

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**

**ĐINH VIỆT ANH**

**NÂNG CAO HIỆU QUẢ SỬ DỤNG TÀI NGUYÊN  
MẠNG MẬT ĐỘ SIÊU CAO TRONG HỆ THỐNG 5G  
THÔNG QUA TỐI ƯU HÓA BẢN TIN PAGING**

Ngành: Công nghệ Kỹ thuật Điện tử - Viễn thông

Chuyên ngành: Kỹ thuật viễn thông

Mã số: 8510302.02

**LUẬN VĂN THẠC SĨ  
CÔNG NGHỆ KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG**

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: PGS.TS. NGUYỄN QUỐC TUẤN**

**Hà Nội – 2018**

## **Lời cam đoan**

Tôi xin cam đoan mọi nghiên cứu và kết quả của đề tài “NÂNG CAO HIỆU QUẢ SỬ DỤNG TÀI NGUYÊN MẠNG MẬT ĐỘ SIÊU CAO TRONG HỆ THỐNG 5G THÔNG QUA TỐI ƯU HÓA BẢN TIN PAGING” đều dựa trên sự nhận định, tìm hiểu, mô hình hóa và mô phỏng của cá nhân tôi, thực hiện tại Khoa Điện tử Viễn thông, Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội, dưới sự hướng dẫn của PGS.TS. Nguyễn Quốc Tuấn.

Những số liệu, hình ảnh được sử dụng trong luận văn, nếu được trích dẫn từ các tài liệu, công trình đã công bố trước đó, đều được chỉ rõ nguồn gốc. Những nội dung mới trong nghiên cứu của tôi được trình bày trong luận văn này chưa từng được công bố trong bất cứ công trình khoa học nào khác cho tới thời điểm này. Tôi hoàn toàn chịu trách nhiệm về nội dung của luận văn nếu có bất cứ vi phạm nào về tác quyền, bản quyền.

Hà Nội, ngày ..... tháng ..... năm 2018

**Học viên**

*(Ký và ghi rõ họ tên)*

## **Lời cảm ơn**

Trước tiên, tôi xin được gửi lời cảm ơn chân thành nhất tới PGS.TS. Nguyễn Quốc Tuấn, người thầy đã dành nhiều thời gian theo sát tôi, tận tình chỉ bảo, hướng dẫn trong suốt quá trình tôi tìm hiểu, nghiên cứu, tạo mọi điều kiện để tôi có thể hoàn thành luận văn này. Thầy đã định hướng và đưa ra nhiều góp ý quý giá cho tôi để luận văn được hoàn thiện và có chất lượng hơn.

Tôi cũng muốn gửi lời cảm ơn tới các thầy, cô ở khoa Điện tử Viễn thông. Các thầy, các cô đã cung cấp cho tôi những kiến thức từ cơ bản đến nâng cao, giúp tôi có đủ nền tảng hiểu biết để nghiên cứu và hoàn thành luận văn này. Đặc biệt, các thầy cô trong bộ môn Hệ thống viễn thông đã cho tôi những góp ý xác đáng để nội dung của luận văn được hoàn chỉnh, rõ ràng hơn, mạch lạc hơn.

Cuối cùng, tôi xin cảm ơn gia đình, người thân, bạn bè và các đồng nghiệp đã luôn động viên, tạo điều kiện cho tốt nhất để tôi có đủ thời gian và tâm sức hoàn thành luận văn này.

Tôi xin chân thành cảm ơn!

## Mục lục

Lời cam đoan .....	i
Lời cảm ơn.....	ii
Mục lục .....	iii
Danh mục các ký hiệu và chữ viết tắt.....	v
Danh mục bảng biểu .....	vii
Danh mục hình vẽ, đồ thị .....	viii
MỞ ĐẦU .....	1
Chương 1 TỔNG QUAN VỀ 5G .....	3
1.1. Kiến trúc tổng thể.....	4
1.2. Những yêu cầu kỹ thuật và hướng tiếp cận .....	6
1.3. Vài nét về chuẩn 5G mới nhất của 3GPP Release 15 .....	11
1.3.1. Tần số Numerology và cấu trúc khung.....	13
1.3.2. Sóng cực ngắn mmWave .....	17
1.3.3. Massive MIMO và Truyền sóng dạng búp Beamforming.....	18
1.3.4. Trạng thái RRC-Inactive.....	20
Chương 2 MẠNG MẬT ĐỘ SIÊU CAO TRONG 5G.....	22
2.1. Khái niệm mạng mật độ siêu cao (UDN) .....	23
2.2. Thách thức và định hướng kỹ thuật của UDN .....	24
2.2.1. Thách thức và định hướng về kiến trúc mạng .....	24
2.2.2. Thách thức và định hướng quản lý tính di động.....	25
2.2.3. Thách thức và định hướng quản lý nhiễu .....	25
2.2.4. Thách thức và định hướng về tính linh hoạt của hệ thống mạng.....	26
2.3. Các kiến trúc mạng được đề xuất cho UDN .....	26
2.3.1. Nguyên lý chung.....	26
2.3.2. Kiến trúc GPP HeNB .....	28
2.3.3. Kiến trúc tăng cường Small Cell .....	29
2.3.4. Kiến trúc UDN của METIS .....	30
2.3.5. Kiến trúc người dùng trung tâm cho UDN .....	31
2.4. Định hướng nghiên cứu cho những thách thức đã nêu .....	32
2.4.1. Mạng linh hoạt .....	32

2.4.2.	Hạ tầng mạng trực.....	34
2.4.3.	Phối hợp nhiều kĩ thuật truy nhập vô tuyến.....	36
2.4.4.	Quản lý tính di động .....	38
2.4.5.	Quản lý nhiễu.....	39
2.4.6.	Quản lý tài nguyên vô tuyến.....	41
2.5.	Tổng kết .....	43
Chương 3	TỐI ƯU TÀI NGUYÊN PAGING TRONG 5G UDN .....	44
3.1.	Cơ chế Paging hiện tại .....	45
3.1.1.	Lắng nghe paging từ phía UE.....	45
3.1.2.	Paging phát quảng bá bởi nhà mạng.....	46
3.2.	Phương pháp tinh gọn bản tin Paging.....	48
3.2.1.	Nguyên lý hoạt động.....	48
3.2.2.	Tính toán mô hình hệ thống.....	49
3.2.3.	Đề xuất cải tiến .....	50
3.3.	Khảo sát và đánh giá hiệu suất.....	51
KẾT LUẬN	.....	55
PHỤ LỤC	.....	56
TÀI LIỆU THAM KHẢO	.....	59

## Danh mục các ký hiệu và chữ viết tắt

Từ viết tắt	Ý nghĩa
3GPP	3 <sup>rd</sup> Generation Partnership Project
LTE	Long Term Evolution
5G NR	5 <sup>th</sup> Generation New Radio
eMBB	Evolved Mobile Broadband
mMTC	Massive Machine Type Communication
uRLLC	Ultra Reliability Low Latency Communication
V2X	Vehicle to everything communication
ITU	International Telecommunication Union
IMT	International Mobile Telecommunication
D2D	Device to Device communication
MN	Moving Network
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
TDM	Time Division Multiplexing
FDM	Frequency Division Multiplexing
FD-MIMO	Full Dimension Multiple Input Multiple Output
LGW	Local Gateway
SON	Self-Organizing Network
RAT	Radio Access Technology
UDN	Ultra-Dense Network
AP	Access Point
RRM	Radio Resource Management / Radio Resource Control
WLAN	Wireless Local Area Network
PDN-Gateway	Packet Data Network Gateway
LA	Location Area
5GPPP	5G Infrastructure Public Private Partnership
METIS	Mobile and wireless communications Enablers for Twenty-twenty (2020) Information Society
NGMN	Next Generation Mobile Network
UDN	User-centric UDN
SDN	Software Defined Network
NFV	Network Functionality Virtualization
MME	Mobility Management Entity
UE	User Equipment
HeNB	Home enhanced NodeB
LIPA	Local Internet Packet Access
SIPTO	Selected IP Traffic Offload
SRC/SRU	Synchronous Radio Control plane/User plane
ARC/ARU	Asynchronous Radio Control plane/User plane
C-RAN	Centralized Radio Access Network

SAE	System Architecture Evolution
LSC/LDC	Local Serving Center/Local Data Center
NSC/NDC	Network Serving Center/Network Data Center
ANR	Automatic Neighboring Relation
MLB	Mobile Load Balancing
OAM	Operation and Maintenance
DeNB	Donor enhanced NodeB
DMM	Distributed Mobility Management
ICI	Inter-cell Interference
FFR/SFR	Fragmental Frequency Reuse/Soft Frequency Reuse
CoMP	Co-ordinated Multi-Point

## **Danh mục bảng biểu**

Bảng 1-1. Các chỉ số đánh giá năng suất của 5G .....	8
Bảng 1-2. Các chỉ số hiệu suất chính của 5G .....	9
Bảng 1-3. Các giá trị yêu cầu cho mỗi khả năng chính trong IMT-2020.....	10
Bảng 1-4. Sự khác nhau về các thông số vô tuyến giữa LTE và 5G NR .....	12
Bảng 1-5. Các numerology trong 5G .....	14
Bảng 2-1. So sánh UDN và mạng di động truyền thống .....	23
Bảng 3-1. Tham số hệ thống.....	51



## Danh mục hình vẽ, đồ thị

Hình 1-1. Kiến trúc 5G theo phân vùng và kiểu kết nối .....	4
Hình 1-2. Kiến trúc 5G theo mạng lát cắt .....	6
Hình 1-3. Ba hướng phát triển của hệ thống 5G [1].....	7
Hình 1-4. Khác biệt từ tiêu chuẩn IMT-Advanced lên IMT-2020 [4] .....	10
Hình 1-5. Vai trò của các khả năng chính trong các ngữ cảnh khác nhau [4].....	11
Hình 1-6. Các giai đoạn phát triển bộ tiêu chuẩn kỹ thuật của 3GPP về 5G [5] .....	12
Hình 1-7. Mối quan hệ giữa numerology và độ lớn cell, tần số và độ trễ [6] .....	15
Hình 1-8. Cấu trúc khung trong 5G với các numerology khác nhau .....	15
Hình 1-9. Cấu trúc khung tùy biến .....	16
Hình 1-10. Khái niệm Carrier Bandwidth Part.....	16
Hình 1-11. Dải tần trải rộng trong 5G (Nguồn: rcrwireless.com).....	17
Hình 1-12. Mô hình Massive MIMO với 3D beamforming (FD-MIMO) [14] .....	20
Hình 1-13. Trạng thái RRC-Inactive mới và lợi ích đạt được [15] .....	21
Hình 2-1. Kiến trúc GPP HeNB [16].....	28
Hình 2-2. Kiến trúc tăng cường Small Cell [17] .....	29
Hình 2-3. Hoạt động của SCE .....	29
Hình 2-4. Kiến trúc UDN của METIS [7].....	30
Hình 2-5. Kiến trúc người dùng trung tâm cho UDN [18].....	31
Hình 2-6. Kiến trúc mạng kết hợp nhiều RAT .....	37
Hình 3-1. Lắng nghe và giải mã paging .....	46
Hình 3-2. So sánh cơ chế phát Paging giữa 4G và 5G .....	47
Hình 3-3. Chia tách UE ID thành 2 phần .....	48
Hình 3-4. Cải tiến lược bỏ MME code trong UE ID .....	50
Hình 3-5. So sánh tỉ lệ chiếm dụng tài nguyên hệ thống.....	52
Hình 3-6. Tài nguyên cho paging được tối ưu với cải tiến lược bỏ MME code .....	52
Hình 3-7. So sánh mức tối ưu tài nguyên giữa các giá trị $N_2$ .....	53

## MỞ ĐẦU

Việc phát triển tiếp nối các kỉ nguyên công nghệ nói chung và các thế hệ mạng viễn thông nói riêng đã và đang hiện thực hóa các giấc mơ và hứa hẹn đem tới diện mạo hoàn toàn mới cho cuộc sống của nhân loại. Câu chuyện của 5G cũng không nằm ngoài lẽ thường đó. Trong những năm gần đây, với sự phổ biến ngày càng tăng của thiết bị thông minh, cuộc sống hàng ngày của chúng ta đã và đang xoay quanh các dịch vụ Internet di động. Tương lai của 5G sẽ là sự bùng nổ của lưu lượng dữ liệu trên mạng truyền thông di động. Sẽ rất khó để đáp ứng yêu cầu dung lượng của 5G thông qua việc tăng hiệu suất phổ hay sử dụng các phổ tần khác như các thế hệ mạng trước đó đã làm. Khái niệm mạng mật độ siêu cao (Ultra-dense network – UDN) ra đời để đáp ứng các kịch bản sử dụng trong tòa văn phòng, khu căn hộ, sân vận động hay tàu điện ngầm, nơi có mật độ thiết bị di động tăng đột biến.

Trong UDN, hạ tầng mạng được thiết kế hướng đến người dùng với các điểm truy cập hay trạm phát sóng được triển khai dày đặc với phạm vi phủ sóng hẹp hơn, giúp cải thiện dung lượng hệ thống. Nhưng điều này cũng đặt ra nhiều thách thức cho việc thiết kế kiến trúc mạng, quản lý tính di động, quản lý nhiễu và đặc biệt là việc sử dụng tài nguyên một cách hợp lý. Nhiều định hướng nghiên cứu được đặt ra để giải quyết những trở ngại mới này như thiết kế hệ thống mạng tự tổ chức linh hoạt, xây dựng hệ thống mạng trực nhiều lớp cả có dây và không dây, hay phối hợp nhiều kĩ thuật truy nhập vô tuyến. Việc quản lý tính di động cũng được định hướng lại, lấy người dùng làm trung tâm, tích hợp lập trình phần mềm nhiều hơn dựa trên sự phát triển của hệ thống xử lý trong mạng lõi. Việc quản lý tài nguyên vô tuyến phải đối mặt với sự phức tạp và dày đặc của môi trường truyền thông nhưng vẫn phải đáp ứng yêu cầu tăng vọt về thông lượng. Điều này thúc đẩy các nghiên cứu mới để tiết kiệm và tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên cũng như năng lượng.

Khi sóng cực ngắn mmWave và beamforming được chọn là công nghệ nền tảng của 5G, đặc biệt phù hợp cho UDN với đặc tính vùng phủ hẹp, hiệu suất phổ cao, khái niệm truyền thông đẳng hướng cũng ra đời do giới hạn về vùng phủ của những búp sóng mang thông tin. Khi đó, các thông tin quảng bá của mạng cần được truyền lặp lại trong tất cả các búp sóng thay vì chỉ phát một lần như truyền thông đa hướng trong các mạng hiện tại. Điều này càng cho thấy tầm quan trọng của việc quản lý tài nguyên. Trong phạm vi của luận văn này, một trong những nghiên cứu mới nhằm tiết kiệm tài nguyên vô tuyến, cụ thể là tối ưu hóa kích thước của bản tin paging được phát quảng bá mỗi khi hệ thống mạng cần tìm gọi một thiết bị người dùng cuối, sẽ được tập trung xem xét.

Luận văn được bố cục 3 phần chính. Chương 1 sẽ giới thiệu cái nhìn tổng quan về 5G, đặc điểm và yêu cầu kĩ thuật, cũng như những thay đổi lớn của 5G so với mạng 4G hiện tại. Chương 2 sẽ trình bày khái niệm về mạng mật độ siêu cao, chỉ ra các thách thức

và định hướng nghiên cứu hay những giải pháp để hiện thực hóa UDN, trong đó nhấn mạnh tầm quan trọng của việc quản lý tài nguyên vô tuyến. Bài toán quản lý tài nguyên với những thông tin quảng bá trong hệ thống mạng, cụ thể là bản tin paging, sẽ được xem xét ở Chương 3. Đồng thời mô hình và kết quả của giải pháp tối ưu kích thước của bản tin paging nhằm tiết kiệm tài nguyên và năng lượng của hệ thống cũng được nghiên cứu và đánh giá lại trong chương này.

## Chương 1 TỔNG QUAN VỀ 5G

5G sẽ không chỉ là tốc độ dữ liệu cao hơn hay dung lượng mạng cao hơn. Nó nhắm đến những kiểu dịch vụ mới với độ tin cậy cực cao để xử lý những tác vụ cực kỳ quan trọng. Ví dụ có thể kể tới như, những ứng dụng nâng tầm trải nghiệm của người dùng trong việc điều khiển nhà thông minh, ô tô thông minh; hay thậm chí các bác sĩ sẽ điều khiển từ khoảng cách rất xa những cánh tay robot tham gia vào quá trình phẫu thuật y tế. 5G hướng đến mục tiêu ảo hóa kết nối vạn vật một cách hiệu quả, từ những cảm biến đơn giản cho đến những robot phức tạp, tất cả dựa vào việc nâng cấp tốt hơn nữa dịch vụ thông tin di động băng rộng truyền thống. Điều này đồng nghĩa rằng thế hệ tiếp theo của các ứng dụng, các dịch vụ và các kịch bản sử dụng sẽ đặt ra những yêu cầu cực kỳ đa dạng. Để vượt qua thử thách này, 5G sẽ cần có một kiến trúc hoàn toàn mới, lấy người dùng làm trung tâm. Kiến trúc này cần hết sức linh hoạt để có thể tiếp nhận và quản lý hàng tỉ kết nối, đem đến một giải pháp mới để kết nối vạn vật, đồng thời lại tối ưu chi phí và hiệu quả sử dụng năng lượng.

Hướng tiếp cận lấy người dùng làm trung tâm này sẽ đưa ra một hướng suy nghĩ mới về mạng lưới và thiết bị. Từ phương diện kết nối, người dùng sẽ không còn là những điểm đầu cuối mà sẽ trở thành một phần không thể thiếu của mạng lưới, nhằm tạo ra một không gian kết nối không giới hạn. Nhưng 5G không chỉ có sự kết nối, mà còn cả việc đưa nội dung, ở đây là dữ liệu, là đa phương tiện, đến gần hơn với người dùng, ở đây có thể là con người, có thể là phương tiện hay máy móc, hay có thể nói là vạn vật.

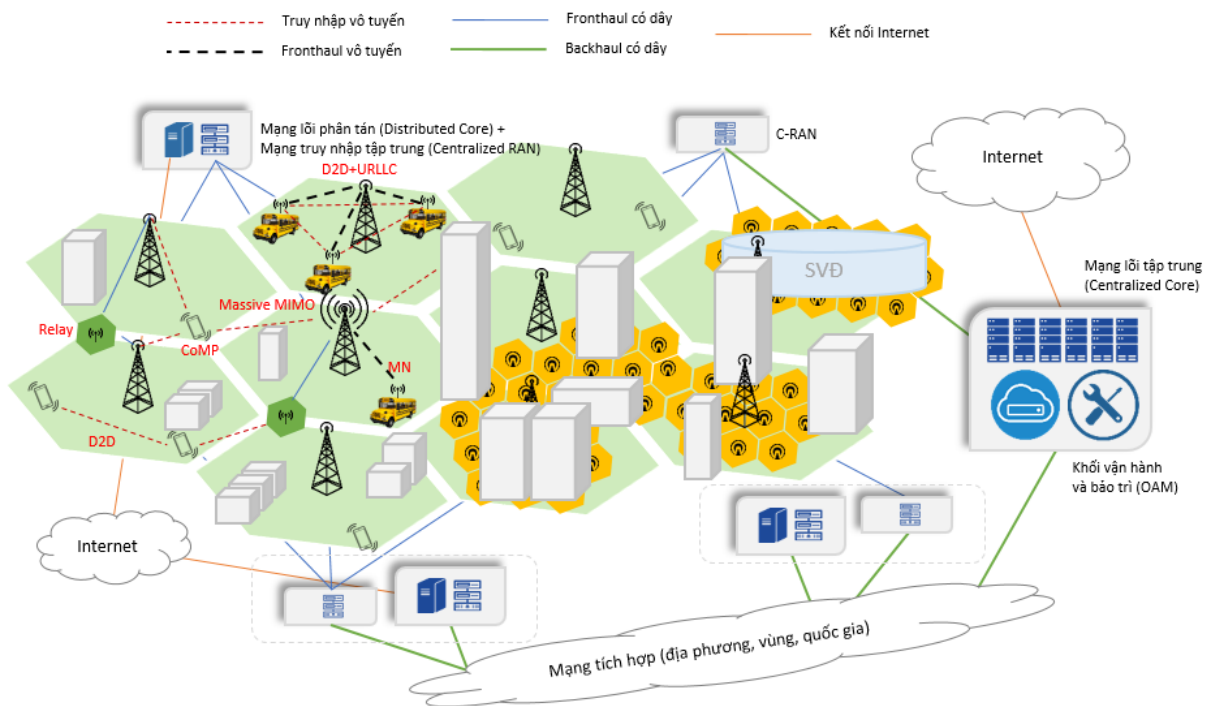
Tầm nhìn của 5G hướng tới sẽ là một nền tảng thống nhất cho tất cả các loại băng tần và phổ, từ các băng tần thấp dưới 1 GHz cho đến những băng tần siêu cao như mmWave. Nền tảng đó sẽ hỗ trợ hàng loạt dịch vụ mới trong khi vẫn cung cấp cơ hội cho việc triển khai mới hay việc quản lý thuê bao và tính phí. Chìa khóa thành công cho tầm nhìn đó chính là một thiết kế giao diện truyền thông linh hoạt, tùy biến cao, thích hợp với tất cả các dải tần cũng như tất cả các loại dịch vụ.

Trong khi 5G đã và đang tiếp tục được định hình, với mục tiêu thương mại hóa vào những năm 2020, thì 4G sẽ vẫn tiếp tục phát triển song hành. Những nâng cấp của 4G mang đến những khả năng mới vượt xa kỳ vọng và cũng sẽ có những bước chuyển mình để tiệm cận với những gì 5G có thể đem lại. Tương lai về một hạ tầng mạng đa kết nối, đa nền tảng với sự kết hợp của 5G, 4G và Wi-Fi sẽ tạo điều kiện cho việc chuyển đổi và triển khai 5G dễ dàng hơn. Hơn thế nữa, 5G với một mạng lõi thống nhất cũng có khả năng hỗ trợ truy cập từ 4G và Wi-Fi. Điều này chắc chắn rằng sự đầu tư của các nhà cung cấp mạng viễn thông trong hiện tại và tương lai sẽ được đảm bảo. Toàn bộ hệ sinh thái công nghiệp di động đang tập trung toàn lực, góp sức cùng nhau từ nhiều khía cạnh, để sáng tạo ra thế hệ tiếp theo của trải nghiệm di động.

Kể từ hội thảo đầu tiên về 5G vào tháng 9 năm 2015 ở Phoenix, tiểu bang Arizona, Hoa Kỳ, bộ tiêu chuẩn về 5G đã được nghiên cứu và cân nhắc trong suốt hơn 2 năm qua. Và tới thời điểm hiện tại đã gần như sẵn sàng cho việc triển khai thực tế trên toàn thế giới. Nổi bật có thể kể tới là sự kiện thử nghiệm 5G tại Thế vận hội mùa đông Winter Olympics ở Pyeongchang, Hàn Quốc vào tháng 2 năm 2018, hay buổi trưng bày về 5G tại Hội nghị di động quốc tế (Mobile World Congress) tại Barcelona, Tây Ban Nha ngay hồi cuối tháng đó, và việc chạy thử 5G tại sự kiện bóng đá lớn nhất hành tinh FIFA World Cup tại Nga hồi tháng 7 vừa qua.

Nhưng quan trọng hơn cả, một vài nhà mạng ở Mỹ, Nhật Bản, Trung Quốc và châu Âu đã cam kết sẽ cho chạy thử hệ thống mạng 5G dựa trên chuẩn 3GPP mới nhất vào năm 2019. Điều này có nghĩa 5G chỉ còn 1 bước rất ngắn để trở thành hiện thực.

### 1.1. Kiến trúc tổng thể



Hình 1-1. Kiến trúc 5G theo phân vùng và kiểu kết nối

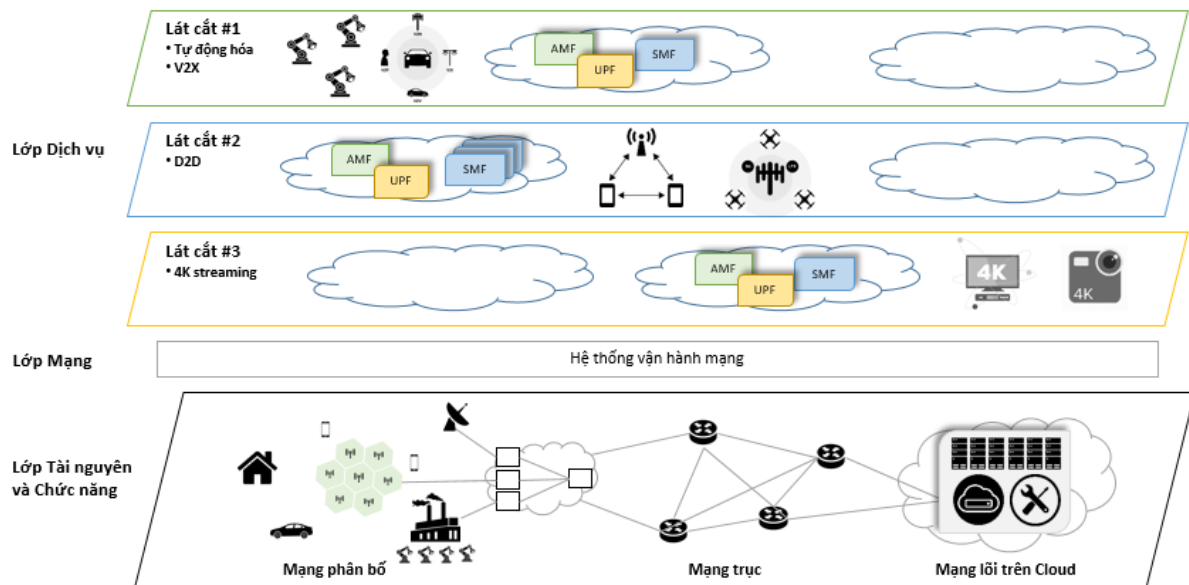
Mạng 5G cần đáp ứng được những đòi hỏi của một xã hội di động và hoàn toàn kết nối. Sự gia tăng của các đối tượng và thiết bị kết nối sẽ mở đường cho một loạt các dịch vụ mới và các mô hình kinh doanh liên quan cho phép tự động hóa trong các ngành công nghiệp khác nhau và các thị trường dọc (ví dụ như năng lượng, sức khỏe điện tử, thành phố thông minh, xe hơi kết nối, sản xuất công nghiệp, v.v.). Ngoài các ứng dụng tập trung vào con người, phổ biến hơn cả là thực tế ảo và thực tế tăng cường, truyền video 4K, v.v., mạng 5G sẽ hỗ trợ các nhu cầu liên lạc của các ứng dụng kiểu “máy và máy” để làm cuộc sống của chúng ta trở nên an toàn hơn và thuận tiện hơn.

