳng (NLOS), BER phụ thuộc chặt chẽ vào SNR; khi SNR thấp, khả năng phân biệt tín hiệu trong điều chế QPSK giảm mạnh, dẫn đến tỷ lệ lỗi bit cao hơn.

Ngược lại, 700 MHz duy trì BER dưới 10^{-5} tại cùng khoảng cách, nhờ vào khả năng truyền dẫn tốt ở tần số thấp với mức suy hao nhỏ và SNR cao. Điều này làm cho 700 MHz trở thành lựa chọn lý tưởng cho các ứng dụng yêu cầu độ chính xác cao và độ tin cậy truyền dữ liệu, chẳng hạn như truyền hình 4K hoặc truyền file lớn qua mạng 5G.

Dải tần 2.6 GHz có kết quả trung gian, với BER trong khoảng từ 10^{-4} đến 10^{-3} , tùy thuộc vào khoảng cách, phản ánh sự cân bằng giữa dung lượng băng thông và độ tin cậy truyền tải.

Kết quả này khẳng định vai trò của kỹ thuật mã hóa kênh mạnh như LDPC và Polar Coding trong 5G, đặc biệt là ở dải tần cao như mmWave, để giảm BER và cải thiện chất lượng kết nối. Ngoài ra, các phương pháp như beamforming, diversity và mô hình thích nghi MCS (Modulation and Coding Scheme) cũng rất quan trọng nhằm đảm bảo hiệu năng ổn định trong môi trường fading phức tạp.



Hình 3.4: Khảo sát xác suất ngừng cho khoảng cách từ 0 tới 5 km với ngưỡng SNR bằng 0 dB với 3 trường hợp tần số khác nhau

Biểu đồ trên thể hiện xác suất ngừng (outage probability) theo khoảng cách đối với ba dải tần: 700 MHz, 2.6 GHz và 28 GHz, trong điều kiện kênh Rayleigh và ngưỡng SNR đặt ở 0 dB. Xác suất ngừng được định nghĩa là xác suất mà SNR rơi xuống dưới ngưỡng yêu cầu, dẫn đến việc không thể duy trì kết nối hoặc truyền dữ liệu hiệu quả.

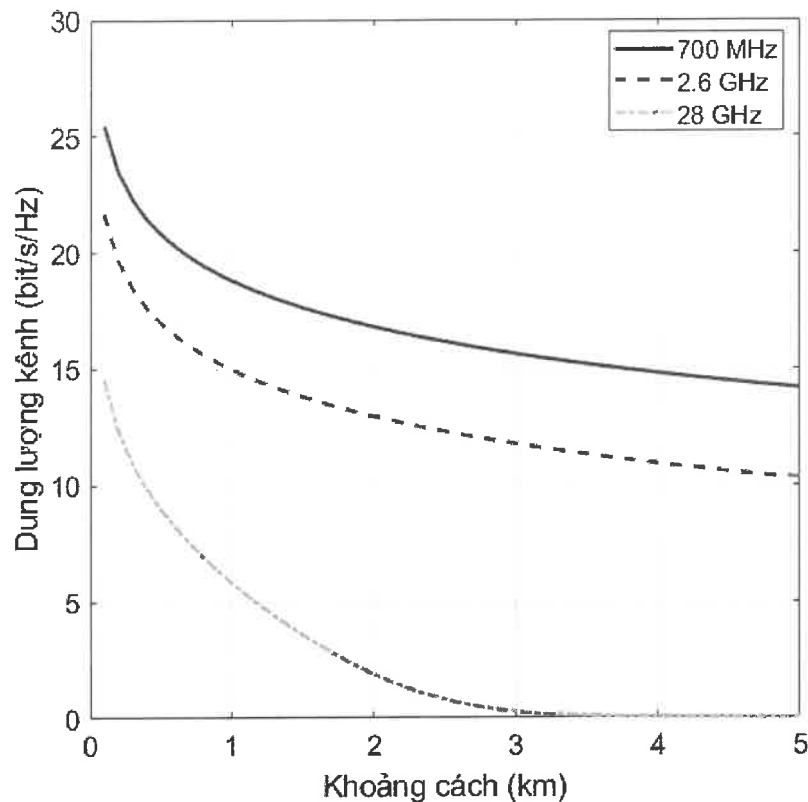
Dễ dàng nhận thấy rằng tần số 28 GHz có xác suất ngừng tăng rất nhanh theo khoảng cách. Ngay từ khoảng 2 km, giá trị này đã vượt ngưỡng 0.1 và đạt gần 1 tại 5 km – nghĩa là gần như chắc chắn sẽ mất kết nối. Điều này là hệ quả trực tiếp của SNR

trung bình thấp đã được thể hiện ở biểu đồ trước đó. Với mô hình Rayleigh không có đường nhìn thẳng (NLOS), tín hiệu ở dải tần mmWave như 28 GHz chịu ảnh hưởng nghiêm trọng từ suy hao không gian tự do và hiện tượng fading, khiến chất lượng kết nối rất kém ở khoảng cách xa.

Ngược lại, 700 MHz thể hiện độ tin cậy rất cao, với xác suất ngừng luôn dưới 10^{-6} kể cả tại khoảng cách 5 km. Điều này phản ánh khả năng xuyên vật cản tốt, vùng phủ sóng rộng và mức SNR cao của tần số thấp – rất phù hợp với các ứng dụng yêu cầu độ tin cậy cực cao và độ trễ thấp (URLLC) như điều khiển từ xa, xe tự hành, hoặc y tế từ xa.

