**HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**

**KHOA VIỄN THÔNG**



***Học viên thực hiện:* Trần Thị Mai - B23CHTE027**

ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG ĐƯỜNG TRUYỀN TRONG MẠNG 5G NR

**TÓM TẮT KHÓA LUẬN TỐT NGHIỆP CAO HỌC HỆ CHÍNH QUY**

CHUYÊN NGÀNH : KỸ THUẬT VIỄN THÔNG

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC**

**PGS.TS. NGUYỄN TIẾN BAN**

**HÀ NỘI - 2025**

Đề án tốt nghiệp được hoàn thành tại:

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

Người hướng dẫn khoa học: Tiến sĩ Nguyễn Ngọc Điệp

Phản biện 1: ……………………………………………………………………………

Phản biện 2: ……………………………………………………………………………

Đề án tốt nghiệp sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm đề án tốt nghiệp thạc sĩ tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

Vào lúc: ....... giờ ....... ngày ....... tháng ....... .. năm ...............

Có thể tìm hiểu đề án tốt nghiệp tại:

 - Thư viện của Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông.

# MỤC LỤC

[CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU CHUNG 1](#_Toc201568557)

[1.1 Tổng quan về hệ thống thông tin di động 1](#_Toc201568558)

[1.2 Tổng quan về 5G 1](#_Toc201568559)

[CHƯƠNG 2 : CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN HIỆU NĂNG ĐƯỜNG TRUYỀN MẠNG 5G 6](#_Toc201568560)

[2.1 Phổ tần số và Dải tần sử dụng 6](#_Toc201568561)

[2.1.1. Phổ tần 5G băng tần thấp 6](#_Toc201568562)

[2.1.2. Phổ tần 5G băng tần trung bình 7](#_Toc201568563)

[2.1.3.Phổ tần 5G băng tần cao 8](#_Toc201568564)

[2.2Beamforming 9](#_Toc201568565)

[2.2.1. Tổng quan về Beamforming 9](#_Toc201568566)

[2.2.2. Định hình chùm tia 10](#_Toc201568567)

[2.2.3. Lợi ích của việc định hình chùm tia 11](#_Toc201568568)

[2.2.4. Tương lai và thách thức đối với công nghệ tạo chùm tia 11](#_Toc201568569)

[2.3. Hiệu ứng đa đường (Multipath Fading) 12](#_Toc201568570)

[2.3.1. Nguyên nhân của hiệu ứng đa đường 12](#_Toc201568571)

[2.3.2. Ảnh hưởng của hiệu ứng đa đường 12](#_Toc201568572)

[2.3.3.Giải pháp khắc phục hiệu ứng đa đường 12](#_Toc201568573)

[2.4. MIMO và Beamforming – Cải thiện hiệu suất truyền dẫn 13](#_Toc201568574)

[2.4.1. MIMO (Multiple Input Multiple Output) trong 5G 13](#_Toc201568575)

[2.4.2. Phân loại MIMO 13](#_Toc201568576)

[CHƯƠNG 3: MÔ PHỎNG 15](#_Toc201568577)

[3.1 Mục đích mô phỏng 15](#_Toc201568578)

[3.2 Mô hình mô phỏng 15](#_Toc201568579)

[3.3 Kết quả mô phỏng 16](#_Toc201568580)

[KẾT LUẬN 18](#_Toc201568581)

[TÀI LIỆU THAM KHẢO 19](#_Toc201568582)

# CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU CHUNG

## Tổng quan về hệ thống thông tin di động

* + 1. *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. *Sự phát triển của hệ thống thông tin di động (1G-5G)*

Mạng di động đã trải qua nhiều bước tiến từ khi ra đời thế hệ đầu tiên (1G) 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.

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].

## Tổng quan về 5G

* + 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].

**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. ác 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. *Kiến trúc 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. *Công nghệ trong 5G*

Dưới đây là các công nghệ sử dụng trong 5G [7]

**NVF (Network Function Virtualization):** NFV 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. NFV 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 lấn 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. *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, dưới đây là 3 dải tần chính [6]:

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.

Bằng 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.

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

## 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.

**Ưu điểm của băng tần thấp trong 5G:**

* **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 của băng tần thấp trong 5G:**

* **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.

**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](https://www.rfpage.com/applications-of-millimeter-waves-future/) , phù hợp với các ứng dụng băng thông cao hơn cho dữ liệu cực nhanh.

**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.

## 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.

### **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.

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.

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 đó 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.

### **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 (Multiple Input Multiple Output) 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.

### **2.4.1. MIMO (Multiple Input Multiple Output) 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 (Multiple Input Multiple Output) 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.

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 anten, thường là hàng chục hoặc thậm chí hàng trăm anten, 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](https://hhntech.vn/song-di-dong/he-thong-tram-goc/) 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.

# CHƯƠNG 3: MÔ PHỎNG

## Mục đích mô phỏng

 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 lí 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.