Tất cả các thay đổi của các thể hệ di động cho đến nay đều được dựa trên một khái niệm liên kết vô tuyến mới và đã cung cấp sự gia tăng tốc độ dữ liệu đỉnh khoảng hai bậc độ lớn. Hệ thống 5G phải đáp ứng các yêu cầu về tỷ lệ tăng và năng lực cần thiết trong những năm 2020 và các yêu cầu về độ trễ giảm. Tuy nhiên, việc tích hợp các dịch vụ và lĩnh vực ứng dụng mới cũng quan trọng như tăng tỷ lệ và giảm độ trễ vậy. Hệ thống 5G sẽ là môi trường không dây thúc đẩy Internet of Things và, ngoài phục vụ nhu cầu của con người, 5G phải phục vụ cho các giao tiếp kiểu máy khác nhau với các yêu cầu khác nhau. Tựu chung lại, phạm vi yêu cầu sẽ tăng lên đáng kể so với các công nghệ Mobile Broad Band (MBB) hiện tại. Ví dụ, tốc độ dữ liệu sẽ dao động từ rất thấp đối với dữ liệu cảm biến đến mức rất cao cho video độ nét cao. Độ trễ sẽ dao động từ cực kỳ thấp đối với các ứng dụng quan trọng về an toàn đến các ứng dụng mà độ trễ không thực sự là một hạn chế. Kích thước gói sẽ thay đổi từ nhỏ, ví dụ: ứng dụng dành cho điện thoại thông minh, cho đến kích thước lớn, ví dụ: chuyển tập tin. 5G sẽ là một hệ thống công nghệ đa truy nhập vô tuyến, Hình 1-1, tích hợp hiệu quả các khối xây dựng cơ bản như sau:

- Băng thông rộng di động được phát triển (eMBB) sẽ cung cấp tốc độ dữ liệu cao và truyền thông độ trễ thấp cải thiện chất lượng trải nghiệm (QoE) cho người dùng.
- Massive Machine Communications (MMC) sẽ cung cấp các giải pháp kết nối có thể mở rộng và khả năng mở rộng cho hàng chục tỷ thiết bị hỗ trợ mạng, trong đó khả năng kết nối có thể mở rộng là quan trọng đối với các hệ thống liên lạc di động và không dây trong tương lai.
- Phương tiện cho xe cộ, thiết bị và cơ sở hạ tầng (V2X) và dịch vụ hỗ trợ lái xe yêu cầu sự hợp tác giữa xe cộ với nhau và với môi trường của chúng (ví dụ: giữa xe và người dùng dễ bị tổn thương trên điện thoại thông minh) để cải thiện an toàn giao thông và hiệu quả giao thông trong tương lai. Các dịch vụ V2X cho mạng di chuyển (moving networks) yêu cầu các liên kết truyền thông đáng tin cậy cho phép truyền các gói dữ liệu với độ trễ tối đa được đảm bảo ngay cả ở tốc độ xe cao.
- Truyền thông siêu tin cậy (URC) sẽ cho phép mức độ sẵn sàng cao. Nó được yêu cầu để cung cấp các giải pháp có thể mở rộng và tiết kiệm chi phí cho các mạng hỗ trợ các dịch vụ có yêu cầu cao về tính khả dụng và độ tin cậy. Phân tích dịch vụ đáng tin cậy cung cấp các cơ chế để giảm tốc độ và tăng độ trễ, thay vì bỏ các kết nối, khi số lượng người dùng tăng lên, bằng cách sử dụng kiến trúc hệ thống hỗ trợ triển khai truyền thông D2D (device to device) và mạng mật độ siêu cao (UDN).

Các thiết bị giao tiếp tự động sẽ tạo ra lưu lượng truy cập vào mạng di động với các đặc điểm khác biệt đáng kể so với lưu lượng truy cập theo kiểu “người với người” hiện nay. Sự cùng tồn tại của các ứng dụng kiểu “con người là trung tâm” và kiểu máy móc sẽ đề ra các chỉ số hiệu năng (KPI) rất đa dạng và quan trọng mà các mạng 5G sẽ phải hỗ trợ. Do đó, tầm nhìn của mạng lát cắt (network slicing) sẽ đáp ứng nhu cầu của các ngành dọc, đòi hỏi phải có các dịch vụ viễn thông riêng biệt, bằng cách cung cấp các lát cắt mạng theo yêu cầu của các nhà khai thác như được mô tả trong Hình 1-2. Sự

cần thiết phải ánh xạ các thỏa thuận mức đáp ứng dịch vụ cho khách hàng với các mô tả slice mạng hướng tới tài nguyên, tạo thuận lợi cho việc khởi tạo và kích hoạt các cá thể slice, trở nên hiển nhiên. Trong quá khứ, các nhà khai thác thực thi ánh xạ như vậy theo cách thủ công đối với một số loại dịch vụ / slice giới hạn (chủ yếu là băng rộng di động - MBB, dịch vụ thoại và SMS). Với số lượng yêu cầu của khách hàng tăng lên và theo đó là số lượng các slice mạng, khung điều khiển và quản lý mạng di động do đó sẽ phải thể hiện mức tự động hóa tăng lên đáng kể để phục vụ cho việc quản lý toàn bộ vòng đời của các slice mạng.



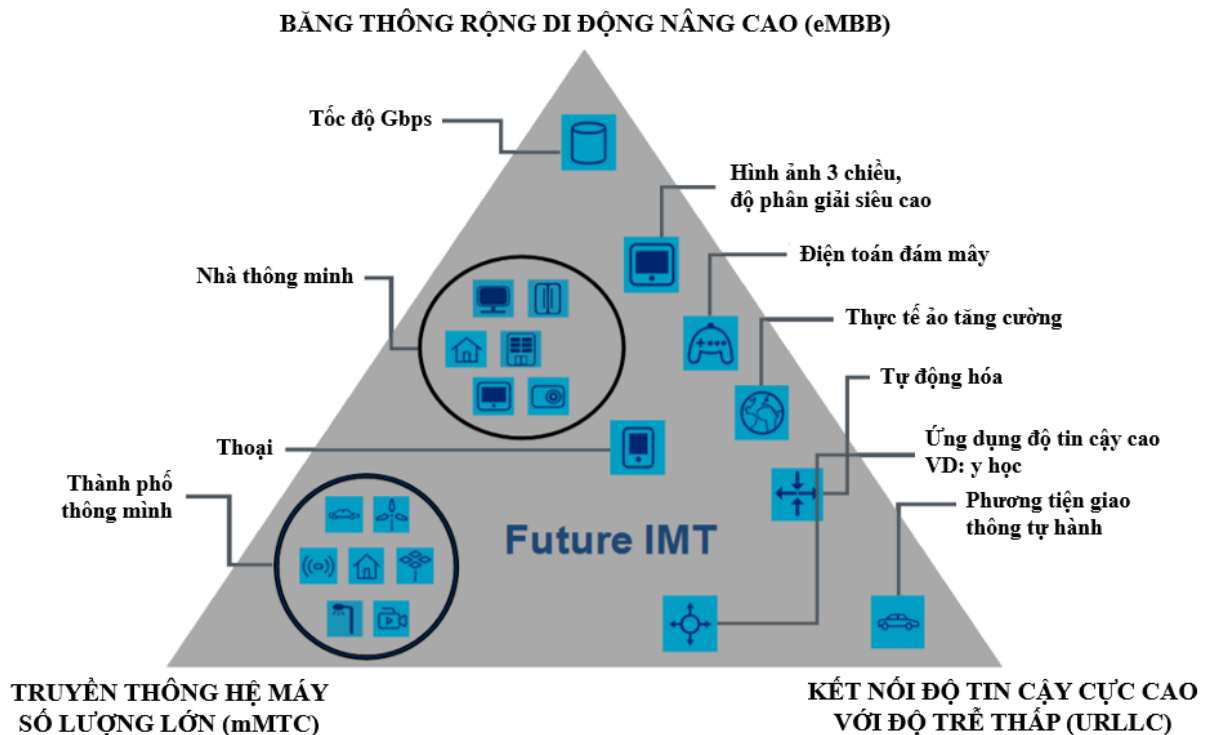
Hình 1-2. Kiến trúc 5G theo mạng lát cắt

## 1.2. Những yêu cầu kỹ thuật và hướng tiếp cận

Điện thoại di động đã là nền tảng công nghệ lớn nhất trong lịch sử. 3G đã giới thiệu khái niệm về băng rộng di động và sự phổ biến của điện thoại thông minh kết hợp với sự ra đời của 4G dẫn đến sự bùng nổ dữ liệu di động ngày càng tăng mang đến khái niệm “thách thức dữ liệu di động 1000x”. Nhờ sự phát triển nhanh chóng của điện toán di động và lộ trình LTE-Advanced mạnh mẽ, ngành công nghiệp viễn thông di động đang đi đúng hướng để đáp ứng thách thức. Thách thức 1000x đang được giải quyết bằng 3G, 4G, và Wi-Fi, và thông qua việc triển khai ngày càng tăng của các tế bào nhỏ cùng với nhiều phổ tần hơn. Do tiên lượng tích cực cho tương lai, câu hỏi đặt ra, tại sao chúng ta cần 5G, và nó có thể làm gì cho chúng ta rằng 4G không thể? Câu trả lời là tầm nhìn của 5G không chỉ cung cấp băng thông rộng tốt hơn với dung lượng cao hơn và tốc độ dữ liệu cao hơn với chi phí thấp hơn nhiều mà còn để giải quyết những thách thức hoàn toàn mới vượt xa, để kích hoạt các dịch vụ mới. và kết nối các ngành mới.

Nhìn xa hơn xu hướng của ngày hôm nay, 5G hướng đến kết nối hầu như mọi thứ, vượt xa nhu cầu của con người hiện nay, để đáp ứng các yêu cầu cho các lớp dịch vụ mới, với mức độ tin cậy và độ trễ mới, và mang đến những khả năng mới hỗ trợ cho

việc kiểm soát và khám phá để tiếp cận với nhận thức mới về cuộc sống. Một tầm nhìn về tầm quan trọng này không chỉ đòi hỏi một cách suy nghĩ mới mà còn đòi hỏi một kiểu hạ tầng mạng khác. 4G LTE ban đầu cung cấp băng thông rộng di động tốt hơn, nhưng LTE-Advanced theo nhiều cách đã đi theo hướng chuyển đổi tương tự như 5G.



*Hình 1-3. Ba hướng phát triển của hệ thống 5G [1]*

Yêu cầu của các dịch vụ đã tồn tại và các dịch vụ mới khác nhau rất lớn từ nhiều khía cạnh. Cải tiến cực đoan trong một khía cạnh thường đòi hỏi sự trả giá trong một khía cạnh khác. Nói cách khác, người ta không thể có được độ tin cậy cực cao và chi phí cực thấp cùng một lúc, vì vậy 5G phải mở rộng đến mức hiệu suất phù hợp cho một dịch vụ, nhưng giảm chi phí cho một dịch vụ khác.

ITU-Radiocommunication, một trong số 3 đơn vị của Liên minh viễn thông quốc tế (ITU) đã tổng kết ra 3 ngữ cảnh sử dụng, chỉ rõ sự khác nhau giữa tính chất của các khía cạnh phát triển trong 5G trong Hình 1-3.

- Băng rộng di động nâng cao: Dịch vụ di động băng rộng là một ví dụ điển hình cho những trường hợp sử dụng của 5G hướng tới con người, nhằm truy cập nội dung đa phương tiện, dịch vụ hay dữ liệu. Nhu cầu băng rộng di động sẽ tiếp tục tăng, dẫn đến tăng cường di động băng thông rộng. Kịch bản sử dụng băng rộng di động nâng cao sẽ đi kèm với các lĩnh vực ứng dụng mới và các yêu cầu vượt ngoài khả năng của các ứng dụng băng rộng di động hiện tại sẽ cho hiệu suất cải thiện hơn và trải nghiệm của người dùng ngày càng liền mạch hơn.

- Truyền thông độ trễ thấp và cực đáng tin cậy: Trường hợp sử dụng này có các yêu cầu nghiêm ngặt đối với các khả năng của thiết bị và mạng lưới như thông lượng, độ trễ và tính khả dụng. Một số ví dụ có thể kể đến bao gồm kiểm soát không dây sản



xuất công nghiệp hoặc quy trình sản xuất, phẫu thuật y tế từ xa, tự động hóa phân phối trong lưới điện thông minh, an toàn giao thông, v.v.

- Truyền thông kiểu máy số lượng lớn: Trường hợp sử dụng này được đặc trưng bởi một số lượng lớn các thiết bị được kết nối thường truyền kiểu dữ liệu không nhạy cảm với chậm trễ. Các thiết bị được yêu cầu phải có chi phí thấp và có thời lượng pin rất dài.

IMT-2020 (5G) PG nhóm các yêu cầu cấp cao cho 5G thành một số chỉ số hiệu suất và chỉ số hiệu quả. Các chỉ số hiệu suất chính cho 5G bao gồm tốc độ dữ liệu của người dùng, mật độ kết nối, độ trễ đầu cuối, mật độ lưu lượng truy cập, tính di động và tốc độ dữ liệu đỉnh. Định nghĩa của chúng được liệt kê trong Bảng 1-1.

*Bảng 1-1. Các chỉ số đánh giá năng suất của 5G*

<b>Chỉ số đánh giá</b>	<b>Định nghĩa</b>
<b>Tốc độ dữ liệu của người dùng (bps)</b>	Tốc độ bit thấp nhất mà người dùng có thể đạt tới trong điều kiện mạng thật
<b>Mật độ kết nối (/km<sup>2</sup>)</b>	Tổng số thiết bị kết nối trong một vùng không gian
<b>Độ trễ đầu cuối (ms)</b>	Khoảng thời gian giữa việc truyền một gói dữ liệu từ phía phát và nhận thành công ở phía thu
<b>Mật độ lưu lượng truy cập (bps/km<sup>2</sup>)</b>	Tốc độ dữ liệu tổng cộng của tất cả người dùng trong một vùng không gian
<b>Tính di động (km/h)</b>	Tốc độ tương đối giữa bên thu và bên phát trong điều kiện nhất định
<b>Tốc độ dữ liệu đỉnh (bps)</b>	Tốc độ dữ liệu tối đa cho mỗi người dùng

Một số vấn đề được dự đoán nếu hệ thống mạng hiện tại được sử dụng để xử lý sự phát triển bùng nổ của Internet di động và IoT:

- Mức hiệu quả năng lượng, tổng chi phí cho mỗi bit và độ phức tạp của việc triển khai và bảo trì mạng không thể xử lý hiệu quả mức tăng trưởng lưu lượng 1000 lần truy cập và số lượng lớn các thiết bị kết nối trong thập kỷ tới;
- Sự tồn tại của nhiều công nghệ truy cập vô tuyến (RAT) đã khiến sự phức tạp tăng lên và trải nghiệm người dùng bị suy giảm;
- Các mạng hiện tại không thể thực hiện giám sát chính xác tài nguyên mạng và nhận thức hiệu quả các dịch vụ và do đó chúng không thể hoàn thành một cách thông minh yêu cầu đa dạng của người dùng và dịch vụ trong tương lai;
- Phổ tần số phân bố rộng và phân tán sẽ gây nhiễu và phức tạp.

Để giải quyết những vấn đề này, 5G cần có các khả năng sau để đạt được tính bền vững. Về vấn đề xây dựng và triển khai mạng, mạng 5G cần phải:

- Cung cấp dung lượng mạng cao hơn và mức độ phủ sóng tốt hơn, trong khi giảm phức tạp và chi phí triển khai mạng, đặc biệt là việc triển khai mạng siêu cấp.

- Có kiến trúc linh hoạt và có thể mở rộng để thích nghi với nhu cầu đa dạng của người dùng và dịch vụ.
- Sử dụng linh hoạt và hiệu quả các tài nguyên phổ khác nhau, bao gồm cả ghép nối và không ghép nối, phổ tái canh và phổ mới, tần số thấp và dải tần số cao, và băng tần được cấp phép và không có giấy phép.
- Có khả năng kết nối thiết bị mạnh hơn để xử lý các yêu cầu truy cập của một lượng lớn thiết bị IoT.

Về vấn đề hoạt động và bảo trì (O & M), 5G cần:

- Cải thiện hiệu quả năng lượng mạng và chi phí mỗi bit để đối phó với lưu lượng dữ liệu tăng trưởng và nhu cầu đa dạng của các dịch vụ và ứng dụng khác nhau.
- Giảm độ phức tạp do sự tồn tại đồng thời của nhiều công nghệ truy cập vô tuyến, nâng cấp mạng và giới thiệu các tính năng mới và chức năng để cải thiện trải nghiệm của người dùng.
- Tối ưu hóa thông minh dựa trên nhận thức về hành vi và dịch vụ của người dùng nội dung
- Cung cấp một loạt các giải pháp bảo mật mạng để đáp ứng nhu cầu của tất cả các loại thiết bị và dịch vụ của Internet di động và IoT.

Sử dụng phổ, tiêu thụ năng lượng và chi phí là ba yếu tố chính phải được giải quyết trong các mạng truyền thông di động bền vững. Để đạt được tính bền vững, 5G cần cải thiện đáng kể các khía cạnh sau (Bảng 1-2):

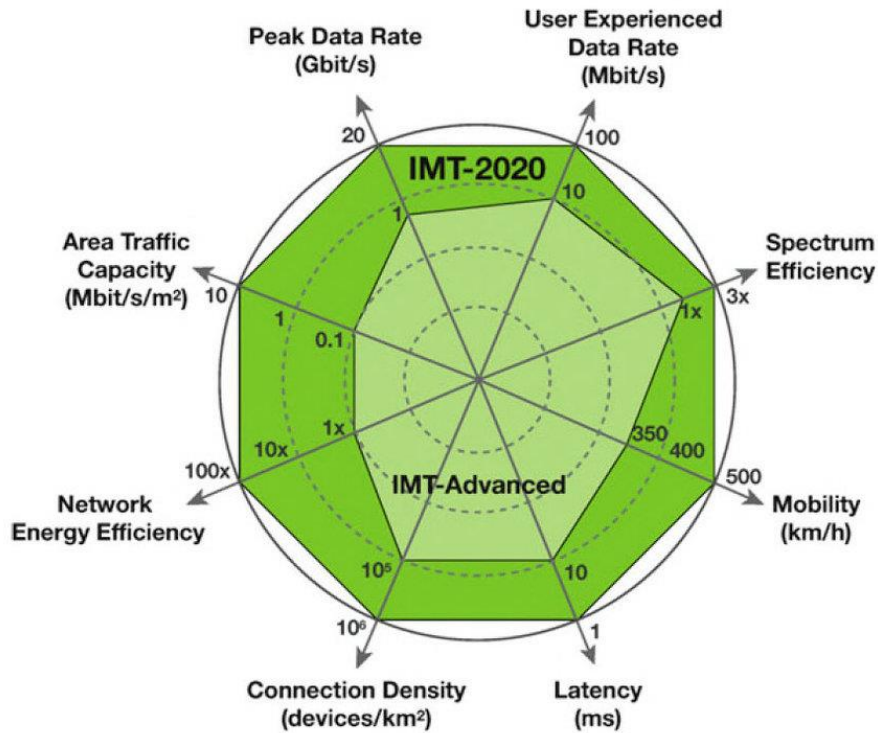
*Bảng 1-2. Các chỉ số hiệu suất chính của 5G*

Chỉ số đánh giá	Định nghĩa
<b>Hiệu suất phổ</b> (bps/Hz/cell or bps/Hz/km <sup>2</sup> )	3-5 lần
<b>Hiệu suất năng lượng (bit/J)</b>	100C lần
<b>Hiệu suất chi phí</b>	100C lần

Các hệ thống 5G phải hoạt động tốt hơn các hệ thống thế hệ trước. 5G nên hỗ trợ

- Tốc độ dữ liệu của trải nghiệm người dùng: 0,1–1 Gbps
- Mật độ kết nối: một triệu kết nối trên mỗi km vuông
- Độ trễ đầu cuối: mili giây
- Mật độ lưu lượng truy cập: hàng chục Gb / km<sup>2</sup>
- Tính di động: cao hơn 500 km / giờ
- Tốc độ dữ liệu đỉnh: hàng chục Gbps

Trong số các yêu cầu này, tốc độ dữ liệu của trải nghiệm người dùng, mật độ kết nối và độ trễ đầu cuối là ba yếu tố cơ bản nhất. Trong khi đó, 5G cần cải thiện đáng kể hiệu quả của việc triển khai và vận hành mạng. So với 4G, 5G nên có 3-5 lần cải thiện hiệu suất phổ và cải thiện hơn 100 lần về năng lượng và hiệu quả chi phí.



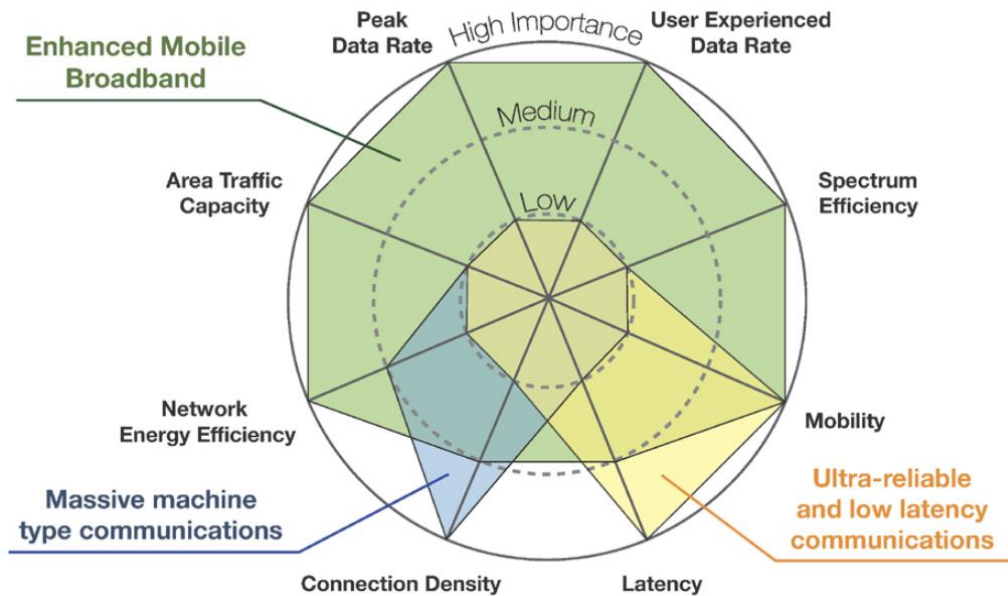
Hình 1-4. Khác biệt từ tiêu chuẩn IMT-Advanced lên IMT-2020 [4]

Các khả năng chính của IMT-2020 được ITU-R xác định được thể hiện trong Hình 1-4, so với IMT-Advanced. Các giá trị yêu cầu cho mỗi khả năng chính được liệt kê trong Bảng 1-3.

Bảng 1-3. Các giá trị yêu cầu cho mỗi khả năng chính trong IMT-2020

Khả năng chính	Giá trị
Tốc độ dữ liệu đỉnh	20 Gbps
Tốc độ dữ liệu người dùng	0.1 ~ 1 Gbps
Độ trễ	1 ms trong không gian
Tính di động	500 km/h
Mật độ kết nối	10 <sup>6</sup> /km <sup>2</sup>
Hiệu suất năng lượng	100 lần so với IMT-Advanced
Hiệu suất phổ	3~5 lần so với IMT-Advanced
Lưu lượng vùng	10 Mbit/s/m <sup>2</sup>

Tất cả các khả năng chính có thể ở một mức độ nào đó là quan trọng đối với hầu hết các trường hợp sử dụng và mức độ liên quan của một số khả năng chính có thể khác nhau đáng kể, tùy thuộc vào trường hợp / kịch bản sử dụng. Tầm quan trọng của mỗi khả năng chính đối với các kịch bản sử dụng tăng cường băng rộng di động, truyền thông độ tin cậy cực thấp và độ trễ thấp và truyền thông kiểu máy theo lượng lớn được minh họa trong Hình 1-5.



Hình 1-5. Vai trò của các khả năng chính trong các ngữ cảnh khác nhau [4]

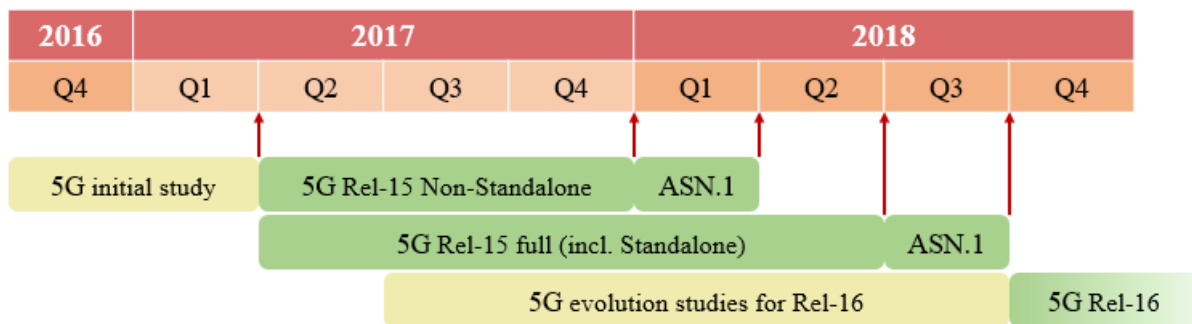
Trong viễn cảnh băng thông rộng di động nâng cao, người dùng có tốc độ dữ liệu, khả năng lưu lượng của khu vực, tốc độ dữ liệu đỉnh, tính di động, hiệu suất năng lượng và hiệu suất phổ đều có tầm quan trọng cao, nhưng tính di động và tốc độ dữ liệu của người dùng sẽ không có tầm quan trọng ngang nhau trong mọi trường hợp. Ví dụ, các điểm truy cập cá nhân sẽ đòi hỏi tốc độ dữ liệu của người dùng cao hơn, nhưng tính di động thấp hơn so với trường hợp vùng phủ sóng rộng.

Trong các trường hợp giao tiếp độ trễ cực thấp và đáng tin cậy, độ trễ thấp có tầm quan trọng cao nhất, ví dụ: các ứng dụng khẩn cấp về an toàn. Khả năng đó cũng sẽ được yêu cầu trong một số trường hợp di động cao, ví dụ, an toàn giao thông, trong khi tốc độ dữ liệu cao có thể ít quan trọng hơn.

Trong kịch bản giao tiếp kiểu máy số lượng lớn, mật độ kết nối cao là cần thiết để hỗ trợ một số lượng lớn các thiết bị trong mạng có thể truyền chỉ thỉnh thoảng, ở tốc độ bit thấp và với không hoặc rất thấp tính di động. Một thiết bị chi phí thấp với tuổi thọ hoạt động lâu dài là rất quan trọng cho kịch bản sử dụng này.

### 1.3. Vài nét về chuẩn 5G mới nhất của 3GPP Release 15

5G bắt đầu được định hình bởi 3GPP trong Release 14, vào tháng 3 năm 2017, với nghiên cứu về những vấn đề và đòi hỏi then chốt. Bộ tiêu chuẩn kỹ thuật từ 3GPP sẽ được phát triển qua các bước sau (Hình 1-6):



Hình 1-6. Các giai đoạn phát triển bộ tiêu chuẩn kỹ thuật của 3GPP về 5G [5]

- Non-Stand-Alone (NSA): 3GPP quyết định phát triển một bộ tiêu chuẩn “không độc lập” trong Release 15 với mục tiêu đưa 5G tới với thị trường sớm hơn. Bộ tiêu chuẩn này đã được hoàn thiện vào tháng 12 năm 2017. Mục đích của NSA là nêu ra những nâng cấp chỉ liên quan tới hạ tầng vô tuyến. Phần vô tuyến của 5G sẽ kết hợp với mạng lõi của 4G và được chờ đợi sẽ cũng cấp những điểm phủ sóng nhỏ hỗ trợ cho mạng 4G như là một mạng che phủ. Mô hình này còn được gọi là kết nối kép E-UTRA-NR (EN-DC).