Dải tần trung bình 2.6 GHz có kết quả nằm giữa hai dải tần còn lại, cho thấy sự cân bằng giữa phạm vi phủ sóng và băng thông. Tuy nhiên, vẫn cần chú ý đến khả năng ngừng kết nối ở khoảng cách lớn nếu không được hỗ trợ bởi các kỹ thuật tăng cường như beamforming hoặc lặp lại tín hiệu.

Kết quả này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc chọn dải tần phù hợp với từng kịch bản triển khai mạng 5G. Trong khi tần số 28 GHz mang lại lợi thế lớn về băng thông và tốc độ trong phạm vi ngắn, nó lại dễ bị ngừng kết nối ở khoảng cách xa. Do đó, việc triển khai mmWave cần đi kèm với các công nghệ như massive MIMO, beamforming, đa ô nhỏ (dense small cell deployment) để đảm bảo hiệu suất và độ tin cậy trong thực tế.



Hình 3.5: Khảo sát dung lượng kênh trong khoảng cách từ 0.1 tới 5 km

Biểu đồ trên thể hiện dung lượng kênh lý thuyết theo công thức Shannon đối với ba dải tần 700 MHz, 2.6 GHz và 28 GHz trong môi trường truyền dẫn kênh Rayleigh. Dung lượng này phụ thuộc trực tiếp vào tỷ số tín hiệu trên nhiễu (SNR), vốn thay đổi theo khoảng cách truyền.

Ở khoảng cách 1 km, tần số 700 MHz đạt dung lượng trên 20 bit/s/Hz, cao hơn đáng kể so với tần số 2.6 GHz và 28 GHz. Trong khi đó, 28 GHz chỉ đạt dưới 5 bit/s/Hz tại cùng khoảng cách. Khi khoảng cách tăng lên đến 5 km, dung lượng của 28 GHz gần như tiệm cận về 0, do suy hao lớn làm SNR giảm nhanh chóng. Đây là đặc điểm đặc trưng của sóng milimet (mmWave) – vốn có hiệu suất truyền rất thấp trong môi trường không có đường truyền thẳng (NLOS).

Dải tần 2.6 GHz có hiệu suất trung bình, với dung lượng giảm dần nhưng vẫn trên 10 bit/s/Hz tại 1–2 km, phù hợp cho các dịch vụ băng rộng trong thành phố.

700 MHz, với khả năng xuyên tốt và suy hao thấp, giữ được dung lượng ổn định trong suốt phạm vi lên tới 5 km. Đây là lợi thế quan trọng đối với các ứng dụng yêu cầu vùng phủ sóng rộng và kết nối ổn định, ví dụ như IoT diện rộng, mạng URLLC, hoặc mạng truy cập nông thôn trong 5G NR.

Kết quả trong hình 3.5 nhấn mạnh rằng: dù 28 GHz cung cấp băng thông lớn, nhưng chỉ khả thi trong phạm vi ngắn và với sự hỗ trợ của công nghệ như beamforming

và massive MIMO. Trong khi đó, các băng tần thấp như 700 MHz cần được ưu tiên trong việc xây dựng mạng phủ rộng, bảo đảm độ tin cậy và dung lượng ổn định. Việc phân bổ tài nguyên tần số hợp lý và kết hợp với kỹ thuật truyền tiên tiến là chìa khóa để đạt hiệu quả tối ưu trong triển khai mạng 5G NR..

3.3.1 Lý do lựa chọn mô hình kênh Rayleigh trong mô phỏng

Mô hình kênh Rayleigh Fading được lựa chọn trong mô phỏng là hoàn toàn phù hợp khi đánh giá hiệu suất hệ thống 5G trong môi trường đô thị hoặc các khu vực không có đường truyền trực tiếp (NLOS) giữa máy phát và máy thu.

Trước hết, mô hình này phản ánh đúng thực tế tại các khu vực đô thị, nơi có mật độ cao các tòa nhà và vật thể gây chướng ngại. Những yếu tố này tạo điều kiện lý tưởng cho hiện tượng phản xạ, khúc xạ và nhiễu xạ tín hiệu, dẫn đến đa đường mạnh – một đặc điểm điển hình của kênh Rayleigh.

Thứ hai, mô hình Rayleigh giả định không tồn tại thành phần truyền trực tiếp (Line-of-Sight – LOS) giữa các thiết bị. Điều này đặc biệt phù hợp với các khu vực đô thị dày đặc, nơi tín hiệu thường không thể truyền theo đường thẳng do bị che khuất bởi các công trình kiến trúc.

Ngoài ra, khi hệ thống hoạt động ở dải tần mmWave (ví dụ như 28 GHz), tín hiệu dễ bị suy hao và chắn bởi vật thể nhỏ. Điều này càng làm nổi bật đặc tính fading ngẫu nhiên và mạnh mẽ của kênh Rayleigh. Do đó, việc sử dụng mô hình này là cần thiết để đánh giá chính xác hiệu quả của các kỹ thuật như beamforming, vốn được thiết kế để khắc phục hiện tượng fading.

Bên cạnh đó, mô hình Rayleigh giúp đánh giá độ tin cậy truyền dẫn trong điều kiện kênh thay đổi liên tục. Tỷ số tín hiệu trên nhiễu (SNR) trong môi trường này dao động mạnh theo thời gian và không gian, cho phép kiểm tra khả năng thích ứng của hệ thống với các công nghệ như điều chế thích nghi, MIMO hay beamforming.

