

**TỔNG LIÊN LIÊN ĐOÀN LAO ĐỘNG VIỆT NAM  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC TÔN ĐỨC THẮNG  
KHOA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN**



**MÔN KIẾN TRÚC INTERNET**

**Một số khảo sát về mạng 5G**

**Người hướng dẫn: Ths. TRẦN TRUNG TÍN  
Họ và tên: Võ Mạnh Cường - 52200319  
Lớp: 22050401**

**HỒ CHÍ MINH – 2025**

**TỔNG LIÊN LIÊN ĐOÀN LAO ĐỘNG VIỆT NAM  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC TÔN ĐỨC THẮNG  
KHOA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN**



**MÔN KIẾN TRÚC INTERNET**

**Một số khảo sát về mạng 5G**

**Người hướng dẫn: Ths. TRẦN TRUNG TÍN  
Họ và tên: Võ Mạnh Cường - 52200319  
Lớp: 22050401**

**HỒ CHÍ MINH – 2025**

## LỜI CẢM ƠN

Chúng em xin chân thành gửi lời cảm ơn sâu sắc đến ThS. Trần Trung Tín đã tận tình giảng dạy, hỗ trợ và truyền đạt kiến thức trong suốt quá trình học tập. Nhờ sự hướng dẫn của thầy, em đã xây dựng được nền tảng lý thuyết vững chắc để hoàn thành bài báo cáo cuối kì.

Tuy nhiên chúng em còn hạn chế nhiều về môn *Kiến trúc Internet* nên không thể tránh khỏi những thiếu sót trong quá trình hoàn thành bài báo cáo cuối kỳ này. Mong thầy xem và góp ý để bài báo cáo của em được cải thiện hơn.

Em xin chân thành cảm ơn thầy vì đã hỗ trợ em trong quá trình thực hiện bài báo cáo này!

# **CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI TRƯỜNG ĐẠI HỌC TÔN ĐỨC THẮNG**

Tôi xin cam đoan đây là sản phẩm đồ án của riêng chúng tôi và được sự hướng dẫn của ThS. Trần Trung Tín. Các nội dung nghiên cứu, kết quả trong đề tài này là trung thực và chưa công bố dưới bất kỳ hình thức nào trước đây. Những số liệu trong các bảng biểu phục vụ cho việc phân tích, nhận xét, đánh giá được chính tác giả thu thập từ các nguồn khác nhau có ghi rõ trong phần tài liệu tham khảo.

Ngoài ra, trong đồ án còn sử dụng một số nhận xét, đánh giá cũng như số liệu của các tác giả khác, cơ quan tổ chức khác đều có trích dẫn và chú thích nguồn gốc.

**Nếu phát hiện có bất kỳ sự gian lận nào chúng tôi xin hoàn toàn chịu trách nhiệm về nội dung đồ án của mình.** Trường đại học Tôn Đức Thắng không liên quan đến những vi phạm tác quyền, bản quyền do chúng tôi gây ra trong quá trình thực hiện (nếu có).

*TP.Hồ Chí Minh, ngày 17 tháng 5 năm 2025*

*Tác giả*

*(ký và ghi rõ họ tên)*

*Võ Mạnh Cường*

## TÓM TẮT

Báo cáo khảo sát triển khai mạng 5G, nhấn mạnh vai trò của công nghệ này trong chuyển đổi số toàn cầu và tại Việt Nam. 5G mang lại tốc độ cao, độ trễ thấp, và khả năng kết nối quy mô lớn, hỗ trợ các ứng dụng như thành phố thông minh, công nghiệp 4.0, và chăm sóc sức khỏe thông minh. Các công nghệ cốt lõi bao gồm Massive MIMO, Beamforming, Network Slicing, và băng tần mmWave, Sub-6GHz, giúp tăng dung lượng và hiệu suất mạng.

Tại Việt Nam, 5G được triển khai qua hai giai đoạn: Non-Standalone sử dụng hạ tầng 4G, sau đó chuyển sang Standalone với mạng lõi 5G độc lập. Các nhà mạng lớn đã phủ sóng tại đô thị và khu công nghiệp, ứng dụng trong y tế, giáo dục, và sản xuất. Trên toàn cầu, các quốc gia tiên phong đã phát triển 5G cho giao thông, giải trí, và IoT. Tuy nhiên, 5G đối mặt với thách thức về chi phí đầu tư, hạn chế băng tần, an ninh mạng, và lo ngại xã hội về sức khỏe, dù được khẳng định là an toàn. Việt Nam hướng tới mở rộng phủ sóng 5G toàn quốc, kết hợp mmWave và Sub-6GHz để tối ưu hóa hiệu quả, đáp ứng nhu cầu số hóa và đạt chuẩn quốc tế (GSMA, The Mobile Economy 2023).

# Mục lục

<b>CHƯƠNG 1 Mạng 5G – Tổng quan</b>	<b>1</b>
1.1 Giới thiệu vấn đề	1
1.2 Mạng 5G là gì?	2
Lịch sử phát triển	2
Ý nghĩa và phân loại	2
Tiêu chuẩn kỹ thuật	3
1.3 Sơ lược về công nghệ của mạng 5G	3
1.4 Sứ mệnh và vai trò của mạng 5G	4
1.5 Những thách thức triển khai	7
<b>CHƯƠNG 2 Trụ cột công nghệ định hình mạng 5G</b>	<b>10</b>
2.1 Massive MIMO và Beamforming	10
2.1.1 Massive MIMO	10
2.1.2 Beamforming	11
2.1.3 Full Dimension MIMO	13
2.2 mmWave 5G và Sub-6GHz	16
2.2.1 mmWave	16
2.2.2 Kết hợp giữa mmWave và Sub-6GHz	19
2.3 Network Slicing	21
2.3.1 Triển khai Network Slicing	22
2.3.2 Các loại Network Slicing và ứng dụng	23
<b>CHƯƠNG 3 Kiến trúc triển khai và chuyển giao</b>	<b>26</b>
3.1 Non-Standalone	26
3.2 Standalone	29
3.3 Tại sao lại có 2 mô hình triển khai?	32

3.3.1 Lý do tồn tại hai mô hình triển khai . . . . .	32
3.3.2 Chiến lược chuyển giao . . . . .	33
<b>CHƯƠNG 4 Triển khai 5G toàn cầu và Việt Nam . . . .</b>	<b>35</b>
4.1 Triển khai 5G tại một số quốc gia . . . . .	35
4.2 Triển khai 5G tại Việt Nam . . . . .	36
<b>KẾT LUẬN . . . . .</b>	<b>39</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO . . . . .</b>	<b>40</b>

# Danh sách hình vẽ

Hình 1.1.	Phẫu thuật từ xa qua mạng 5G . . . . .	5
Hình 1.2.	Minh họa thành phố thông minh 5G . . . . .	6
Hình 1.3.	Tăng trưởng dự kiến của 5G . . . . .	8
Hình 1.4.	Trạm phát sóng 5G bị đột phá . . . . .	9
Hình 2.1.	Trạm gốc Massive MIMO . . . . .	11
Hình 2.2.	Công nghệ Beamforming . . . . .	12
Hình 2.3.	FD-MIMO tạo chùm tia động 3D . . . . .	14
Hình 2.4.	FD-MIMO cải thiện thông lượng . . . . .	15
Hình 2.5.	Minh họa băng tần mmWave . . . . .	17
Hình 2.7.	Minh họa phạm vi phủ sóng mmWave và Sub-6GHz . . . .	21
Hình 2.8.	Minh họa Network Slicing . . . . .	23
Hình 3.1.	Minh họa kiến trúc 5G Non-Standalone . . . . .	26
Hình 3.2.	Minh họa kiến trúc 5G Standalone . . . . .	29
Hình 4.1.	Thống kê tăng trưởng tốc độ 5G cả nước . . . . .	37



# Danh mục các từ viết tắt

3GPP	3rd Generation Partnership Project – Dự án Quan hệ đối tác Thế hệ thứ 3
AI	Artificial Intelligence – Trí tuệ nhân tạo
API	Application Programming Interface – Giao diện lập trình ứng dụng
AR	Augmented Reality – Thực tế tăng cường
BTS	Base Transceiver Station – Trạm thu phát sóng
DSP	Digital Signal Processing – Xử lý tín hiệu số
DSS	Dynamic Spectrum Sharing – Chia sẻ phổ tần động
eMBB	Enhanced Mobile Broadband – Băng thông rộng cải tiến
EN-DC	E-UTRA-NR Dual Connectivity – Kết nối kép E-UTRA-NR
EPC	Evolved Packet Core – Mạng lõi tiến hóa
FD-MIMO	Full Dimension MIMO – MIMO toàn chiều
GSMA	Global System for Mobile Communications Association – Hiệp hội Hệ thống Thông tin Di động Toàn cầu
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – Ủy ban Quốc tế về Bảo vệ Chống Bức xạ Không Ion hóa
IMT-2020	International Mobile Telecommunications-2020 – Viễn thông di động quốc tế-2020
IoT	Internet of Things – Internet vạn vật
ITU	International Telecommunication Union – Liên minh Viễn thông Quốc tế
MEC	Multi-access Edge Computing – Điện toán biên đa truy cập

MIMO	Multiple Input Multiple Output – Đa đầu vào đa đầu ra quy mô lớn
mmWave	Millimeter Wave – Sóng milimet
MOCN	Multi-Operator Core Network – Mạng lõi đa nhà mạng
mMTC	Massive Machine-Type Communication – Truyền thông máy móc quy mô lớn
NFV	Network Function Virtualization – Ảo hóa chức năng mạng
NR	New Radio – Vô tuyến mới
NSA	Non-Standalone – Không độc lập
RAN	Radio Access Network – Mạng truy cập vô tuyến
SA	Standalone – Độc lập
SDN	Software-Defined Networking – Mạng định nghĩa bằng phần mềm
Sub-6GHz	Sub-6 Gigahertz – Dưới 6 Gigahertz
TRx	Transceiver – Bộ truyền nhận
URLLC	Ultra-Reliable Low-Latency Communication – Truyền thông độ trễ thấp đáng tin cậy cao
V2X	Vehicle-to-Everything – Xe kết nối vạn vật
VR	Virtual Reality – Thực tế ảo
WHO	World Health Organization – Tổ chức Y tế Thế giới
5GC	5G Core – Mạng lõi 5G

# Chương 1

## Mạng 5G – Tổng quan

### 1.1 Giới thiệu vấn đề

#### **Mạng 5G: Bước nhảy vọt vào kỷ nguyên kết nối vạn vật**

Mạng 5G không chỉ là bước tiến từ 4G mà còn là nền tảng quan trọng thúc đẩy sự phát triển của trí tuệ nhân tạo (AI), Internet vạn vật (IoT), và thực tế ảo (VR/AR), từ đó định hình lại cách thức vận hành của xã hội và nền kinh tế. Sự cạnh tranh triển khai 5G giữa các quốc gia ngày càng gia tăng, với những khoản đầu tư lớn và các chiến lược quốc gia đầy tham vọng.

Theo báo cáo của GSMA (2023), các nhà mạng toàn cầu đã đầu tư khoảng 1,3 nghìn tỷ USD vào cơ sở hạ tầng 5G từ năm 2018 đến 2023, với dự báo đạt 2,2 nghìn tỷ USD vào năm 2025. Trung Quốc dẫn đầu với hơn 300 tỷ USD trong năm 2022 (GSMA, 2023), trong khi Mỹ và châu Âu lần lượt chi khoảng 180 tỷ USD và 150 tỷ USD (Ericsson, 2023). Hàn Quốc là quốc gia đầu tiên đạt phủ sóng 5G toàn quốc vào năm 2019 (ITU, 2020). Tại Việt Nam, Bộ Thông tin và Truyền thông đã bắt đầu thử nghiệm 5G từ năm 2019, với mục tiêu phủ sóng toàn quốc vào năm 2025 và tổng vốn đầu tư ước tính hơn 2 tỷ USD (Bộ TTTT, 2024).

Tuy nhiên, quá trình triển khai 5G đối mặt với nhiều thách thức, bao gồm chi phí hạ tầng cao, vấn đề giải phóng băng tần, và các mối quan ngại về an ninh mạng. Các khía cạnh này, cùng với những khảo sát về hiệu suất và triển khai 5G, sẽ được phân tích chi tiết trong các phần tiếp theo.

## 1.2 Mạng 5G là gì?

Mạng 5G (Thế hệ thứ năm) là công nghệ mạng di động tiên tiến, đạt chuẩn **IMT-2020** của ITU. Vượt xa 4G, 5G cung cấp tốc độ lên đến 20 Gbps, độ trễ dưới 1 ms, kết nối 1 triệu thiết bị/km<sup>2</sup>, hỗ trợ AI, IoT, AR/VR, thành phố thông minh và công nghiệp 4.0.

### Lịch sử phát triển

- **1980s–2010s:**
  - + 1G: Gọi analog.
  - + 2G: SMS, dữ liệu cơ bản.
  - + 3G: Internet di động.
  - + 4G: Video HD, ứng dụng thời gian thực.
- **2012:** ITU khởi động IMT-2020, đặt tiêu chuẩn 5G.
- **2017–2020:** 3GPP phát hành Release 15 (NSA) và 16 (SA).
- **Mốc thời gian:**
  - + 2018: Thử nghiệm thương mại tại Hàn Quốc, Mỹ.
  - + 2019: Hàn Quốc triển khai 5G toàn quốc.
  - + 2020: Hơn 100 quốc gia triển khai 5G (GSMA).

### Ý nghĩa và phân loại

5G, hay **5G NR** (New Radio), là thế hệ mạng thứ năm, kế thừa và nâng cấp từ 4G LTE. Theo 3GPP, 5G phục vụ ba kịch bản chính:

- **eMBB (enhanced Mobile Broadband):** Tăng băng thông cho video 8K, VR/AR.
- **URLLC (Ultra-Reliable Low-Latency Communications):** Độ trễ dưới 1 ms, hỗ trợ xe tự lái, phẫu thuật từ xa.
- **mMTC (massive Machine-Type Communications):** Kết nối IoT quy mô lớn cho thành phố thông minh, nhà máy tự động.