- Giai đoạn 1: Giai đoạn đầu tiên của bộ tiêu chuẩn 5G hoàn thiện sẽ bao trùm hạ tầng vô tuyến, mạng lõi, bảo mật và tất cả những tiêu chuẩn liên quan. Giai đoạn này sẽ tập trung vào mảng Băng rộng di động nâng cao (eMBB) như ITU đã đề ra. Bộ tiêu chuẩn này đã hoàn thiện vào tháng 6 năm 2018.

- Giai đoạn 2: Phần còn lại của bộ tiêu chuẩn kỹ thuật cho Truyền thông kiểu máy số lượng lớn (mMTC) và Truyền thông độ trễ thấp và cực đáng tin cậy (URLLC) sẽ sẵn sàng trong giai đoạn 2 này. Bộ tiêu chuẩn được chờ đợi sẽ hoàn thiện vào tháng 12 năm 2019.

Sự khác nhau về tiêu chuẩn vô tuyến giữa LTE và NR được liệt kê trong Bảng 1-4. Trong phạm vi của luận văn này, chỉ những thay đổi của NR có liên quan đến mục tiêu nghiên cứu của luận văn sẽ được đưa ra trình bày.

Bảng 1-4. Sự khác nhau về các thông số vô tuyến giữa LTE và 5G NR

Thông số	LTE	NR
<b>Khoảng cách sóng mang con</b>	15 kHz	Tần số dưới 6 GHz { 15 kHz, 30 kHz, 60 kHz } Tần số trên 6 GHz { 60 kHz, 120 kHz, 240* kHz }
<b>Băng thông kênh nhỏ nhất / lớn nhất</b>	1.4 MHz / 20 MHz	Tần số dưới 6 GHz 5 MHz / 100 MHz Tần số trên 6 GHz 50 MHz / 400 MHz
<b>Số lượng kết tập sóng mang lớn nhất</b>	Lên đến 32 sóng mang thành phần	Lên đến 16 sóng mang thành phần

<b>Cấu trúc khung</b>	1 khung vô tuyến = 10 ms 1 khung phụ = 1 ms 1 khe thời gian = 0.5 ms  Định dạng khe thời gian được định nghĩa sẵn trong bộ tiêu chuẩn kỹ thuật	1 khung vô tuyến = 10 ms 1 khung phụ = 1 ms 1 khe thời gian = {1 ms, 0.5 ms, 0.25 ms, 0.125 ms} tùy thuộc vào khoảng cách sóng mang con Định dạng khe thời gian: cấu hình tự động hoặc bán tĩnh
<b>Mã hóa kênh</b>	Turbo coding (cho dữ liệu) TBCC (cho điều khiển)	LDPC (cho dữ liệu) Polar (cho điều khiển)
<b>Công nghệ ghép kênh</b>	Đường xuống: OFDM Đường lên: DFT-S-OFDM	Đường lên: OFDM Đường xuống: {OFDM, DFT-S-OFDM}
<b>MIMO</b>	8 cổng anten cho SU-MIMO 2 cổng anten cho MU-MIMO	8 cổng anten cho SU-MIMO 16 cổng anten cho MU-MIMO Beamforming
<b>HARQ</b>	Dựa trên truyền phát và phát lại khối vận chuyển	Dựa trên truyền phát và phát lại khối vận chuyển Dựa trên truyền phát và phát lại nhóm khối mã
<b>Tần số sóng mang</b>	450 MHz đến 3.8 GHz Băng tần không phép (5 GHz)	600 MHz đến 40 GHz

### 1.3.1. Tần số Numerology và cấu trúc khung

Với các trường hợp sử dụng rộng rãi được lên kế hoạch cho 5G NR, một thiết kế lớp vật lý có thể mở rộng và linh hoạt là bắt buộc đối với mỗi trường hợp. Các numerology khác nhau, tương ứng là cấu trúc khung linh hoạt đều được hỗ trợ.

#### Numerology

Ý tưởng chính của OFDM là chia một kênh rộng thành các sóng mang con hẹp, trực giao với nhau. Một tập hợp các tham số xác định cách phân chia này được thực hiện và từ đó thiết kế nên hệ thống OFDM, đó là khoảng cách sóng mang con (SCS), độ dài ký tự, tiền tố cyclic (CP) và khoảng thời gian truyền (TTI). Một numerology được định nghĩa là một cấu hình cố định cho tập hợp các tham số này.

*Khoảng cách sóng mang con (SCS):* sự cân bằng giữa độ dài ký tự (giá trị SCS càng thấp, độ dài ký tự càng lớn) và chi phí cho CP (SCS càng cao thì chi phí cho CP càng lớn). Nó được đề xuất một giá trị tương đối, ứng với  $\Delta f \times 2^\mu$ . Điều này là để đạt được hiệu quả ghép kênh cao giữa các numerology khác nhau. Khoảng cách sóng mang con thay đổi theo tần số của băng tần hoạt động và / hoặc tốc độ tối đa của người dùng để giảm thiểu tác động của sự hiệu ứng Doppler và nhiễu pha.

*Độ dài tiền tố cyclic*: một sự cân bằng giữa chi phí cho CP và khả năng khử ISI. Nó phải được xác định dựa trên từng ngữ cảnh triển khai (ví dụ: ngoài trời hay trong nhà) và dải tần số, loại dịch vụ (ví dụ: unicast hay broadcast) hoặc được xác định bằng việc công nghệ truyền phát định hướng dùng búp sóng có được sử dụng hay không.

*Số ký tự trên một TTI*: sự cân bằng giữa độ trễ (số lượng ký tự càng thấp, độ trễ càng tốt) và hiệu suất phổ (số lượng ký tự càng thấp thì chi phí cho kênh điều khiển càng cao, đồng nghĩa với hiệu suất phổ càng thấp). Nó được đề xuất một giá trị tương đối, ứng với  $2^M$  ký tự cho mỗi TTI. Điều này là để đảm bảo có thể thu nhỏ TTI một cách linh hoạt cho URLLC từ  $2^M$  ký tự đến 1 ký tự.

Đối với 5G NR, 5 numerology khác nhau được định nghĩa, với một numerology tương ứng với một khoảng cách sóng mang con trong miền tần số, cho phép khoảng cách sóng mang con có thể mở rộng từ 15 kHz đến 240 kHz (Bảng 1-5). Một khe thời gian bao gồm 14 ký tự OFDM cho tất cả các SCS khác nhau. Đối với băng tần sub-6GHz, các khối tín hiệu đồng bộ (SSB – Synchronization Signal Block) có thể sử dụng khoảng cách 15 hoặc 30 kHz, trong khi truyền dữ liệu khoảng cách 15, 30 và 60 kHz có thể được sử dụng. Còn đối với mmWave, có thể sử dụng khoảng cách 120 hoặc 240 kHz cho SSB, trong khi truyền dữ liệu khoảng cách 60 và 120 kHz có thể được sử dụng.

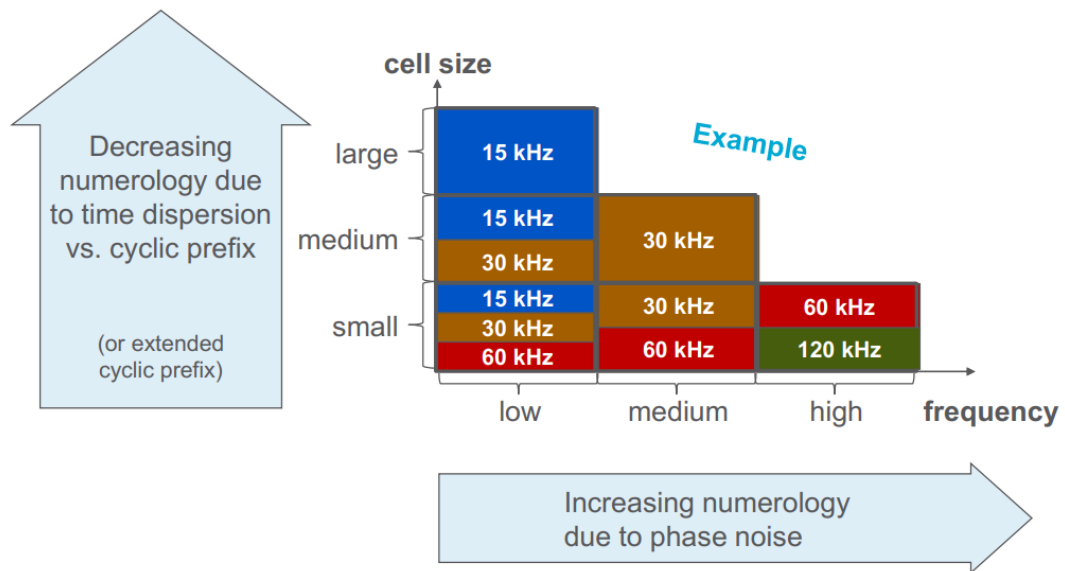
*Bảng 1-5. Các numerology trong 5G*

$\mu$	$f_{sc} = 15 \times 2^\mu$	Độ dài tiền tố cyclic	Cấu hình khe thời gian		
			$N_{slot}^{symb}$	$N_{slot}^{frame}$	$N_{slot}^{subframe}$
0	15	Normal	14	10	1
1	30	Normal	14	20	2
2	60	Normal, Extended	14, 12	40	4
3	120	Normal	14	80	8
4	240	Normal	14	160	16

Việc ghép các numerology khác nhau trong cùng một băng thông của sóng mang (nhìn từ phía nhà mạng) được hỗ trợ theo cách thức TDM và / hoặc FDM cho cả đường xuống và đường lên. Trong khi nhìn từ phía thiết bị, việc ghép các numerology khác nhau được thực hiện theo cách thức TDM và / hoặc FDM trong / trên một khoảng thời gian của khung phụ.

Các numerology khác nhau được áp dụng cho các hướng triển khai khác nhau của 5G và sẽ cho hiệu suất khác nhau. Ví dụ, khoảng cách sóng mang con càng thấp, kích thước cell sẽ càng lớn, điều này phù hợp với việc triển khai tần số thấp hơn. Trong khi đó, khoảng cách sóng mang con lớn hơn sẽ cho phép độ trễ tốt hơn vì độ dài ký tự sẽ ngắn hơn.

Mối quan hệ của các khía cạnh khác nhau này có thể được thể hiện trong Hình 1-7 dưới đây, đồng thời chỉ ra numerology nào có thể sử dụng trong bối cảnh nào.

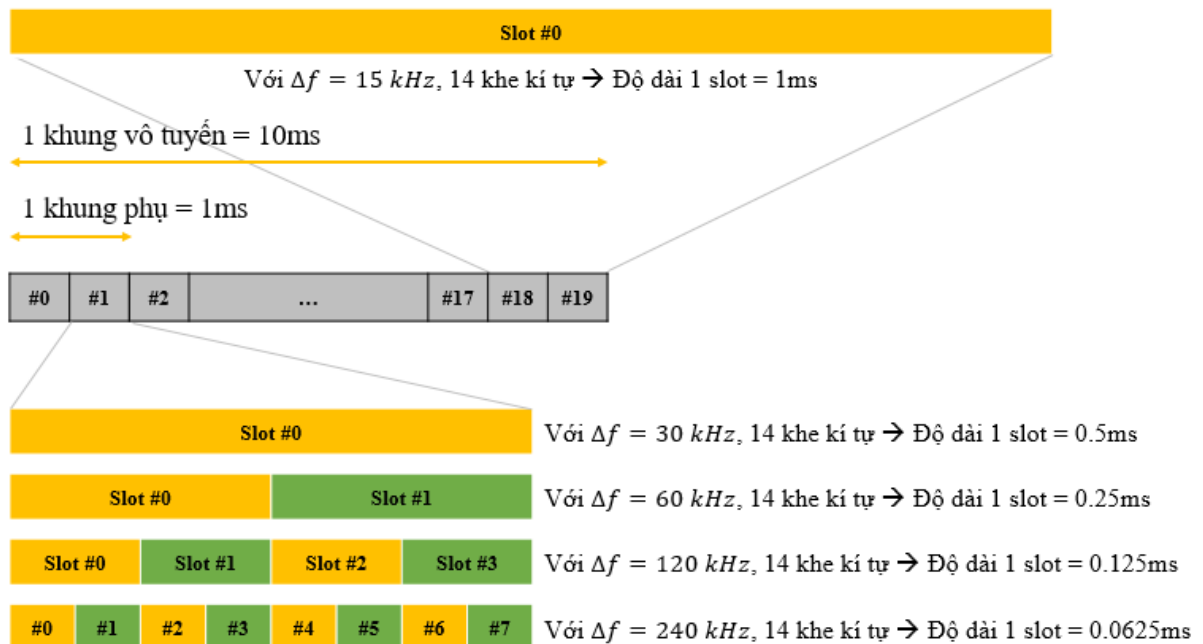


Hình 1-7. Mối quan hệ giữa numerology và độ lớn cell, tần số và độ trễ [6]

### Cấu trúc khung

Bất kể numerology nào được sử dụng, độ dài của một khung vô tuyến được cố định là 10ms và chiều dài của 1 khung phụ được cố định là 1ms, được sử dụng làm đơn vị thời gian cho cấu trúc lớp vật lý.

Các numerology khác nhau sau đó sẽ được dịch theo số khe thời gian trên mỗi khung phụ. Khoảng cách sóng mang con càng cao, số lượng khe thời gian trên mỗi khung phụ càng cao (Hình 1-8).

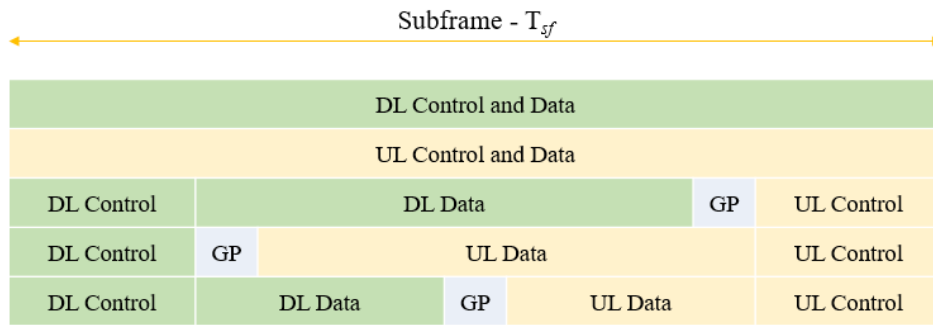


Hình 1-8. Cấu trúc khung trong 5G với các numerology khác nhau

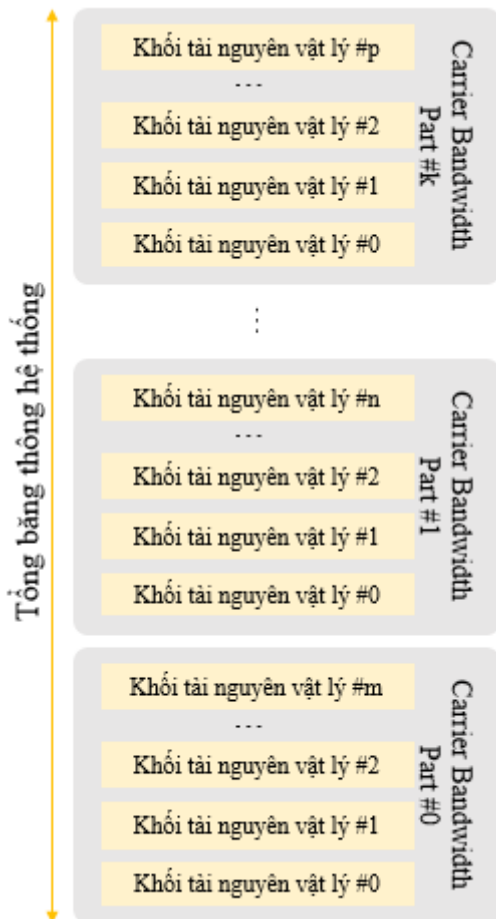


2 cấu hình khe thời gian được định nghĩa, cấu hình số 0, chứa 14 ký tự OFDM và có thể áp dụng cho tất cả numerology, và cấu hình số 1, chứa 7 ký tự OFDM chỉ áp dụng cho SCS nhỏ hơn hoặc bằng 60 kHz.

Đối với cấu trúc, bất kỳ khe thời gian nào, ngoại trừ khe thời gian mang SSB, có thể tất cả là đường xuống, tất cả là đường lên hoặc một phần đường xuống và một phần đường lên. Điều này cho phép việc tùy chọn một khung phụ tích hợp nhiều kiểu dữ liệu như lập lịch, dữ liệu thực và xác nhận.



Hình 1-9. Cấu trúc khung tùy biến



Hình 1-10. Khái niệm Carrier Bandwidth Part

Kết tập khe thời gian được hỗ trợ, tức là, việc truyền dữ liệu có thể được lên lịch để kéo dài trên một hoặc nhiều khe thời gian và việc chuyển đổi định dạng khe thời gian được báo hiệu vật lý thông qua một khoảng bảo vệ trên một băng tần hẹp (Hình 1-9).

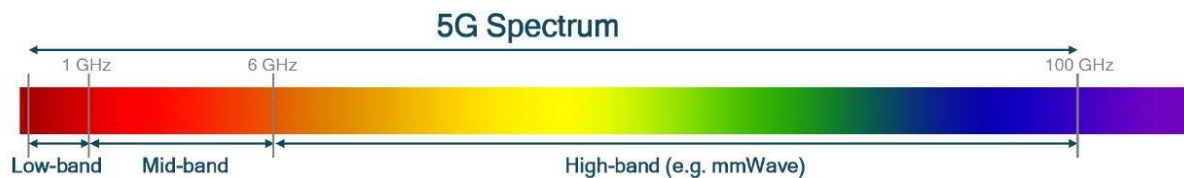
Một số khái niệm mới được thêm vào định nghĩa cấu trúc khung để làm việc với các numerology khác nhau và băng thông cực rộng trong 5G NR, đặc biệt là khái niệm Carrier Bandwidth Part (CBP), cho phép phối hợp các numerology khác nhau trên cùng một dải băng thông của nhà mạng. Điều này cũng cho phép thiết bị sử dụng băng thông một cách thích ứng để tiết kiệm năng lượng. CBP được định nghĩa là một tập các khối tài nguyên vật lý liên tiếp được chọn từ một tập hợp con liền kề của các khối tài nguyên chung cho một numerology đã chọn trên một sóng mang đã chọn.

Một thiết bị di động có thể được cấu hình với tối đa bốn phần băng thông của nhà cung cấp dịch vụ nhưng chỉ một phần băng thông của nhà cung cấp hoạt động tại một thời điểm nhất định

Khối tài nguyên của nhà cung cấp dịch vụ (CRB) được đánh số từ 0 đến Max-1 RB của nhà cung cấp dịch vụ trong khi Khối tài nguyên vật lý PRB được xác định trong phần BW của nhà cung cấp dịch vụ như được minh họa trong Hình 1-10.

### 1.3.2. Sóng cực ngắn mmWave

Nhu cầu ngày càng tăng trên toàn cầu về dịch vụ di động băng thông rộng nâng cao đang thúc đẩy nhu cầu tiếp cận với nhiều phổ tần số hơn. Tần số là mạch máu của kết nối di động - khả năng tiếp cận với phổ tần rộng hơn sẽ tăng khả năng của mạng, có nghĩa là tốc độ dữ liệu nhanh hơn và trải nghiệm người dùng tốt hơn. Một cơ hội chính 5G sẽ mang lại là sử dụng các băng tần mới cao hơn không phù hợp với truyền thông di động trước đây. 5G NR không chỉ được thiết kế cho các băng tần dưới 3 GHz, nơi hầu hết các liên lạc di động hiện tại sử dụng, mà còn cung cấp một thiết kế thống nhất sử dụng dải tần trung bình, chẳng hạn như 3,3 đến 6 GHz, cũng như các dải cao trên 24 GHz, được gọi là mmWave (Hình 1-11).



Hình 1-11. Dải tần trải rộng trong 5G (Nguồn: rcrwireless.com)

Mặc dù các băng tần cao trên 24 GHz đã được sử dụng trong một thời gian dài trong các giao tiếp không dây được thiết kế kỹ lưỡng theo kiểu cố định “nhìn thấy được” (fixed line-of-sight) cho các mạng hạ tầng không dây và vệ tinh, mmWave là một biên giới mới cho thiết bị di động. Cho đến nay, các mạng di động chỉ được triển khai ở các phổ tần dưới 3 GHz vì tần số cao hơn, đặc biệt là các băng mmWave, không hiệu quả khi ứng dụng vào di động băng rộng do mất khả năng truyền lan rộng và dễ bị tắc nghẽn.

Đề tận dụng mmWave đòi hỏi một thiết kế hệ thống 5G NR mới để vượt qua những thách thức mạnh mẽ này. Những cải tiến triệt để về khả năng tính toán, cũng như khả năng tích hợp số lượng lớn các phần tử ăng-ten và chuỗi RF thành các RFIC phân đoạn theo mảng một cách hiệu quả về chi phí tạo ra điều kiện thuận lợi cho việc tích hợp những cải tiến của 5G lên thiết bị di động, bao gồm cả điện thoại thông minh.

Như cái tên của nó, với mmWave, các bước sóng nhỏ ở các tần số cao hiện thực hóa việc sử dụng nhiều phần tử ăng ten trong một hình dạng tương đối nhỏ. Đặc tính này của mmWave sẽ được ứng dụng trong hệ thống 5G NR khi các mảng ăng-ten MIMO lớn được sử dụng để tạo ra các chùm tia định hướng cao tập trung, có khả năng truyền sóng với năng lượng cao hơn để vượt qua các thách thức lan truyền và mất mát trên cả đường lên và đường xuống. Những chùm tia định hướng này cũng có thể được tái sử dụng trong không gian.

Một bài học chính được rút ra từ các mô phỏng, các phép đo kênh và kiểm tra thực địa khi triển khai mmWave là có thể thu được các tín hiệu phản xạ, hay chính là các tín hiệu không truyền theo kiểu “nhìn thấy được” (non-line-of-sight), và sử dụng chúng để hỗ trợ cho các tín hiệu truyền theo line-of-sight để tăng dung lượng kênh. Do đó, có thể sử dụng tín hiệu phản xạ để duy trì liên kết tới thiết bị di động ngay cả khi nó di chuyển hoàn toàn ra khỏi tầm nhìn thấy của trạm phát. Đây là một lý do mmWave có vai trò rất quan trọng cho phát triển băng rộng di động 5G.

Hệ thống mmWave của 5G NR cũng phải thích ứng nhanh với các điều kiện kênh thay đổi nhanh chóng. Ở tần số mmWave, thậm chí các biến thể nhỏ trong môi trường, chẳng hạn như xoay đầu, chuyển động của bàn tay, hoặc xe đi qua, cũng có thể thay đổi kênh và hiệu suất tác động. Hệ thống mmWave trong 5G NR sẽ sử dụng các kỹ thuật chuyển hướng và chuyển mạch chùm tia nhanh để phát hiện và chuyển nhanh kết nối sang chùm tia tốt hơn, cả trong và ngoài các điểm truy cập.

Vì mmWave sẽ phủ sóng trong nhà / ngoài trời cục bộ hơn khi so sánh với dải tần dưới 6 GHz, hệ thống mmWave cũng cần phải tích hợp chặt chẽ với băng tần dưới 6 GHz để đảm bảo phạm vi phủ sóng rộng và trải nghiệm người dùng liền mạch. Mạng 5G NR sẽ đảm bảo việc tích hợp chặt chẽ này thông qua kết nối kép, nơi các thiết bị đồng thời kết nối với cả băng tần dưới 6 GHz cho vùng phủ sóng mở rộng và dải mmWave để tăng băng thông và tăng dung lượng. Ngay cả trong phạm vi phủ sóng 5G NR mmWave, các thiết bị sẽ đồng thời kết nối với tần số dưới 6 GHz (với công nghệ 5G NR hoặc 4G LTE) để cung cấp khả năng nhận dạng và truy cập hệ thống nhanh hơn và mạnh mẽ hơn tại các lỗ hổng của vùng phủ. Trạm gốc (thường là trạm macro 4G LTE hoặc trạm 5G NR sub-6 GHz) cung cấp vùng phủ sóng và xử lý các thủ tục kiểm soát để nhận dạng kênh, tìm gọi và quản lý tính di động, trong khi một trạm tăng cường mmWave sẽ cung cấp các dịch vụ cục bộ có dung lượng lớn.

### 1.3.3. Massive MIMO và Truyền sóng dạng búp Beamforming

MIMO là viết tắt của multiple input, multiple output. MIMO tăng số lượng anten trên thiết bị. Ví dụ, một đài phát thanh sử dụng MIMO  $2 \times 2$  sẽ có hai anten được sử dụng cho cả truyền và nhận. Điều tương tự cũng xảy ra với MIMO  $4 \times 4$  và  $8 \times 8$ . MIMO cải thiện hiệu suất phổ bằng cách tạo ra nhiều đường truyền nhận giữa trạm gốc và thiết bị đầu cuối. Bản thân MIMO không có gì mới. Cả mạng Wi-Fi và LTE đều sử dụng anten MIMO. Hầu hết các trạm của LTE là một trong hai loại  $2 \times 2$  hoặc  $4 \times 4$ . Một số nhà mạng đã tiến thêm một bước nữa bằng cách triển khai MIMO  $8 \times 8$  trong băng tần TDD. Massive MIMO không có một ý nghĩa cụ thể nào khác ngoài việc có nhiều anten hơn so với những gì hiện đang được sử dụng trong các mạng di động.