Cuối cùng, mô hình Rayleigh là một trong những mô hình chuẩn được sử dụng trong các tài liệu kỹ thuật của 3GPP và ITU-R. Việc áp dụng mô hình này không chỉ đảm bảo tính chính xác trong mô phỏng mà còn giúp kết quả có thể so sánh được với các nghiên cứu học thuật khác.

3.4 Kết luận chương 3

Trong chương 3 của đề án đề cập đến bài toán đánh giá hiệu năng đường truyền trong mạng 5G NR, trong đó xây dựng mô hình mô phỏng kênh vô tuyến 5G NR trong các điều kiện môi trường kênh truyền khác nhau và trong các kịch bản triển khai khác nhau ở hai môi trường đô thị và nông thôn.

Sử dụng các mô hình mô phỏng, trong đề án đã tiến hành đánh giá hiệu năng đường truyền thông qua các tham số hiệu năng của mạng vô tuyến 5G NR như là thông lượng, BER, SNR, và độ trễ. Các kết quả mô phỏng được phân tích, đánh giá với sự trợ giúp của công cụ Matlab.

KẾT LUẬN

Đề án đã phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu năng đường truyền mạng 5G, bao gồm kiến trúc mạng 5G NR, ảnh hưởng của khoảng cách sóng mang con, hiệu ứng đa đường và công nghệ MIMO. Những yếu tố này đóng vai trò quan trọng trong việc tối ưu hóa hiệu năng truyền dẫn, tốc độ cao, độ trễ thấp và độ tin cậy cao trong mạng 5G.

Nghiên cứu về khoảng cách sóng mang con cho thấy rằng việc lựa chọn giá trị phù hợp có thể cải thiện đáng kể thông lượng hệ thống và tối ưu hóa tài nguyên phổ tần. 5G NR cho phép linh hoạt trong việc điều chỉnh khoảng cách sóng mang con, giúp thích ứng với nhiều dải tần và nhu cầu dịch vụ khác nhau. Tuy nhiên, việc mở rộng khoảng cách sóng mang con cũng đặt ra thách thức về nhiễu và suy hao tín hiệu, đòi hỏi các phương pháp xử lý tín hiệu tiên tiến để duy trì hiệu suất truyền tải.

Bên cạnh đó, hiệu ứng đa đường là một yếu tố ảnh hưởng lớn đến chất lượng tín hiệu trong mạng không dây. Hiện tượng này có thể gây suy hao tín hiệu và méo tín hiệu, làm giảm hiệu suất truyền dẫn. Các kỹ thuật như sử dụng tiền tố tuần hoàn (Cyclic Prefix) và công nghệ MIMO đã được nghiên cứu để giảm thiểu tác động của hiệu ứng đa đường, giúp tăng cường chất lượng tín hiệu và khả năng truyền dẫn.

MIMO và Beamforming được xem là các giải pháp quan trọng để cải thiện hiệu năng mạng 5G. Công nghệ Massive MIMO với số lượng lớn ăng-ten có thể tăng đáng kể tốc độ truyền tải, mở rộng vùng phủ sóng và nâng cao hiệu suất phổ tần. Beamforming cho phép tập trung tín hiệu vào các hướng cụ thể, giảm nhiễu và cải thiện chất lượng kết nối. Những công nghệ này giúp 5G đáp ứng tốt hơn các yêu cầu của các ứng dụng như IoT, truyền phát video độ phân giải cao và các dịch vụ thời gian thực.

Đề án vẫn còn một số hạn chế như phạm vi nghiên cứu chỉ tập trung vào một mô hình mạng cụ thể và chưa đánh giá toàn diện các yếu tố môi trường khác nhau. Trong tương lai, cần có các nghiên cứu mở rộng nhằm phát triển thuật toán tự động điều chỉnh khoảng cách sóng mang con để tối ưu hóa hiệu suất mạng trong các điều kiện khác nhau. Đồng thời, việc xây dựng các tiêu chuẩn kỹ thuật liên quan đến khoảng cách sóng mang con và tối ưu hóa MIMO sẽ góp phần nâng cao chất lượng mạng 5G, đáp ứng nhu cầu ngày càng cao của người dùng và các ứng dụng công nghệ số.

PHỤ LỤC

Phụ lục 1. Chương trình mô phỏng tính suy hao

```
% Đánh giá hiệu năng đường truyền 5G NR
clear all; close all; clc;

% Tham số cơ bản
c = 3e8; % Tốc độ ánh sáng (m/s)
frequencies = [700e6, 2.6e9]; % Tần số: 700 MHz, 2.6 GHz
distances = 100:100:5000; % Khoảng cách từ 100m đến 5km
R = 29.5; % Tỷ lệ mưa (mm/h) cho độ khả dụng 99.99%
Pt = 30; % Công suất phát (dBm)
Gtx = 15; % Độ lợi anten phát (dBi)
Grx = 0; % Độ lợi anten thu (dBi)
% Hệ số mưa theo ITU-R P.838-3 cho phân cực ngang
k = [0.0000387, 0.000912]; % Hệ số k cho 700 MHz, 2.6 GHz
alpha = [0.9632, 1.121]; % Hệ số alpha cho 700 MHz, 2.6 GHz

% Tính FSPL
FSPL = zeros(length(frequencies), length(distances));
Arain = zeros(length(frequencies), length(distances));
for i = 1:length(frequencies)
    f = frequencies(i);
    for j = 1:length(distances)
        d = distances(j);
        % Free Space Path Loss (dB)
        FSPL(i,j) = 20*log10(d) + 20*log10(f) + 20*log10(4*pi/c);
    end
end
end
```

% Tổng suy hao (không tính fading)

total_loss = FSPL;

% Công suất thu (dBm)