## Tiêu chuẩn kỹ thuật

- Tiêu chuẩn IMT-2020 yêu cầu:
  - + Tốc độ độ peak: 20 Gbps (tải xuống), 10 Gbps (tải lên).
  - + Độ trễ: Dưới 1 ms (so với 20–50 ms của 4G).
  - + Mật độ kết nối: 1 triệu thiết bị/km<sup>2</sup>.
  - + Hiệu suất năng lượng: Giảm 90% so với 4G.
  - + Di động: Kết nối ổn định ở 500 km/h.
- 3GPP (Release 15–17) định nghĩa kiến trúc mạng, hỗ trợ **Dual Connectivity**, **Network Slicing**, và dải tần Sub-6GHz, mmWave.

5G không chỉ là mạng di động, mà là nền tảng kết nối vạn vật, thúc đẩy cách mạng công nghệ và xóa mờ ranh giới thực-ảo.

### 1.3 Sơ lược về công nghệ của mạng 5G

Để triển khai 5G, các nhà khoa học và kỹ sư đã phát triển các công nghệ cốt lõi như **Massive MIMO**, **mmWave** kết hợp **Sub-6GHz**, và **Network Slicing**, mang lại tốc độ cao, độ trễ thấp và kết nối quy mô lớn. Những công nghệ này không chỉ cải thiện hiệu suất mà còn hỗ trợ các ứng dụng tương lai như thành phố thông minh và xe tự hành. Dưới đây là tóm tắt về từng công nghệ (chi tiết tại Chương 2).

#### Massive MIMO

**Massive MIMO** sử dụng hàng chục đến hàng trăm anten tại trạm gốc, tăng dung lượng mạng gấp nhiều lần so với 4G. Kết hợp **Beamforming**, công nghệ này định hướng tín hiệu, giảm nhiễu, đảm bảo kết nối ổn định cho hàng nghìn thiết bị, như tại sân vận động đông người.

- Tăng dung lượng mạng.
- Giảm nhiễu nhờ **Beamforming**.
- Hỗ trợ nhiều kết nối đồng thời.

## mmWave và Sub-6GHz

5G sử dụng hai dải tần: **mmWave** (24–100 GHz) cho tốc độ cao ở đô thị, nhưng tầm phủ ngắn; **Sub-6GHz** cho phủ sóng rộng, phù hợp vùng nông thôn. Sự kết hợp này cân bằng tốc độ và độ phủ, đáp ứng từ video 8K đến IoT vùng sâu.

- **mmWave**: Tốc độ cao, lý tưởng cho đô thị.
- **Sub-6GHz**: Phủ sóng rộng, phù hợp nông thôn.
- Tối ưu hiệu suất mạng.

## Network Slicing

**Network Slicing** chia mạng 5G vật lý thành nhiều mạng ảo, mỗi mạng tối ưu cho mục đích riêng (xe tự hành, streaming). Dựa trên **SDN**, **NFV**, và **MEC**, công nghệ này tăng tính linh hoạt và hiệu quả tài nguyên.

- Tạo mạng ảo trên hạ tầng vật lý.
- Tối ưu cho IoT, xe tự hành.
- Tăng hiệu quả tài nguyên.

Kết hợp với AI và ảo hóa, các công nghệ này thúc đẩy 5G, định hình cuộc cách mạng công nghiệp 4.0. Chi tiết kỹ thuật và ứng dụng sẽ được trình bày ở Chương 2.

## 1.4 Sứ mệnh và vai trò của mạng 5G

Dựa trên khảo sát về tác động của mạng 5G, công nghệ này đóng vai trò là chất xúc tác cho chuyển đổi xã hội và kinh tế với các đặc điểm nổi bật:

- **Tốc độ cao**: Đáp ứng nhu cầu truyền tải dữ liệu lớn.
- **Độ trễ thấp**: Đảm bảo phản hồi gần như tức thời.
- **Kết nối quy mô lớn**: Hỗ trợ hàng triệu thiết bị đồng thời.

Sứ mệnh của 5G là kết nối vạn vật, thúc đẩy sáng tạo và xây dựng một thế giới thông minh, bền vững (GSMA, The Mobile Economy 2023). Các vai trò

chính của 5G, được khảo sát qua các ứng dụng thực tế, bao gồm:

– **Chăm sóc sức khỏe thông minh:**

- + **Phẫu thuật từ xa:** Sử dụng URLLC (Ultra-Reliable Low-Latency Communication – truyền thông siêu đáng tin cậy với độ trễ thấp) để đạt độ trễ dưới 1 ms, đảm bảo độ chính xác cao.
- + **Giám sát sức khỏe:** mMTC (Massive Machine-Type Communication – truyền thông máy móc quy mô lớn) kết nối các cảm biến y tế để theo dõi bệnh nhân liên tục.
- + **Lợi ích kinh tế:** Các giải pháp y tế dựa trên 5G giúp tiết kiệm hàng tỷ USD nhờ nâng cao hiệu quả chăm sóc (Ericsson, Ericsson Mobility Report, 2024).



Hình 1.1: Phẫu thuật não từ xa qua 5G tại Trung Quốc (Nguồn: genk.vn).

– **Giao thông và xe tự hành:**

- + **Phản ứng tức thời:** URLLC với độ trễ dưới 1 ms cho phép xe tự hành xử lý nhanh các tình huống giao thông.
- + **Mạng ảo riêng:** Network Slicing tạo các mạng chuyên biệt cho giao thông, tăng độ tin cậy và an toàn.
- + **Ví dụ thực tế:** Xe buýt tự hành tại Thâm Quyển (Trung Quốc) sử dụng 5G.

dụng 5G để điều hướng thời gian thực (Huawei, 5G Smart Transportation White Paper, 2024).

– **Công nghiệp 4.0:**

- + **Kết nối cảm biến:** mMTC hỗ trợ liên kết hàng nghìn cảm biến và robot trong nhà máy.
- + **Tối ưu hóa sản xuất:** Network Slicing phân bổ tài nguyên riêng cho từng ứng dụng, nâng cao hiệu quả.
- + **Lợi ích:** Tăng năng suất sản xuất từ 20% đến 30% nhờ giảm thời gian ngừng hoạt động (Nokia, 5G for Industry 4.0, 2024).

– **Giải trí:**

- + **Truyền tải nội dung:** eMBB (Enhanced Mobile Broadband – băng thông di động nâng cao) hỗ trợ video 8K, thực tế ảo/tăng cường (VR/AR), và trò chơi trực tuyến với trải nghiệm ổn định.
- + **Ứng dụng thực tế:** Tại các sự kiện thể thao, kính AR sử dụng 5G cung cấp thông kê trực tiếp nhờ băng thông cao (GSMA, The Mobile Economy 2023).

– **Thành phố thông minh:**



Hình 1.2: Thành phố thông minh với IoT qua 5G (Nguồn: dgtlinfra.com).



- + **Kết nối IoT:** mMTC liên kết các hệ thống như đèn giao thông, quản lý nước, và rác thải.
- + **Lợi ích xã hội:** Cải thiện chất lượng cuộc sống và giảm tác động môi trường.
- + **Ví dụ thực tế:** Hệ thống giao thông thông minh tại Singapore sử dụng 5G giảm 15% ùn tắc giao thông (Singapore Smart Nation, Annual Report, 2024).

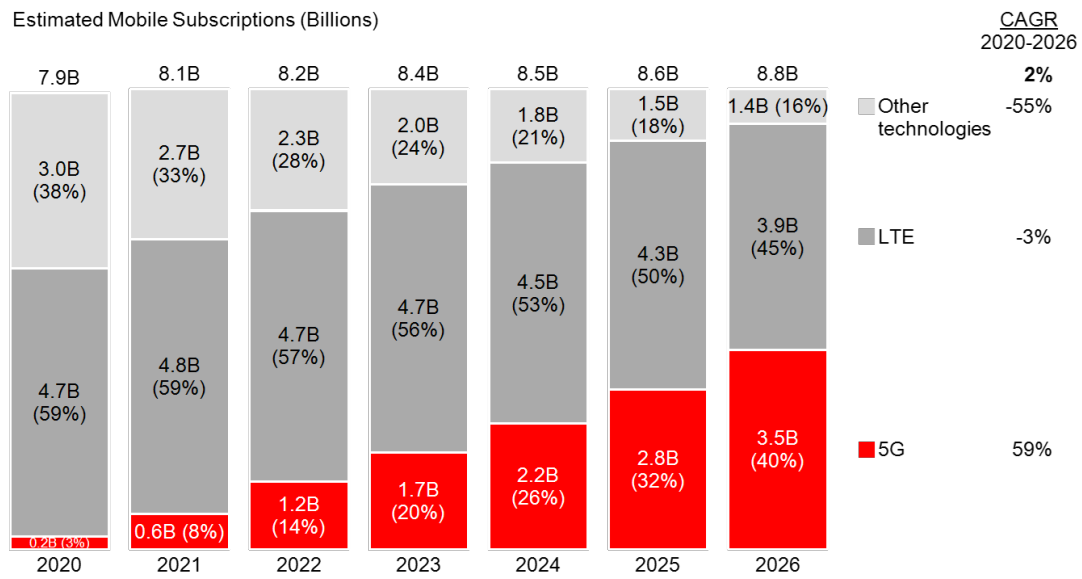
## 1.5 Những thách thức triển khai

Dựa trên khảo sát về triển khai mạng 5G trên toàn cầu, công nghệ này đối mặt với nhiều thách thức lớn, bao gồm:

- **Chi phí đầu tư:** Yêu cầu nguồn vốn lớn để xây dựng hạ tầng.
- **Hạn chế kỹ thuật:** Liên quan đến băng tần và an ninh mạng.
- **Vấn đề xã hội:** Lo ngại về sức khỏe và phản ứng cộng đồng.

Những rào cản này đòi hỏi các giải pháp sáng tạo và phối hợp giữa các bên liên quan để đảm bảo 5G phát huy tối đa tiềm năng (GSMA, The Mobile Economy 2023). Các thách thức chính được khảo sát bao gồm:

- **Chi phí đầu tư cao:**
  - + **Yêu cầu hạ tầng:** Xây dựng trạm gốc, anten Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output — đa đầu vào đa đầu ra), và mạng lõi 5G đòi hỏi nguồn vốn lớn.
  - + **Quy mô chi phí:** Theo GSMA, chi phí triển khai 5G toàn cầu dự kiến vượt 2,2 nghìn tỷ USD đến năm 2025.
  - + **Khó khăn tài chính:** Các nhà mạng nhỏ hoặc tại các quốc gia đang phát triển gặp thách thức trong việc:
    - Cân đối ngân sách triển khai 5G.
    - Duy trì và nâng cấp mạng 4G đồng thời (GSMA, The Mobile Economy 2023).



Hình 1.3: Tăng trưởng dự kiến của 5G (Nguồn: Ericsson).

- **Hạn chế về băng tần:**
  - + **Dải tần đa dạng:** 5G sử dụng:
    - Sub-6GHz (dưới 6 GHz): Cân bằng tốc độ và độ phủ sóng.
    - mmWave (24–39 GHz): Tốc độ cao nhưng phạm vi ngắn.
  - + **Tài nguyên hữu hạn:** Phổ tần bị cạnh tranh giữa 5G, 4G, và các dịch vụ khác như truyền hình hoặc quân sự.
  - + **Gánh nặng tài chính:** Nhiều quốc gia tổ chức đấu giá tần số với chi phí hàng tỷ USD, làm tăng áp lực cho các nhà mạng (Ericsson, Ericsson Mobility Report, 2024).
- **Rủi ro an ninh mạng:**
  - + **Kết nối quy mô lớn:** Tính chất của 5G, đặc biệt với Internet vạn vật (IoT), làm tăng nguy cơ tấn công mạng.
  - + **Điểm yếu bảo mật:** Các thiết bị IoT có bảo mật yếu dễ trở thành mục tiêu của tin tặc, đe dọa các hệ thống như thành phố thông minh hoặc xe tự hành.
  - + **Vấn đề hợp tác quốc tế:** Lo ngại về an ninh liên quan đến thiết bị từ một số nhà cung cấp dẫn đến hạn chế hợp tác, làm phức tạp triển

khai (Huawei, 5G Security White Paper, 2024).

– **Phản ứng xã hội và lo ngại sức khỏe:**

- + **Lo ngại bức xạ:** Một số cộng đồng lo sợ sóng mmWave của 5G gây hại sức khỏe.
- + **Bằng chứng khoa học:** Các nghiên cứu từ Tổ chức Y tế Thế giới (WHO) và Ủy ban Quốc tế về Bảo vệ Chống Bức xạ Không Ion hóa (ICNIRP) khẳng định 5G an toàn trong giới hạn bức xạ cho phép.
- + **Hậu quả xã hội:** Thông tin sai lệch trên mạng xã hội gây phản đối công khai, dẫn đến phá hoại trạm 5G ở một số khu vực, như ở châu Âu (WHO, 5G Mobile Networks and Health, 2023).



Hình 1.4: Nhiều trạm phát sóng mạng 5G tại Anh bị đốt phá (Nguồn: Báo Dân Trí).

## Chương 2

# Trụ cột công nghệ định hình mạng 5G

### 2.1 Massive MIMO và Beamforming

Dựa trên khảo sát các công nghệ cốt lõi của mạng 5G, Massive MIMO, Beamforming và Full Dimension MIMO là nền tảng để tăng dung lượng, hiệu suất và chất lượng kết nối, hỗ trợ truyền dữ liệu tốc độ cao và kết nối đồng thời hàng ngàn thiết bị (Ericsson, Ericsson Mobility Report, 2024).