Việc sử dụng nhiều anten, kết hợp với tính chất tự nhiên của sóng, khi tần số cao như mmWave được sử dụng, sóng phát ra sẽ được định hình dạng búp (beamforming) và có thể hướng tới mục tiêu cố định. Beamforming sử dụng nhiều anten để điều khiển hướng của một mặt sóng bằng cách cân đối độ lớn và pha của tín hiệu trên

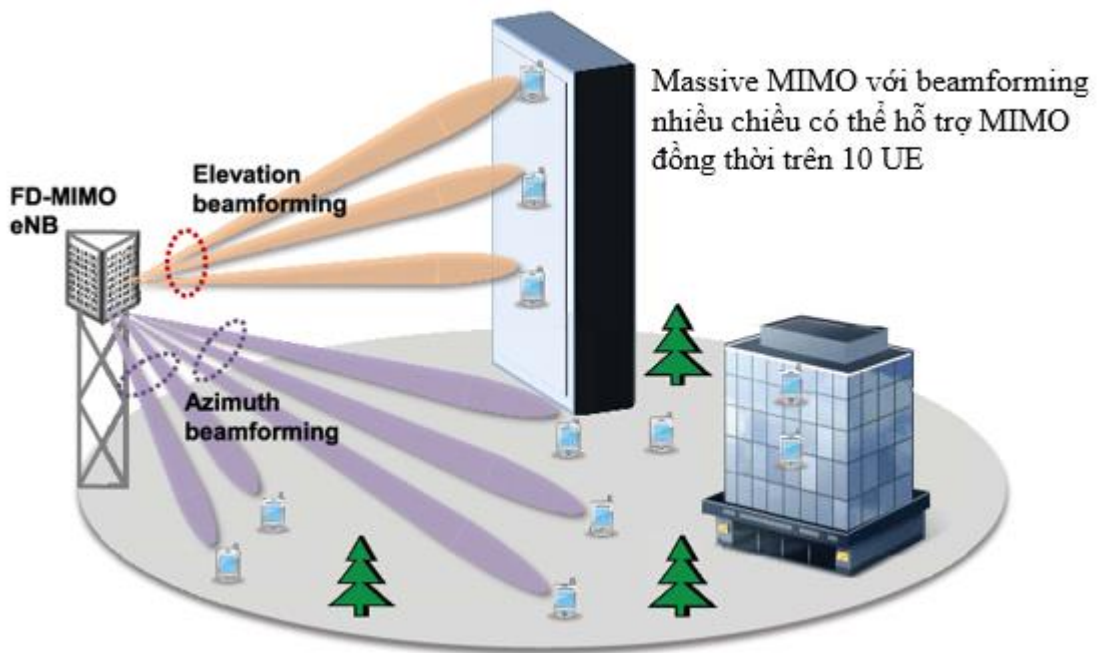
từng ăng-ten riêng lẻ (truyền chùm tia). Điều này khiến nó có thể cung cấp độ phủ tốt hơn cho các khu vực cụ thể nằm ở rìa các cell. Bởi vì mỗi anten đơn trong mảng đóng góp cường độ cho tín hiệu định hướng, tạo nên độ lợi mảng (hay còn gọi là độ lợi của beamforming). Beamforming cũng có thể ngăn chặn một vài tín hiệu nhiễu bằng cách áp dụng một mẫu tia rỗng (null beam-pattern) theo hướng của tín hiệu nhiễu. Thách thức của beamforming là kỹ thuật liên tục áp dụng beamforming cho một máy thu di chuyển, có thể giữ kết nối ngay cả với tốc độ vài trăm km/h. Điều này đòi hỏi một bộ xử lý tín hiệu nhanh chóng và các thuật toán mạnh mẽ mà chỉ 5G mới có thể đáp ứng được.

Với Massive MIMO dựa trên beamforming, tín hiệu vô tuyến được tập trung theo nhu cầu đến các khu vực có các thiết bị đầu cuối cụ thể. Nó cải thiện hiệu suất phổ chủ yếu bởi vì các beamforming trong 5G tiên tiến hơn thế hệ mạng trước, giúp tạo ra độ chính xác tín hiệu lớn hơn, trong đó có cả chất lượng cuộc gọi tốt hơn ở rìa cell. Về cơ bản, khác biệt của Massive MIMO đến từ việc nhà cung cấp dịch vụ có thể tăng dung lượng mạng mà không cần sử dụng tới các trạm phát lặp lại hay trạm gốc bổ sung. Dưới đây tổng kết 2 lợi ích lớn nhất mà Massive MIMO mang lại.

- Cải thiện hiệu suất quang phổ và dung lượng mạng cho thông lượng cao hơn. Hệ thống gửi và nhận nhiều tín hiệu dữ liệu trên cùng một kênh radio, làm tăng hiệu suất quang phổ trên mỗi ô và số lượng người dùng có thể được phục vụ cùng một lúc. Điều này làm tăng thông lượng tế bào đỉnh và trung bình hiệu quả hơn so với các kỹ thuật khác, chẳng hạn như phổ mới hoặc các trang bổ sung.

- Tín hiệu mạnh hơn và giảm nhiễu cho độ phủ sóng tốt hơn. Beamforming cung cấp chùm chính xác và hẹp thông qua mục tiêu của tín hiệu, làm giảm nhiễu và cải thiện chất lượng tín hiệu, đặc biệt là ở cạnh tế bào. Beamforming cho phép mở rộng phạm vi của tế bào so với ăng-ten truyền thống. Điều này đặc biệt đúng đối với tần số cao hơn, nơi chùm tia bù đắp cho tổn thất đường dẫn cao hơn.

LTE Advanced Pro và 5G là hai nền tảng lớn nhất thúc đẩy sự quan tâm đến việc sử dụng Massive MIMO. Trong các thị trường với công nghệ LTE-Advanced với nhu cầu rất lớn về sử dụng dữ liệu, các nhà khai thác cần thêm dung lượng và, như được nêu trong phần lợi ích, Massive MIMO là một trong những cách hiệu quả nhất để thực hiện điều này. Các khu vực triển khai chính là các điểm nóng giao thông đô thị dày đặc và các tòa nhà cao tầng, nơi chùm tia có thể tiếp cận tốt hơn với người dùng bằng cách áp dụng Full dimension MIMO (Hình 1-12). Ngoài ra, việc nâng cấp hệ thống mạng sử dụng Massive MIMO sẽ giúp các nhà khai thác di động có một hạ tầng mạng sẵn sàng đón 5G.



Hình 1-12. Mô hình Massive MIMO với 3D beamforming (FD-MIMO) [14]

Massive MIMO là một trong những nền tảng chính cho 5G, cùng với băng thông kênh lớn hơn, truy cập vào các dải tần mới mmWave và mạng lát cắt. Đối với các băng mmWave được sử dụng trong 5G, Massive MIMO là một thành phần quan trọng để cho phép phủ sóng tín hiệu rộng hơn. Massive MIMO sẽ giúp cải thiện cả độ phủ và dung lượng của mạng 5G.

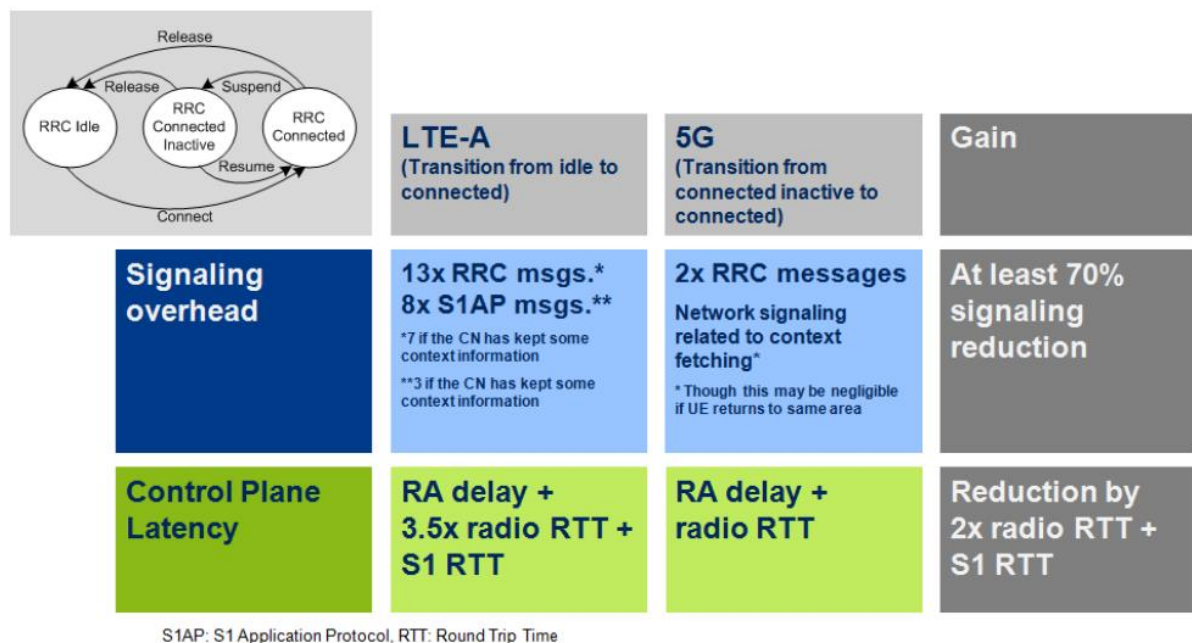
#### 1.3.4. Trạng thái RRC-Inactive

Với xu hướng hướng tới Internet of Things (IoT) và mMTC, 5G được chờ đợi sẽ phục vụ được một số lượng khổng lồ thiết bị đầu cuối được trang bị pin (ví dụ: cảm biến, thẻ hành lý, v.v.). Do đó, hiệu suất và tuổi thọ pin sẽ rất cần thiết, đặc biệt đối với những thiết bị có khả năng truy cập hạn chế (ví dụ: các địa điểm ở xa, các khu vực hạn chế). Đồng thời, yêu cầu truyền gói tin đầu tiên nhanh (hoặc DL hoặc UL) dự kiến sẽ nghiêm ngặt hơn trong 5G so với các thế hệ di động trước đó. Sự cân bằng giữa hiệu suất năng lượng thiết bị và khả năng tiếp cận nhanh này thường được gọi là "Vấn đề ngủ của UE".

Một trạng thái RRC mới, bổ sung cho hai trạng thái hiện tại của LTE là RRC-Idle và RRC-Connected, được giới thiệu để giải quyết vấn đề này. Trạng thái mới này được gọi là RRC-Inactive. Nó cho phép UE hưởng lợi từ một số khía cạnh của hai trạng thái ban đầu. Trạng thái mới này khai phá nguyên tắc không loại bỏ thông tin trao đổi trước đó của các UE không hoạt động, để các UE ở trạng thái RRC-Inactive giữ một phần của bối cảnh mạng truy nhập. Điều này là hợp lệ ít nhất cho các thông tin bán tĩnh như bối cảnh bảo mật, thông tin khả năng của UE, v.v. Ngoài việc lưu trữ ngữ cảnh RAN, số lượng tín hiệu sẽ giảm xuống bằng cách cho phép UE di chuyển trong vùng được cấu hình trước mà không cần thông báo cho mạng. Trạng thái này cũng có thể được cấu hình nâng cao với việc sử dụng nhiều chu kỳ tiếp nhận không liên tục (DRX) với độ dài linh

hoạt từ mili giây đến vài giờ và việc tối ưu hóa dựa trên dịch vụ phù hợp liên quan đến phương pháp thực hiện chuyển trạng thái sang RRC-Connected. Ngoài ra, gNB có thể duy trì giao diện CN / RAN (NG-C và NG-U), để tiếp tục làm giảm độ trễ. Kể từ khi UE thực hiện kết nối lại với mạng, hay từ RRC-Inactive đến RRC-Connected, giả định rằng bối cảnh UE cũ có thể được tái sử dụng, bất kỳ cell nào mà UE đã chọn đều phải có khả năng truy xuất ngữ cảnh từ cell cũ. Nếu việc tìm nạp ngữ cảnh không thành công, mạng có thể hướng dẫn UE thực hiện một thiết lập kết nối RRC tương tự như thiết lập từ RRC-Idle. Lợi ích về hiệu suất là giảm chi phí về giao thức (về số lượng các thông điệp RRC trao đổi trong quá trình chuyển đổi trạng thái) và giảm độ trễ của mặt phẳng điều khiển.

Hình 1-13 cho thấy ba trạng thái đề xuất và quá trình chuyển đổi trạng thái cũng như các lợi ích ước tính.



Hình 1-13. Trạng thái RRC-Inactive mới và lợi ích đạt được [15]



## Chương 2 MẠNG MẬT ĐỘ SIÊU CAO TRONG 5G

Yêu cầu về kỹ thuật của mạng truyền thông đã trở thành một vấn đề quan trọng. Đến năm 2020, lưu lượng truy cập di động toàn cầu sẽ tăng gấp khoảng 1.000 lần so với năm 2010. Theo lịch sử của 4G và các thế hệ trước, thế hệ tiếp theo của mạng di động, tức là 5G vào năm 2020 và xa hơn nữa, sẽ đạt 20 Gbps, gấp 10 lần so với tốc độ dữ liệu cao nhất của 4G. Nghiên cứu gần đây về các đòi hỏi của 5G cho thấy mật độ lưu lượng ở khu vực thành phố đông đúc hoặc tại các khu vực tập trung sẽ đạt 10 Tbps/km<sup>2</sup>. Ngoài ra, các yêu cầu khác như độ trễ thấp hơn, hiệu suất quang phổ cao hơn và hiệu suất năng lượng cũng được đề cập.

Thường có ba cách để cải thiện thông lượng trong hệ thống không dây: (1) nâng cao hiệu suất phổ thông qua các công nghệ mã hóa và điều chế mới; (2) tăng băng thông phổ tần; (3) tách cell để cải thiện mật độ tái sử dụng phổ. Đến năm 2008, dung lượng vô tuyến đã tăng lên 1 triệu lần so với năm 1957. Trong số này, 25 lần cải tiến đến từ phổ tần rộng hơn, 25 lần cải tiến được đóng góp bởi việc nâng cấp thiết kế giao diện vô tuyến và 1600 lần cải tiến là do giảm kích thước cell và khoảng cách truyền. Từ quan điểm phát triển kỹ thuật, tiềm năng lợi ích xuất phát từ sự nâng cấp các phương pháp điều chế và công nghệ đa ăng-ten đang tiến tới giới hạn trên. Trong LTE-Advanced, hiệu suất phổ đỉnh lý thuyết đã đạt tới 30 bps/Hz thông qua ghép kênh không gian 8 lớp. Giá trị này gần như đạt đến mức tối đa của các công nghệ truyền dẫn không dây điển hình. Thứ hai, tài nguyên phổ luôn bị hạn chế. Sự phát triển liên tục của các dịch vụ vô tuyến như vệ tinh, phát thanh truyền hình, và thiết bị đầu cuối di động khiến phổ tần số trở thành tài nguyên khan hiếm. Đó là một thách thức lớn để xác định và phân bổ đủ nguồn tài nguyên phổ cho các hệ thống viễn thông di động toàn cầu.

Các phân tích trên cho thấy, sẽ rất khó để đáp ứng yêu cầu dung lượng của 5G thông qua việc tăng hiệu suất phổ và phân bổ các phổ tần khác. Vì vậy, chúng ta có thể kết luận rằng, việc tăng mật độ điểm truy cập không dây với phạm vi phủ sóng nhỏ hơn là cách hiệu quả nhất để cải thiện dung lượng hệ thống, đặc biệt là trong các khu vực đông đúc. Trong báo cáo M.2320 của ITU-R, khái niệm mạng mật độ siêu cao được đề xuất làm một trong những xu hướng công nghệ để đáp ứng các yêu cầu thông lượng cao của 5G. Và METIS cũng lấy mạng mật độ siêu cao là một trong những chủ đề quan trọng nhất đối với hệ thống di động cho năm 2020 và xa hơn nữa. Các kịch bản điển hình của UDN bao gồm: tòa văn phòng, khu căn hộ, các điểm truy cập công cộng ngoài trời, sân vận động, tàu điện ngầm và ga đường sắt. Các yêu cầu chung trong các kịch bản này là số lượng lớn các kết nối, lưu lượng mạng mật độ cao nhưng vẫn cần đảm bảo tốc độ dữ liệu cao. Để đáp ứng các yêu cầu này, điểm truy cập cần được triển khai dày đặc, với khoảng cách tối thiểu giữa các vùng phủ chỉ là hàng chục mét hoặc thấp hơn, tức là một hoặc nhiều điểm truy cập cho mỗi phòng của tòa nhà hay một điểm truy cập trên mỗi cột đèn đường.

## 2.1. Khái niệm mạng mật độ siêu cao (UDN)

Dự kiến đến năm 2020, hạ tầng mạng sẽ cần phải cung cấp 1GB dữ liệu cá nhân cho mỗi người dùng mỗi ngày. Hơn nữa, lưu lượng mạng vào năm 2020 được dự đoán là lớn hơn tới 1000 lần so với năm 2010; đồng thời các dịch vụ với tốc độ người dùng cuối lên tới 100 Mbps sẽ cần được hỗ trợ. Để có thể phục vụ nhu cầu như vậy, hệ thống mạng trong tương lai sẽ cần phải rất dày đặc và nhiều lớp.

Sự khác biệt chính giữa UDN và mạng di động truyền thống nằm ở mật độ điểm truy cập (AP). Trong UDN, bán kính vùng phủ sóng của AP chỉ khoảng 10 m và sẽ có hàng ngàn AP trên 1 km<sup>2</sup>. Nhưng trong mạng di động truyền thống, phạm vi cell là hơn 500 m và thường có ít hơn 3-5 trạm gốc (BS) trong 1 km<sup>2</sup>. Tương ứng, chỉ có một hoặc một số thiết bị đầu cuối được kết nối với một UDN AP, trong khi có hàng trăm hoặc thậm chí hàng ngàn người dùng đang cư trú và hoạt động trong một macro cell của mạng truyền thống. Bảng 2-1 đưa ra sự so sánh giữa UDN và mạng di động truyền thống.

*Bảng 2-1. So sánh UDN và mạng di động truyền thống*

Tiêu chí	UDN	Mạng di động truyền thống
Kịch bản triển khai	Trong nhà, Điểm phát sóng	Vùng phủ rộng
Mật độ AP	Hơn 1000 trạm/km <sup>2</sup>	3~5 trạm/km <sup>2</sup>
Vùng phủ của AP	Khoảng 10m	Vài trăm mét hoặc hơn
Loại AP	Small cell, Pico cell, Femto cell, UE relay, Relay	Macro cell
Mạng lõi AP	Lý tưởng/Không lý tưởng Có dây/Không dây	Lý tưởng Có dây
Mật độ người dùng	Siêu cao	Trung bình
Tính di động của người dùng	Thấp	Cao
Mật độ lưu lượng	Cao	Trung bình
Phân bố	Không đồng nhất, không đều	Một lớp, đồng đều
Băng thông	Hàng trăm MHz	Hàng chục MHz
Phổ tần	> 3 GHz cho tới mmWave	< 3 GHz

Một điểm quan trọng khác là chủng loại AP trong UDN khá đa dạng. Trạm di động nhỏ, trạm relay, đầu phát sóng vô tuyến từ xa (RRH) và thiết bị người dùng (UE) đều có thể hoạt động như AP trong UDN. Trong khi đó, trạm macro trong mạng di động truyền thống là điểm truy cập duy nhất. Bên cạnh các tính năng trên, phổ tần số cao hơn và băng thông rộng hơn, triển khai không đồng nhất và bất thường, mạng lõi linh hoạt, tính di động của người dùng thấp hơn cũng là các điểm khác nhau giữa UDN và mạng di động truyền thống.



Nói chung, UDN là một giải pháp mạng không dây mới cho các kịch bản mạng dạng điểm nóng, cần cung cấp thông lượng cao hơn và trải nghiệm người dùng tốt hơn. Trong UDN, mật độ AP có thể ngang bằng hoặc thậm chí cao hơn mật độ người dùng. Các loại AP khác nhau sẽ hợp tác chặt chẽ để đạt được hiệu suất phổ cao hơn, tiêu thụ điện năng thấp hơn và tính di động liền mạch hơn.

## **2.2. Thách thức và định hướng kỹ thuật của UDN**

Mục tiêu cung cấp mật độ lưu lượng truy cập rất cao và trải nghiệm người dùng tốt hơn trong UDN đặt ra nhiều thách thức mới bao gồm kiến trúc mạng, quản lý tính di động, quản lý nhiễu, v.v. Từ đó, các định hướng kỹ thuật để phát triển hạ tầng mạng cũng được xây dựng để vượt qua những thách thức đó.

### **2.2.1. Thách thức và định hướng về kiến trúc mạng**

Kiến trúc mạng di động truyền thống được thiết kế cho vùng phủ sóng rộng và liên mạch. Do những sự khác biệt của UDN so với mạng di động truyền thống được liệt kê trong Bảng 2-1, sẽ có nhiều vấn đề nảy sinh nếu tận dụng kiến trúc mạng di động truyền thống (ví dụ: kiến trúc mạng 4G) cho UDN.

- Thứ nhất, quá tải tín hiệu điều khiển và đường truyền dữ liệu phân cấp quá dài: Quá nhiều chức năng như kiểm soát dịch vụ và điều khiển di động được tập trung tại mạng lõi (CN) tại các thực thể của hệ thống mạng 4G như MME - Thực thể quản lý tính di động và PDN-Gateway - Cổng truy nhập mạng dữ liệu gói hay Serving Gateway - Cổng phục vụ. Điều này sẽ là không hiệu quả đối với UDN khi lưu lượng truy cập tăng cao và các AP được triển khai cực kỳ dày đặc vì khi đó số lượng tín hiệu điều khiển sẽ trở nên quá cao, thậm chí quá tải, cũng như đường truyền dữ liệu phải đi qua quá nhiều chặng phân cấp, dẫn tới trễ và giảm độ tin cậy.

- Thứ hai, chuyển giao quá thường xuyên: Gắn kết chặt chẽ user plane và control plane trên một giao diện vô tuyến như trong hệ thống mạng 4G sẽ dẫn đến việc chuyển giao thường xuyên khi vùng phủ sóng của AP trong UDN là rất nhỏ. Điều này rất không hiệu quả và kém linh hoạt trong hệ thống mạng có tính không đồng nhất của UDN bao gồm cả vùng phủ sóng của cell vĩ mô và UDN AP.

- Thứ ba, phân tán các chức năng mạng: Để hỗ trợ tốt hơn việc quản lý nhiễu và quản lý tài nguyên cho UDN, các chức năng trên mỗi AP phân tán cần được tập trung. Nói cách khác, các xử lý ở lớp cao hơn như quản lý tài nguyên vô tuyến (RRM), các chức năng quản lý di động được cần phân tán trên mỗi AP một cách độc lập.

- Thứ tư, trải nghiệm người dùng tốt hơn: UDN đặt mục tiêu cung cấp quá trình chuyển giao mượt mà với tốc độ dữ liệu rất cao cho mỗi người dùng với mật độ AP cực kỳ dày đặc. Chức năng thu thập và truyền dữ liệu đơn giản của Local Gateway (LGW) trong hệ thống mạng 4G không thể hỗ trợ trải nghiệm người dùng tốt hơn. Cần có nhiều chức năng hơn cho LGW.

Do đó, tìm ra một kiến trúc UDN mới là cần thiết để hỗ trợ triển khai AP với mật độ cao và quản lý mạng một cách linh hoạt. Trong kiến trúc mới này, cần có một trung tâm dịch vụ người dùng tập trung cục bộ để đo lường môi trường vô tuyến của người dùng. Bên cạnh đó, RRM và trung tâm điều khiển dịch vụ người dùng ở gần hơn với người dùng để giải quyết tốt hơn những bước xử lý chung và kiểm soát chất lượng dịch vụ (QoS). Cùng với đó, các chức năng của mạng lõi nên được đơn giản hóa để chỉ cung cấp những dịch vụ ở mức cao cho người dùng.

### 2.2.2. Thách thức và định hướng quản lý tính di động

Với phạm vi phủ sóng rất nhỏ và cấu trúc liên kết mạng bất quy tắc, quản lý di động trong UDN khá khác với mạng di động truyền thống.

- Trong một mạng truyền thống, các location area được cấu hình tĩnh. Và cách chia các LA không liên quan đến bất kỳ yếu tố người dùng nào. Khác với trong UDN, ranh giới giữa các LA trong mạng di động trở nên không rõ ràng. Do đó, chế độ quản lý vị trí sẽ được thay đổi từ quy hoạch AP tĩnh thành kết hợp AP động.

- Mạng UDN lấy người dùng làm trung tâm nên sẽ hoạt động dựa theo cách mà người dùng sử dụng dịch vụ, ví dụ các dịch vụ theo yêu cầu hoặc tính di động của người dùng, để có thể cung cấp những dịch vụ tốt nhất trong một môi trường vô tuyến phức tạp. Vì vậy, việc quản lý tính di động cần được tối ưu kết hợp với việc quản lý tài nguyên hay quản lý nhiễu.

- Trong các tình huống mà các AP được triển khai cực kỳ dày đặc, phạm vi bao phủ của các AP này cực kỳ nhỏ, tức là chỉ vài mét đến vài chục mét, theo phương pháp quyết định chuyển giao truyền thống, việc chuyển giao sẽ có thể xảy ra thường xuyên và khả năng gián đoạn về trải nghiệm dữ liệu tốc độ cao của người dùng có thể tăng lên. Thêm vào đó, từ quan điểm của nhà mạng, tình huống này sẽ dẫn tới một sự quá tải hơn nữa của tín hiệu điều khiển.

### 2.2.3. Thách thức và định hướng quản lý nhiễu

Số lượng lớn các AP có thể mang lại thông lượng cao hơn nhiễu và trải nghiệm người dùng tốt hơn, nhưng cũng có thể dẫn đến các vấn đề về nhiễu. Việc quản lý nhiễu có thể ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu năng của hệ thống. Cùng với việc ghép kênh tài nguyên để phục vụ được nhiều lượng truy cập hơn, nhiễu cũng tăng lên và trở nên phức tạp hơn đối với mạng di động truyền thống. Chúng ta cần giải quyết các vấn đề sau:

- Môi trường vô tuyến siêu dày đặc dẫn đến nhiều nguồn gây nhiễu hơn. Ví dụ, trong đám đông trên tàu điện ngầm, rất nhiều thiết bị đầu cuối và AP cùng tồn tại. Tín hiệu có thể có nhiều đường phản xạ và phân tán hơn. Sau đó, công suất truyền tải sẽ tăng lên, điều này sẽ tạo ra nhiễu nhiễu hơn trước đây.

- Giảm nhiễu và tăng hiệu suất sử dụng tài nguyên trở thành hai phần mâu thuẫn lẫn nhau và chúng ta cần phải tìm điểm cân bằng thích hợp.

- Các thông số hiện tại để đánh giá tác động của nhiễu như ngưỡng nhiễu có thể không phản ánh hiệu suất tổng thể của mạng. Vì vậy, cần sử dụng các thông số phù hợp hơn để đưa ra chỉ báo tốt hơn giữa kết quả của việc quản lý nhiễu và thông lượng, hiệu suất năng lượng và các thông số khác của hệ thống.

Vì vậy, chúng ta nên thiết lập các mô hình can thiệp thích hợp, phân tích kịch bản truyền dẫn không dây điển hình, và sau đó đề xuất phương pháp kiểm soát nhiễu hiệu quả cho UDN.

#### 2.2.4. Thách thức và định hướng về tính linh hoạt của hệ thống mạng

Với mật độ cực cao và việc triển khai phức tạp mạng không đồng nhất, việc lập kế hoạch và tối ưu hóa mạng sẽ trở nên khó khăn đối với UDN. Điều quan trọng là tăng cường hơn nữa Mạng tự tổ chức (SON) để có được một hệ thống mạng linh hoạt.

Một số lượng lớn các AP trong UDN làm cho việc tự cấu hình, tự tối ưu và tự sửa chữa trở nên phức tạp hơn. Thông lượng cực cao, độ trễ cực thấp, độ tin cậy cực cao, lượng kết nối lớn cần phải được cung cấp trong UDN. Ở một khía cạnh khác, UDN là một mạng rất phức tạp bao gồm việc hỗ trợ cả các kịch bản trong nhà và ngoài trời, với các mạng trực liên kết các AP được triển khai một cách lý tưởng lẫn không lý tưởng. Từ quan điểm của các công nghệ truy cập vô tuyến, sẽ tồn tại công nghệ truy cập mới trong 5G, công nghệ truy cập LTE, công nghệ truy cập WLAN làm việc cùng nhau. Vì vậy, kiến trúc mạng linh hoạt với cảm biến mạng thông minh và tối ưu hóa mạng là rất quan trọng đối với mạng linh hoạt và tăng hiệu quả phổ trong UDN.