Prx = Pt + Gtx + Grx - total_loss;

% Mô phỏng kênh Rayleigh Fading sử dụng 5G Toolbox

% Cấu hình kênh TDL (Tapped Delay Line)

chan = nrTDLChannel;

chan.DelayProfile = 'TDL-A'; % Mô hình kênh 5G

chan.MaximumDopplerShift = 30; % Doppler tối đa (Hz)

chan.SampleRate = 30.72e6; % Tần số lấy mẫu (Hz)

chan.NumReceiveAntennas = 1;

chan.NumTransmitAntennas = 1;

% Mô phỏng SNR sau fading

SNR = zeros(length(frequencies), length(distances));

for i = 1:length(frequencies)

 for j = 1:length(distances)

 % Tính SNR (giả sử nhiễu nhiệt -174 dBm/Hz, băng thông 20 MHz)

 noise_power = -174 + 10*log10(20e6); % Công suất nhiễu (dBm)

 % Giả lập fading loss (Rayleigh fading có kỳ vọng trung bình 0 dB)

 % Không cần điều chỉnh tần số vì fading không phụ thuộc trực tiếp vào tần

số

 SNR(i,j) = Prx(i,j) - noise_power;

 end

end

```

% Vẽ đồ thị
figure;
subplot(2,1,1);
plot(distances/1000, FSPL(1,:), 'b-', 'LineWidth', 2, 'DisplayName', '700 MHz
FSPL');
hold on;
plot(distances/1000, FSPL(2,:), 'r-', 'LineWidth', 2, 'DisplayName', '2.6 GHz
FSPL');
plot(distances/1000, Arain(1,:), 'b--', 'LineWidth', 2, 'DisplayName', '700 MHz
Rain');
plot(distances/1000, Arain(2,:), 'r--', 'LineWidth', 2, 'DisplayName', '2.6 GHz
Rain');
xlabel('Khoảng cách (km)');
ylabel('Suy hao (dB)');
title('Suy hao FSPL và Rain Attenuation');
legend('show');
grid on;

subplot(2,1,2);
plot(distances/1000, SNR(1,:), 'b-', 'LineWidth', 2, 'DisplayName', '700 MHz
SNR');
hold on;
plot(distances/1000, SNR(2,:), 'r-', 'LineWidth', 2, 'DisplayName', '2.6 GHz
SNR');
xlabel('Khoảng cách (km)');
ylabel('SNR (dB)');
title('SNR sau khi qua kênh Rayleigh Fading');
legend('show');
grid on;

```

Phụ lục 2. Chương trình mô phỏng tính tỷ lệ lỗi bit (BER), xác suất dừng, và dung lượng kênh

% Đánh giá BER, Outage Probability và Channel Capacity cho 5G NR

clear all; close all; clc;

% Tham số cơ bản

c = 3e8; % Tốc độ ánh sáng (m/s)

frequencies = [700e6, 2.6e9, 28e9]; % Tần số: 700 MHz, 2.6 GHz, 28 GHz

distances = 100:100:5000; % Khoảng cách từ 100m đến 5km

R = 29.5; % Tỷ lệ mưa (mm/h) cho độ khả dụng 99.99%

Pt = 30; % Công suất phát (dBm)

Gtx = 15; % Độ lợi anten phát (dBi)

Grx = 0; % Độ lợi anten thu (dBi)

B = 20e6; % Băng thông (Hz)

SNR_th = 0; % Ngưỡng SNR cho outage (dB)

% Hệ số mưa theo ITU-R P.838-3 cho phân cực ngang

k = [0.0000387, 0.000912, 0.1872]; % Hệ số k cho 700 MHz, 2.6 GHz, 28 GHz

alpha = [0.9632, 1.121, 1.0741]; % Hệ số alpha cho 700 MHz, 2.6 GHz, 28 GHz

% Tính FSPL và Rain Attenuation

FSPL = zeros(length(frequencies), length(distances));

Arain = zeros(length(frequencies), length(distances));

for i = 1:length(frequencies)

 f = frequencies(i);

 for j = 1:length(distances)

 d = distances(j);

 % Free Space Path Loss (dB)

```

    FSPL(i,j) = 20*log10(d) + 20*log10(f) + 20*log10(4*pi/c);
    % Rain Attenuation (dB)
    d_km = d / 1000; % Chuyển khoảng cách sang km
    Arain(i,j) = k(i) * R^alpha(i) * d_km;
end
end

% Tổng suy hao (không tính fading)
total_loss = FSPL + Arain;

% Công suất thu (dBm)
Prx = Pt + Gtx + Grx - total_loss;

% Tính SNR
SNR = zeros(length(frequencies), length(distances));
noise_power = -174 + 10*log10(B); % Công suất nhiễu (dBm)
for i = 1:length(frequencies)
    for j = 1:length(distances)
        SNR(i,j) = Prx(i,j) - noise_power;
    end
end

% Tính BER, Outage Probability và Channel Capacity
BER = zeros(length(frequencies), length(distances));
Pout = zeros(length(frequencies), length(distances));
Capacity = zeros(length(frequencies), length(distances));
gamma_th = 10^(SNR_th/10); % Ngưỡng SNR tuyến tính
for i = 1:length(frequencies)