#### 2.1.1 Massive MIMO

Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output) sử dụng hàng chục đến hàng trăm anten tại trạm gốc, so với chỉ 2–8 anten trong 4G. Mỗi anten xử lý tín hiệu độc lập, tạo nhiều luồng dữ liệu đồng thời thông qua Spatial Multiplexing (đa luồng không gian), tăng dung lượng và tốc độ mạng (3GPP, Technical Specification Group Radio Access Network: NR and NG-RAN Overall Description, Release 17, 2023).

- **Tác dụng:** Tăng dung lượng mạng gấp 10–20 lần, cải thiện chất lượng tín hiệu ở khu vực đông người và giảm tiêu thụ năng lượng bằng cách tập trung tín hiệu hiệu quả. Ví dụ, tại một buổi hòa nhạc với 50.000 người, Massive MIMO đảm bảo mọi người có thể livestream video mà không bị gián đoạn (Nokia, 5G Massive MIMO White Paper, 2024).
- **Triển khai thực tế:** Yêu cầu lắp đặt mảng anten lớn (ví dụ, 64x64

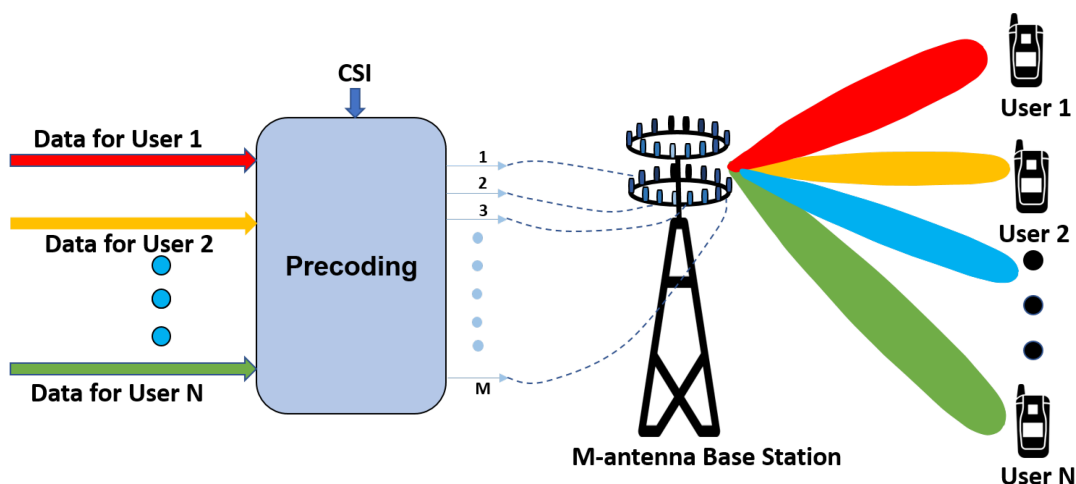
anten) tại trạm gốc, tích hợp bộ xử lý tín hiệu số (DSP) và phần mềm điều khiển. **(cont)**:

- + Cài đặt mảng anten tại vị trí cao như cột hoặc tòa nhà.
- + Kết nối với mạng lõi 5G qua cáp quang.
- + Tối ưu hóa bằng thuật toán AI để điều chỉnh luồng tín hiệu.

Các nhà mạng như Verizon (Mỹ) sử dụng Massive MIMO ở băng tần Sub-6GHz (như 2,6 GHz) và mmWave (24–39 GHz) tại các thành phố lớn như New York (Verizon, 5G Deployment Report, 2024).

#### – **Thách thức:**

- + Chi phí cao: Một trạm Massive MIMO có thể tốn hàng chục nghìn USD.
- + Phức tạp kỹ thuật: Yêu cầu DSP mạnh để xử lý hàng trăm luồng tín hiệu.
- + Không gian lắp đặt: Mảng anten lớn cần diện tích rộng, khó triển khai ở khu vực hạn chế.



Hình 2.1: Sơ đồ trạm gốc Massive MIMO với mảng anten lớn phục vụ nhiều thiết bị (Nguồn: mdpi.com).

### 2.1.2 Beamforming

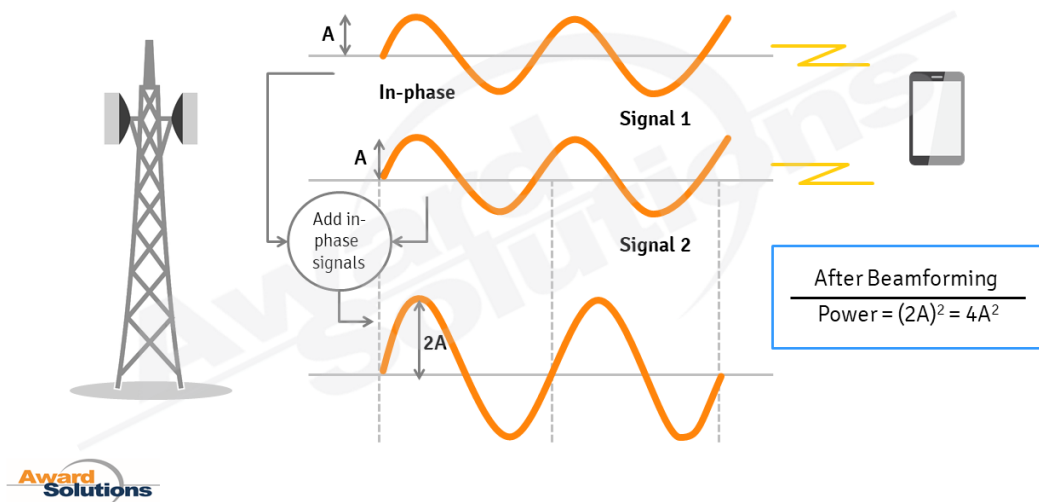
Beamforming định hướng tín hiệu thành các chùm tia hẹp, tập trung năng lượng đến thiết bị cụ thể thay vì phát sóng đồng đều. Kỹ thuật này điều chỉnh pha và biên độ tín hiệu từ các anten để tạo chùm tia chính xác

(Huawei, 5G Beamforming Technical Paper, 2024).

– **Lợi ích:**

- + Tăng cường tín hiệu, cải thiện chất lượng kết nối ở khoảng cách xa.
- + Giảm nhiễu từ các thiết bị khác.
- + Tiết kiệm năng lượng bằng cách tập trung năng lượng thay vì phân tán.

Ví dụ, tại sân vận động, Beamforming đảm bảo tín hiệu 5G tập trung vào khán giả ở khu vực cụ thể, tránh lãng phí tài nguyên (Ericsson, Ericsson Mobility Report, 2024).



Hình 2.2: Minh họa Beamforming (Nguồn: awardsolutions.com).

### *Analog Beamforming*

- **Cách hoạt động:** Sử dụng bộ điều pha analog để định hướng một chùm tia duy nhất, với tín hiệu được điều chỉnh trước khi truyền qua anten dựa trên góc pha cố định.
- **Ví dụ:** Trạm 5G tại khu mua sắm sử dụng Analog Beamforming để phục vụ nhóm người dùng đông ở khu vực quầy thanh toán.
- **Ứng dụng trong 5G:** Thường dùng cho băng tần mmWave ở khu vực mật độ cao, nơi chỉ cần một chùm tia mạnh.

- **Hạn chế:** Chỉ tạo một chùm tia mỗi lần, thiếu linh hoạt khi phục vụ nhiều người dùng đồng thời.

### *Digital Beamforming*

- **Cách hoạt động:** Sử dụng xử lý số để tạo nhiều chùm tia đồng thời, với mỗi anten được điều khiển độc lập bằng tín hiệu số.
- **Ví dụ:** Nhà máy thông minh ở Đức sử dụng Digital Beamforming để kết nối hàng chục robot và cảm biến trong dây chuyền sản xuất (Deutsche Telekom, 5G Deployment Report, 2024).
- **Ứng dụng trong 5G:** Lý tưởng cho băng tần Sub-6GHz, hỗ trợ nhiều người dùng ở khu vực rộng như sân bay.
- **Hạn chế:** Yêu cầu phần cứng phức tạp với nhiều bộ truyền nhận và tiêu thụ năng lượng cao.

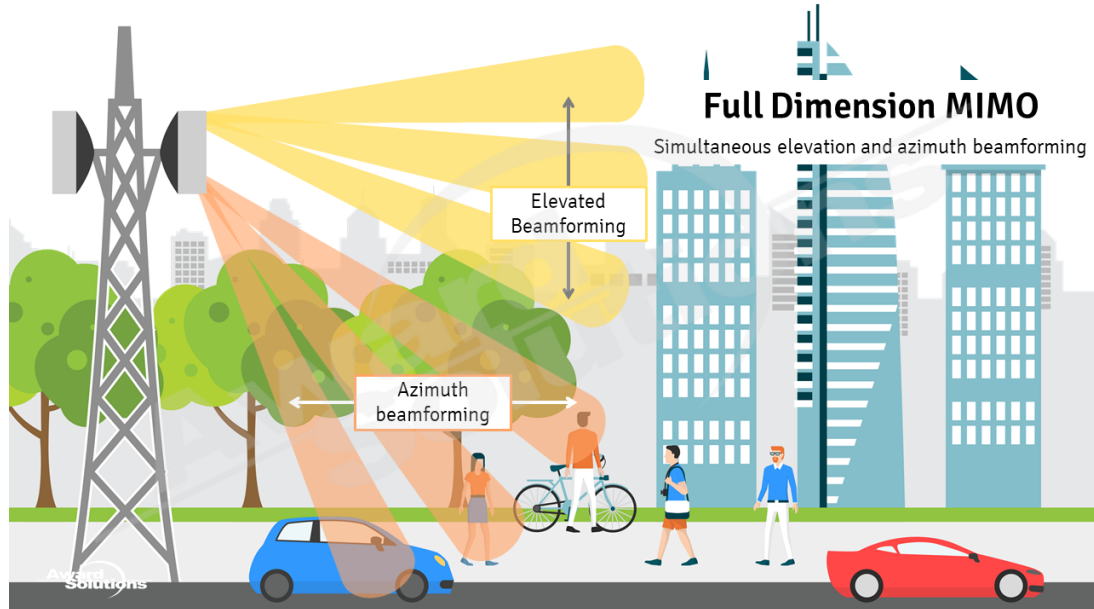
### *Hybrid Beamforming*

- **Cách hoạt động:** Kết hợp Analog Beamforming và Digital Beamforming, sử dụng ít bộ truyền nhận hơn Digital Beamforming nhưng linh hoạt hơn Analog Beamforming. Tín hiệu được xử lý số ở mức thấp và điều pha analog ở mức cao.
- **Ví dụ:** Thành phố thông minh ở Seoul sử dụng Hybrid Beamforming để phục vụ cả IoT (đèn đường) và người dùng di động trong cùng khu vực (SK Telecom, 5G Implementation Report, 2024).
- **Ứng dụng trong 5G:** Phù hợp cho cả mmWave và Sub-6GHz, tối ưu chi phí và hiệu suất ở khu vực đô thị.
- **Hạn chế:** Thiết kế phức tạp, cần thuật toán tối ưu để cân bằng giữa analog và digital.

## 2.1.3 Full Dimension MIMO

Full Dimension MIMO (FD-MIMO) là phiên bản mở rộng của Massive MIMO, sử dụng mảng anten hai chiều (2D) để điều khiển chùm tia theo

cả phương ngang (azimuth) và dọc (elevation). FD-MIMO tạo chùm tia 3D, tối ưu hóa kết nối trong môi trường đô thị phức tạp, chẳng hạn phục vụ người dùng ở tầng trệt và tầng 30 của tòa nhà mà không bị suy hao tín hiệu (Nokia, 5G Massive MIMO White Paper, 2024).



Hình 2.3: FD-MIMO với mảng anten 2D tạo chùm tia 3D (Nguồn: awardsolutions.com).

#### – Cấu trúc hệ thống:

- + Mảng anten dày đặc: Anten sắp xếp 2D, thường 32x32 hoặc 64x64, hỗ trợ Beamforming linh hoạt.
- + Bộ truyền nhận (TRx): Mỗi anten có bộ truyền nhận riêng để xử lý tín hiệu độc lập.
- + Xử lý tín hiệu số (DSP): Sử dụng thuật toán Spatial Multiplexing để truyền nhiều luồng dữ liệu đồng thời.

Ví dụ, trạm gốc FD-MIMO của Viettel tại Hà Nội sử dụng mảng anten 64x64 để phục vụ khu vực đông dân cư (Viettel, Báo cáo triển khai 5G tại Việt Nam, 2025).

#### – Lợi ích trong 5G:

- + Tăng dung lượng mạng gấp 5–10 lần, phục vụ hàng nghìn thiết bị đồng thời.
- + Cải thiện tín hiệu ở khu vực tòa nhà cao tầng, giảm nhiễu từ phản xạ



sóng.

+ Hỗ trợ các ứng dụng 5G như IoT, xe tự lái (V2X — Vehicle-to-Everything), và video 8K.

+ Tối ưu hóa phổ tần nhờ Beamforming chính xác.