Dựa trên phân tích trên, xây dựng một kiến trúc mạng mới cho UDN là một hướng đi quan trọng. Các công nghệ chủ chốt hướng tới mạng linh hoạt, tự tái cấu trúc, phối hợp nhiều RAT, quản lý nhiễu nâng cao, quản lý di động nâng cao và quản lý tài nguyên vô tuyến cũng rất cần thiết cho UDN.

Ngoài ra, do các kịch bản vô tuyến khác nhau và tần số cao hơn, băng thông rộng hơn, các công nghệ truyền dẫn mới và thiết kế giao diện vô tuyến mới cũng rất cần thiết để nâng cao hơn nữa hiệu năng hệ thống cho UDN. Truyền thông sóng milimet là một hướng rất hấp dẫn đối với UDN khi có thể cung cấp trải nghiệm người dùng lên tới hàng Gbps và thông lượng hàng chục Gbps trên mỗi AP. Và nó cũng rất thích hợp cho việc cải tiến mạng trực không dây cho các UDN AP.

### 2.3. Các kiến trúc mạng được đề xuất cho UDN

#### 2.3.1. Nguyên lý chung

Cấu trúc liên kết của UDN hướng tới 5G có thể được tóm tắt với các đặc điểm chính sau đây: (1) các AP động được phân phối ngẫu nhiên với mật độ cao mà không cần quy hoạch mạng trước đó; (2) các loại AP khác nhau với mạng backhaul hoặc

fronthaul khác nhau; (3) các mạng không đồng nhất với các phạm vi khác nhau, dải phổ khác nhau và nhiều công nghệ truy cập vô tuyến (RAT) cùng tồn tại.

Dựa vào các đặc điểm trên, để cung cấp thông lượng cao và trải nghiệm người dùng tốt hơn, một số nguyên tắc và phương pháp mới cho thiết kế kiến trúc mạng đã được nêu ra:

- Địa phương hóa và phẳng hóa: Đây là một phương pháp có hiệu quả kinh tế đầy hứa hẹn, có thể giảm tải 1000 lần lưu lượng truy cập trong khu vực UDN địa phương. Một kiến trúc phẳng hơn là cần thiết để hỗ trợ địa phương hóa và giảm chi phí truyền tải. Địa phương hóa đường dẫn dữ liệu và chức năng điều khiển được giới thiệu trong các kiến trúc cho 5G UDN đề xuất bởi METIS và NGMN.

- Tách rời user plane và control plane: Nguyên tắc mới được đưa ra trong kiến trúc LTE-Hi là việc tách biệt mặt phẳng người dùng và mặt phẳng điều khiển. Đó là một cách hiệu quả để cung cấp cho người dùng tốc độ dữ liệu cao thông qua các small cell với mật độ cao nhưng không có tính di động cũng như không làm suy giảm trải nghiệm kết nối. Tính năng này được chính thức hỗ trợ trong 3GPP Release 12 thông qua kết nối kép / đa node.

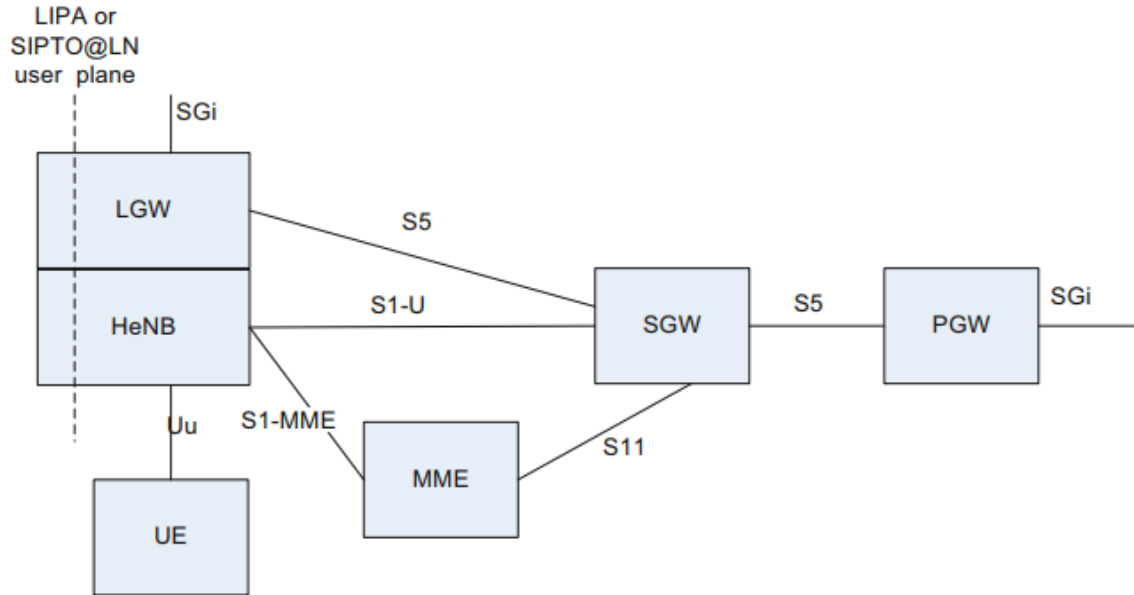
- Lấy người dùng làm trung tâm: Hướng tới 5G, UDN hoàn toàn khác với mạng di động truyền thống. Việc đảm bảo nguyên tắc người dùng làm trung tâm luôn là điều tối quan trọng. Mạng sẽ được tổ chức với các AP động, được bố trí dày đặc để phục vụ người dùng, khiến người dùng cảm thấy như luôn ở trung tâm của một cell. Mạng siêu dày đặc với người dùng làm trung tâm (UUDN) cung cấp khả năng quản lý di động tập trung vào người dùng, phân lớp mạng lấy người dùng làm trung tâm cho data plane và kiểm soát mạng theo người dùng cụ thể, có thể mang lại trải nghiệm người dùng tốt hơn và hiệu quả phổ cao hơn.

- Mạng truy cập tập trung, mạng truy cập phân tán và mạng truy cập linh hoạt: Đối với kiến trúc truy cập vô tuyến tập trung, nó có thể cung cấp việc xử lý phối hợp tốt hơn và có hiệu suất phổ cao hơn, nhưng cần có nền tảng mạng backhaul / fronthaul rất tốt. Đối với kiến trúc phân tán, nó linh hoạt hơn cho việc triển khai mạng, nhưng việc quản lý nhiều rất khó và có hiệu suất phổ thấp hơn. Vì vậy, một kiến trúc linh hoạt hơn cần được đề xuất để có thể kết nối một cách thích ứng các AP với mạng backhaul / fronthaul có dung lượng khác nhau.

- Mạng định nghĩa bởi phần mềm và ảo hóa chức năng mạng: Các xu hướng mới của mạng định nghĩa bởi phần mềm (SDN) và ảo hóa chức năng mạng (NFV) cũng ảnh hưởng đến thiết kế kiến trúc mạng cho 5G. Với việc tách phần mềm điều khiển và chuyển tiếp, phần mềm và phần cứng, kiến trúc mạng có thể được thiết kế lại để xác định các chức năng mạng và giao diện của chúng chứ không phải các thực thể và giao diện của chúng. Điều này cũng sẽ cho phép xây dựng một kiến trúc linh hoạt hơn cho 5G UDN.

Tóm lại, xu hướng của kiến trúc UDN đang trở nên phẳng hơn, địa phương hóa, chia tách U/C, người dùng tập trung, linh hoạt và thông minh. Một số ví dụ về kiến trúc mạng cho UDN được đưa ra trong các phần tiếp sau đây.

### 2.3.2. Kiến trúc GPP HeNB



Hình 2-1. Kiến trúc GPP HeNB [16]

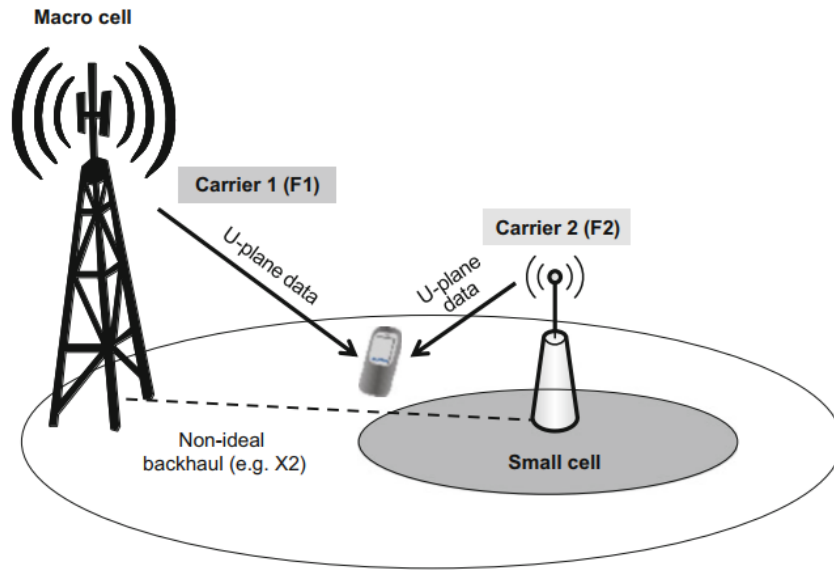
Home eNB nhắm đến các khu vực tập trung với vùng phủ nhỏ và dày đặc. Kiến trúc của hệ thống HeNB được 3GPP đưa ra ở Release 12 (Hình 2-1).

Trong kiến trúc này, hạ tầng mạng chủ yếu bao gồm năm thực thể: HeNB, LGW, MME, SGW và PGW. Chức năng của mỗi thực thể có thể được tìm thấy trong [19,21]. Chức năng của HeNB gần như giống như trạm macro truyền thống ngoại trừ vùng phủ sóng nhỏ hơn và mặt phẳng điều khiển phía người dùng và mặt phẳng dữ liệu được quản lý bởi mạng lõi. Kiến trúc này đưa ra các chức năng được bản địa hoá, cho phép chức năng Truy cập gói Internet cục bộ (LIPA) và Tải xuống lưu lượng truy cập IP chọn lọc (SIPTO) để tải dữ liệu.

Kiến trúc HeNB rất dễ dàng để phát triển thiết bị ở giai đoạn triển khai sớm với mật độ HeNB thấp. Nhưng khi mật độ AP tăng lên, kiến trúc sẽ gặp các thách thức sau:

- Nhiều chức năng như kiểm soát dịch vụ và quản lý di động được tập trung trong mạng lõi. Điều này sẽ không hiệu quả khi lưu lượng truy cập cao và triển khai AP dày đặc trong UDN. Nó có thể dẫn đến quá tải tín hiệu điều khiển và độ trễ truyền dữ liệu cao hơn giữa các AP và mạng lõi.
- Gắn kết chặt chẽ của user plane và control plane tại giao diện vô tuyến sẽ dẫn đến việc chuyển giao tần số trong mạng UDN cực kỳ dày đặc.
- Chức năng truyền dữ liệu của Local GW không thể hỗ trợ cho trải nghiệm dịch vụ với người dùng là trung tâm.

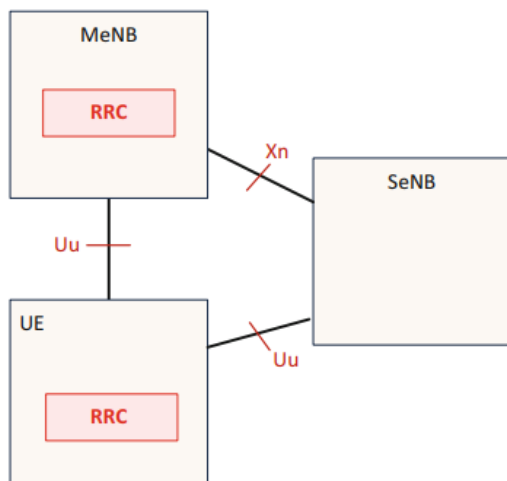
### 2.3.3. Kiến trúc tăng cường Small Cell



Hình 2-2. Kiến trúc tăng cường Small Cell [17]

Để hỗ trợ thêm cho các kịch bản triển khai mạng không đồng nhất, 3GPP đã phát triển kiến trúc SCE trong release 12.

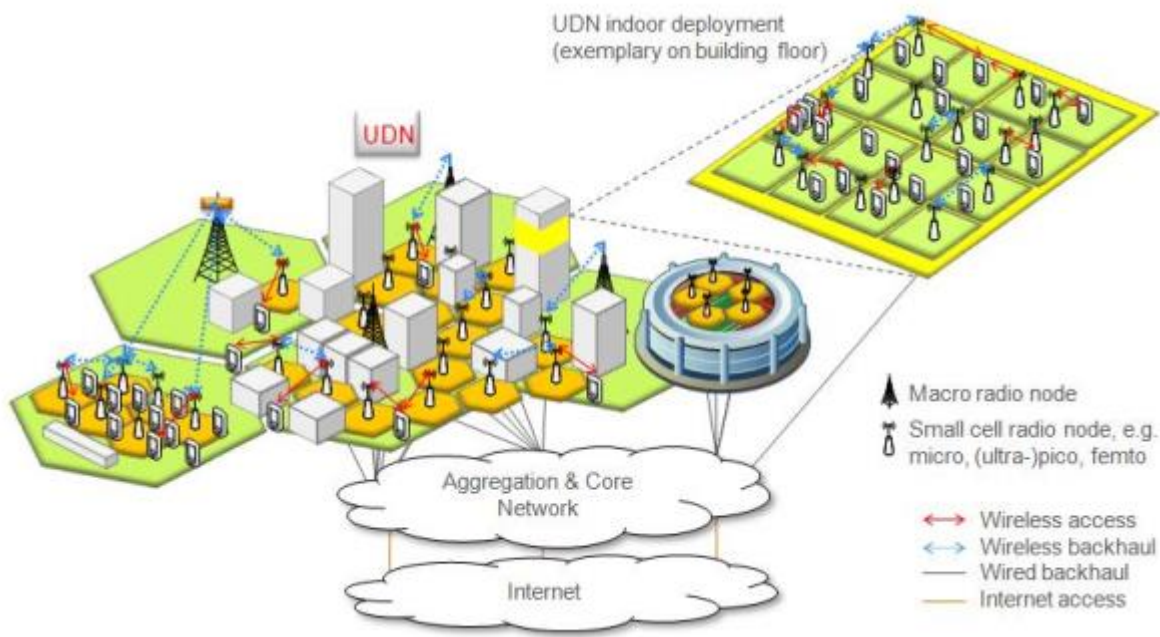
Một “kết nối kép” được sử dụng để chỉ một hoạt động khi một UE cho trước chiếm tài nguyên vô tuyến được cung cấp bởi ít nhất hai điểm mạng khác nhau được kết nối với nhau thông qua mạng backhaul không lý tưởng. Kết nối kép có thể được thực hiện bằng cách tổng hợp các tài nguyên vô tuyến trong nhiều hơn một eNB để truyền dữ liệu của user plane như được minh họa trong Hình 2-2. Theo giải pháp này, lượng tín hiệu điều khiển về mạng lõi có thể được giảm tải khi mốc chuyển giao được giữ ở macro cell.



Hình 2-3. Hoạt động của SCE

Với kiến trúc này, lượng tín hiệu điều khiển quá tải khi chuyển giao giảm khi người dùng chỉ di chuyển giữa các small cell. Nhưng vẫn còn nhiều tín hiệu điều khiển giữa các UE tốc độ cao và trạm macro trong quá trình di chuyển cũng như các tín hiệu trong quá trình cập nhật SeNB.

### 2.3.4. Kiến trúc UDN của METIS



Hình 2-4. Kiến trúc UDN của METIS [7]

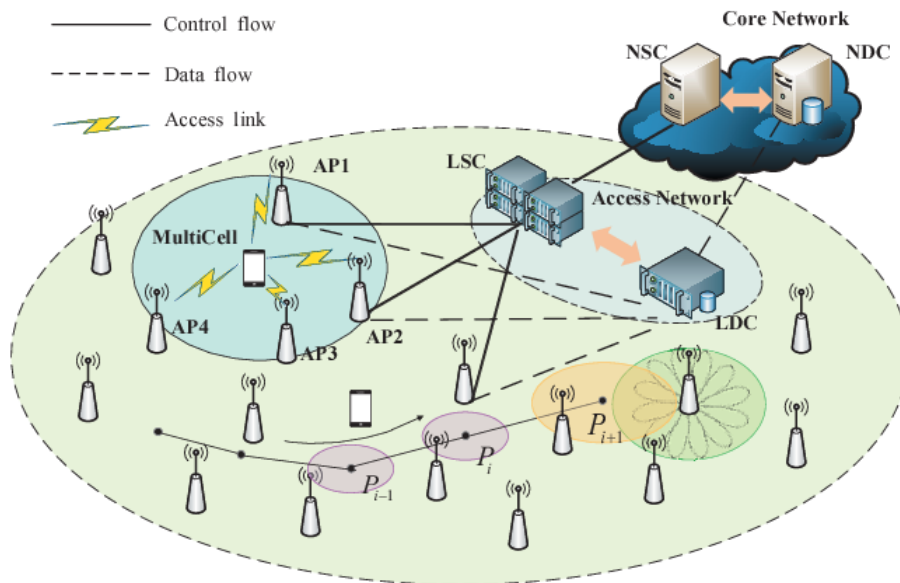
UDN được xác định là một trong năm chủ đề xương sống của dự án METIS hướng tới 5G, và cũng là một trong bốn yếu tố nền tảng kỹ thuật chính. UDN sử dụng một giao diện vô tuyến mới dựa trên nền tảng OFDM cùng kỹ thuật TDD trên phổ tần linh hoạt để cung cấp phổ tần rộng từ vài GHz đến mmWave, cơ chế lập lịch đường lên / đường xuống linh hoạt và giảm độ trễ của gói tin. Đồng thời, UDN cũng tích hợp và tận dụng sự tương tác giữa nhiều loại small cell phân bố dày đặc để áp dụng những thuật toán chia lớp dịch vụ cũng như kích hoạt / hủy kích hoạt node.

Dựa trên sự tách biệt của mặt phẳng người dùng và mặt phẳng điều khiển, sáu chức năng chính được định nghĩa trong kiến trúc này. Đồng bộ hóa các chức năng vô tuyến trên control plane (SRC) và đồng bộ hóa các chức năng vô tuyến trên user plane (SRU) được triển khai rất gần với người dùng. Việc này hỗ trợ Multi-AP với backhaul lý tưởng với PHY / MAC tập trung, giống như công nghệ C-RAN. Các chức năng vô tuyến không đồng bộ trên control plane (ARC) và user plane (ARU) cùng với user plane CN (Core-U) được đặt ở phía RAN, gần với người dùng hơn so với kiến trúc 3GPP SAE truyền thống. Chúng có thể cung cấp các chức năng điều khiển lớp cao hơn như quản lý di động, điều khiển QoS, phối hợp giữa RAT và cả chức năng của user plane. Chức năng CN trên control plane (Core-C) và chức năng CN trên user plane (Core-U) được đặt tập trung ở CN để cung cấp khả năng quản lý cấp cao như Xác thực, Ủy quyền và Kế toán (AAA) và chuyển vùng.

Kiến trúc UDN của METIS dựa trên các công nghệ C-RAN, SDN, NFV với nguyên tắc chia tách U/C cục bộ là kiến trúc phù hợp cho 5G linh hoạt và hiệu quả.



### 2.3.5. Kiến trúc người dùng trung tâm cho UDN



Hình 2-5. Kiến trúc người dùng trung tâm cho UDN [18]

Kiến trúc UDN tập trung vào người dùng (User-centric UDN) với các nguyên tắc phân tách User / Control plane, lấy người dùng làm trung tâm và bản địa hóa có thể được triển khai dễ dàng và linh hoạt với SDN và NFV như Hình 2-5.

Trong kiến trúc này, sẽ không còn nữa khái niệm “cell vật lý” hay “cell logic” từ quan điểm của người dùng. Các AP dày đặc trong một khu vực sẽ được tổ chức một cách thông minh để theo dõi chuyển động của người dùng và cung cấp lưu lượng dữ liệu theo yêu cầu.

Bốn thực thể chức năng được giới thiệu để cung cấp các dịch vụ tập trung vào người dùng. Ở phía radio, trung tâm dịch vụ cục bộ (LSC) và trung tâm dữ liệu cục bộ (LDC) được giới thiệu để cung cấp sự tách rời hợp lý của mặt phẳng điều khiển và mặt phẳng người dùng. Tất cả các loại AP được kết nối với LSC và LDC bằng nhiều phương án khác nhau (lý tưởng / không lý tưởng, dây / không dây). Ở phía mạng lõi, trung tâm dịch vụ mạng (NSC) và trung tâm dữ liệu mạng (NDC) được giới thiệu để cung cấp các chức năng điều khiển và truyền tải. LSC và LDC có thể được tích hợp vào một Local Gateway như một thực thể vật lý, và NSC và NDC cũng có thể được tích hợp vào một thực thể CN.

Các chức năng và giao diện của từng thực thể trong UUDN như sau:

- AP là kênh truy cập vô tuyến cho UE bao gồm mặt phẳng dữ liệu và mặt phẳng điều khiển. Các AP có thể được xây dựng với các chức năng lớp RF, PHY, MAC và IP hoặc các kết hợp của chúng dựa trên dung lượng mạng lõi. Nếu AP chỉ có RF, các lớp PHY tới IP sẽ được tập trung vào LDC. Với kiến trúc này, LDC có thể cung cấp xử lý chung trong lớp PHY. Do đó, quá trình xử lý tín hiệu nâng cao có thể được sử dụng để tránh nhiễu giữa các AP.



- LSC là trung tâm dịch vụ kiểm soát để tổ chức một nhóm AP động (APG) để phục vụ một người dùng. Nó sẽ có các chức năng mới của RRM với người dùng làm trung tâm, phối hợp multi-RAT, kiểm soát QoS hiệu quả, quản lý di động tập trung vào người dùng và kiểm soát liên kết vô tuyến cục bộ.

- LDC là trung tâm dữ liệu cục bộ để xử lý việc truyền dữ liệu của người dùng. Nó sẽ cung cấp các chức năng mặt phẳng người dùng bao gồm các xử lý ở lớp cao hơn, xử lý kênh AP động. Nó cũng có chức năng điều phối đa điểm dựa trên sự phối hợp Multi-AP và đa điểm cho người dùng.

- NSC là trung tâm dữ liệu mạng để cung cấp các chức năng kiểm soát về chính sách người dùng, AAA và tính di động cao cấp (chuyển vùng, chuyển giao NSC), v.v.

- NDC được làm việc như cổng dữ liệu gói ở phía mạng.

Với kiến trúc này, LSC và LDC rất gần với vị trí của AP, do đó dễ dàng cung cấp các chức năng dịch vụ tập trung vào người dùng, quản lý tài nguyên nâng cao và quản lý nhiễu. Điều này tạo sự linh hoạt cho việc triển khai UUDN với việc tách mặt phẳng người dùng và mặt phẳng điều khiển, và phân cấp các chức năng của mạng lõi cho LSC và LDC. Tài nguyên dành cho tín hiệu điều khiển và mạng lõi có thể giảm đáng kể cho các kịch bản sử dụng của UDN.

Tóm lại, các xu hướng của kiến trúc UDN đang trở nên phẳng hơn, địa phương hóa, chia tách U / C, lấy người dùng làm trung tâm, linh hoạt và thông minh. Một kiến trúc UDN tốt sẽ hỗ trợ tốt hơn các AP rất dày đặc hoạt động hiệu quả tại các kịch bản triển khai phức tạp.

## **2.4. Định hướng nghiên cứu cho những thách thức đã nêu**

Dựa trên kiến trúc mới, nhiều công nghệ chủ chốt có thể được giới thiệu để cung cấp QoE cao, hiệu suất phổ khu vực cao và chi phí thấp. Các công nghệ đầy hứa hẹn được tóm tắt dưới đây.

### **2.4.1. Mạng linh hoạt**

Các công nghệ mạng linh hoạt, như SON được 3GPP giới thiệu trong 4G [22], là những công nghệ đầy hứa hẹn cho phép hướng tới triển khai thực sự UDN. Với mật độ cực cao, UDN sẽ phải đối mặt với những thách thức lớn về việc tự cài đặt, tự định cấu hình của lớp định danh vật lý (ID), quan hệ hàng xóm tự động (ANR), cân bằng tải trên thiết bị di động (MLB), v.v.

- Tự cài đặt:

Trong việc triển khai mạng siêu dày đặc, số lượng AP là rất lớn. Sẽ rất khó cho các nhà khai thác khi cấu hình và khởi tạo từng thiết bị theo cách thủ công, vì vậy đòi hỏi mỗi AP có thể cắm và chạy ngay (plug 'n' play) [22]. Sử dụng cơ chế này, các trạm gốc sẽ tự động cài đặt trong LTE, các AP tự động khởi động và ngừng khởi động, bao

gồm tự động nhận địa chỉ IP, tự động thiết lập kết nối với máy chủ Quản trị và bảo trì vận hành (OAM), tự động tải phần mềm, khởi tạo cấu hình vô tuyến và truyền dẫn.

- Mã số định danh cell vật lý và tự cấu hình:

Trong UDN, hàng trăm hoặc thậm chí hàng nghìn AP sẽ được triển khai trong cùng một khu vực. Số lượng AP ID có thể không đủ. Chúng loại AP là rất đa dạng, bao gồm cả AP di động. Như vậy, AP cần hỗ trợ tính năng tự cấu hình ID. Để giảm khả năng xung đột và nhầm lẫn của AP ID, có hai phương pháp [22]. Một là cung cấp đủ số ID trong thiết kế lớp vật lý; hai là AP liên kết có thể tự động tránh sử dụng cùng một ID thông qua phát hiện và phối hợp tín hiệu.

Phương pháp 1 là cung cấp đủ số ID vật lý, có thể lên tới hàng nghìn, trong thiết kế hệ thống 5G. Nhưng việc tăng số lượng ID vật lý tương ứng với tăng độ phức tạp của thiết kế lớp vật lý của hệ thống. Nó sẽ dẫn đến số yêu cầu cao hơn cho khả năng giải mã tín hiệu của thiết bị đầu cuối và tăng chi phí thiết bị. Do đó, để thiết kế các ID lớp vật lý cho hệ thống UDN, cần cân nhắc cả tính thương mại giữa số lượng ID và độ phức tạp của hệ thống.

Khi số ID vật lý tăng lên, sẽ khó phân bổ ID cho mỗi AP theo cách thủ công. Do đó, cơ chế tự cấu hình và tự điều chỉnh ID vật lý là cần thiết để tránh xung đột hoặc nhầm lẫn. Phương pháp 2 yêu cầu mỗi AP có thể giải mã các tín hiệu vô tuyến để nhận biết các ID lớp vật lý của các AP lân cận để tránh cấu hình các ID này.

Do giới hạn của công suất phát và vùng phủ sóng của AP, những tín hiệu định danh này không thể phát hiện AP lân cận nằm ngoài phạm vi phủ sóng. Do đó, có thể gây ra sự nhầm lẫn ID lớp vật lý. Điều này có thể được điều phối thông qua tín hiệu giữa các AP, tương tự như cơ chế của LTE.

- Tự động thiết lập quan hệ với cell lân cận

Trong UDN, số AP là rất lớn và thay đổi liên tục. Mỗi quan hệ cell lân cận cũng phức tạp hơn so với LTE. Điều này khiến cho việc thiết lập và duy trì danh sách cell lân cận của AP theo cách thủ công trở nên không phù hợp. Vì vậy, sẽ là điều cần thiết để thiết lập chức năng tự động cấu hình để hỗ trợ các mối quan hệ topo lân cận.