```

```

for j = 1:length(distances)
    % Chuyển SNR sang tuyến tính
    gamma = 10^(SNR(i,j)/10);

    % BER cho QPSK trong kênh Rayleigh
    BER(i,j) = 0.5 * (1 - sqrt(gamma / (1 + gamma)));

    % Outage Probability trong kênh Rayleigh
    Pout(i,j) = 1 - exp(-gamma_th / gamma);

    % Channel Capacity (bit/s/Hz)
    Capacity(i,j) = log2(1 + gamma);
end
end

% Vẽ đồ thị
figure;

% Biểu đồ BER
subplot(3,1,1);
semilogy(distances/1000, BER(1,:), 'b-', 'LineWidth', 2, 'DisplayName', '700
MHz');
hold on;
semilogy(distances/1000, BER(2,:), 'r-', 'LineWidth', 2, 'DisplayName', '2.6
GHz');
semilogy(distances/1000, BER(3,:), 'g-', 'LineWidth', 2, 'DisplayName', '28
GHz');
xlabel('Khoảng cách (km)');
ylabel('BER');

```

```

title('Tỷ lệ lỗi bit (BER) cho QPSK trong kênh Rayleigh');
legend('show');
grid on;

% Biểu đồ Outage Probability
subplot(3,1,2);
semilogy(distances/1000, Pout(1,:), 'b-', 'LineWidth', 2, 'DisplayName', '700
MHz');
hold on;
semilogy(distances/1000, Pout(2,:), 'r-', 'LineWidth', 2, 'DisplayName', '2.6 GHz');
semilogy(distances/1000, Pout(3,:), 'g-', 'LineWidth', 2, 'DisplayName', '28 GHz');
xlabel('Khoảng cách (km)');
ylabel('Outage Probability');
title(['Xác suất dừng (SNR ngưỡng = ', num2str(SNR_th), ' dB)']);
legend('show');
grid on;

% Biểu đồ Channel Capacity
subplot(3,1,3);
plot(distances/1000, Capacity(1,:), 'b-', 'LineWidth', 2, 'DisplayName', '700
MHz');
hold on;
plot(distances/1000, Capacity(2,:), 'r-', 'LineWidth', 2, 'DisplayName', '2.6 GHz');
plot(distances/1000, Capacity(3,:), 'g-', 'LineWidth', 2, 'DisplayName', '28 GHz');
xlabel('Khoảng cách (km)');
ylabel('Dung lượng kênh (bit/s/Hz)');
title('Dung lượng kênh theo công thức Shannon');
legend('show');
grid on;

```

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T. Hường, “5G - xu hướng công nghệ di động tương lai,” Tạp chí Tài chính điện tử, 2018. [Trực tuyến]. Available: <https://tapchitaichinh.vn/5g-xu-huong-cong-nghe-di-do-tuong-lai.html>.
- [2] Gupta, Akhil and Jha, Rakesh Kumar, “A survey of 5G network: Architecture and emer technologies,” số 3, pp. 1206--1232, 2015.
- [3] L. J. Vora, “Evolution of mobile generation technology: 1G to 5G and review of upcom wireless technology 5G,” *International journal of modern trends in engineering research*, tập 2, số 10, pp. 281--290, 2015.
- [4] A. Sultan, “5G System Overview,” 3GPP, 8 8 2022. [Trực tuyến]. Available <https://www.3gpp.org/technologies/5g-system-overview>.
- [5] H.-I. H. Sollie, “DECT NR+: A technical dive into non-cellular 5G,” NORDIC, 25 5 2 [Trực tuyến]. Available: <https://devzone.nordicsemi.com/nordic/norblog/b/blog/posts/dect-nr-a-technical-dive-into-non-cellular-5g>.
- [6] “What is 5G base station architecture?,” Essentra, 1 12 2021. [Trực tuyến]. Available: <https://www.essentracomponents.com/en-gb/news/industries/telecoms-data/what-is-5g-base-station-architecture?>
- [7] “5G NR Frame Structure,” Cafetele, 2023. [Trực tuyến]. Available: <https://cafetele.com/5g-nr-frame-structure/>.
- [8] Vipin Singh, Research Analyst, Market Research, Aman Kumar, Senior Research Anal Search Team, and Gaurav Sharma, Research Analyst, Solution Team, “What is Technology – Requirements, Initiatives, and Enabling Technologies,” GreyB, [Trực tuy Available: <https://www.greyb.com/blog/5g-technology/>.
- [9] “5G-NR Frame Structure and Numerology,” TechLTE World, 10 7 2023. [Trực tuyến] Available: <https://www.linkedin.com/pulse/5g-nr-frame-structure-numerology-techworld#:~:text=Subcarrier%20spacing%3A%20The%20subcarrier%20spacing,aIso%20re%20susceptible%20to%20interference.>
- [10] Technote, “5G/NR - Numerology / SCS (Sub Carrier Spacing),” Share Technote, [T tuyến].S. Available: https://www.sharetechnote.com/html/5G/5G_Phy_Numerology.html#google_vignette.
- [11] Z. Akhundov, “5G NR Sub-carriers,” Telecompedia, 2024. [Trực tuyến]. Availa https://telecompedia.net/5g-nr-sub-carriers/#google_vignette.
- [12] R. Goodwins, “5G New Radio: The technical background,” ZDNet, 1 Feb

2019. [T tuyến].

- [13] M. Goss, “Macrocell vs. small cell vs. femtocell: A 5G introduction,” TechTarget, 20 2023. [Trực tuyến]. Available: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/feature/Macrocell-vs-small-cell-vs-femtocell-A-5G-introduction>.
- [14] A. W. Services, “Độ trễ mạng là gì?,” Amazon, 2023. [Trực tuyến]. Available: <https://aws.amazon.com/vi/what-is/latency/>.
- [15] BYJU'S, “Doppler Effect,” BYJU'S, 2024. [Trực tuyến]. Available: <https://byjus.com/physics/doppler-effect/>.