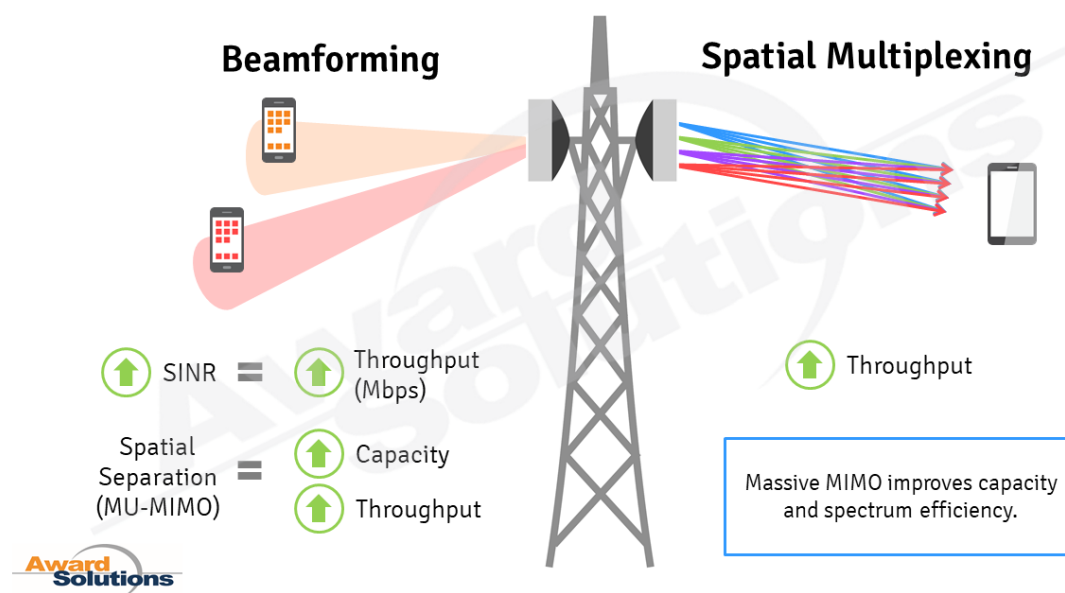
– **Cách hoạt động:**

+ Xác định vị trí thiết bị bằng thông tin kênh (channel state information).

+ Tạo chùm tia 3D tập trung tín hiệu đến người dùng qua Adaptive Beamforming.

+ Điều chỉnh chùm tia động để đảm bảo kết nối ổn định khi người dùng di chuyển.

Ví dụ, tại khu đô thị Vinhomes Grand Park (TP.HCM), VNPT triển khai FD-MIMO để cung cấp 5G cho cư dân ở các tòa nhà cao tầng, đạt tốc độ tải xuống 1–2 Gbps ngay cả ở tầng 25 (VNPT, Báo cáo tiến độ phủ sóng 5G, 2025).



Hình 2.4: FD-MIMO cải thiện thông lượng (Nguồn: awardsolutions.com).

– **Thách thức triển khai:**

+ Phần cứng phức tạp: Mảng anten lớn và bộ truyền nhận đắt đỏ, chi

- phí trạm gốc lên đến hàng chục nghìn USD.
- + Xử lý tín hiệu: Thuật toán Beamforming 3D đòi hỏi DSP mạnh, tăng độ trễ nếu không tối ưu.
- + Tiêu thụ năng lượng: Hàng trăm anten tạo nhiệt lượng cao, cần hệ thống làm mát hiệu quả.
- + Đồng bộ hóa: Điều khiển anten 2D yêu cầu đồng bộ chính xác để tránh nhiễu.
- **Ứng dụng thực tế:**
  - + Thành phố thông minh: Kết nối IoT (cảm biến giao thông, đèn đường) và người dùng di động.
  - + Mạng trong nhà: Cung cấp 5G cho văn phòng và trung tâm thương mại nhiều tầng.
  - + Sự kiện đông người: Phục vụ hàng nghìn thiết bị tại hội nghị hoặc lễ hội.
  - + Xe tự lái: Hỗ trợ giao tiếp V2X với độ trễ thấp.
- **Ví dụ cụ thể:** Năm 2022, Viettel thử nghiệm FD-MIMO tại Hà Nội trong sự kiện SEA Games 31. Trạm gốc FD-MIMO với mảng anten 64x64 tại sân vận động Mỹ Đình phục vụ hàng chục nghìn khán giả và thiết bị IoT (camera giám sát, cảm biến), đạt tốc độ 5G trung bình 1,5 Gbps và hỗ trợ livestream video 4K ổn định (Viettel, Báo cáo triển khai 5G tại Việt Nam, 2025).

## 2.2 mmWave 5G và Sub-6GHz

### 2.2.1 mmWave

mmWave (sóng milimet) là băng tần 5G hoạt động ở dải tần số cao từ 24–47 GHz, với bước sóng ngắn từ 1–10 mm. Các đặc điểm chính bao gồm:

- **Hiệu suất:** Cung cấp tốc độ cực nhanh, băng thông rộng và độ trễ thấp.

- **Ứng dụng:** Hỗ trợ các công nghệ tiên tiến như Internet vạn vật (IoT) quy mô lớn, thực tế ảo (VR), và xe tự lái (V2X — Vehicle-to-Everything) (3GPP, Technical Specification Group Radio Access Network: NR and NG-RAN Overall Description, Release 17, 2023).
- **Vai trò tại Việt Nam:** Đáp ứng nhu cầu số hóa ở đô thị đông đúc, nơi Sub-6GHz không đủ dung lượng, hỗ trợ chiến lược số hóa quốc gia (Chính phủ Việt Nam, Nghị quyết 52-NQ/TW, 2019).

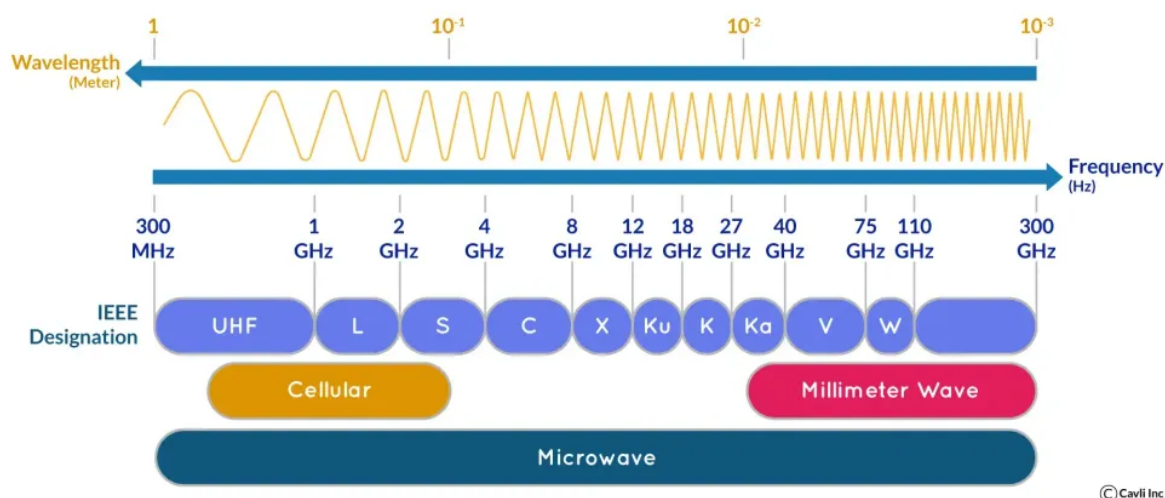
mmWave mở khóa tiềm năng 5G với các lợi ích:

- Truyền dữ liệu lớn với độ trễ thấp.
- Hỗ trợ Công nghiệp 4.0 như nhà máy thông minh và thành phố thông minh.
- Ví dụ: Tại khu công nghiệp, mmWave kết nối hàng nghìn cảm biến và robot, vượt xa khả năng của 4G hoặc Sub-6GHz (Ericsson, Ericsson Mobility Report, 2024).

### *Phổ tần mmWave trong mạng 5G*

Phổ tần mmWave có các đặc điểm:

- **Dải tần:** Bao gồm 24,25–27,5 GHz, 37–40 GHz, và 45,5–47 GHz.
- **Băng thông:** Mỗi khối từ 400–800 MHz, gấp 10 lần 4G (20–100 MHz).



Hình 2.5: Minh họa các băng tần mmWave 24,25–27,5 GHz (Nguồn: cavliwireless.com).

– **Triển khai tại Việt Nam:**

+ Bộ Thông tin và Truyền thông cấp phép băng 24,25–27,5 GHz từ năm 2020, chia thành 8 khối 400 MHz (Bộ Thông tin và Truyền thông Việt Nam, Thông tư 19/2020, 2020).

+ Viettel và VNPT thử nghiệm mmWave tại Hà Nội và TP.HCM.

– **Hạn chế:** Phạm vi phủ sóng ngắn (100–200 m) yêu cầu triển khai small cells dày đặc (Viettel, Báo cáo triển khai 5G tại Việt Nam, 2025).

*Ưu điểm mmWave*

mmWave mang lại các lợi ích vượt trội:

– **Tốc độ cực cao:**

+ Đạt 1–4 Gbps, với Qualcomm ghi nhận 4,3 Gbps trong thử nghiệm năm 2020.

+ Viettel đạt 1,5 Gbps tại SEA Games 31 (Hà Nội), hỗ trợ tải video 8K hoặc VR trong vài giây (Viettel, Báo cáo triển khai 5G tại Việt Nam, 2025).

– **Dung lượng lớn:**

+ Phục vụ hàng triệu thiết bị trong khu vực nhỏ, lý tưởng cho sân vận động hoặc trung tâm thương mại.

+ MobiFone thử nghiệm mmWave tại Đà Nẵng cho hệ thống giao thông thông minh (MobiFone, Báo cáo triển khai 5G, 2025).

– **Độ trễ thấp:**

+ Dưới 1 ms, cần thiết cho V2X và ứng dụng thời gian thực.

+ VNPT triển khai mmWave tại khu công nghiệp VSIP (Bình Dương) để kết nối robot sản xuất (VNPT, Báo cáo tiến độ phủ sóng 5G, 2025).

– **Băng thông rộng:** Băng tần 400–800 MHz giảm nghẽn mạng, hỗ trợ IoT và nhà máy thông minh.

Công nghệ nền tảng của mmWave bao gồm:

– **Beamforming:** Tạo chùm tia hẹp để tập trung tín hiệu, khắc phục suy

hao.

- **Massive MIMO:** Mảng anten 64x64 truyền nhiều luồng dữ liệu đồng thời.
- **Small Cells:** Trạm nhỏ trên cột đèn hoặc tòa nhà để mở rộng phủ sóng.
- **Dynamic Spectrum Sharing (DSS):** Chia sẻ tần số với 4G để tối ưu tài nguyên.
- **Ví dụ thực tế:** Viettel sử dụng Beamforming và small cells mmWave tại Hà Nội để hỗ trợ livestream video 4K (Viettel, Báo cáo triển khai 5G tại Việt Nam, 2025).

### *Nhược điểm mmWave*

mmWave đối mặt với các hạn chế:

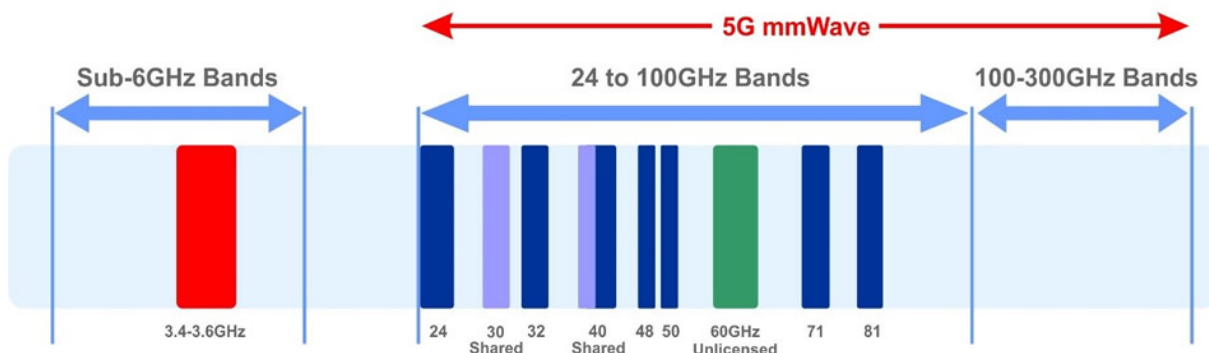
- **Phạm vi ngắn:**
  - + Chỉ phủ sóng 100–200 m.
  - + Dễ bị chặn bởi tường, cây cối hoặc mưa, yêu cầu small cells dày đặc.
- **Chi phí cao:**
  - + Trạm mmWave và anten có chi phí lớn.
  - + Tổng chi phí triển khai toàn cầu lên đến hàng nghìn tỷ USD, là thách thức cho nhà mạng nhỏ tại Việt Nam (GSMA, The Mobile Economy 2023).
- **Tiêu thụ năng lượng:** Anten mmWave tiêu tốn nhiều điện, làm tăng chi phí vận hành.
- **Bảo mật:** Kết nối IoT quy mô lớn làm tăng nguy cơ tấn công mạng (Huawei, 5G Security White Paper, 2024).

### **2.2.2 Kết hợp giữa mmWave và Sub-6GHz**

mmWave (24–47 GHz) và Sub-6GHz (600 MHz–4,7 GHz) bổ trợ nhau để tạo mạng 5G toàn diện, với các đặc điểm:

- **Tốc độ và dung lượng:**

- + mmWave: Đạt 1–4 Gbps, lý tưởng cho video 8K, VR, và V2X. MobiFone thử nghiệm mmWave đạt 284,89 Mbps (2025).
- + Sub-6GHz: Đạt 100–900 Mbps, phù hợp cho điện thoại và IoT cơ bản. VNPT ghi nhận 157,17 Mbps (VNPT, Báo cáo tiến độ phủ sóng 5G, 2025).



Hình 2.6: Băng tần mmWave kết hợp Sub-6GHz (Nguồn: fibocom.com).

#### – Phạm vi và xuyên vật cản:

- + Sub-6GHz: Phủ sóng vài km, xuyên tường tốt, phù hợp cho nông thôn.
- + mmWave: Phủ 100–200 m, cần tầm nhìn trực tiếp, lý tưởng cho đô thị.