*Chế độ tập trung:* Trong kịch bản nằm trong phạm vi phủ sóng của trạm macro, AP có thể áp dụng cơ chế LTE ANR. AP có thể thiết lập mối quan hệ lân cận và giao diện mạng thông qua việc đọc thông tin phát sóng của trạm lân cận. Đối với AP trong phạm vi phủ sóng của trạm macro, trạm macro có thể sử dụng công nghệ tạo chùm để nhận và đo tín hiệu thí điểm cụ thể của từng AP, từ đó tính ra góc hướng và khoảng cách gần đúng đối với trạm macro. Dựa trên thông tin này, trạm macro có thể vẽ sơ đồ tô pô mạng của các AP trong vùng phủ sóng của nó. Sau đó, dựa trên sơ đồ tô pô mạng, trạm macro có thể chỉ định danh sách lân cận cho mỗi AP một cách tự động.

*Chế độ phân tán:* Trong chế độ phân tán, mỗi AP có thể nhận tín hiệu không dây của các AP lân cận, cố gắng đọc thông tin hệ thống được phát quảng bá của chúng, nhận thông tin nhận dạng toàn cầu của chúng và tự động tạo mối quan hệ lân cận giữa các AP. Để phát hiện ra nhiều cell lân cận, thiết kế ra một tín hiệu phát hiện mới là cần thiết.

Trong chế độ bán phân tán khác, cấu trúc cụm động giữa các AP được chấp nhận. Mỗi cụm AP sẽ có nút đầu cụm. Bản đồ quan hệ lân cận được duy trì bởi nút đầu cụm.

#### - Cân bằng tải

Trong UDN, phạm vi phủ sóng của AP nhỏ hơn eNB truyền thống. AP phục vụ của UE sẽ thay đổi nhanh chóng. Cân bằng tải giữa các AP, ví dụ cân bằng tải tài nguyên, là rất quan trọng để đạt được mục đích nâng cao hiệu quả hệ thống và trải nghiệm người dùng.

*Kịch bản trong vùng phủ của trạm macro:* Trong UDN với cơ chế kết nối kép, mặt phẳng điều khiển của UE được vận hành bởi trạm macro. Theo điều kiện tải của AP, thuật toán RRM của trạm macro có thể cập nhật kịp thời các AP phục vụ của UE và đạt được cân bằng tải giữa các AP.

*Kịch bản ngoài vùng phủ của trạm macro:* Trong cấu trúc địa phương hóa, một RRM tập trung có thể thu thập các thông tin đo lường của người dùng để giảm tải các điều kiện của mỗi AP. Và sau đó nó sẽ chọn các tài nguyên AP thích hợp để cung cấp các dịch vụ cho UE và đạt được cân bằng tải giữa các AP trên toàn vùng.

#### 2.4.2. Hạ tầng mạng trực

Triển khai kịch bản rằng tất cả các AP có mạng backhaul có dây lý tưởng liên kết với mạng lõi sẽ không phải lúc nào cũng tồn tại. Do đó, triển khai các AP với mạng backhaul không dây là không thể tránh được trong UDN [23].

Trong 3GPP Release 10, các giải pháp liên quan đến nút chuyển tiếp đã được chuẩn hóa [24]. Nhưng giải pháp cho backhaul không dây của relay có một số hạn chế. Thứ nhất, 3GPP relay chỉ có thể hỗ trợ một chặng chuyển tiếp, có nghĩa là một AP chỉ có thể chọn một trạm gốc với backhaul có dây là eNB tương hỗ (DeNB). Nhưng trong các kịch bản của UDN, với mật độ AP tăng và vùng phủ giảm, sẽ là không dễ dàng để tìm được DeNB với backhaul lý tưởng trong phạm vi bán kính của một chặng chuyển tiếp. Do đó cơ chế backhaul đa chặng có thể nâng cao hơn nữa tính linh hoạt của việc tự tạo backhaul (self-backhauling). Một điểm khác biệt nữa là một AP có thể phát hiện nhiều hơn một UDN AP, đôi khi là một trạm macro, xung quanh nó cũng có thể cung cấp các liên kết relay. Vì vậy, việc triển khai backhauling đa kết nối có thể cung cấp thông lượng cao hơn nhiều cho các liên kết relay. Thứ hai, 3GPP relay chỉ có thể phục vụ như các liên kết backhaul trong suốt cho các AP không có liên kết có dây.

Trong khi đó, sự phối hợp chặt chẽ hơn giữa các AP được ưu tiên để cung cấp sự truyền nhận kết hợp và tạo chùm tia kết hợp. Điều này đòi hỏi sự tương tác tín hiệu và

chuyển tiếp dữ liệu thường xuyên hơn giữa các nhóm AP phối hợp. Giao diện không dây giữa các AP là một cách hiệu quả để trao đổi trực tiếp thông tin trên không trung và giảm độ trễ giữa các giao diện từ độ trễ ở hiện tại (tức là 20 ms cho kết nối X2) xuống mức 1 ms trong kịch bản UDN.

- Cơ chế backhaul đa chặng

Sử dụng cơ chế đa chặng làm cho cơ chế backhaul không dây trở nên phức tạp hơn. Không phải là dễ dàng để gán AP tương hỗ cho mỗi AP backhauling không dây bằng tay. Làm thế nào để phát hiện ra AP tương hỗ và phát hiện đường dẫn backhaul tương ứng, và sau đó, cập nhật trong UDN là chìa khóa vấn đề.

Quá trình chọn DeNB trong mạng truyền thống thường được hoàn thành trong cấu hình OAM với quá trình đo lường và truy cập bằng relay như một UE. Quá trình cấu hình trước không còn thích hợp cho các AP trong triển khai mạng linh hoạt, và phương thức lựa chọn DeNB của relay hiện tại rất đơn giản đến mức nó không thể bao phủ tất cả các AP không dây trong UDN.

Đối với lựa chọn đường dẫn không dây sau khi các AP không dây được bật, hai loại chế độ được bao gồm từ các cấu trúc tổng thể là chế độ tập trung và chế độ phân tán. Hơn nữa, do nhu cầu triển khai bất ổn định, nhu cầu tiết kiệm năng lượng trong UDN, môi trường mạng phức tạp và tính di động của nút truy cập, các AP có thể được bật và tắt thường xuyên, kết quả là đường dẫn đã thiết lập không còn để cung cấp dịch vụ. Do sự thay đổi của nhu cầu lưu lượng và trạng thái liên kết, có thể đường dẫn không dây ban đầu không thể đáp ứng các yêu cầu. Vì vậy, nó là cần thiết để xem xét và thiết kế quá trình phát hiện và cập nhật đường dẫn backhaul.

*Tìm kiếm AP tương hỗ:* Khi một AP không có liên kết dây được kích hoạt, trước tiên nó cần phải làm việc như một UE để phát hiện ra AP láng giềng, từ đó có thể được phục vụ với tư cách là AP tương hỗ. Tín hiệu phát hiện phải được thiết kế và chỉ định đúng cách trên miền thời gian và miền tần số. Nó cần hỗ trợ đủ phạm vi phủ sóng nhưng không mất quá nhiều chi phí. Sau khi tìm kiếm các AP lân cận, cần có thêm thông tin về hệ thống và thông tin đo lường để giúp AP không dây chọn được AP tương hỗ. Những thông tin này bao gồm Công suất nhận tín hiệu tham chiếu (RSRP), khả năng backhaul, tải của hệ thống, v.v. có thể được phát sóng trên các kênh vô tuyến.

*Phát hiện đường dẫn backhaul không dây:* Phát hiện đường dẫn backhaul không dây đề cập đến việc đo lường các điều kiện liên kết và truyền dẫn cho đường dẫn backhaul không dây hiện tại, và thu thập và xử lý các kết quả đo lường, để xây dựng bộ đánh giá trạng thái của liên kết không dây hiện tại. Khi một liên kết backhaul không dây không thể đáp ứng các yêu cầu của việc truyền tải hoặc không thể cung cấp dịch vụ, nó sẽ được báo cáo và phản hồi càng sớm càng tốt và sau đó bắt đầu quá trình cập nhật tiếp theo.

*Cập nhật đường dẫn backhaul không dây:* Quá trình cơ bản của việc cập nhật đường dẫn không dây là phá hủy con đường cũ và thiết lập một con đường mới, trong đó phương pháp của đường dẫn mới về cơ bản giống như quá trình thiết lập đường dẫn.

- Cơ chế backhaul đa kết nối

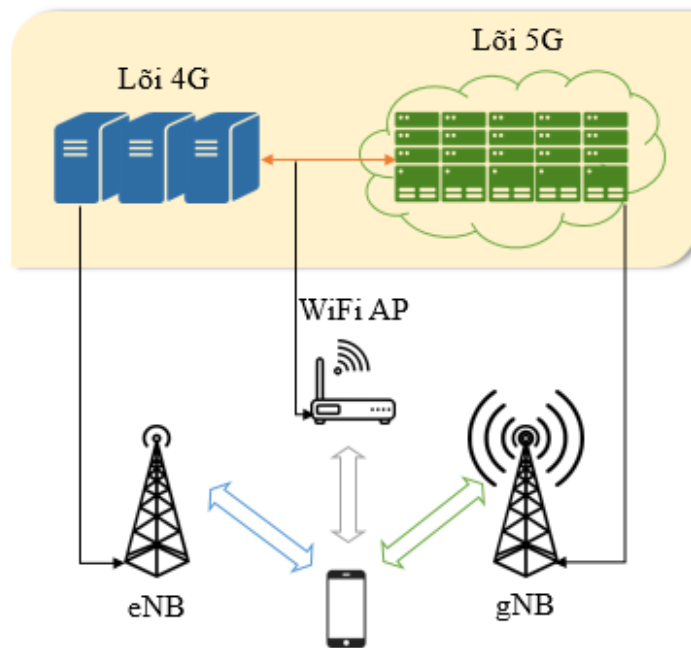
So với mạng truyền thống, backhaul đa kết nối có thể cung cấp lựa chọn đường dẫn định tuyến phong phú hơn. Khi chất lượng của một con đường trở nên tồi, dữ liệu người dùng và tín hiệu có thể được truyền qua đường dẫn khác. Hơn nữa, tổng lưu lượng dữ liệu là tổng của tất cả các đường dẫn khi nhiều đường dẫn được sử dụng cùng một lúc. Backhaul đa kết nối có thể nâng cao độ tin cậy và tăng tốc độ dữ liệu của backhaul. Để tạo thuận lợi cho việc quản lý và phối hợp các kết nối, cần phải có một kết nối đóng vai trò kết nối chính, và những kết nối khác là kết nối thứ cấp. Phương pháp của quyết định kết nối chính thường là trạm macro phục vụ cho kết nối chính và phần còn lại của AP phục vụ cho kết nối thứ cấp hoặc AP truy cập đầu tiên phục vụ cho kết nối chính và phần còn lại của AP phục vụ cho kết nối thứ cấp. Kết nối chính sẽ có hầu hết các chức năng điều khiển và dễ quản lý và kiểm soát tập trung. Để thuận tiện, các kết nối thứ cấp cũng có thể giữ lại một số chức năng điều khiển để tự điều khiển các chức năng truyền dẫn liên quan.

- Giao diện không dây giữa các AP

Trong giải pháp 3GPP relay, node chuyển tiếp là tương đương với một cell thuộc về DeNB của nó từ góc nhìn của các node lân cận. Các DeNB hoạt động như một cổng proxy của node chuyển tiếp và xử lý tất cả các loại giao diện mạng. Ý tưởng này vẫn có thể được sử dụng trong các kịch bản backhaul không dây UDN với liên kết backhaul đa kết nối / đa chặng. Nhưng nó cần phải tăng cường thiết kế do sự thay đổi của kiến trúc mạng và sự gia tăng của các kết nối backhaul không dây. Hơn nữa, khoảng cách giảm giữa các AP trong UDN cũng làm cho AP có thể truyền một số thông điệp điều phối động lẫn nhau thông qua giao diện vô tuyến để tăng cường hiệu năng của hệ thống.

#### 2.4.3. Phối hợp nhiều kỹ thuật truy nhập vô tuyến

Cùng với sự phát triển của UDN, công nghệ đa truy cập cùng tồn tại là một xu hướng dài hạn, đặc biệt là 4G, 5G và WLAN. Làm thế nào để chạy và duy trì nhiều hệ thống mạng một cách hiệu quả, giảm chi phí bảo trì và tiết kiệm năng lượng là một vấn đề quan trọng cần giải quyết. Tích hợp chặt chẽ nhiều RAT sẽ trở thành một hướng quan trọng trong các quá trình tiêu chuẩn hóa truyền thông không dây trong tương lai.



Hình 2-6. Kiến trúc mạng kết hợp nhiều RAT

Trong 3GPP Release-12 và Release-13, một trong những công nghệ tích hợp mạng đã được nghiên cứu và chuẩn hóa, đó là tích hợp mạng không đồng nhất dựa trên sự kết nối WLAN-LTE. Mục đích của việc kết nối WLAN-LTE là giải quyết vấn đề về tính di động của UE và cách UE sử dụng đồng thời nguồn tài nguyên WLAN và tài nguyên của trạm LTE. Như thể hiện trong Hình 2-6 trên đây, trong môi trường mạng phủ sóng nhiều lớp, UE có thể làm việc đồng thời trong eNB và WLAN AP. Trong kịch bản này, eNB chịu trách nhiệm quản lý và điều khiển di động của UE. WLAN AP chỉ tham gia vào việc truyền dữ liệu. Giao diện Xw mới được sử dụng giữa AP và eNB. eNB có thể chuyển một phần hoặc toàn bộ dữ liệu của UE sang WLAN AP để nhận các dịch vụ được cung cấp bởi WiFi và thực hiện tổng hợp tài nguyên và cải thiện thông lượng của người dùng.

Các lĩnh vực nghiên cứu tiềm năng trong tương lai bao gồm:

- Truy cập công nghệ lựa chọn thông minh: Xây dựng cơ chế lựa chọn công nghệ truy cập không cần nhận thức của người dùng. Theo trạng thái mạng thời gian thực, môi trường không dây, kết hợp với công nghệ cảm biến dịch vụ thông minh, các dịch vụ khác nhau sẽ được ánh xạ tới công nghệ truy cập phù hợp nhất.
- Công nghệ đa kết nối đa RAT: Thiết bị đầu cuối có thể đồng thời thiết lập kết nối với các nút mạng với các RAT khác nhau và nhận ra nhiều luồng truyền song song để cải thiện thông lượng, nâng cao trải nghiệm người dùng, đạt được các dịch vụ phân chia và hội tụ linh động giữa các công nghệ mạng truy cập khác nhau.

#### 2.4.4. Quản lý tính di động

Trong UDN, hỗ trợ di động và quyết định kết hợp là quan trọng vì kích thước AP rất nhỏ gây ra sự chuyển giao thường xuyên, dẫn đến các gián đoạn dịch vụ ngắn hạn thường xuyên đến AP và sau đó ảnh hưởng đáng kể đến trải nghiệm người dùng. Trong khi đó, việc quản lý di động nên được tối ưu hóa chung với việc quản lý tài nguyên và phối hợp quản lý nhiều trong UDN. Kết quả là, một cơ chế quản lý di động hiệu quả có thể không chỉ cung cấp hiệu năng di động cao hơn mà còn là cơ hội để đáp ứng các yêu cầu về thông lượng cao hơn cho người dùng.

UDN là một mạng đa lớp và đa RAT, trong đó các chức năng mạng được xây dựng với nhiều mức phân cấp. Các điểm mốc di động tập trung tự nhiên phù hợp với kiến trúc phân cấp, điều này sẽ dẫn đến tải tín hiệu nhiều hơn cho mạng lõi và truyền tải đường dẫn dưới mức tối ưu. Lợi thế của cơ chế quản lý di động tập trung (CMM) nằm trong sự đơn giản của nó, vì điểm mốc trung tâm có thể theo dõi chuyển động của người dùng bằng cách định tuyến lại các gói trên đường truyền được tạo bằng bộ định tuyến truy cập nơi UE hiện đang được kết nối. Tuy nhiên, điểm mốc di động lại vì thế mà dễ dàng trở thành một điểm thất bại duy nhất. Do đó, các kiến trúc di động phẳng và linh hoạt hơn cũng như các phương pháp quản lý di động dự kiến sẽ được đề xuất.

##### - Kiến trúc quản lý di động trong UDN

Xu hướng của ngày hôm nay chỉ đến việc triển khai UDN để cung cấp kết nối phổ biến ở tốc độ dữ liệu cao. Tuy nhiên, rất khó để kết hợp với kiến trúc của các mạng di động hiện tại đã được tập trung mạnh mẽ, tạo ra những thách thức khó khăn khi đối mặt với đo lường tần suất cao hay chuyển giao thất bại. Ngoài ra, các mạng 5G trong tương lai sẽ hỗ trợ các loại dịch vụ khác nhau, đặt ra các yêu cầu kết nối khác nhau. Có nhiều đề xuất rằng quản lý di động phân tán (DMM) đang nổi lên như là một nền tảng phù hợp để thiết kế các kiến trúc mạng di động trong tương lai, có tính đến các yêu cầu để chuyển giao tần suất cao và sự gia tăng của các mạng truy cập vô tuyến dày đặc.

Trong các mạng truy cập vô tuyến dày đặc, điều quan trọng là thiết kế kiến trúc quản lý di động bằng phẳng và linh hoạt hơn. Mạng di động hiện tại không đủ đáp ứng nhu cầu của người dùng di động trong tương lai, một phần do thiết bị không linh hoạt và đắt tiền cũng như mặt phẳng điều khiển phức tạp và không nhanh. Mạng được xác định bởi phần mềm đang nổi lên như một giải pháp tự nhiên cho các mạng di động thế hệ tiếp theo vì nó cho phép lập trình mạng sâu hơn

##### - Quản lý di động lấy người dùng làm trung tâm

UDN được hình dung như là một triển khai quan trọng để giải quyết các vấn đề về vùng phủ và dung lượng trong các hệ thống không dây mới nổi. Trong trường hợp này, số lượng AP có thể so sánh với số lượng người dùng.

Các location area được cấu hình tĩnh trong mạng hiện tại, nhưng ranh giới của một location area kiểu truyền thống trong UDN trở nên không rõ ràng. Do đó, chế độ quản



lý vị trí sẽ được thiết kế lại, từ “lập kế hoạch AP tĩnh” thành “hợp tác AP linh động”. Một phương pháp đã được đề xuất là tạo nhóm động AP (DAPGing – Dynamic AP Grouping), được coi là phương pháp quản lý di động tập trung vào người dùng. Với phương pháp này, mỗi người dùng đã đăng ký có một APG duy nhất với một APG-ID duy nhất. Thông tin về APG sẽ được lưu trữ trong một trung tâm phục vụ địa phương (LSC), và hầu hết các quy trình của DAPGing sẽ được thực hiện bởi LSC. Một số quy trình cấp cao như xác thực, chuyển giao được quản lý bởi trung tâm phục vụ mạng (NSC). Trong khi người dùng đang di chuyển, APG của người dùng sẽ được điều chỉnh động để hỗ trợ tính di động của thiết bị, điều này hoàn toàn khác với quá trình chuyển giao và quản lý di động truyền thống. Trong mạng di động truyền thống, người dùng được chuyển giao từ cell này sang cell khác. Nhưng với phương pháp này, mạng sẽ theo dõi chuyển động của người dùng. DAPGing khiến cho chức năng quản lý di động trở nên khác đi. Có ba tình huống di động sau đây và các phương pháp quản lý di động tập trung vào người dùng có liên quan:

Đối với chuyển giao nội bộ LSC hoặc Inter LSC, chỉ các thành viên APG mới có thể thực hiện việc giải phóng cho thiết bị đầu cuối đang có kết nối, APG-ID sẽ không thay đổi.

Đối với chuyển giao Inter NSC, APG có thể được chuyển từ một LSC này sang một LSC khác kết nối với NSC khác nhau, giả định rằng APG-ID là duy nhất trong một NSC.

Đối với chuyển giao Inter NSC hoặc chuyển giao giữa UUDN và mạng di động truyền thống, thủ tục chuyển giao APG được áp dụng, ví dụ: từ một NSC này đến NSC khác hoặc từ một NSC này tới một mạng di động truyền thống khác.

Hơn nữa, quản lý di động trong UDN cần được xem xét với sự phối hợp của quản lý nhiều và quản lý tài nguyên.

#### 2.4.5. Quản lý nhiều

Quản lý nhiều là rất quan trọng trong UDN để đáp ứng yêu cầu thông lượng cao với khoảng cách ngắn. Việc ghép kênh tài nguyên được sử dụng để tăng cơ hội truy cập, nhưng đồng thời cũng mang lại nhiều thách thức hơn cho việc kiểm soát nhiều. Các phương pháp truyền thống bao gồm tạo nhiều ngẫu nhiên, hủy bỏ nhiều và phối hợp nhiều giữa các cell (ICI), liên kết nhiều và vv. Cần thảo luận thêm để sử dụng các kỹ thuật này trong UDN. Trong khi đó, các công nghệ mới như sóng milimet được đưa vào UDN cũng có thể mang đến những thách thức mới.

Nghiên cứu về quản lý nhiều có thể bao gồm, nhưng không giới hạn, những điều sau đây:

- Mô hình kênh và phân tích năng lực. Các môi trường truyền dẫn không dây trong UDN trở nên rất phức tạp với các AP bị hạn chế trong điều kiện nhiều lớp và multiRAT. Do đó, các mô hình kênh hiệu quả cần phải được thiết lập cho các kịch bản



khác nhau. Trong khi đó, thông lượng kênh nên được nghiên cứu. Nghiên cứu trong UDN chỉ mới bắt đầu và cần tìm hiểu thêm. Cần lưu ý rằng hướng nghiên cứu này không chỉ liên quan đến đánh giá nhiễu mà còn cả các công nghệ chủ chốt khác, chẳng hạn như phương pháp mã hóa, kỹ thuật ăng-ten, v.v.

- Mô hình can thiệp dựa trên các phương pháp đánh giá hiệu quả. Môi trường cực kỳ dẫn đến nhiều nguồn gây nhiễu hơn. Ví dụ, trong tàu điện ngầm đám đông, rất nhiều thiết bị đầu cuối và AP tồn tại, do đó, tín hiệu có thể có nhiều đường phản xạ và phân tán hơn. Phải thiết lập mô hình phù hợp để mô tả mức nhiễu trong khi các thông số hiện tại để đo lường và đánh giá tác động của nhiễu, chẳng hạn như nhiệt độ nhiễu và ngưỡng nhiễu, có thể không phản ánh được biện pháp can thiệp tổng thể và kiểm soát hiệu suất của mạng.

- Công nghệ quản lý nhiễu với độ phức tạp phù hợp. Công nghệ quản lý nhiễu đã được nghiên cứu với nhiều kết quả nghiên cứu trong các mạng di động truyền thống. Xem xét các ràng buộc trong UDN, các kỹ thuật này nên được tối ưu hóa với sửa đổi thích hợp.

*Hủy bỏ nhiễu:* Nó cung cấp các phương thức để tái tạo các tín hiệu nhiễu qua các phương thức mã hóa khác nhau và sau đó loại chúng khỏi tín hiệu mong muốn. Nó đòi hỏi các thông tin khác của người dùng bị can nhiễu. Xem xét về độ phức tạp, nó thường được sử dụng trong các trạm gốc. Trong UDN, các chức năng của AP có thể được đơn giản hóa. Do đó, việc hủy bỏ nhiễu nên được sửa đổi.

*Phối hợp nhiễu giữa các cell:* Tái sử dụng tần số theo phân đoạn (FFR) và tái sử dụng tần số mềm (SFR) đã được đề xuất để kiểm soát sự can thiệp của các cell lân cận bằng việc lập kế hoạch sử dụng phổ tần. ICI động (D-ICI) có lợi thế về tính linh hoạt với nhiều nghiên cứu hiện có. Các nguồn phát sóng miền tần số và thời gian có thể được tái sử dụng theo một số giới hạn nhất định trong các mạng di động đa điểm. Những phương pháp này cần phối hợp giữa các trạm, do đó tài nguyên dành cho phát tín hiệu được tạo ra trong quá trình trao đổi thông tin có thể ảnh hưởng đến hiệu suất mạng.

Phối hợp truyền và nhận đa điểm (CoMP). Một kế hoạch cổ điển để đạt được CoMP là xử lý chung (JP) / truyền tải chung (JT), được coi là giải pháp đường xuống nâng cao và chủ yếu tập trung vào việc đạt được hiệu suất phổ cao trong LTE-A. Cũng có thể sử dụng ý tưởng này ở UDN, dưới sự hợp tác hiệu quả giữa các AP.

*Căn chỉnh nhiễu (IA):* Mỗi người dùng có khả năng đạt được các Cấp độ Tự do cao hơn (DoF) bằng cách sử dụng IA. DoF được gọi là dung lượng kéo dài hoặc độ lợi ghép kênh, là một đặc tính tốt về khả năng ước đoán dung lượng bởi vì nó trở nên ngày càng chính xác trong chế độ tỉ số nhiễu tín hiệu cao (SNR). Trong UDN, bộ tiền mã hóa có vẻ thích hợp để được thiết kế tại máy phát với mục đích tiền xử lý các tín hiệu.

*Các vấn đề về giao thoa do các công nghệ mới mang lại:* Các công nghệ tiên tiến đã được đưa vào UDN, để cung cấp phổ rộng hơn có thể sử dụng, thông lượng cao hơn và trải nghiệm người dùng tốt hơn. Công nghệ truy cập với bước sóng milimet và không

trực giao được coi là một trong những ứng cử viên hứa hẹn nhất và sẽ được sử dụng trong truy cập không dây và khôi phục lại. Trong truyền thông milimet, việc tạo chùm tia có độ lợi cao được áp dụng để giảm thiểu tổn thất đường dẫn và đảm bảo nhiễu thấp.

Việc quản lý nhiễu cần phải được xem xét chung với quản lý tài nguyên, quản lý di động và triển khai mạng. Trong quá trình thiết kế các thuật toán tương đối, cần kiểm soát nhiễu. Do đó, các yêu cầu thông lượng cao có thể được thực hiện trong UDN.

#### 2.4.6. Quản lý tài nguyên vô tuyến

Như đã đề cập trước đó, RRM trong UDN phải đối mặt với những thách thức mới từ môi trường truyền thông phức tạp và các yêu cầu thông lượng tăng vọt. Các dịch vụ khác sẽ được phát triển với các yêu cầu QoS khác nhau, đòi hỏi thời gian thiết lập và độ trễ ngắn hơn, cũng như giảm chi phí tín hiệu và tiêu thụ năng lượng. Điều này có nghĩa là các chương trình quản lý tài nguyên sẽ linh hoạt và hiệu quả hơn. Hơn nữa, các mạng không đồng nhất cùng tồn tại cấu trúc liên kết mang lại nhiều RAT và các kịch bản nhiều lớp. Làm thế nào để cùng nhau phân bổ tài nguyên trong các mạng khác nhau để tối đa hóa hiệu quả tiện ích tổng thể và tối ưu hóa hiệu năng hệ thống là một vấn đề quan trọng và thú vị đối với UDN.