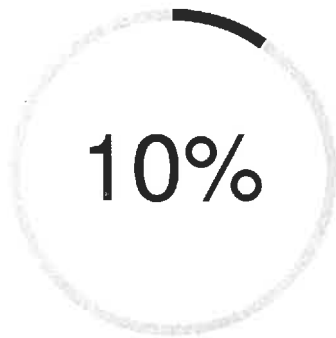
BÁO CÁO KIỂM TRA TRÙNG LẶP

Thông tin tài liệu

Tên tài liệu:	De an tot nghiep CH Tran Thi Mai_final
Tác giả:	Trần Thị Mai
Điểm trùng lặp:	10
Thời gian tải lên:	13:04 22/06/2025
Thời gian sinh báo cáo:	13:19 22/06/2025
Các trang kiểm tra:	50/50 trang



Kết quả kiểm tra trùng lặp



Có 10% nội dung trùng
lặp



Có 90% nội
dung không
trùng lặp



Có 0% nội dung
người dùng loại
trừ



Có 0% nội dung
hệ thống bỏ qua

Nguồn trùng lặp tiêu biểu

Học viên

Trần Thị Mai

Giảng viên hướng dẫn

PGS.TS. Nguyễn Tiến Bàn

123docz.net tailieu.vn www.shunlongwei.com

BÁO CÁO GIẢI TRÌNH SỬA CHỮA, HOÀN THIỆN ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP

Họ và tên học viên: Trần Thị Mai

Chuyên ngành: Kỹ Thuật Viễn Thông

Khóa: 2023 đợt 2

Tên đề tài: ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG ĐƯỜNG TRUYỀN TRONG MẠNG 5G NR

Người hướng dẫn khoa học: PGS.TS. Nguyễn Tiến Ban

Ngày bảo vệ: 19/07/2025

Các nội dung học viên đã sửa chữa, bổ sung trong đề án tốt nghiệp theo ý kiến đóng góp của Hội đồng chấm đề án tốt nghiệp:

TT	Ý kiến hội đồng	Sửa chữa của học viên
1	Bổ sung lý giải về độ lệch giữa Đề cương và nội dung đề án	Trong quá trình triển khai đề án học viên đã tuân thủ các định hướng và nội dung cốt lõi theo đề cương đã được phê duyệt. Tuy nhiên trong quá trình nghiên cứu sâu về các mô hình mạng, phương pháp mô phỏng và xử lý số liệu, một số nội dung đã được bổ sung, điều chỉnh khác so với đề cương ban đầu. Việc thay đổi không làm ảnh hưởng đến tính toàn vẹn của đề án mà nhằm đảm bảo nội dung nghiên cứu sát thực tế hơn, có giá trị ứng dụng cao hơn và phản ánh đúng những yêu cầu kỹ thuật trong bối cảnh hiện nay của ngành Viễn thông.
2	Rà soát lỗi chính tả, và tính logic trình bày	Học viên đã cho rà soát và thực hiện sửa lỗi chính và tính logic trong phần trình bày

3	Bổ sung luận điểm lựa chọn kênh Rayleigh trong mô phỏng	Học viên đã tiếp thu góp ý của Hội đồng, đã bổ sung thêm luận điểm lựa chọn kênh Rayleigh trong mô phỏng chương 3.3
4	Trình bày rõ mô hình mô phỏng, tham số mô phỏng	Học viên đã tiếp thu góp ý của Hội đồng đã trình rõ mô hình mô phỏng , tham số mô phỏng tại chương 3. Mục 3.3.1

Hà Nội, ngày 05 tháng 08 năm 2025

CHỦ TỊCH HỘI ĐỒNG



PGS.TS. Lê Nhật Thăng

THƯ KÝ



TS. Nguyễn Thị Thu Hiền

NGƯỜI HƯỚNG DẪN



PGS.TS. Nguyễn Tiến Ban

HỌC VIÊN



Trần Thị Mai

**BIÊN BẢN
HỌP HỘI ĐỒNG CHẤM ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ**

Căn cứ quyết định số Quyết định số 1098/QĐ-HV ngày 26 tháng 06 năm 2025 của Giám đốc Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông về việc thành lập Hội đồng chấm đề án tốt nghiệp thạc sĩ. Hội đồng đã họp vào hồi...8...giờ...00...phút, ngày 19 tháng 07 năm 2025 tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông để chấm đề án tốt nghiệp thạc sĩ cho:

Học viên: **Trần Thị Mai**

Tên đề án tốt nghiệp: **Nghiên cứu đánh giá hiệu năng đường truyền trong mạng 5G NR**

Chuyên ngành: **Kỹ thuật viễn thông** Mã số: **8520208**

Các thành viên của Hội đồng chấm đề án tốt nghiệp có mặt: ...05.../ 05

TT	HỌ VÀ TÊN	TRÁCH NHIỆM TRONG HĐ	GHI CHÚ
1	PGS. TS. Lê Nhật Thăng	Chủ tịch	
2	TS. Nguyễn Thị Thu Hiền	Thư ký	
3	PGS.TS. Nguyễn Chiến Trinh	Phản biện 1	
4	TS. Lê Anh Ngọc	Phản biện 2	
5	TS. Nguyễn Hồng Thủy	Ủy viên	

Các nội dung thực hiện:

1. Chủ tịch Hội đồng điều khiển buổi họp. Công bố quyết định của Giám đốc Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông về việc thành lập Hội đồng chấm đề án tốt nghiệp thạc sĩ.
2. Người hướng dẫn khoa học hoặc thư ký đọc lý lịch khoa học và các điều kiện bảo vệ đề án tốt nghiệp của học viên. (có bản lý lịch khoa học và kết quả các môn học cao học của học viên kèm theo).
3. Học viên trình bày tóm tắt đề án tốt nghiệp.
4. Phản biện 1 đọc nhận xét (có văn bản kèm theo)
5. Phản biện 2 đọc nhận xét (có văn bản kèm theo)
6. Các câu hỏi của thành viên Hội đồng:

...1. Làm rõ nội dung kỹ thuật của đề án và 5G-NR ?
...2. Trình bày các điều kiện thực hiện đề án và các điều kiện bảo vệ đề án ? làm rõ các thành phần và các điều kiện thực hiện đề án ?
...3. Xác định các điều kiện để cấp bằng tốt nghiệp ? (khi nào ?)
...4. Ảnh hưởng của khoảng cách giữa các trạm đến hiệu năng ?
.....
.....

7. Trả lời của học viên:

...5G là hai miền chủ yếu là di động 5G chuyên, có 5G NR.....

Để cấp trực tiếp đến các thầy cô? cụ thể về wireless.
Điểm kiến, mô phỏng các phần số của điện thoại sử
dụng để tìm hiểu các phần số hiện nay, như BDR, Outage,
hủy hao,.....

8. Thư ký đọc nhận xét về quá trình thực hiện đề án tốt nghiệp của học viên (có văn bản kèm theo).

9. Hội đồng họp riêng:

- Bầu Ban kiểm phiếu:

1. Trưởng Ban kiểm phiếu: TS. Nguyễn Hồng Thủy
2. Ủy viên Ban kiểm phiếu: PGS. TS. Nguyễn Ch�t Trn
3. Ủy viên Ban kiểm phiếu: Nguyễn Thị Tâm Hiền

- Hội đồng chấm đề án tốt nghiệp bằng bỏ phiếu kín.

- Ban kiểm phiếu làm việc:

- Trưởng Ban kiểm phiếu báo cáo kết quả kiểm phiếu (có Biên bản họp Ban kiểm phiếu kèm theo)

- Điểm trung bình của đề án tốt nghiệp: 7,5

Kết luận:

1. Các nội dung cần chỉnh sửa, hoàn thiện sau bảo vệ đề án tốt nghiệp:

- Bổ sung lý giải về đề tài nghiên cứu, để cấp và nội dung đề tài.
- Rà soát lại chỉnh thể.
- Bổ sung luận điểm, luận chứng kinh Rayleigh, ứng mô phỏng.
- Rà soát lại thí nghiệm thực tế.
- Minh bạch rõ mô hình mô phỏng, phân số mô phỏng,.....

2. Đề nghị Học viện công nhận (hoặc không) và cấp bằng (hoặc không) thạc sĩ cho học viên:

Đề nghị công nhận và cấp bằng thạc sĩ cho học viên

3. Đề án tốt nghiệp có thể phát triển thành đề tài nghiên cứu cho

NCS. KH.

Buổi làm việc kết thúc vào 8h50 cùng ngày.

Chủ tịch

PGS. TS. Lê Nhật Thăng

Thư ký

TS. Nguyễn Thị Thu Hiền

CỘNG HOÀ XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập – Tự do – Hạnh phúc

-----oOo-----

BẢN NHẬN XÉT ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ
(Dùng cho người phản biện)

Tên đề tài luận văn: Nghiên cứu đánh giá hiệu năng đường truyền trong mạng 5G NR.

Chuyên ngành: Kỹ thuật viễn thông.

Mã chuyên ngành: 60.52.02.08

Họ và tên học viên: Trần Thị Mai

Họ và tên người nhận xét: Nguyễn Chiến Trinh

Học hàm, học vị: Phó Giáo sư - Tiến sĩ.

Chuyên ngành: Điện tử - Viễn thông

Cơ quan công tác: Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông.

Số điện thoại: 0915400946.....E-mail: trinhnc@ptit.edu.vn.

NỘI DUNG NHẬN XÉT

I/ Cơ sở khoa học và thực tiễn, tính cấp thiết của đề tài:

Mạng thông tin di động 5G đã được triển khai và đang phát triển mạnh mẽ, trở thành hạ tầng truyền thông thế hệ sau và cung cấp các dịch vụ đa dạng tại Việt nam. Đề tài "Nghiên cứu đánh giá hiệu năng đường truyền trong mạng 5G NR" tìm hiểu công nghệ mạng 5G, đánh giá hiệu năng đường truyền, hỗ trợ triển khai mạng 5G, do vậy có ý nghĩa khoa học thực tiễn. Đề án cũng đạt được các kết quả kiểm chứng hiệu năng đường truyền mạng thông qua mô phỏng.

II/ Nội dung của luận văn, các kết quả đã đạt được:

Luận văn bao gồm 3 chương: giới thiệu tổng quan mạng 5G, các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu năng đường truyền, đánh giá hiệu năng đường truyền mạng 5G. Bố cục chung của đề án hợp lí, tuy nhiên nội dung các chương trình bày trong đề án chưa bám sát đề cương được duyệt. Cụ thể một số vấn đề của đề án cần hoàn thiện:

- Tên chương 1 chưa chính xác như trong đề cương.
- Chương 2 các mục chi tiết không bám theo đề cương được duyệt. Các nội dung trong chương 2 cũng chưa thật sự thể hiện đầy đủ các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu năng đường truyền mạng 5G.