#### – Công nghệ nền tảng:

- + mmWave:
  - Sử dụng Beamforming, Massive MIMO, và small cells.
  - VNPT triển khai small cells mmWave tại quận 1 (TP.HCM) (VNPT, Báo cáo tiến độ phủ sóng 5G, 2025).
- + Sub-6GHz:
  - Tận dụng hạ tầng 4G, sử dụng DSS để chia sẻ tần số.
  - Viettel áp dụng DSS cho Sub-6GHz ở miền núi (Viettel, Báo cáo triển khai 5G tại Việt Nam, 2025).

#### – Kết hợp thực tế:

- + Viettel: Sử dụng mmWave tại trung tâm Hà Nội (Hoàn Kiếm) cho livestream 4K, kết hợp Sub-6GHz ở ngoại ô để phủ sóng rộng.
- + MobiFone: Triển khai mmWave cho camera AI tại Đà Nẵng, sử dụng

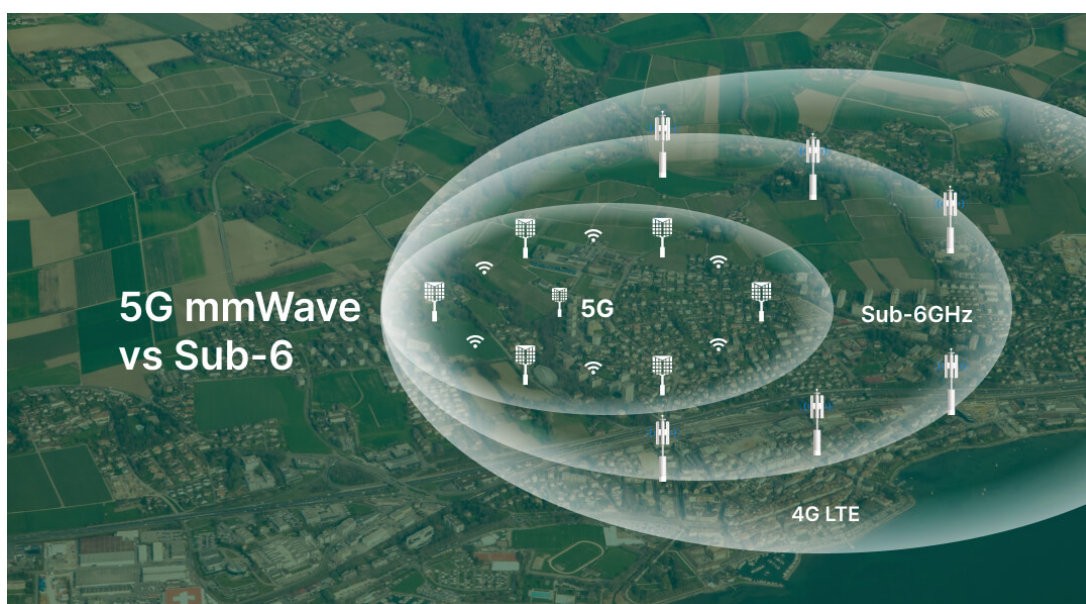
Sub-6GHz cho vùng ngoại ô (MobiFone, Báo cáo triển khai 5G, 2025).

### Lợi ích kết hợp:

- **Tối ưu hiệu suất:** mmWave cung cấp tốc độ cao ở đô thị, Sub-6GHz đảm bảo độ phủ rộng.
- **Tiết kiệm chi phí:** Tận dụng hạ tầng 4G của Sub-6GHz để giảm chi phí triển khai mmWave.
- **Linh hoạt ứng dụng:** Hỗ trợ từ IoT cơ bản đến VR, V2X, và nhà máy thông minh.

### Ví dụ thực tế:

- Trong dự án thành phố thông minh tại Đà Nẵng, MobiFone sử dụng mmWave để kết nối camera AI và cảm biến giao thông ở trung tâm, kết hợp Sub-6GHz để phủ sóng vùng ngoại ô, đảm bảo kết nối liên tục từ đô thị đến nông thôn (MobiFone, Báo cáo triển khai 5G, 2025).



Hình 2.7: Minh họa phạm vi phủ sóng của mmWave và Sub-6GHz (Nguồn: nybsys.com).

## 2.3 Network Slicing

Network Slicing là công nghệ 5G cho phép chia một mạng vật lý thành nhiều mạng ảo (slice), mỗi slice được tối ưu hóa cho các ứng dụng cụ thể như video 8K, xe tự lái, hoặc Internet vạn vật (IoT). Mỗi slice có tài nguyên riêng về băng thông, độ trễ và độ tin cậy, tương tự như việc tạo nhiều đường

cao tốc trên cùng một hạ tầng mạng (3GPP, Technical Specification Group Radio Access Network: NR and NG-RAN Overall Description, Release 17, 2023). Tại Việt Nam, Network Slicing đáp ứng nhu cầu đa dạng từ thành phố thông minh đến nhà máy thông minh, phù hợp với chiến lược số hóa quốc gia (Chính phủ Việt Nam, Nghị quyết 52-NQ/TW, 2019).

### 2.3.1 Triển khai Network Slicing

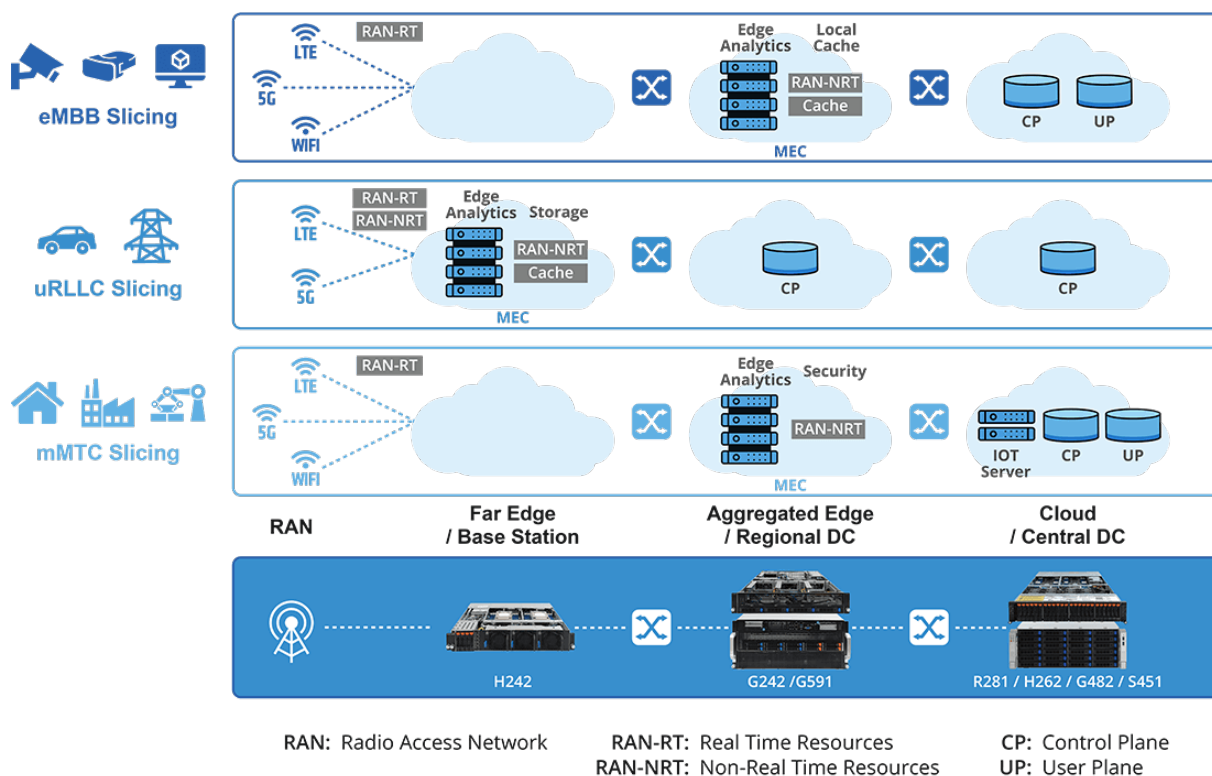
Dựa trên khảo sát triển khai Network Slicing tại Việt Nam, công nghệ này được hỗ trợ bởi các thành phần sau:

- **5G Core (5GC)**: Mạng lõi 5G quản lý và phân bổ tài nguyên cho từng slice. 5GC tách biệt lớp điều khiển (Control Plane) và lớp dữ liệu (User Plane), đảm bảo các slice hoạt động độc lập. Ví dụ, eMBB Slicing được tối ưu cho băng thông cao, URLLC Slicing cho độ trễ thấp, và mMTC Slicing cho kết nối số lượng lớn (Ericsson, Ericsson Mobility Report, 2024).
- **MEC (Multi-access Edge Computing)**: Đưa xử lý dữ liệu xuống gần người dùng tại các trung tâm dữ liệu cục bộ (Local DC), giảm độ trễ đáng kể. Ví dụ, MEC hỗ trợ URLLC Slicing cho xe tự lái bằng cách xử lý dữ liệu tại chỗ (GSMA, The Mobile Economy 2023).
- **AI**: Sử dụng trí tuệ nhân tạo để tối ưu hóa phân bổ tài nguyên slice theo thời gian thực. AI dự đoán lưu lượng mạng, ví dụ, tăng băng thông cho eMBB Slicing trong giờ cao điểm (Nokia, 5G Network Slicing White Paper, 2024).
- **Ảo hóa**:
  - + **SDN (Software-Defined Networking)**: Điều khiển mạng bằng phần mềm, tách biệt lớp điều khiển và dữ liệu. Ví dụ, Viettel áp dụng SDN để triển khai eMBB Slicing tại SEA Games 31 (Hà Nội), đảm bảo băng thông cao cho livestream video 4K (Viettel, Báo cáo triển khai 5G tại Việt Nam, 2025).
  - + **NFV (Network Function Virtualization)**: Chuyển các chức năng mạng như lưu trữ (Cache) hoặc tính toán biên (MCE) lên môi



trường đám mây, tăng tính linh hoạt. Ví dụ, VNPT sử dụng NFV để triển khai mMTC Slicing tại Đà Nẵng, quản lý hàng nghìn cảm biến IoT (VNPT, Báo cáo tiến độ phủ sóng 5G, 2025).

### 2.3.2 Các loại Network Slicing và ứng dụng



Hình 2.8: Minh họa eMBB, URLLC, và mMTC Slicing (Nguồn: gigabyte.com).

Khảo sát các loại Network Slicing tại Việt Nam cho thấy ba loại chính, dựa trên hình minh họa:

#### – eMBB Slicing (Enhanced Mobile Broadband):

- + **Cách triển khai:** Tối ưu hóa băng thông cao, sử dụng 5GC để phân bổ phổ tần rộng như mmWave (24–39 GHz) và MEC tại trung tâm dữ liệu chính (Central Office DC) để xử lý dữ liệu lớn, như minh họa trong hình.
- + **Ứng dụng:** Hỗ trợ livestream video 4K/8K và thực tế ảo (VR). Viettel triển khai eMBB Slicing tại SEA Games 31 (Hà Nội), đạt tốc độ 1,5 Gbps cho livestream (Viettel, Báo cáo triển khai 5G tại Việt Nam, 2025).

- + **Minh họa:** eMBB Slicing kết nối camera, thiết bị VR và Wi-Fi qua mạng truy cập vô tuyến (RAN) và chức năng tính toán biên (MCE) tại Central Office DC, đảm bảo băng thông cao.
- **URLLC Slicing (Ultra-Reliable Low-Latency Communication):**
  - + **Cách triển khai:** Đảm bảo độ trễ dưới 1 ms và độ tin cậy 99,999%, sử dụng MEC tại trung tâm dữ liệu cục bộ (Local DC) để xử lý gần người dùng, kết hợp AI để ưu tiên tài nguyên, như minh họa trong hình.
  - + **Ứng dụng:** Hỗ trợ xe tự lái (V2X — Vehicle-to-Everything) và điều khiển robot thời gian thực. VNPT triển khai URLLC Slicing tại khu công nghiệp VSIP (Bình Dương) để điều khiển robot sản xuất (VNPT, Báo cáo tiến độ phủ sóng 5G, 2025).
  - + **Minh họa:** URLLC Slicing kết nối xe và cảm biến qua RAN, lưu trữ (Cache) và lớp điều khiển (Control Plane) tại Local DC, giảm độ trễ.
- **mMTC Slicing (Massive Machine-Type Communication):**
  - + **Cách triển khai:** Hỗ trợ hàng triệu thiết bị IoT, sử dụng 5GC để quản lý kết nối số lượng lớn, tận dụng băng tần Sub-6GHz (như 2,6 GHz) và NFV tại trung tâm dữ liệu khu vực (Regional DC), như minh họa trong hình.
  - + **Ứng dụng:** Hỗ trợ thành phố thông minh và nhà máy thông minh. MobiFone triển khai mMTC Slicing tại Đà Nẵng để kết nối hơn 1.000 cảm biến giao thông (MobiFone, Báo cáo triển khai 5G, 2025).
  - + **Minh họa:** mMTC Slicing kết nối nhà ở, nhà máy và máy chủ IoT qua Regional DC, tối ưu cho các thiết bị IoT.

**Ứng dụng thực tế kết hợp ba loại Network Slicing:** Trong dự án thành phố thông minh tại Đà Nẵng, MobiFone tích hợp ba loại slice trên cùng hạ tầng mạng:

- **eMBB Slicing:** Cung cấp Wi-Fi công cộng tốc độ cao cho khách du lịch

xem video 4K.

- **URLLC Slicing**: Hỗ trợ điều khiển xe buýt thông minh và xe tự hành với độ trễ thấp.
- **mMTC Slicing**: Kết nối cảm biến giao thông và đèn đường, tối ưu hóa quản lý đô thị.