## Mô hình mô phỏng

* + 1. *Tham số mô phỏng*

 Mạng di động có hai thành phần chính là 'Mạng truy cập vô tuyến' và 'Mạng lõi'. Mạng truy cập vô tuyến - bao gồm nhiều loại cơ sở khác nhau như các ô nhỏ, tháp, cột và các hệ thống chuyên dụng trong tòa nhà và tại nhà kết nối người dùng di động và thiết bị không dây với mạng lõi chính. Các ô nhỏ sẽ là một tính năng chính của mạng 5G, đặc biệt là ở tần số sóng milimet (mmWave) mới, nơi phạm vi kết nối rất ngắn. Để cung cấp kết nối liên tục, các ô nhỏ sẽ được phân bổ theo cụm tùy thuộc vào nơi người dùng yêu cầu kết nối, điều này sẽ bổ sung cho mạng vĩ mô cung cấp vùng phủ sóng diện rộng.

 Các ô vĩ mô 5G sẽ sử dụng ăng-ten MIMO (nhiều đầu vào, nhiều đầu ra) có nhiều thành phần hoặc kết nối để gửi và nhận nhiều dữ liệu hơn cùng lúc. Lợi ích đối với người dùng là nhiều người có thể kết nối đồng thời với mạng và duy trì thông lượng cao. Ăng-ten MIMO thường được gọi là 'MIMO lớn' do số lượng lớn các thành phần và kết nối ăng-ten đa năng, tuy nhiên kích thước vật lý tương tự như ăng-ten trạm gốc 3G và 4G hiện có.

 Mạng lõi - là mạng trao đổi dữ liệu và di động quản lý tất cả các kết nối thoại, dữ liệu và Internet di động. Đối với 5G, 'mạng lõi' đang được thiết kế lại để tích hợp tốt hơn với Internet và các dịch vụ dựa trên đám mây và cũng bao gồm các máy chủ phân tán trên toàn mạng, cải thiện thời gian phản hồi (giảm độ trễ). Nhiều tính năng tiên tiến của 5G bao gồm ảo hóa chức năng mạng và phân chia mạng cho các ứng dụng và dịch vụ khác nhau sẽ được quản lý trong lõi.

## Kết quả mô phỏng

 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 20log⁡10(f)20 \log\_{10}(f)20log10​(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.

 Sự khác biệt này nhấn mạnh vai trò của tần số thấp trong vùng nông thôn và tần số cao trong vùng đô thị mật độ cao, nơi beamforming và MIMO được tối ưu hóa để bù đắp suy hao. Bên cạnh đó, SNR sau khi qua kênh Rayleigh Fading giảm mạnh theo khoảng cách, với 28 GHz có xu hướng giảm xuống dưới 0 dB chỉ sau 2 km, trong khi 700 MHz vẫn duy trì trên 50 dB tại cùng khoảng cách. Điều này phản ánh đặc tính kênh không có đường nhìn thẳng (NLOS) trong mô hình Rayleigh, phổ biến trong môi trường đô thị 5G NR, nơi tín hiệu chịu ảnh hưởng từ đa đường và nhiễu. Tần số 28 GHz chịu suy hao lớn từ FSPL và mưa, dẫn đến SNR thấp hơn, phù hợp với ứng dụng mmWave trong phạm vi ngắn với kỹ thuật beamforming để cải thiện hiệu quả. Ngược lại, 700 MHz, với SNR cao hơn, hỗ trợ vùng phủ sóng lớn hơn, một đặc điểm quan trọng trong các kịch bản 5G NR như eMBB (enhanced Mobile Broadband). Sự khác biệt này cho thấy cần thiết kế anten thông minh cho từng dải tần.

 Đồ thị BER cho thấy tần số 28 GHz có BER cao nhất, đạt khoảng 10^{-1} tại 5 km, trong khi 700 MHz duy trì dưới 10^{-5} ở cùng khoảng cách. Điều này phù hợp với lý thuyết 5G NR, nơi BER trong kênh Rayleigh fading phụ thuộc vào SNR, và tần số cao như 28 GHz chịu suy hao lớn hơn, làm giảm hiệu quả điều chế QPSK. Kết quả chỉ ra trong hình 3.3 cho thấy BER tăng khi SNR giảm, giải thích xu hướng tăng của 28 GHz. Tần số 700 MHz, với SNR cao hơn, đạt BER thấp hơn, phù hợp cho các ứng dụng nhạy cảm với lỗi như video 4K trong 5G NR. Kết quả này nhấn mạnh nhu cầu sử dụng kỹ thuật mã hóa mạnh mẽ (như LDPC trong 5G) để giảm BER ở tần số cao.