Nghiên cứu về RRM của UDN có thể bao gồm, nhưng không giới hạn ở các hướng sau:

- Vấn đề liên kết thiết bị đầu cuối và phương pháp phân bổ tài nguyên tương ứng. Các AP lân cận thường có ISD rất ngắn với nhau. Điều này có nghĩa là người dùng có thể nằm trong phạm vi phủ sóng của một số AP và sau đó tận hưởng các dịch vụ truy cập từ một hoặc nhiều AP. Tùy thuộc vào điều kiện liên kết, tài nguyên được gán để phục vụ người dùng có thể khác nhau. Các yếu tố tác động có thể bao gồm số AP được kết nối của thiết bị đầu cuối, các nguồn lực sẵn có, tốc độ dữ liệu cần thiết và các thông số QoS khác, v.v. Một số nhà nghiên cứu chỉ ra rằng dải tần số có thể cho UDN có thể tăng từ GHz đến milimet, băng thông, tính linh hoạt cao hơn khi sử dụng các tài nguyên đường lên / đường xuống dựa trên truy cập song công phân chia thời gian (TDD). Điều này cho thấy sự lựa chọn rộng hơn cho các tài nguyên phổ khan hiếm, cũng như các thuật toán phân bổ phức tạp hơn.

- Hợp tác và cân bằng tải giữa các AP. Khi nhiều AP phục vụ cho một thiết bị đầu cuối, các AP này cần hợp tác chặt chẽ với nhau để cung cấp các dịch vụ tốt hơn. Sự hợp tác có thể đến từ lớp PHY và lớp MAC. Sau đó, các nguồn lực được giao cho mỗi AP phải tuân theo phương pháp hợp tác. Trong khi đó, khả năng và điều kiện tiếp cận của các AP khác nhau, cân nhắc tải trọng và sự công bằng giữa các AP cần được xem xét. Bên cạnh đó, chi phí tín hiệu cần thiết cho sự cân bằng hợp tác và tải cũng cần được xem xét. Trong các mạng di động truyền thống, sự tương tác giữa các tế bào có thể bị ảnh hưởng trong những hạn chế thực tế do sự chậm trễ của backhaul, khả năng hồi quy và tính di động của người dùng. Trong khi đó, trong UDN, các thông điệp báo hiệu này có thể được xử lý trong đơn vị điều khiển cục bộ và sau đó tiết kiệm chi phí xử lý.

- Sơ đồ phân bổ điện và tiết kiệm năng lượng. Trong UDN, Aps bị densified cho biết khả năng tiêu thụ năng lượng tổng thể cao hơn. Do đó, các công nghệ truyền thông xanh là điều cần thiết cho mạng. Việc phân bổ nguồn điện cần được xem xét để đảm bảo sự chòng chéo của các tín hiệu không dây và các yêu cầu QoS, theo các phương pháp kiểm soát nhiều hiệu quả. Ngoài ra, trong các mạng di động trong tương lai, phân phối tải lưu lượng sẽ không chỉ bị ảnh hưởng bởi khu vực địa lý mà còn liên quan đến thời gian, chẳng hạn như hành vi của con người vào ban đêm và đi lại hàng ngày giữa các văn phòng và khu dân cư. Để tiết kiệm tiêu thụ năng lượng của các AP không hoạt động, nhiều nhà nghiên cứu đã đề xuất bật / tắt các phương thức cho UDN. Điều này sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến các thuật toán phân bổ và truy cập tài nguyên.

- Kịch bản của các mạng không đồng nhất. Nhiều mạng cùng tồn tại với nhau sẽ trở thành một điều kiện triển khai điển hình trong các mạng truyền thông trong tương lai. Điều đó có nghĩa là UDN cũng nên xem xét sự cùng tồn tại và hợp tác với các mạng di động truyền thống khác. Theo cách thức không đồng nhất này và giao diện nhiều RAT, RRM có nhiều thách thức hơn. Các hoạt động của các RAT khác nhau đã được xác định độc lập theo các tiêu chuẩn tương ứng, nhưng có thể dẫn đến việc sử dụng tối ưu tài nguyên không dây. Nhiều mạng nên cùng nhau quản lý tài nguyên vô tuyến và sau đó cải thiện hiệu năng hệ thống tổng thể. Việc kiểm soát truy cập trong các mạng không đồng nhất cần thảo luận thêm khi xem xét tối ưu hóa chung của RRM. Cân bằng tải giữa nhiều mạng, truyền dẫn hợp tác và backhaul không dây cũng sẽ có các sơ đồ phức tạp và linh hoạt hơn.

Những phân tích trên đã chỉ ra rằng RRM trong UDN nên được xem xét chung, không chỉ trong các hướng nghiên cứu nói trên, mà còn với việc kiểm soát nhiều, quản lý di động, nhiều RAT, backhaul và các khía cạnh khác. Mặc dù nhiều nhà nghiên cứu đã chú ý đến các lĩnh vực tương đối, chưa có giải pháp nào được công nhận rõ ràng. Dựa trên nhận thức về môi trường truyền dẫn, các tài nguyên hạn chế cần được phân bổ và điều chỉnh linh hoạt. Từ phía AP hoặc phía mạng, hai phương pháp tiếp cận khác nhau có thể được xem xét:

- Khi có đủ tài nguyên và chức năng cần thiết từ thiết bị đầu cuối, RRM có thể được phân phối đầy đủ. Phía AP sẽ chịu trách nhiệm về quy trình phân bổ tài nguyên. Nó đòi hỏi các AP phải có khả năng cảm nhận môi trường trên các kênh nhân rồi, các mức nhiễu và các điều kiện của AP lân cận. Những lợi thế của phương pháp này bao gồm hiệu quả quản lý tài nguyên địa phương và thực hiện theo thời gian thực cho các yêu cầu của người dùng. Tuy nhiên, nhược điểm của nó cũng rõ ràng. Quá trình đàm phán nên được nghiên cứu để giải quyết xung đột giữa các AP. Sau đó, sự phức tạp trong xử lý sẽ tăng lên.

- Cách tiếp cận thứ hai cần mạng lưới để tham gia và cung cấp kiểm soát trung tâm ở mức độ nhất định. Một đơn vị điều khiển cục bộ duy trì danh sách tài nguyên trong các vùng lân cận, chẳng hạn như một nhóm tài nguyên có sẵn. Nó cũng kiểm soát quá trình phân bổ tài nguyên cho các AP địa phương. Các AP có thể nhận được thông

tin tài nguyên theo yêu cầu phát sóng định kỳ hoặc chuyên dụng. Khi cần truyền tải, AP sẽ chọn tài nguyên thích hợp từ nhóm, danh sách tài nguyên được giữ bởi đơn vị điều khiển cục bộ có thể thay đổi tương ứng. Bằng cách tiếp cận này, RRM sẽ đạt được tối ưu hóa bằng cách tránh tranh chấp tài nguyên và giảm nhiễu. Điểm bất lợi là khó xác định vùng lân cận của danh sách tài nguyên trong các trường hợp thực.

## 2.5. Tổng kết

UDN là công nghệ mới nhằm đáp ứng yêu cầu lưu lượng di động của 5G. Nó có thể cung cấp trải nghiệm người dùng tốt hơn ngay cả trong các trường hợp người dùng với mật độ cực kỳ dày đặc. Mật độ siêu cao của các AP là tính năng chính của UDN. Hiệu suất phổ và hiệu suất năng lượng cao hơn, mạng linh hoạt, chi phí thấp hơn là những mục tiêu quan trọng nhất của UDN. User-centric và localization là khái niệm mới cho thiết kế kiến trúc UDN. Dựa trên kiến trúc mới, các công nghệ chủ chốt như quản lý di động, quản lý nhiễu, quản lý tài nguyên vô tuyến, điều phối SON và multi-RAT cần được tăng cường hơn nữa.

Trong đó, việc thiết kế các thuật toán liên quan tới quản lý tài nguyên hệ thống sẽ trở thành lĩnh vực nghiên cứu nóng cho UDN. Các giải pháp khả thi và hiệu quả sẽ cải thiện đáng kể hiệu suất tổng thể của mạng và đáp ứng các yêu cầu của người dùng.

Khi beamforming dựa trên mmWave được chọn là công nghệ nền tảng của 5G, vai trò của việc quản lý tài nguyên càng trở nên quan trọng. Kỹ thuật truyền thông đẳng hướng sử dụng trong beamforming giảm bớt được sự ảnh hưởng của nhiễu lan truyền cũng như mất mát bản tin của mmWave. Nhưng ngược lại, do hạn chế về độ phủ trong không gian của những búp sóng đẳng hướng, beamforming sẽ không thể tiết kiệm năng lượng và tài nguyên như trong truyền thông đa hướng thế hệ cũ. Đặc biệt, đối với những thông tin của mạng cần được phát quảng bá, beamforming cần lặp lại thông tin này trên nhiều búp sóng khác nhau. Điều này dẫn tới việc lãng phí tài nguyên hệ thống.

3GPP đã đưa ra khái niệm “OnDemand SI” trong 5G NR để tiết kiệm tài nguyên cũng như năng lượng hao phí. Chỉ có những thông tin hệ thống (System Information) cơ bản nhất là được phát định kỳ. Còn lại sẽ được phát đến thiết bị của người dùng cuối khi có yêu cầu gửi lên.

Tuy nhiên, bên cạnh system information, vẫn còn một loại thông tin với thông lượng lớn cần được phát quảng bá. Đó là bản tin paging. Để tìm gọi một thiết bị trong mạng, trạm phát sóng cần gửi lại bản tin paging trên nhiều búp sóng, dẫn tới lãng phí tài nguyên. Khi mật độ thiết bị trở nên dày đặc trong UDN, tài nguyên dành cho bản tin paging cũng tăng lên đột biến. Trong phạm vi của luận văn này, một giải pháp tiết kiệm năng lượng tài nguyên đang bị lãng phí này bằng cách giảm kích thước của bản tin paging được phát đi sẽ được đưa ra nghiên cứu và trình bày.

### Chương 3 TỐI ƯU TÀI NGUYÊN PAGING TRONG 5G UDN

Paging là một cơ chế quan trọng giúp tìm kiếm và định hướng một cuộc gọi, tin nhắn hay một phiên trao đổi dữ liệu tới một UE cụ thể khi nó ở chế độ nhàn rỗi. Cơ chế này là một hoạt động không thể thiếu của các mạng di động từ thế hệ sơ khai nhất, mạng GSM tới thế hệ mạng 5G tiên tiến nhất. Điều này được thể hiện rõ trong bộ tiêu chuẩn mới nhất của 3GPP về 5G [26].

Mạng sẽ phát quảng bá các bản tin paging trong các cell để truyền tải một thông báo về cuộc gọi, tin nhắn hay phiên dữ liệu đó tới tất cả các UE đang trong chế độ tiếp nhận không liên tục (Discontinuous Reception – DRx) nằm trong vùng quản lý của một MSC trong 2G/3G, một MME trong 4G, hay một AMF trong 5G. Việc phát quảng bá bản tin Paging và hoạt động của UE trong chế độ DRx là hai yếu tố không thể tách rời. Trong 5G, “UE có thể sử dụng cơ chế DRx trong trạng thái RRC\_IDLE và RRC\_INACTIVE nhằm giảm mức tiêu thụ năng lượng” [26]. Đặc biệt, với sự nâng cấp về khả năng tính toán, các công nghệ điều chế và mã hóa bậc cao, ứng dụng của công nghệ massive MIMO, việc sử dụng cơ chế DRx để lắng nghe các bản tin quảng bá càng trở nên quan trọng trong vấn đề tiết kiệm năng lượng của UE trong 5G.

Sự khác biệt của 5G so với các thế hệ mạng trước là việc thiết lập kết nối vô tuyến bằng cách sử dụng giao tiếp dựa trên búp sóng đẳng hướng (beamforming). Truyền tin có tính định hướng sẽ thay đổi cách giao diện vô tuyến đang được vận hành. Vì phạm vi phủ sóng của mỗi búp sóng bị giới hạn, việc phát quảng bá tin nhắn paging trở nên phức tạp trong 5G. Để bao phủ diện tích của toàn bộ cell, bản tin paging cần được truyền qua tất cả các búp sóng. Tuy nhiên, việc truyền đồng thời trên tất cả các búp sóng cùng một lúc là không thể do giới hạn về phần cứng, cụ thể là số lượng bảng ăng-ten bị hạn chế tại gNB. Do đó, bản tin paging sẽ được phát theo hướng trên một số búp sóng tại một thời điểm và sẽ chiếm dụng nhiều khe thời gian hơn để bao phủ toàn bộ cell, trong khi phát sóng vô hướng của 4G chỉ cần phát trong một khe thời gian trên mỗi PO.

Việc phát quảng bá bản tin Paging trên tất cả các búp sóng sẽ làm tăng số bit dành cho bản tin Paging tăng lên đột biến khi số lượng búp sóng lớn. Đây là một thách thức rất lớn cho việc quản lý tài nguyên, cụ thể là thông lượng của hệ thống sẽ vì thế bị chiếm dụng nhiều hơn bởi bản tin Paging, so với mạng 4G.

Trong phần này, luận văn sẽ xem xét lại một phương pháp tối ưu tài nguyên, trong đó đề xuất việc tinh gọn kích thước của bản tin Paging để giảm bớt phần thông lượng bị tiêu tốn cho việc phát quảng bá Paging trong mạng 5G định hướng [27]. Dựa trên ý tưởng của phương pháp này, luận văn sẽ đề xuất một cải tiến để nâng cao hiệu quả tối ưu thông lượng của hệ thống mà vẫn đảm bảo mục tiêu tìm gọi chính xác UE trong vùng quản lý của bản tin Paging.

### 3.1. Cơ chế Paging hiện tại

Cơ chế DRx được sinh ra hướng tới mục đích tiết kiệm năng lượng cho thiết bị đầu cuối ở cả trạng thái RRC kết nối hay RRC nhàn rỗi, trong đó trạm phát và UE có thỏa thuận trước với nhau khoảng thời gian nào trạm sẽ không phát dữ liệu tới UE, đồng nghĩa với việc UE có thể đi vào trạng thái ngủ, không cần tiếp nhận hoặc đo đạc, kiểm soát dữ liệu gửi về từ trạm phát.

Việc phát paging liên hệ chặt chẽ với hoạt động của cơ chế DRx. Khi UE ở trạng thái không kết nối với trạm phát, nó sẽ đi vào trạng thái ngủ dài (Long DRx) và chỉ thức dậy để lắng nghe các thông tin được phát quảng bá từ mạng vào các khoảng thời gian được thống nhất trước đó với trạm phát. Vì thế, các bản tin paging cần được phát chính xác vào những khoảng thời gian này.

#### 3.1.1. Lắng nghe paging từ phía UE

Trong mỗi chu kỳ DRx, UE được chuyển về chế độ ngủ để bảo tồn năng lượng vì khi đó UE biết chắc chắn không có dữ liệu từ trạm gốc gửi đến mình. Tuy nhiên, UE sẽ thức dậy tại thời điểm được định sẵn để giám sát kênh điều khiển chung đường xuống vật lý (PDCCH - Physical Downlink Control Channel). Khung phụ (subframe) chứa bản tin paging, từ đây gọi là PO - paging occasion, sẽ được phát chính xác trong khoảng thời gian này trên một khung vô tuyến PF - paging frame. Nếu UE đọc được dấu hiệu của bản tin paging (P-RNTI) được thông báo trên PDCCH thì UE giải mã kênh dùng chung đường xuống vật lý (PD SCH - Physical Downlink Shared Channel) để đọc bản tin paging. Nếu trong bản tin paging không chứa số định danh của UE trong MME (S-TMSI), nghĩa là không có thông tin tìm gọi từ MME gửi đến UE, nó sẽ ngủ lại cho đến PO tiếp theo. Mỗi chu kỳ DRx, UE chỉ giám sát một PO trên một PF được chỉ định. PF có thể chứa một hoặc nhiều PO (tối đa là 4 trong LTE). Trong hệ thống 4G, vị trí của PO và PF mà UE cần theo dõi được xây dựng trong bộ tiêu chuẩn kỹ thuật của 3GPP [21]. PF là khung vô tuyến thỏa mãn:

$$SFN \bmod T = (T/N) \times (UE\_ID \bmod N) \quad (3.1)$$

$$N = \min(T, nB) \quad (3.2)$$

trong đó  $SFN$  là số khung hệ thống (System Frame Number) và  $T$  là độ dài chu kỳ DRx của UE.  $nB$  là tổng số lượng PO trong một chu kỳ DRx, có thể có các giá trị  $T/32$ ,  $T/16$ ,  $T/8$ ,  $T/4$ ,  $T/2$ ,  $T$ ,  $2T$  hay  $4T$  được UE đọc từ bản tin quảng bá về thông tin hệ thống SIB (System Information Block).

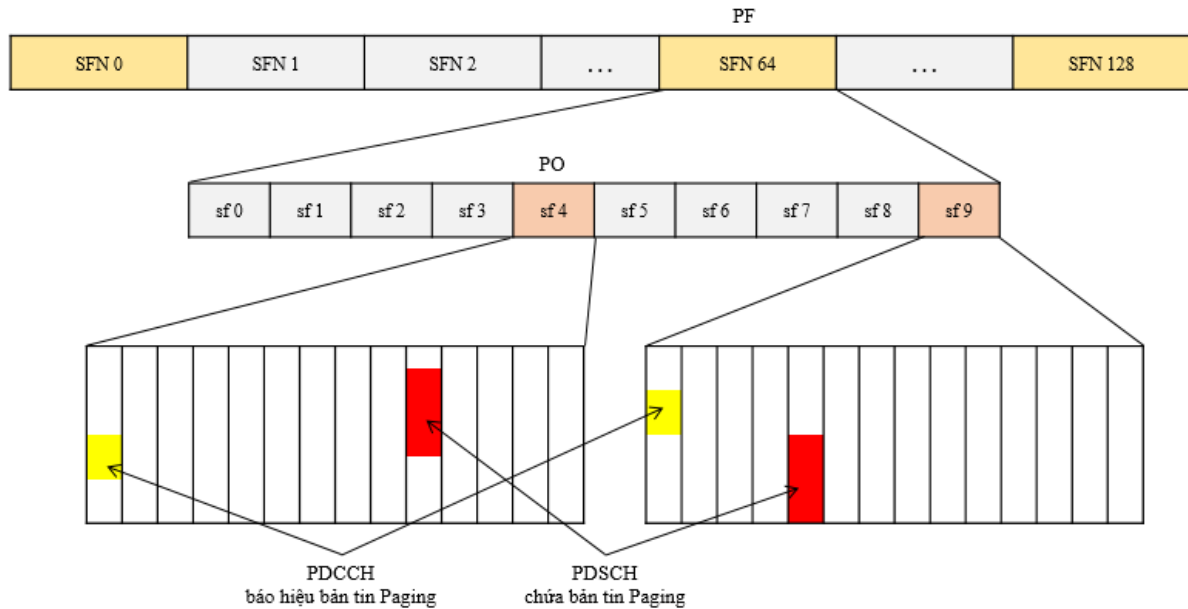
Số thứ tự của khung phụ (sub-frame) mà PO được phát được xác định

$$i_s = (UE\_ID/N) \bmod N_s \quad (3.3)$$

$$N_s = \max(1, nB/T) \quad (3.4)$$

trong đó  $N_s$  là số lượng PO trong một PF và  $i_s$  là số thứ tự của khung phụ trong PF mà PO được phát. Số thứ tự này đã được định sẵn tương ứng với mỗi giá trị của  $N_s$ .

Cơ chế lắng nghe paging được thể hiện trong Hình 3-1 với  $T = 64sf = 64ms$ ,  $nB = T/32 = 2$ . Như vậy PF sẽ được xác định ở các SFN 0, 64, v.v., PO sẽ được phát xác định ở subframe 4 và 9 của mỗi PF.



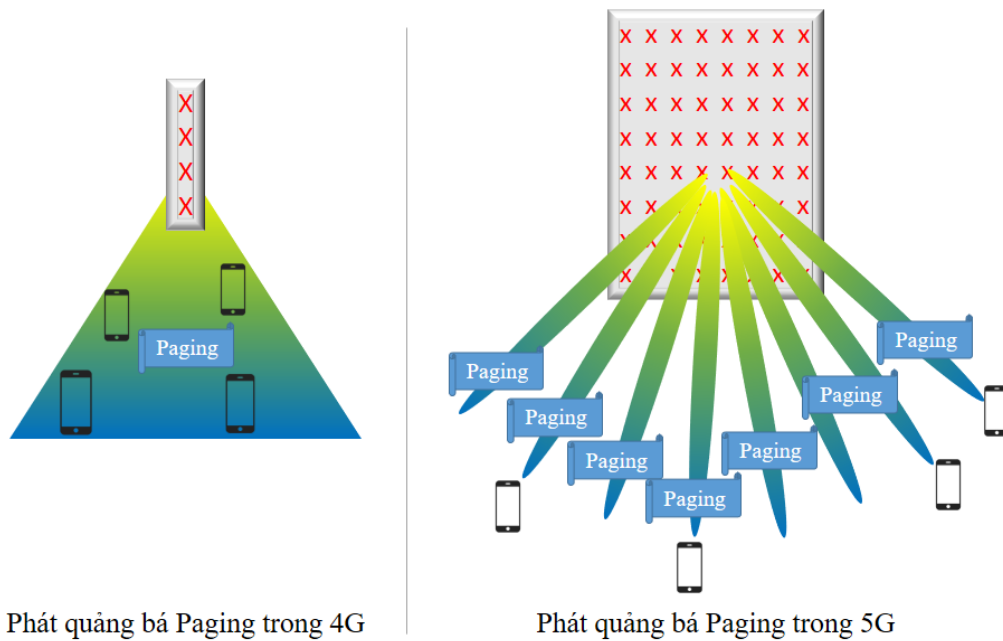
Hình 3-1. Lắng nghe và giải mã paging

Trong 5G, 3GPP đã mô tả hoạt động lắng nghe Paging của UE trong môi trường truyền sóng đẳng hướng với beamforming tương tự như cơ chế của 4G nói trên. Điểm khác biệt nằm ở việc “UE có thể giả sử rằng cùng một bản tin Paging sẽ được phát lặp lại trên tất cả các búp sóng trong một kiểu hình quét búp sóng (beam sweeping pattern) và vì thế việc lựa chọn búp sóng nào dành cho việc nhận bản tin Paging là hoàn toàn phụ thuộc vào quyết định của UE” [28].

### 3.1.2. Paging phát quảng bá bởi nhà mạng

Như vừa đề cập, bản tin Paging sẽ được phát lặp lại trên tất cả các búp sóng. Điều này đặt ra một bài toán quá tải về tài nguyên của hệ thống bị chiếm dụng bởi bản tin Paging khi cùng một lượng bit của bản tin này được phát quảng bá lặp lại trên nhiều búp sóng. Có thể hình dung việc phát quảng bá Paging từ phía nhà mạng, trong môi trường truyền sóng đẳng hướng sử dụng beamforming của 5G so với môi trường truyền sóng vô hướng của 4G như trong Hình 3-2 dưới đây.





Hình 3-2. So sánh cơ chế phát Paging giữa 4G và 5G

Bên cạnh đó, trong trạng thái RRC nhàn rỗi, UE được tự do chuyển vùng giữa một nhóm các eNB trong một khu vực cụ thể (hay còn gọi là vùng theo dõi TA - Tracking Area). UE chỉ cần cập nhật lại thông tin vị trí của mình nếu vùng theo dõi thay đổi. Đồng nghĩa với việc, MME chỉ có thể biết UE đang cư trú ở TA nào. Quá trình paging sẽ được kích hoạt bởi MME. Bản tin paging sẽ được gửi đến TA cuối cùng mà UE cư trú, từ đó được phát quảng bá trên tất cả các eNodeB trong TA đó, để cuộc gọi, tin nhắn hay phiên dữ liệu gửi đến UE được chuyển hướng chính xác.

Khi ở chế độ chờ, UE sẽ thực hiện các thủ tục cập nhật TA để thông báo vị trí của nó trong cơ sở dữ liệu mạng với Thực thể quản lý tính di động (MME - Mobility Management Entity). Cơ chế paging được kích hoạt tại MME của TA, và sau đó, bản tin paging được thông báo tới tất cả các eNB trong TA đó. Các thủ tục paging cùng với bản tin cập nhật TA chiếm hơn 33% tổng dung lượng tín hiệu được quản lý bởi MME trong mạng LTE [28]. Với sự gia tăng dự kiến về số thuê bao di động trong tương lai gần, hoạt động hiệu quả của MME trở nên quan trọng. Truyền thông dùng búp sóng mmWave (nền tảng của hệ thống 5G) sẽ làm nổi bật thêm sự quá tải lên thông lượng của hệ thống do các bản tin Paging sẽ được phát đi theo mô hình định hướng. Mặc dù đã có một số nghiên cứu tập trung vào tối ưu hóa paging nhưng chủ yếu được dựa trên bài toán quản lý phân vùng. Trong [28], các khu vực paging được chỉ định bằng các mô hình di động để giảm lưu lượng tín hiệu trong LTE. Phân vùng đô thị đa cấp được đề xuất trong [29] nhằm tối ưu hóa TA và paging thông minh. Theo quan điểm của việc triển khai dày đặc và lồng nhau của các cell nhỏ, lược đồ quản lý vị trí dựa trên trạm mốc cục bộ cho HetNets được trình bày trong [30]. Khung quản lý TA cho mạng 5G được trình bày trong [31]. Tuy nhiên, sự giới hạn tài nguyên paging trong giao diện vô tuyến định hướng chưa được nghiên cứu đầy đủ.



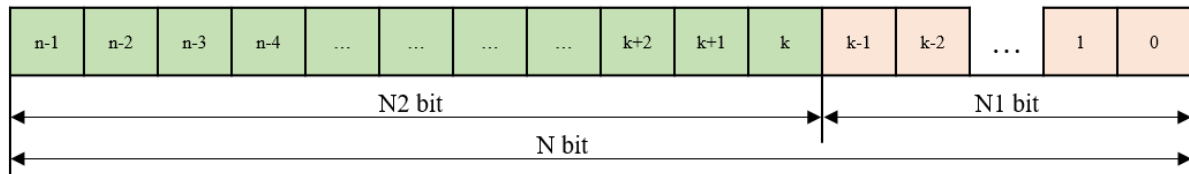
### 3.2. Phương pháp tinh gọn bản tin Paging

Bản tin paging được phát đi trong mỗi PO tạo nên từ UE ID của tất cả các UE được tìm gọi trong một PO cùng với các bit mang thông tin điều khiển tài nguyên vô tuyến (RRC bits), ví dụ như thông tin về số lượng UE được tìm gọi, các bit đệm, các bit mang thông tin điều khiển kênh vật lý đường xuống, và các bit sửa lỗi. Tài nguyên mạng cần thiết để phát quảng bá bản tin paging phụ thuộc vào số lượng UE và số lượng búp sóng. Trong khi số lượng búp sóng liên quan tới tần số của hệ thống và số lượng UE phụ thuộc vào mật độ kết nối, lượng bit dành cho điều khiển là không nhiều. Vì thế, việc giảm số lượng búp sóng, tối ưu bit điều khiển hay kéo dài mật độ kết nối để tối ưu tài nguyên là không phù hợp. Luận văn này giới thiệu một giải pháp tối ưu kích thước của bản tin paging, giảm lượng bit dành cho UE ID trong nội dung của bản tin paging bằng cách phân chia lại UE ID [27].