Hạ tầng vật lý, bao gồm mạng truy cập vô tuyến (RAN), thiết bị chuyển mạch (switch), và các trung tâm dữ liệu (Central, Local, Regional), hỗ trợ đồng thời ba loại slice, tối ưu hóa tài nguyên mạng (MobiFone, Báo cáo triển khai 5G, 2025).

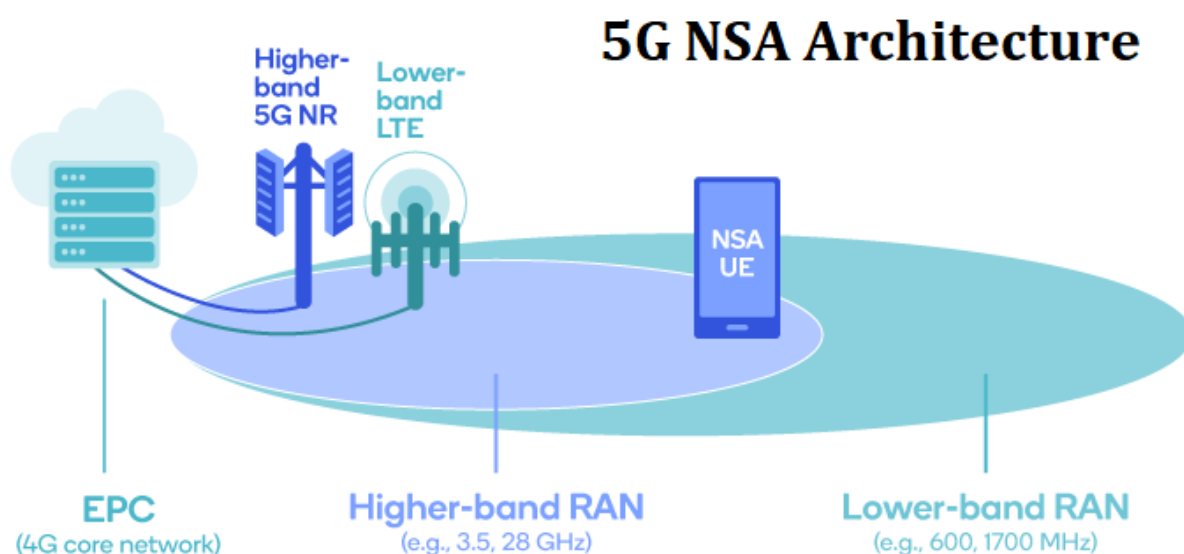
## Chương 3

# Kiến trúc triển khai và chuyển giao

### 3.1 Non-Standalone

#### Triển khai 5G trên nền 4G Core

Kiến trúc 5G Non-Standalone (NSA) tận dụng hạ tầng mạng 4G hiện có để triển khai mạng 5G. Các đặc điểm chính bao gồm:



Hình 3.1: Minh họa kiến trúc 5G Non-Standalone (Nguồn: everythingrf.com).

- **Phần điều khiển tín hiệu (Control Plane):** Sử dụng mạng lõi 4G (EPC — Evolved Packet Core).
- **Phần dữ liệu (User Plane):** Truyền qua sóng 5G NR (New Radio) để

tăng tốc độ và băng thông (3GPP, Technical Specification Group Radio Access Network: NR and NG-RAN Overall Description, Release 17, 2023).

- **Lợi ích:** NSA là giải pháp chuyển tiếp, giúp nhà mạng triển khai 5G nhanh chóng với chi phí thấp hơn so với 5G độc lập (Standalone — SA) (GSMA, The Mobile Economy 2023).

## Thực tế triển khai của các nhà mạng tại Việt Nam

Dựa trên khảo sát triển khai 5G NSA tại Việt Nam, các nhà mạng lớn như Viettel, VNPT và MobiFone đã tận dụng hạ tầng 4G để triển khai 5G từ giai đoạn thử nghiệm (2019) đến thương mại hóa (2024). Chiến lược triển khai của từng nhà mạng bao gồm:

### – Viettel:

- + Phủ sóng 5G NSA tại 63 tỉnh/thành phố từ tháng 10/2024.
- + Sử dụng trạm 4G hiện có, bổ sung mô-đun 5G NR (Nokia AirScale) và anten MIMO 32T32R (32 Transmit, 32 Receive) để tăng dung lượng.
- + Tốc độ trung bình: 700 Mbps đến 1 Gbps, gấp 10 lần 4G (Viettel, Báo cáo triển khai 5G tại Việt Nam, 2024).

### – VNPT:

- + Triển khai 5G NSA tại 16 tỉnh/thành từ năm 2022, đạt 3.000 trạm 5G vào tháng 12/2024.
- + Tập trung tại các đô thị lớn như Hà Nội và TP.HCM.
- + Áp dụng giải pháp MOCN (Multi-Operator Core Network — chia sẻ hạ tầng tần số) với MobiFone để giảm chi phí (VNPT, Báo cáo tiến độ phủ sóng 5G NSA, 2024).

### – MobiFone:

- + Bắt đầu triển khai 5G NSA tại các tỉnh lớn từ tháng 3/2024.
- + Sử dụng băng tần C3 (3800–3900 MHz), đạt tốc độ tối đa 1,5 Gbps.
- + Giải pháp MOCN với VNPT giúp tối ưu hóa tài nguyên tần số (MobiFone, Thông báo triển khai 5G NSA tại các tỉnh lớn, 2024).

## Phương pháp triển khai hạ tầng:

Các nhà mạng nâng cấp hạ tầng 4G với các bước sau:

- Lắp thêm mô-đun 5G NR (như Nokia AirScale hoặc Huawei AAU) và anten MIMO 32T32R.
- Sử dụng băng tần Sub-6GHz (như 2,6 GHz) được đấu giá năm 2024 (Bộ Thông tin và Truyền thông Việt Nam, Kết quả đấu giá băng tần 5G năm 2024).
- Cập nhật phần mềm mạng lõi 4G (EPC) để hỗ trợ giao thức gNodeB, đảm bảo tín hiệu điều khiển qua 4G và dữ liệu qua 5G.
- Kết nối các trạm bằng cáp quang để đảm bảo băng thông cao (Ericsson, Ericsson Mobility Report: 5G Deployment Strategies, 2024).

Băng tần Sub-6GHz được chọn vì:

- Cân bằng giữa tốc độ và độ phủ sóng.
- Phù hợp cho cả khu vực đô thị và nông thôn.

## Trải nghiệm thực tế của người dùng

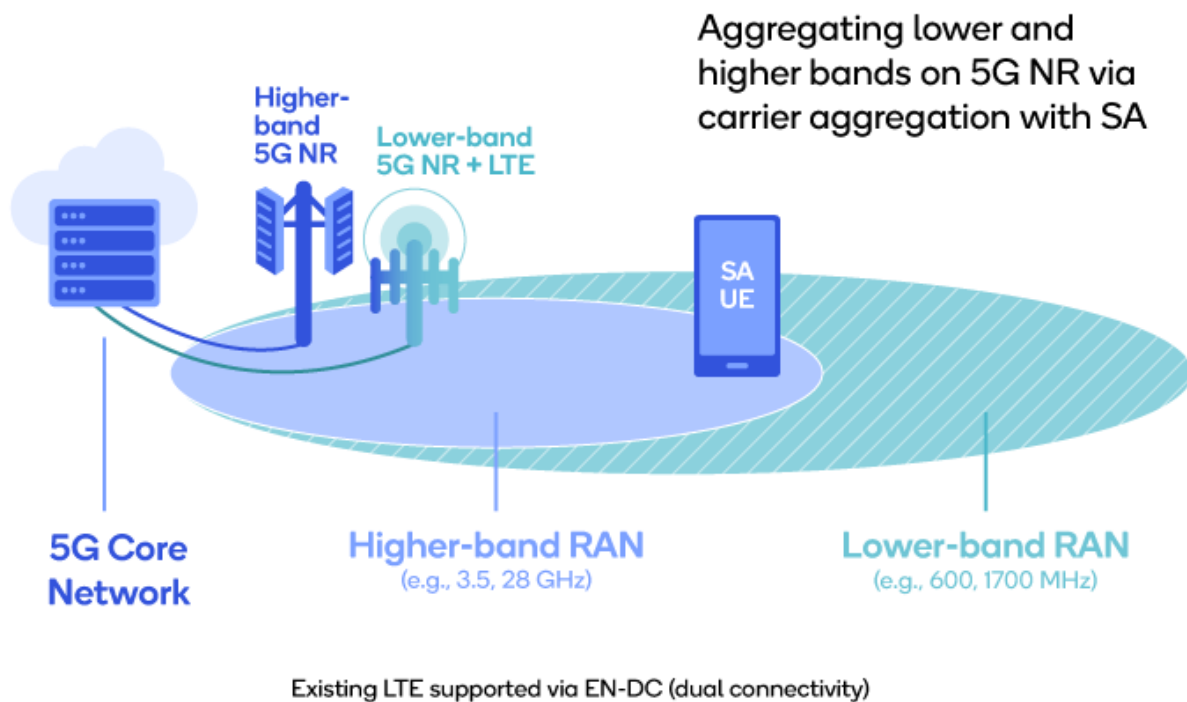
Khảo sát trải nghiệm người dùng 5G NSA tại TP.HCM cho thấy các đặc điểm sau:

- **Gói cước và hiệu suất:** Một người dùng sử dụng dịch vụ 5G NSA của Viettel từ tháng 10/2024 với gói cước 4GB/ngày (135.000 VND/tháng). Tốc độ trung bình đạt 300 Mbps, tối đa 400 Mbps.
- **Ứng dụng thực tế:** Hỗ trợ tải video 4K ổn định và chơi game trực tuyến với độ trễ thấp.
- **Hạn chế:**
  - + Thiết bị tiêu hao pin nhanh hơn do duy trì đồng thời kết nối 4G (điều khiển) và 5G (dữ liệu).
  - + Biểu tượng “5G” hiển thị khi ở khu vực phủ sóng, nhưng chuyển về “4G” khi tín hiệu 5G yếu, do mạng điều khiển phụ thuộc vào 4G (Viettel, Báo cáo triển khai 5G tại Việt Nam, 2024).

## 3.2 Standalone

### Triển khai 5G trên nền 5G Core

Kiến trúc 5G Standalone (SA) sử dụng hoàn toàn hạ tầng 5G, không phụ thuộc vào hạ tầng 4G. Các đặc điểm chính bao gồm:



Hình 3.2: Minh họa kiến trúc 5G Standalone (Nguồn: everythingrf.com).

- **Thành phần hạ tầng:** Bao gồm mạng lõi 5G (5GC — 5G Core) và trạm phát sóng 5G NR (New Radio).
- **Tính năng tiên tiến:**
  - + Độ trễ cực thấp (dưới 1 ms).
  - + Network Slicing (phân chia mạng ảo cho các ứng dụng khác nhau).
  - + Kết nối Internet vạn vật (IoT) quy mô lớn (3GPP, Technical Specification Group Radio Access Network: NR and NG-RAN Overall Description, Release 17, 2023).
- **Ứng dụng:** Phù hợp cho các công nghệ cao như xe tự lái, thành phố thông minh, và sản xuất thông minh (GSMA, The Mobile Economy 2023).

## Thực tế triển khai của các nhà mạng tại Việt Nam

Dựa trên khảo sát triển khai 5G SA tại Việt Nam, các nhà mạng lớn như Viettel, VNPT và MobiFone đã áp dụng kiến trúc này từ năm 2022, với thương mại hóa từ năm 2024. Chiến lược triển khai của từng nhà mạng bao gồm:

### – **Viettel:**

- + Tiên phong thử nghiệm 5G SA từ năm 2022, thương mại hóa từ năm 2024.
- + Phủ sóng SA tại các khu vực trọng điểm như trung tâm Hà Nội, TP.HCM, khu công nghiệp và sân bay.
- + Đạt độ trễ gần 0 ms.
- + Phát triển API mở theo chuẩn GSMA để hỗ trợ các ứng dụng SA (Viettel, Báo cáo triển khai 5G tại Việt Nam, 2024).

### – **VNPT:**

- + Triển khai 5G SA từ cuối năm 2024, tập trung tại các khu công nghiệp và đô thị lớn.
- + Sử dụng mạng lõi 5GC để hỗ trợ Network Slicing.
- + Phục vụ các ứng dụng doanh nghiệp như sản xuất thông minh và quản lý logistics (VNPT, Báo cáo tiến độ phủ sóng 5G SA, 2024).

### – **MobiFone:**

- + Triển khai 5G SA từ tháng 3/2024, ưu tiên các khu vực như Đà Nẵng và Hà Nội.
- + Cung cấp hơn 100 sản phẩm SA cho các lĩnh vực như sản xuất, thành phố thông minh, y tế và giáo dục.
- + Tốc độ tối đa 1,5 Gbps và độ trễ thấp (MobiFone, Thông báo triển khai 5G SA tại các tỉnh lớn, 2024).



## Phương pháp triển khai hạ tầng:

Để triển khai 5G SA, các nhà mạng thực hiện các bước sau:

- Xây dựng mạng lõi 5G (5GC) mới dựa trên công nghệ cloud-native tại các trung tâm dữ liệu ở Hà Nội và Đà Nẵng.
- Lắp đặt các trạm 5G NR độc lập, sử dụng kết hợp:
  - + Băng tần Sub-6GHz (2,6 GHz).
  - + Băng tần mmWave (24,25–27,5 GHz) để tối ưu tốc độ và độ phủ sóng (Bộ Thông tin và Truyền thông Việt Nam, Kết quả đấu giá băng tần 5G năm 2024).
- Triển khai anten Massive MIMO (64T64R — 64 Transmit, 64 Receive) để tăng dung lượng.
- Tích hợp:
  - + Network Slicing để hỗ trợ các ứng dụng đa dạng.
  - + MEC (Multi-access Edge Computing — tính toán biên) để giảm độ trễ, ví dụ, MobiFone triển khai MEC tại Đà Nẵng để hỗ trợ ứng dụng nhà máy thông minh (Ericsson, Ericsson Mobility Report: 5G Deployment Strategies, 2024).