 Xác suất dừng tại 28 GHz tăng nhanh, đạt gần 1 ở 5 km, trong khi 700 MHz vẫn dưới 10−610^{-6}10−6 tại cùng khoảng cách, phản ánh sự phụ thuộc vào SNR trung bình trong kênh Rayleigh. Với ngưỡng SNR 0 dB, kết quả trong hình 3.4 đã cho thấy tần số 28 GHz dễ rơi vào trạng thái outage do SNR thấp, phù hợp với đặc tính mmWave trong 5G NR, thường yêu cầu LOS hoặc phạm vi ngắn. Ngược lại, 700 MHz hỗ trợ độ tin cậy cao, quan trọng cho các kịch bản URLLC (Ultra-Reliable Low-Latency Communication). Kết quả này gợi ý rằng việc triển khai 28 GHz cần tích hợp công nghệ như massive MIMO để giảm outage trong môi trường thực tế.

 Dung lượng kênh theo Shannon giảm dần theo khoảng cách, với 700 MHz đạt trên 20 bit/s/Hz ở 1 km, trong khi 28 GHz chỉ còn dưới 5 bit/s/Hz tại cùng khoảng cách. Kết quả trong hình 3.5 cho thấy dung lượng phụ thuộc trực tiếp vào SNR, giải thích sự suy giảm mạnh của 28 GHz do suy hao lớn. Trong 5G NR, tần số cao như 28 GHz được thiết kế để cung cấp băng thông lớn (eMBB), nhưng chỉ hiệu quả ở phạm vi gần với công nghệ beamforming. Tần số 700 MHz, với dung lượng ổn định, phù hợp cho vùng phủ sóng rộng và ứng dụng IoT. Kết quả này nhấn mạnh nhu cầu tối ưu hóa tài nguyên tần số và kỹ thuật đa anten để cân bằng dung lượng và độ phủ trong mạng 5G NR

# KẾT LUẬN

Trong bài khóa luận này, chúng ta 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 suất truyền dẫn, đảm bảo 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.

Tuy nhiên, nghiên cứu này 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.

# 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]. Availa [https://ww](http://www.3gpp.org/technologies/5g-system-overview)w.3gpp[.org/technologies/5g](http://www.3gpp.org/technologies/5g-system-overview)-[system](http://www.3gpp.org/technologies/5g-system-overview)-[overview.](http://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/nor blog/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]. Availa [https://ww](http://www.essentracomponents.com/en-gb/news/industries/telecoms-data/what-is-5g)w.essen[tracomponents.com/en](http://www.essentracomponents.com/en-gb/news/industries/telecoms-data/what-is-5g)-[gb/news/industries/telecoms-data/what-is-5g](http://www.essentracomponents.com/en-gb/news/industries/telecoms-data/what-is-5g) base-station-architecture?.
7. “5G NR Frame Structure,” Cafetele, 2023. [Trực tuyến]. Availa 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/.](http://www.greyb.com/blog/5g-technology/)
9. “5G-NR Frame Structure and Numerology,” TechLTE World, 10 7 2023. [Trực tuy Available: ht[tps://w](http://www.linkedin.com/pulse/5g-nr-frame-structure-numerology-tech)ww[.linkedin.com/p](http://www.linkedin.com/pulse/5g-nr-frame-structure-numerology-tech)ulse[/5g-nr-frame-structure-numerology-tech](http://www.linkedin.com/pulse/5g-nr-frame-structure-numerology-tech) world#:~:text=Subcarrier%20spacing%3A%20The%20subcarrier%20spacing,also%2 ore%20susceptible%20to%20interference.
10. S. Technote, “5G/NR - Numerology / SCS (Sub Carrier Spacing),” Share Technote, [T tuyến]. Availa

[https://ww](http://www.sharetechnote.com/html/5G/5G_Phy_Numerology.html#google_vignette)w.sharet[echnote.com/html/5G/5G\_Phy\_Numerology.html#google\_vignette.](http://www.sharetechnote.com/html/5G/5G_Phy_Numerology.html#google_vignette)

1. Z. Akhundov, “5G NR Sub-carriers,” Telecompedia, 2024. [Trực tuyến]. Availa https://telecompedia.net/5g-nr-sub-carriers/#google\_vignette.
2. R. Goodwins, “5G New Radio: The technical background,” ZDNet, 1 Feb 2019. [T tuyến].
3. M. Goss, “Macrocell vs. small cell vs. femtocell: A 5G introduction,” TechTarget, 20 2023. [Trực tuyến]. Availa [https://ww](http://www.techtarget.com/searchnetworking/feature/Macrocell-vs-small-cell-vs-)w.techta[rget.com/searchnetworking/feature/Macrocell-vs-small-cell-vs-](http://www.techtarget.com/searchnetworking/feature/Macrocell-vs-small-cell-vs-) femtocell-A-5G-introduction.
4. A. W. Services, “Độ trễ mạng là gì?,” Amazon, 2023. [Trực tuyến]. Availa https://aws.amazon.com/vi/what-is/latency/.

BYJU'S, “Doppler Effect,” BYJU'S, 2024. [Trực tuyến]. Availa https://byjus.com/physics/doppler-effect/