- Chương 3 đánh giá hiệu năng đường truyền sử dụng mô phỏng và có được các kết quả đánh giá trên một số tham số hiệu năng mạng 5G. Một số nội dung còn sơ sài và chưa hoàn thiện: bài toán đánh giá hiệu năng, mô hình mô phỏng, các tham số sử dụng trong kịch bản mô phỏng, ...
- Các tham số đánh giá hiệu năng nêu trong đề án và các kết quả nhận được từ mô phỏng còn có sự sai lệch.
- Cách thức trình bày nội dung trong các chương còn chưa thật sự gắn kết và logic với nhau.
- Hình thức trình bày: sắp xếp lại danh mục các từ viết tắt.

III/ Những vấn đề cần giải trình thêm:

- 1) Định nghĩa mạng 5G NR sử dụng trong chương 3. Hiệu năng đường truyền 5G NR? Các điều kiện, tham số mô phỏng chương 3?
- 2) Tại sao lại sử dụng kênh Rayleigh fading trong mô phỏng thử nghiệm?
- 3) Giải thích xác suất dừng Hình 3.4.

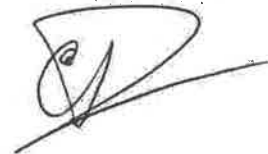
IV/ Kết luận:

Đề án đạt yêu cầu của đề án hướng ứng dụng tốt nghiệp Thạc sĩ.

Đồng ý cho phép học viên bảo vệ trước hội đồng.

Hà Nội, ngày tháng năm 2025

NGƯỜI NHẬN XÉT



PGS.TS Nguyễn Chiến Trinh

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

Độc lập – Tự do – Hạnh phúc

BẢN NHẬN XÉT ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ

(Dùng cho người phản biện)

Tên đề tài đề án tốt nghiệp: **ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG ĐƯỜNG TRUYỀN TRONG MẠNG 5G NR**

Chuyên ngành: **KỸ THUẬT VIỄN THÔNG**

Mã chuyên ngành:

Họ và tên học viên: **Trần Thị Mai**

Họ và tên người nhận xét: **Lê Anh Ngọc**

Học hàm, học vị: **Tiến sĩ**

Chuyên ngành: **Kỹ thuật thông tin và truyền thông**

Cơ quan công tác: **Đại học FPT**

Số điện thoại: **0916880777** E-mail: **anhngocle.vn@gmail.com**

NỘI DUNG NHẬN XÉT

I/ Cơ sở khoa học và thực tiễn, tính cấp thiết của đề tài:

Đề tài đã thể hiện rõ tính cấp thiết trong bối cảnh chuyển đổi mạnh mẽ từ công nghệ 4G sang 5G, đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng về tốc độ dữ liệu cao và độ trễ thấp từ các ứng dụng trực tuyến và dịch vụ truyền phát. Việc đánh giá hiệu năng đường truyền trong 5G NR được xác định là vô cùng quan trọng để đảm bảo hoạt động tối ưu của mạng. Luận văn tập trung vào khoảng cách sóng mang con, một yếu tố then chốt và linh hoạt trong 5G NR (khác với 4G LTE), làm nổi bật sự cần thiết thực tiễn của nghiên cứu trong việc tối ưu hóa mạng lưới 5G đang được triển khai.

II/ Nội dung của đề án tốt nghiệp, các kết quả đã đạt được:

Luận văn được cấu trúc rõ ràng với ba chương chính. Chương 1 cung cấp tổng quan về hệ thống mạng 5G và các kiến thức cơ bản liên quan. Chương 2 đi sâu vào các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu năng đường truyền trong mạng 5G, đặc biệt là khoảng cách sóng mang con. Chương 3 tập trung vào mô phỏng và đánh giá hiệu năng đường truyền trong 5G NR, bao gồm việc xây dựng mô hình mô phỏng mạng và thu thập dữ liệu về thông lượng và khoảng cách sóng mang con.

Đề án đã xây dựng thành công mô hình mô phỏng mạng 5G NR và thu thập được các dữ liệu về thông lượng, khoảng cách sóng mang con. Nghiên cứu đã phân tích được sự ảnh hưởng của khoảng cách sóng mang lên đường truyền. Các kết quả mô phỏng, được thực hiện bằng

công cụ Matlab, đã đánh giá chi tiết các tham số hiệu năng như thông lượng, Tỷ lệ lỗi bit (BER), Tỷ lệ tín hiệu trên tạp âm (SNR) và độ trễ. Các phát hiện quan trọng bao gồm sự khác biệt về hiệu năng giữa các dải tần (700 MHz và 28 GHz) đối với suy hao tín hiệu, SNR, BER, xác suất dừng và dung lượng kênh, làm rõ sự đánh đổi giữa vùng phủ sóng, tốc độ dữ liệu và độ tin cậy trong các kịch bản khác nhau (đô thị so với nông thôn).

III/ Những vấn đề cần giải thích thêm:

Q1. Làm rõ các tham số mô phỏng trên matlab và cách triển khai mô phỏng?

Q2. Làm rõ ảnh hưởng của khoảng cách sóng mang con đến hiệu năng đường truyền trong phần kết quả mô phỏng?

IV/ Kết luận:

Đề án là một nghiên cứu có cấu trúc tốt và phù hợp về hiệu năng đường truyền trong mạng 5G NR. Luận văn cho thấy sự hiểu biết vững chắc về chủ đề và sử dụng các công cụ mô phỏng thích hợp để đạt được các mục tiêu đề ra. Đồng ý cho phép học viên bảo vệ đề án tốt nghiệp.

Ngày...10....tháng...7....năm ...2025

NGƯỜI NHẬN XÉT



TS Lê Anh Ngọc