## Trải nghiệm thực tế của người dùng

Khảo sát trải nghiệm người dùng 5G SA tại Đà Nẵng cho thấy hiệu quả của mạng trong các ứng dụng công nghệ cao, với các đặc điểm sau:

- **Ứng dụng thực tế:** Một người dùng tại Đà Nẵng sử dụng dịch vụ 5G SA của MobiFone từ tháng 3/2024 trong môi trường nhà máy thông minh:
  - + Các robot sản xuất được điều khiển qua Network Slicing URLLC (Ultra-Reliable Low-Latency Communication) với độ trễ dưới 1 ms.
  - + Ứng dụng thực tế tăng cường (AR) được sử dụng để kiểm tra thiết bị, với tốc độ tải 1,5 Gbps đảm bảo hiển thị hình ảnh ổn định.
- **Hiệu suất thiết bị:** Pin thiết bị tiêu hao ít hơn so với 5G NSA, do

không cần duy trì kết nối 4G song song.

- **Ổn định kết nối:** Trên các thiết bị hỗ trợ 5G, biểu tượng “5G” hiển thị liên tục trong khu vực phủ sóng SA (như trung tâm Đà Nẵng), không chuyển về 4G, đảm bảo tốc độ và độ trễ ổn định (MobiFone, Thông báo triển khai 5G SA tại các tỉnh lớn, 2024).

### 3.3 Tại sao lại có 2 mô hình triển khai?

#### 3.3.1 Lý do tồn tại hai mô hình triển khai

Dựa trên khảo sát về triển khai mạng 5G tại Việt Nam, hai mô hình 5G Non-Standalone (NSA) và 5G Standalone (SA) tồn tại do các yếu tố chính sau:

- **Chi phí và tốc độ triển khai:**
  - + NSA tận dụng hạ tầng 4G hiện có (mạng lõi EPC và trạm phát sóng 4G), giúp triển khai nhanh với chi phí thấp, phù hợp cho giai đoạn đầu (2019–2024).
  - + SA yêu cầu đầu tư hoàn toàn mới vào mạng lõi 5G (5GC) và trạm 5G NR, chi phí cao hơn nhưng khai thác tối đa tính năng 5G, phù hợp từ 2024 trở đi (GSMA, The Mobile Economy 2023).
- **Nhu cầu thị trường:**
  - + NSA đáp ứng các nhu cầu phổ thông như truyền tải video 4K và chơi game trực tuyến với tốc độ cao.
  - + SA hỗ trợ các ứng dụng công nghệ cao, bao gồm:
    - Xe tự lái.
    - Internet vạn vật (IoT) quy mô lớn.
    - Network Slicing (phân chia mạng ảo để tối ưu hóa tài nguyên cho từng ứng dụng) (Ericsson, Ericsson Mobility Report: 5G Deployment Strategies, 2024).
- **Tính chuyển tiếp:**
  - + NSA là bước đệm, cho phép thử nghiệm và triển khai 5G mà không

cần thay đổi lớn về hạ tầng.

- + SA là mục tiêu dài hạn, tối ưu hóa hiệu suất mạng và hỗ trợ mở rộng các dịch vụ tiên tiến (3GPP, Technical Specification Group Radio Access Network: NR and NG-RAN Overall Description, Release 17, 2023).

### 3.3.2 Chiến lược chuyển giao

Khảo sát về chiến lược chuyển giao từ NSA sang SA tại Việt Nam cho thấy các nhà mạng áp dụng lộ trình rõ ràng với các yếu tố hỗ trợ từ chính sách và hợp tác ngành:

#### – **Giai đoạn 1 (2019–2024):**

- + Các nhà mạng (Viettel, VNPT, MobiFone) tập trung triển khai NSA.
- + Tận dụng mạng lõi 4G để phủ sóng nhanh tại các đô thị lớn như Hà Nội và TP.HCM.
- + Lợi ích: Tiết kiệm chi phí và đáp ứng nhu cầu ban đầu của người dùng (Viettel, Báo cáo triển khai 5G tại Việt Nam, 2024; VNPT, Báo cáo tiến độ phủ sóng 5G, 2024; MobiFone, Thông báo triển khai 5G, 2024).

#### – **Giai đoạn 2 (2024–2030):**

- + Chuyển dần sang SA, đầu tư vào mạng lõi 5GC và mở rộng vùng phủ sóng.
- + Mục tiêu: Phủ sóng 5G cho 100% dân số vào năm 2030 theo Nghị quyết 57 của Chính phủ.
- + Ưu tiên triển khai SA tại các khu vực trọng điểm:
  - Trung tâm đô thị.
  - Khu công nghiệp.
  - Sân bay.
- + Duy trì NSA cho người dùng phổ thông (Bộ Thông tin và Truyền thông Việt Nam, Lộ trình phát triển mạng 5G giai đoạn 2025–2030, 2024).

#### – **Hợp tác và tối ưu chi phí:**

- + Từ năm 2021, Viettel, VNPT và MobiFone ký thỏa thuận chia sẻ hạ

tầng.

- + Áp dụng giải pháp MOCN (Multi-Operator Core Network — chia sẻ hạ tầng tần số).

- + Kết quả: Giảm 30–40% chi phí triển khai (VNPT, Báo cáo tiến độ phủ sóng 5G, 2024).

- **Hỗ trợ chính sách:**

- + Bộ Thông tin và Truyền thông tổ chức đấu giá băng tần 5G vào năm 2024.

- + Ban hành lộ trình phủ sóng 5G toàn quốc giai đoạn 2025–2030.

- + Tạo điều kiện thuận lợi cho chuyển giao từ NSA sang SA (Bộ Thông tin và Truyền thông Việt Nam, Kết quả đấu giá băng tần 5G năm 2024).

## Chương 4

# Triển khai 5G toàn cầu và Việt Nam

### 4.1 Triển khai 5G tại các quốc gia dẫn đầu (Hàn Quốc, Mỹ, Trung Quốc, Đức...)

Dựa trên khảo sát triển khai mạng 5G tại các quốc gia tiên phong, Hàn Quốc, Mỹ, Trung Quốc và Đức đã đạt được những kết quả đáng chú ý, với các chiến lược và ứng dụng đa dạng:

- **Hàn Quốc:** Là quốc gia đầu tiên ra mắt mạng 5G thương mại vào tháng 4/2019 (GSMA, The Mobile Economy 2023).
  - + Đến năm 2024, hơn 90% người dùng di động truy cập mạng 5G, với hơn 215.000 trạm phát sóng được triển khai (Ericsson, Ericsson Mobility Report, 2024).
  - + Tốc độ trung bình đạt 400 Mbps, hỗ trợ bởi các nhà mạng hàng đầu như SK Telecom, KT và LG Uplus.
  - + Các ứng dụng chính bao gồm phát triển thành phố thông minh và trò chơi thực tế ảo (VR).
- **Mỹ:** Đã triển khai 5G tại hơn 503 thành phố tính đến năm 2023 (GSMA, The Mobile Economy 2023).
  - + Hệ thống hơn 200.000 trạm phát sóng phủ sóng 75% dân số, tập trung chủ yếu tại các khu vực đô thị (Ericsson, Ericsson Mobility Report, 2024).
  - + Các nhà mạng dẫn đầu là Verizon, AT&T và T-Mobile, sử dụng băng tần mmWave (24–39 GHz) để đạt tốc độ lên đến 1 Gbps. Băng tần

- mmWave cung cấp tốc độ cao nhưng phạm vi phủ sóng hạn chế.
- + Ứng dụng tập trung vào dịch vụ tiêu dùng và giải trí tại đô thị.
  - **Trung Quốc:** Dẫn đầu về quy mô với hơn 1,2 triệu trạm 5G vào năm 2024 (China Mobile, Báo cáo triển khai 5G, 2024).
    - + Phủ sóng 600 triệu người dùng tại 356 thành phố, nhờ sự hỗ trợ mạnh mẽ từ chính phủ (GSMA, The Mobile Economy 2023).
    - + Các nhà mạng chính bao gồm China Mobile, China Telecom và China Unicom, với tốc độ trung bình vượt 200 Mbps.
    - + Ứng dụng trọng tâm là sản xuất thông minh và Internet vạn vật (IoT) quy mô lớn.
  - **Đức:** Triển khai 5G chậm hơn, với hơn 50.000 trạm phát sóng vào năm 2023 (Deutsche Telekom, Báo cáo tiến độ 5G, 2023).
    - + Phủ sóng khoảng 30% dân số, ưu tiên băng tần C-band (3,4–3,8 GHz) để cân bằng tốc độ và độ phủ sóng, đạt tốc độ trung bình 150 Mbps (Ericsson, Ericsson Mobility Report, 2024).
    - + Các nhà mạng dẫn đầu là Deutsche Telekom và Vodafone, tập trung hỗ trợ các ứng dụng công nghiệp 4.0, như tự động hóa nhà máy.

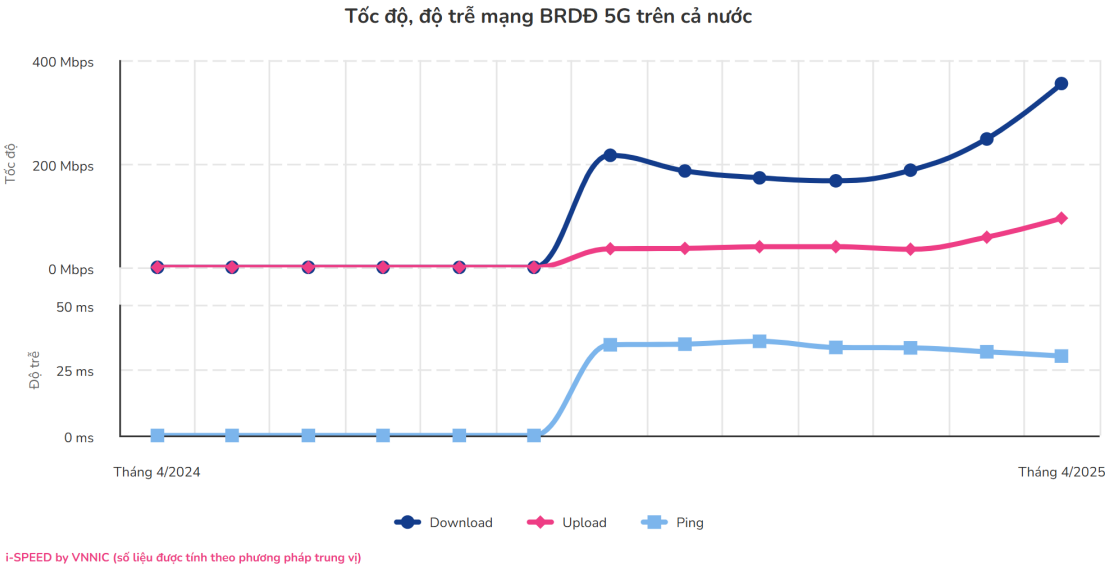
## 4.2 Triển khai 5G tại Việt Nam

Dựa trên khảo sát triển khai mạng 5G tại Việt Nam, quá trình bắt đầu từ năm 2019 với thử nghiệm mô hình Non-Standalone (NSA), sử dụng hạ tầng 4G, và chuyển sang mô hình Standalone (SA) tại các thành phố lớn từ năm 2024 (Bộ Thông tin và Truyền thông Việt Nam, Báo cáo tiến độ 5G, 2024). Dưới đây là kết quả khảo sát về tình hình triển khai của các nhà mạng lớn:

- **Viettel:** Đã phủ sóng 5G tại 63 tỉnh/thành phố với 10.000 trạm phát sóng, đạt tốc độ từ 700 Mbps đến 1,5 Gbps. Tính đến tháng 5/2025, Viettel phục vụ 6,2 triệu người dùng 5G, tập trung tại Hà Nội, TP.HCM (2,4 triệu người dùng), Đà Nẵng, Bình Dương và Cần Thơ (Viettel, Báo

- cáo triển khai 5G tại Việt Nam, 2025).
- **VNPT**: Triển khai 5G tại 20 tỉnh/thành phố với 3.500 trạm, phục vụ 3 triệu người dùng. VNPT phủ sóng các sân bay lớn như Nội Bài và Tân Sơn Nhất, đạt tốc độ trung bình 500 Mbps, hỗ trợ ứng dụng eMBB (enhanced Mobile Broadband — băng thông di động nâng cao) và trò chơi thực tế tăng cường/thực tế ảo (AR/VR) (VNPT, Báo cáo tiến độ phủ sóng 5G, 2025).
  - **MobiFone**: Phủ sóng 5G tại 20 tỉnh/thành phố với 2.000 trạm, đạt tốc độ tối đa 1,5 Gbps, phục vụ 1 triệu người dùng. MobiFone cung cấp các giải pháp 5G cho tám lĩnh vực, bao gồm y tế, giáo dục và sản xuất thông minh (MobiFone, Báo cáo triển khai 5G, 2025).

Ước tính đến tháng 5/2025, Việt Nam có 10 triệu người dùng 5G, chiếm 10% dân số, nhờ các chính sách đấu giá băng tần và chia sẻ hạ tầng giữa các nhà mạng (Bộ Thông tin và Truyền thông Việt Nam, Báo cáo tiến độ 5G, 2024).



Hình 4.1: Thống kê tăng trưởng tốc độ 5G cả nước (Nguồn: VNNIC).

Ứng dụng thực tế:

- **Y tế**: Viettel triển khai các giải pháp chăm sóc sức khỏe từ xa tại các bệnh viện lớn, kết nối bác sĩ và bệnh nhân thông qua mạng 5G với độ trễ

thấp (Viettel, Báo cáo triển khai 5G tại Việt Nam, 2025).

- **Sản xuất:** MobiFone áp dụng URLLC (Ultra-Reliable Low-Latency Communication — truyền thông siêu đáng tin cậy với độ trễ thấp) tại nhà máy Vicem Hoàng Mai, hỗ trợ điều khiển robot sản xuất tự động (MobiFone, Báo cáo triển khai 5G, 2025).
- **Giáo dục:** VNPT cung cấp các giải pháp học trực tuyến sử dụng 5G tại các trường đại học, hỗ trợ video chất lượng 4K và trải nghiệm thực tế ảo (VR) (VNPT, Báo cáo tiến độ phủ sóng 5G, 2025).

#### **Thách thức triển khai:**

- **Chi phí cao:** Để phủ sóng toàn quốc, Việt Nam cần khoảng 200.000 trạm 5G, với chi phí mỗi trạm gấp ba lần trạm 4G, ước tính khoảng 1 tỷ VNĐ mỗi trạm (Bộ Thông tin và Truyền thông Việt Nam, Báo cáo tiến độ 5G, 2024).
- **Hạ tầng không đồng đều:** Các khu vực vùng sâu, vùng xa thiếu cáp quang và trạm thu phát sóng (BTS), gây khó khăn trong việc mở rộng phủ sóng 5G (Ericsson, Ericsson Mobility Report, 2024).
- **Nhu cầu chưa cao:** Nhiều doanh nghiệp chưa sẵn sàng ứng dụng 5G do chi phí đầu tư ban đầu cao và thiếu các giải pháp phù hợp (GSMA, The Mobile Economy 2023).

**Mục tiêu tương lai:** Theo Bộ Thông tin và Truyền thông, đến cuối năm 2025, 100% khu vực TP.HCM và Đà Nẵng sẽ được phủ sóng 5G, với tốc độ trung bình gấp 10 lần 4G, đạt tiêu chuẩn của các quốc gia phát triển (Bộ Thông tin và Truyền thông Việt Nam, Lộ trình phát triển mạng 5G giai đoạn 2025–2030, 2024).



## KẾT LUẬN

### 5G có thay thế hoàn toàn 4G không

5G không thay thế ngay 4G mà tồn tại song song. 4G vẫn hiệu quả cho nhắn tin, gọi điện với chi phí thấp, trong khi 5G (tốc độ 1,5 Gbps, độ trễ <1 ms tại Việt Nam) phục vụ video 4K, IoT, và xe tự lái. Đến tháng 5/2025, 10 triệu người dùng 5G (10% dân số) so với 80-90 triệu thuê bao 4G cho thấy 4G vẫn chiếm ưu thế. 4G có thể thoái lui sau 2030 khi 5G phủ sóng toàn quốc.

### 6G sẽ là gì? Liệu 5G có đủ sức làm "cầu nối"?

6G, dự kiến ra mắt năm 2030, đạt tốc độ Tbps, độ trễ <0,1 ms, tích hợp AI, và kết nối everything-to-everything (như cảm biến cơ thể, thành phố 3D). 5G, với 10.000 trạm tại Việt Nam, hỗ trợ eMBB, URLLC, mMTC, là cầu nối từ 4G sang 6G. Tuy nhiên, 5G có thể chưa đủ cho các ứng dụng phức tạp như truyền dữ liệu não, đòi hỏi 6G phát triển thêm.

### Khi hạ tầng 5G bủa vây

“Khi hạ tầng 5G bủa vây từng ngõ ngách, liệu chúng ta có đang bước vào thời đại không còn ranh giới thực-ảo? Sự kết nối này có mang con người lại gần hơn?” 5G xóa nhòa thực-ảo qua VR, AR, V2X. Tuy nhiên, sự phụ thuộc vào công nghệ có thể khiến con người xa cách, khi nhiều người ưu tiên giao tiếp ảo hơn gặp mặt trực tiếp. Kết nối 5G mang lại tiện ích to lớn, nhưng giá trị gắn kết thực sự phụ thuộc vào cách chúng ta sử dụng để duy trì mối quan hệ chân thật.

# Tài liệu tham khảo

- [1] Trường Đại học Tôn Đức Thắng, Ths Trần Trung Tín. (2025), Kiến trúc Internet.
- [2] 3GPP. (2018). *Release 15: 5G NR*. 3GPP.
- [3] 3GPP. (2020). *Release 16: 5G Enhancements*. 3GPP.
- [4] 3GPP. (2023). *Technical Specification Group Radio Access Network: NR and NG-RAN Overall Description (Release 17)*. 3GPP.
- [5] Accton Technology Corporation. (n.d.). *The emergence of 5G mmWave*. <https://www.accton.com/technology/5g-mmwave/>
- [6] Bộ Thông tin và Truyền thông Việt Nam. (2020). *Chiến lược phát triển 5G tại Việt Nam*.
- [7] Bộ Thông tin và Truyền thông Việt Nam. (2020). *Thông tư 19/2020/TT-BTTTT về băng tần mmWave*.
- [8] Bộ Thông tin và Truyền thông Việt Nam. (2023). *Kế hoạch triển khai 5G*.
- [9] Bộ Thông tin và Truyền thông Việt Nam. (2024). *Báo cáo tiến độ 5G*.
- [10] Bộ Thông tin và Truyền thông Việt Nam. (2024). *Kết quả đấu giá băng tần 5G năm 2024*.
- [11] Bộ Thông tin và Truyền thông Việt Nam. (2024). *Lộ trình phát triển mạng 5G giai đoạn 2025–2030*.
- [12] China Mobile. (2024). *Báo cáo triển khai 5G*.
- [13] Chính phủ Việt Nam. (2019). *Nghị quyết 52-NQ/TW*.
- [14] Deloitte. (2022). *5G Investment Trends*.
- [15] Deutsche Telekom. (2023). *Báo cáo tiến độ 5G*.
- [16] DTNC. (n.d.). *5G – Tiêu chuẩn công nghệ thế hệ thứ năm cho mạng di động*.  
[dtnc.vn/5g-tieu-chuan-cong-nghe-the-he-thu-nam-cho-mang-di-dong/](https://dtnc.vn/5g-tieu-chuan-cong-nghe-the-he-thu-nam-cho-mang-di-dong/)
- [17] Ericsson. (2021). *5G Evolution: From 4G to 5G*.
- [18] Ericsson. (2022). *5G Radio Access Technologies*.

- [19] Ericsson. (2022). *5G Network Slicing Explained*.
- [20] Ericsson. (2022). *mmWave and Sub-6GHz in 5G Networks*.
- [21] Ericsson. (2023). *5G for Business: A 2030 Market Compass*.
- [22] Ericsson. (2023). *6G Vision and Roadmap*.
- [23] Ericsson. (2024). *Ericsson Mobility Report*.
- [24] Ericsson. (2024). *Ericsson Mobility Report: 5G Deployment Strategies*.
- [25] EverythingRF. (n.d.). *What is Non-Standalone 5G*. <https://www.everythingrf.com/community/what-is-non-standalone-5g>
- [26] EverythingRF. (n.d.). *What is Standalone 5G*. <https://www.everythingrf.com/community/what-is-standalone-5g>
- [27] GenK. (2019). *Trung Quốc: Mạng 5G giúp bác sĩ phẫu thuật được cho bệnh nhân cách xa 200 km*. [genk.vn/trung-quoc-mang-5g-giup-bac-si-phau-thuat-duoc-cho-benh-nhan-cach-xa-200-km-20190614153309843.chn](http://genk.vn/trung-quoc-mang-5g-giup-bac-si-phau-thuat-duoc-cho-benh-nhan-cach-xa-200-km-20190614153309843.chn)
- [28] Gigabyte. (2021). *5G and Edge Solutions at MWC 2021*. <https://www.techtalkthai.com/gigabyte-5g-and-edge-solutions-at-mwc-2021/>
- [29] Gigabyte. (n.d.). *eMBB*. <https://www.gigabyte.com/vn/Solutions/embb>
- [30] GSMA. (2021). *5G and Smart Cities*.
- [31] GSMA. (2022). *5G Technology Guide*.
- [32] GSMA. (2022). *Network Slicing Use Case Requirements*.
- [33] GSMA. (2023). *The Mobile Economy 2023*.
- [34] GSMA. (2023). *5G Implementation Guidelines*.
- [35] Huawei. (2024). *5G Smart Transportation White Paper*.
- [36] Huawei. (2024). *5G Beamforming Technical Paper*.
- [37] Huawei. (2024). *5G Security White Paper*.
- [38] ICNIRP. (2020). *Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields*.
- [39] International Telecommunication Union. (2017). *Minimum require-*

*ments related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s)* (Report ITU-R M.2410).

- [40] International Telecommunication Union. (2018). *IMT-2020 Specifications*.
- [41] International Telecommunication Union. (2022). *Spectrum Management for 5G*.
- [42] Korea Telecom. (2020). *5G Deployment Report*.
- [43] Kumar, A., & Singh, M. (2023). A comprehensive review on 5G mmWave technology: Challenges, opportunities, and future directions. *Electronics*, 12(10), 2200. <https://doi.org/10.3390/electronics12102200>
- [44] Le, T. D., Le, C. V., & Ngo, D. T. (2020). Ultra-reliable and low latency communication for 5G and beyond: Challenges and enabling technologies. *Sensors*, 20(10), 2753. <https://doi.org/10.3390/s20102753>
- [45] Mekkographics. (n.d.). *5G projected growth*. <https://www.mekkographics.com/5g-projected-growth/>
- [46] MobiFone. (2024). *Thông báo triển khai 5G SA tại các tỉnh lớn*.
- [47] MobiFone. (2024). *Thông báo triển khai 5G NSA tại các tỉnh lớn*.
- [48] MobiFone. (2025). *Báo cáo triển khai 5G*.
- [49] MobiFone. (2025). *Kế hoạch thương mại hóa 5G*.
- [50] Nokia. (2021). *5G Technology Overview*.
- [51] Nokia. (2021). *Massive MIMO for 5G*.
- [52] Nokia. (2021). *Network Slicing in 5G*.
- [53] Nokia. (2021). *5G mmWave for Urban Deployment*.
- [54] Nokia. (2022). *5G Use Cases for Industry 4.0*.
- [55] Nokia. (2024). *5G for Industry 4.0*.
- [56] Nokia. (2024). *5G Massive MIMO White Paper*.
- [57] Nokia. (2024). *5G Network Slicing White Paper*.
- [58] Nybsys. (n.d.). *5G mmWave vs Sub-6*. <https://nybsys.com/5g-mmwave-vs-sub-6/>

- [59] Qualcomm. (2020). *Making 5G NR a Reality*.
- [60] Qualcomm. (2020). *5G: Transforming Healthcare*.
- [61] Qualcomm. (2020). *Beamforming and 5G NR*.
- [62] Qualcomm. (2020). *5G NR: mmWave Technology*.
- [63] Qualcomm. (n.d.). *5G mmWave: A Guide for Operators*.  
<https://www.qualcomm.com/content/dam/qcomm-martech/dm-assets/documents/5g-mmwave-guide-for-operators.pdf>
- [64] Singapore Smart Nation. (2024). *Annual Report*.
- [65] SK Telecom. (2024). *5G Implementation Report*.
- [66] Speedtest. (n.d.). *Thống kê di động 5G*. <https://speedtest.vn/thong-ke-di-dong-5g>
- [67] Tin Học Đại Việt. (n.d.). *Tìm hiểu về công nghệ 5G Standalone (SA)*.  
<https://tinhocdaiviet.vn/tim-hieu-ve-cong-nghe-5g-standalone-sa/>
- [68] Tối Ưu Vô Tuyến. (2020). *Ưu khuyết điểm sóng 5G mmWave và hướng phát triển tại Việt Nam*. <https://toiuvotuyen.vn/uu-khuyet-diem-song-5g-mmwave-va-huong-phat-trien-tai-viet-nam/>
- [69] Tuổi Trẻ Online. (2025). *Việt Nam tiến tới phủ sóng 5G toàn quốc*.  
<https://tuoitre.vn/viet-nam-tien-toi-phu-song-5g-toan-quoc-2025.htm>
- [70] Verkotan. (2021). *Beamforming Antennas – How they work and are tested?*  
[verkotan.com/beamforming-antennas-how-they-work-and-are-tested/](https://verkotan.com/beamforming-antennas-how-they-work-and-are-tested/)
- [71] Verizon. (2024). *5G Deployment Report*.
- [72] Viettel. (2022). *Báo cáo triển khai 5G tại Việt Nam*.
- [73] Viettel. (2024). *Báo cáo triển khai 5G tại Việt Nam*.
- [74] Viettel. (2025). *Báo cáo triển khai 5G tại Việt Nam*.
- [75] VnExpress. (2024). *5G tại Việt Nam: Thực trạng và triển vọng*. <https://vnexpress.net/5g-tai-viet-nam-thuc-trang-va-trien-vong-2024>
- [76] VnEconomy. (2025). *Nhà mạng dẫn đầu chất lượng 5G tháng 2/2025*.  
[vneconomy.vn/nha-mang-dan-dau-chat-luong-5g-thang-2-2025.htm](https://vneconomy.vn/nha-mang-dan-dau-chat-luong-5g-thang-2-2025.htm)
- [77] VNPT. (2023). *Ứng dụng 5G trong công nghiệp*.

- [78] VNPT. (2024). *Chiến lược triển khai 5G*.
- [79] VNPT. (2024). *Báo cáo tiến độ phủ sóng 5G NSA*.
- [80] VNPT. (2024). *Báo cáo tiến độ phủ sóng 5G SA*.
- [81] VNPT. (2025). *Báo cáo tiến độ phủ sóng 5G*.
- [82] World Health Organization. (2020). *5G Mobile Networks and Health*.
- [83] World Health Organization. (2023). *5G Mobile Networks and Health*.