#### 3.2.1. Nguyên lý hoạt động

UE ID với  $N$  bit được đánh số từ 0 đến  $n - 1$ . Phương pháp này chia  $N$  bit đó thành 2 phần như trong Hình 3-3. Thay vì phát đi đầy đủ  $N$  bit trong bản tin paging để xác định UE cần được tìm gọi, chỉ có  $N2$  bit (từ bit  $k$  đến bit  $n - 1$ ) được phát đi,  $N1$  bit (từ bit 0 đến bit  $k - 1$ ) sẽ dùng để phân chia UE trong danh sách được tìm gọi vào các PO để tránh nhầm lẫn khi UE ID ngắn hơn được sử dụng, đảm bảo rằng UE ID vẫn là duy nhất trong một PO.

*Bước 1:* Chia tách UE ID



Hình 3-3. Chia tách UE ID thành 2 phần

Việc chỉ có phần  $N2$  bit được gửi đi trong bản tin paging thay vì toàn bộ  $N$  bit làm giảm đáng kể thông lượng mạng dành cho quá trình paging nhưng vẫn đảm bảo bản tin paging được phát đi trên nhiều búp sóng.

*Bước 2:* Cấu hình và phân phối lại UE vào các PO

Việc phân phối UE vào các PO để phát bản tin Paging thông thường sẽ được quyết định tuần tự (Round-Robin) cho đến khi tất cả UE được gán vào tất cả PO trong mỗi chu kỳ DRX. Nhưng trong phương pháp này, MME sẽ cấu hình lại số lượng PO được phát trong mỗi chu kỳ DRX dựa trên  $N1$  bit.

Số lượng PO cần phát đi trong mỗi chu kỳ DRX sẽ là

$$N_{PO} = 2^{N1} = 2^{N-N2} \quad (3.5)$$

Đồng thời, MME cũng phân phối lại UE vào các PO dựa trên  $N1$  bit. Tất cả UE có  $N1$  bit (từ bit 0 đến bit  $k - 1$ ) giống nhau sẽ được phát cùng một PO. Việc này đảm bảo rằng, tất cả UE đang đợi được tìm gọi sẽ có ID trong các bản tin Paging được phát đi và với  $N2$  bit được phát đi cho mỗi UE ID, sự trùng lặp UE ID trong mỗi bản tin Paging sẽ không xảy ra.

### 3.2.2. Tính toán mô hình hệ thống

Để phân tích hiệu năng của phương pháp này, trước hết cần phải tính toán các thông số liên quan.

Số lượng UE ID trong một PO được tính toán dựa trên tần suất paging  $PR$  và độ dài của chu kỳ  $T_{DRx}$

$$N_{UE} = \frac{PR \times T_{DRx}}{N_{PO}} \quad (3.6)$$

Bản tin paging được phát trên kênh truyền được định nghĩa sẵn. Vì thế, ngoài số bit dành cho  $N_{UE}$  được tìm gọi, mỗi UE chiếm  $N2$  bit, bản tin paging còn chứa cả các bit điều khiển RRC. Mỗi PO lại được phát trên tất cả các búp sóng. Như vậy, số bit cần truyền đi trong mỗi PO  $bit_{PO}$ , nếu gọi  $N_{beam}$  là số lượng búp sóng, được tính như sau

$$bit_{PO} = N_{beam} \times (N_{UE} \times N2 + bit_{RRC}) \quad (3.7)$$

Mỗi UE trong trạng thái ngủ sẽ chỉ thức dậy trong một khoảng thời gian nhất định, gọi là “chu kỳ DRx dài”. Độ dài của khoảng thời gian này đã được thỏa thuận trước giữa trạm phát và UE. Vì thế, để đảm bảo UE khi thức dậy sẽ chắc chắn nhận được bản tin tìm gọi của mình (nếu có), UE cần giải mã được tất cả các bản tin paging. Việc này có nghĩa tất cả các PO sẽ phải được phát hết trong “chu kỳ DRx dài”. Từ đây, số lượng bit cần phát đi trong một giây  $bit_s$  có thể được tính bằng

$$bit_s = bit_{PO} \times \frac{N_{PO}}{T_{DRx}} \quad (3.8)$$

Tổng dung lượng của hệ thống trong một giây được tính dựa trên hiệu suất phổ và băng thông

$$bit_{max} = \varepsilon \times B \quad (3.9)$$

Tỉ lệ chiếm dụng thông lượng hệ thống với phương pháp này sẽ là

$$U_{pro} = \frac{bit_s}{bit_{max}} \quad (3.10)$$

Để thấy được hiệu quả của phương pháp này, ta tính tỉ lệ chiếm dụng thông lượng hệ thống với phương pháp paging truyền thống. Như đã đề cập trong phần 3.1.1, 3GPP đã mô tả cơ chế truyền thống để phát quảng bá Paging trong môi trường truyền sóng đẳng hướng sử dụng beamforming là việc phát lặp lại các bản tin Paging giống nhau trên nhiều búp sóng. Trong mỗi bản tin Paging đó, toàn bộ UE ID sẽ được phát đi.

Số bit tối đa của toàn hệ thống, có thể phát trong một PO với độ dài 2 khe thời gian để truyền bản tin paging với UE ID đầy đủ  $N$  bit, là

$$bit_{maxPO} = 2 \times T_s \times \varepsilon \times B \quad (3.11)$$

Như đã phân tích ở trên, số bit này bao gồm cả số bit điều khiển RRC. Vì thế, số bit tối đa có thể dành cho UE ID trong 1 bản tin paging cần trừ đi lượng bit điều khiển này. Số lượng UE cần tìm gọi trong 1 giây chính là tần suất paging. Mỗi UE cần được phát đầy đủ  $N$  bit của số định danh. Từ đây, ta tính được số PO cần được phát trong một giây để tìm gọi được toàn bộ UE

$$N_{PO\_legacy} = \frac{N \times PR}{bit_{maxPO} - bit_{RRC}} \quad (3.12)$$

Bản tin paging được phát lặp lại trên toàn bộ số búp sóng. Vì thế, ta có thể tính số bit hệ thống cần dành cho bản tin paging trong một giây

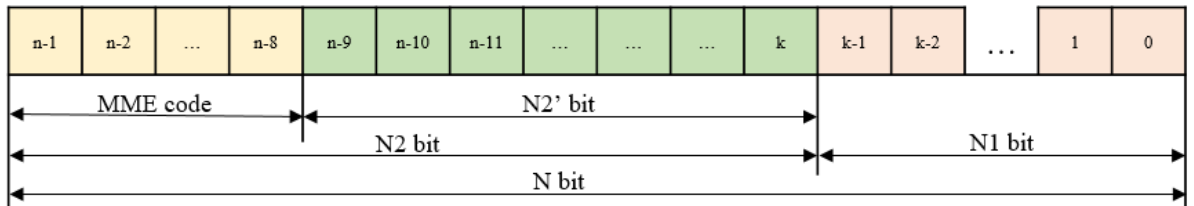
$$bit_{s\_legacy} = N_{beam} \times N_{PO\_legacy} \times bit_{maxPO} \quad (3.13)$$

Như vậy, tỉ lệ chiếm dụng thông lượng của hệ thống với phương pháp paging truyền thống

$$U_{legacy} = \frac{bit_{s\_legacy}}{bit_{max}} \quad (3.14)$$

### 3.2.3. Đề xuất cải tiến

Loại UE ID được sử dụng trong bản tin Paging là S-TMSI. Nó được cấu thành từ MME code và M-TMSI. M-TMSI được gán bởi MME mỗi khi UE thực hiện quá trình cập nhật TA. MME cần đảm bảo số M-TMSI của một UE là duy nhất trong vùng quản lý của nó. Vì thế, một cải tiến có thể được đề xuất là lược bớt thành phần MME code (8 bit) trong UE ID được phát trong bản tin Paging (Hình 3-4).



Hình 3-4. Cải tiến lược bỏ MME code trong UE ID

Mục đích của cơ chế Paging là để tìm gọi chính xác UE đang có một cuộc gọi, một tin nhắn hay một phiên truy cập dữ liệu đang chờ. Với cải tiến này, chỉ có  $N2'$  bit của mỗi UE ID được phát đi trong bản tin Paging. Vì MME code là giống nhau trong một vùng quản lý của MME nên việc bỏ đi 8 bit MME code sẽ không ảnh hưởng đến tính duy nhất của  $N2'$  bit được phát đi của UE ID.

Ở chiều ngược lại, khi UE giải mã bản tin Paging và đọc được danh sách  $N2'$  bit của các UE được tìm gọi, UE đã biết MME code của mình nên với  $N2'$  bit đọc được, UE cũng có thể xác định được có Paging dành cho mình không.

Như vậy, mục đích cuối cùng của cơ chế Paging vẫn được đảm bảo.

Với cải tiến này, số lượng PO vẫn được tính theo  $N1$  bit nhưng số bit truyền đi trong một PO sẽ giảm xuống

$$bit_{PO} = N_{beam} \times \{N_{UE} \times (N2 - N3) + bit_{RRC}\} \quad (3.15)$$

Vẫn sử dụng các công thức trong phần 3.2.2, ta sẽ đánh giá được cải thiện của tỉ lệ chiếm dụng tài nguyên nếu lược bỏ thêm MME code.

### 3.3. Khảo sát và đánh giá hiệu suất

Các tham số của hệ thống được đề xuất dựa theo bộ tiêu chuẩn của 3GPP và ITU.

Kích thước UE ID đầy đủ được lấy bằng độ dài của số S-TMSI, 40 bit, được truyền trong bản tin paging hiện tại. Tần suất paging sẽ được lấy ở giá trị cao nhất, 6400 UE/s, để đặc trưng cho tính chất của mạng mật độ siêu cao. Số lượng búp sóng cao hay thấp sẽ tương ứng với độ phức tạp của hệ thống anten. Băng thông của hệ thống được chọn ở mức trung bình đối với hệ thống 5G. Hiệu suất phổ được lấy ở mức nhỏ nhất theo yêu cầu của ITU mà hệ thống 5G cần đáp ứng. Độ dài khe thời gian được chọn với cấu hình khoảng cách sóng mang con 60 kHz.

Các tham số được tóm tắt trong Bảng 3-1 dưới đây.

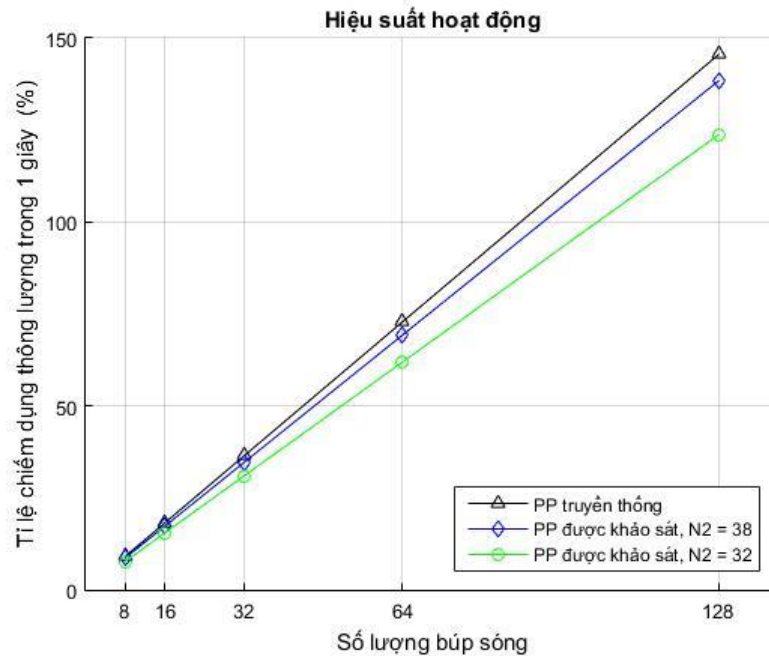
Bảng 3-1. Tham số hệ thống

Tham số	Giá trị đề xuất
Kích thước UE ID đầy đủ	40 bit [32]
Tần suất paging	1600 ~ 6400 UE/s [34]
Số lượng búp sóng	8, 16, 32, 64, 128, 256 [26]
Băng thông hệ thống	100 MHz [36]
Hiệu suất phổ	0.225 bit/s/Hz [33]
Số lượng bit điều khiển RRC	64 bits [35]
Độ dài khe thời gian	0.25 ms
Độ dài chu kỳ DRx	sf128 ~ 1.28 giây [26]

Dựa trên bảng tham số này và những tính toán trong phần trước, ta có được kết quả so sánh về hiệu suất của phương pháp được khảo sát, phương pháp cải tiến và phương pháp truyền thống, thể hiện bởi tỉ lệ chiếm dụng thông lượng của hệ thống.

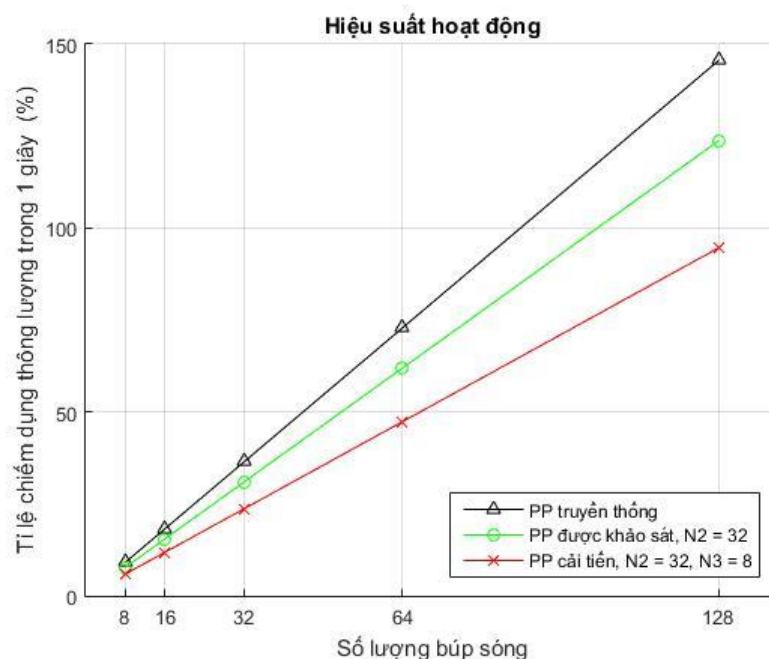
Kết quả được thể hiện trong những đồ thị dưới đây.

Hình 3-5 cho thấy sự khác biệt giữa hai phương pháp tương ứng với thay đổi về số lượng búp sóng. Trong điều kiện mạng dày đặc như UDN, số búp sóng cần được tăng lên để đảm bảo độ phủ sóng tốt tới tất cả UE. Điều này đồng nghĩa với việc số bản tin paging được phát lặp lại nhiều hơn. Khi đó, ưu điểm của phương pháp đang được khảo sát càng được thể hiện rõ ràng.



Hình 3-5. So sánh tỉ lệ chiếm dụng tài nguyên hệ thống

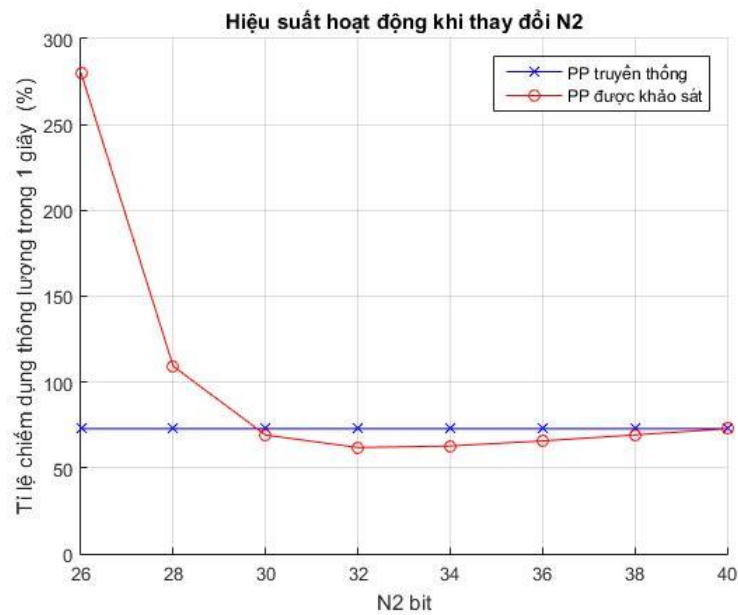
Với số búp sóng lớn, 128 búp sóng, lượng tài nguyên tiết kiệm được là 7% khi kích thước UE ID lược giảm 5% ( $N_2 = 38$ ), và tăng lên 22% khi kích thước UE ID lược giảm 20% ( $N_2 = 32$ ).



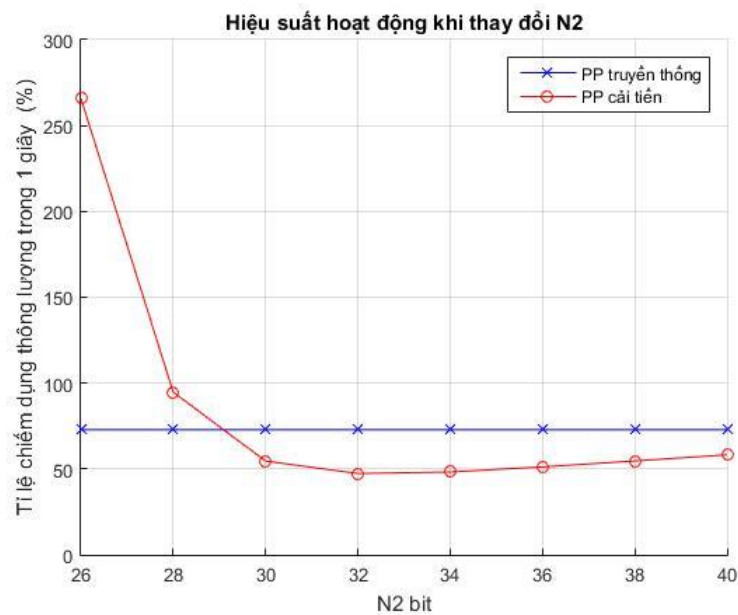
Hình 3-6. Tài nguyên cho paging được tối ưu với cải tiến lược bỏ MME code

Nếu cải tiến trong phần 3.2.3 được áp dụng, UE ID được lược bỏ thêm 8 bit MME code, hiệu quả của việc tinh gọn bản tin paging với hệ thống 128 búp sóng giảm xuống thêm gần 30% so với phương pháp đang được khảo sát, tiết kiệm đến 50% tài nguyên so với phương pháp truyền thống, giảm tỉ lệ chiếm dụng thông lượng của hệ thống trong 1 giây xuống dưới mức 100% (Hình 3-6).

Tuy nhiên, việc tinh gọn bản tin Paging không phải càng giảm số bit được phát đi càng tiết kiệm tài nguyên. Để xem xét rõ hơn hiệu năng của phương pháp tinh gọn này, ta so sánh tỉ lệ chiếm dụng tài nguyên giữa các giá trị  $N2$  trong hệ thống sử dụng 64 búp sóng. Kết quả được thể hiện trong Hình 3-7.



a) Phương pháp được khảo sát



b) Phương pháp cải tiến, lược bỏ thêm 8 bit mã MME

Hình 3-7. So sánh mức tối ưu tài nguyên giữa các giá trị  $N2$

Kết quả cho thấy, không phải lược bỏ càng nhiều bit trong số định danh UE sẽ càng tiết kiệm tài nguyên của hệ thống. Khi  $N_2$  giảm xuống dưới 30 bit, lợi thế của việc lược bỏ bit sẽ bị đảo ngược hoàn toàn, Hình 3-7 (a). Lý do là vì khi số bit sử dụng để định danh UE càng ít thì số PO cần để phát hết lượng UE ID cần được tìm gọi lại tăng lên theo cấp số mũ với công thức (3.5). Số lượng PO này lại cần được phát lặp lại trên tất cả các búp sóng. Điều này càng khiến tài nguyên của hệ thống bị chiếm dụng cho việc phát paging tăng lên đột biến.

Với việc áp dụng cải tiến lược bỏ thêm 8 bit mã MME, phương pháp cải tiến chỉ mang lại kết quả tốt hơn trong việc tiết kiệm thông lượng chứ không thể tăng thêm số lượng bit có thể lược bỏ. Phương pháp cải tiến luôn tiết kiệm hơn xấp xỉ 15% so với phương pháp đang được khảo sát với mọi giá trị  $N_2$  bit. Điều này là dễ hiểu khi số lượng PO cần phát không có sự thay đổi so với phương pháp đang được khảo sát mà chỉ có số lượng bit phát đi trong một PO là giảm đi. Ngay cả khi  $N_2$  bit bằng 40, tức là toàn bộ  $N$  bit của UE ID được truyền đi như trong phương pháp truyền thống, lợi thế này vẫn được thể hiện, Hình 3-7 (b).

## KẾT LUẬN

Như vậy, thông qua 3 chương nội dung, luận văn đã trình bày được đầy đủ kết quả tìm hiểu và nghiên cứu của tôi trong suốt quá trình học tập và nghiên cứu ở bậc Thạc sĩ.

Chương 1 đã tóm tắt và nêu bật được những thay đổi cơ bản nhất của hệ thống 5G trong tương lai gần dựa trên những tiêu chuẩn và kiến trúc đã và đang được định hình bởi ITU và 3GPP như cấu trúc khung mới linh hoạt hơn, phục vụ cho nhiều kịch bản sử dụng với nhiều mục đích hơn, song song với cách phân chia băng thông và sử dụng kết hợp nhiều cấu trúc khung khác nhau trên cùng một hệ thống; kỹ thuật truyền dẫn hướng sử dụng búp sóng được khai thác dựa trên nền tảng massive MIMO và sóng cực ngắn mmWave. Những công nghệ này là nền móng để đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật đòi hỏi rất cao của mô hình mạng mới được giới thiệu trong Chương 2.

Chương 2 đã trình bày cụ thể về khái niệm mới trong mạng 5G, đó là khái niệm về mạng mật độ siêu cao UDN, cùng những đặc trưng cơ bản của nó như mật độ kết nối lên tới hàng triệu trong một vùng phủ sóng nhỏ; mật độ các trạm truy cập sẽ tương đương, thậm chí ngang bằng với mật độ kết nối; yêu cầu về tốc độ truy cập lên tới hàng Gbps cùng tính di động không cao. Từ những đặc điểm đó, Chương 2 cũng chỉ ra những thách thức và phương hướng phát triển cả về mặt kiến trúc và mô hình tổ chức của hệ thống mạng cần được phân chia theo các lớp, đưa mạng lõi về gần với người dùng hơn và tăng tốc độ xử lý, giảm trễ của mạng lõi dựa trên sự phát triển của các công nghệ phần mềm như SDN, NFV. Bên cạnh đó, việc quản lý tài nguyên của hệ thống cũng là một vấn đề thiết thực cần được quan tâm.

Chương 3 đã đi sâu vào khai thác một khía cạnh của việc quản lý tài nguyên, đó là việc tối ưu tài nguyên dành cho việc phát bản tin paging trong hệ thống 5G mà công nghệ truyền dẫn hướng dùng búp sóng làm nền tảng. Theo đó, việc phát paging thông thường sẽ dẫn tới quá tải cho hệ thống khi cùng một bản tin paging được phát lặp lại trên tất cả các búp sóng. Một phương pháp mới đã được xem xét khi phân chia lại số định danh của UE sử dụng trong bản tin paging cũng như cách chia các UE cần tìm gọi về các PO một cách hợp lý để đảm bảo không UE nào bị sót trong quá trình tìm gọi. Hiệu năng của phương pháp sau khi tính toán cho thấy ưu thế rõ rệt so với phương pháp paging truyền thống. Thêm vào đó, một cải tiến cũng được đề xuất để áp dụng trên nền phương pháp mới này. Trong đó, mã số định danh của UE sẽ được lược bỏ thêm 8 bit mã MME. Thông qua tính toán và so sánh, phương pháp mới sau khi áp dụng cải tiến càng thể hiện rõ ưu thế vượt trội so với paging thông thường.



## PHỤ LỤC

### Code tính toán hiệu suất dùng MATLAB

main\_sim.m

```
%% Tham so %%
% Kích thước dãy dữ liệu của số định danh UE trong bản tin Paging
% S-TMSI = 40 bits
N = 40;
% Các thông số tối ưu cho số định danh UE
N2 = 26:2:40;
N3 = 0; % số bit dành cho mã MME
% Số lượng búp sóng
N_beam = [8, 16, 32, 64, 128];
% Tỷ lệ suất paging
PR = 6400;
% Bảng thông
B = 100e+6;
% Hiệu suất phổ
e = 0.225;
% Số bit điều khiển RRC
bit_RRC = 64;
% Độ dài khe thời gian
Ts = 0.25;
% Độ dài chu kỳ Long DRX (giây)
T_DRX = 1.28;

%% Tính toán %%
N2 = 32; N3 = 0;
U_pro1 = pp_dexuat(N_beam, N2, N3);

N2 = 32; N3 = 8;
U_pro2 = pp_dexuat(N_beam, N2, N3);

U_legacy = pp_truyenthong(N_beam);

%% Vẽ đồ thị %%
figure; hold on; grid on;

% So sánh hiệu suất theo số búp sóng
plot(N_beam, U_legacy, 'k-^', N_beam, U_pro1, 'g-o', N_beam, U_pro2, 'r-x')
hold off;

legend({'PP truyền thông', 'PP được khảo sát, N2 = 32', 'PP cải tiến, N2 = 32, N3 = 8'}, 'Location', 'southeast')

title('Hiệu suất hoạt động')
xlabel('Số lượng búp sóng')
ylabel('Tỷ lệ chiếm dụng thông lượng trong 1 giây (%)')
set(gca, 'xtick', N_beam)

%%
N2 = 26:2:40; N_beam = 64; N3 = 0;
U_pro = pp_dexuat(N_beam, N2, N3);

U_legacy = pp_truyenthong(N_beam) .* ones(1, length(N2));
```

```

%% Ve do thi %%
figure; hold on; grid on;

% So sanh hieu suat theo N2
plot(N2, U_legacy, 'b-x', N2, U_pro, 'r-o')
hold off;

legend({'PP truyen thong', 'PP duoc khao sat'}, 'Location', 'northeast')

title('Hieu suat hoạt động khi thay đổi N2')
xlabel('N2 bit')
ylabel('Ti lệ chiếm dung thông lượng trong 1 giây (%)')
set(gca, 'xtick', N2)

```

### pp\_dexuat.m

```

%% Tính toán tỷ suất chiếm dung tài nguyên của phương pháp de xuất %%
%
function ketqua = pp_dexuat(N_beam, N2, N3)
% Kích thước dãy dữ của số định danh UE trong ban tin Paging
% S-TMSI = 40 bits
N = 40;
% Tỷ suất paging
PR = 6400 .* ones(1, length(N2));
% Bảng thông
B = 100e+6;
% Hiệu suất pho
e = 0.225;
% Số bit điều khiển RRC
bit_RRC = 64;
% Độ dài khe thời gian
T_s = 0.25;
% Độ dài chu kỳ Long DRX (giây)
T_DRx = 1.28;

% Số lượng PO được phát trong mỗi chu kỳ DRx
N_PO = 2 .^ (N - N2);
% Số lượng UE được tìm gọi trong một PO
N_UE = (PR .* T_DRx) ./ N_PO;
% Số bit cần truyền đi trong một PO
bit_PO = N_beam .* (N_UE .* (N2 - N3) + bit_RRC);
% Số lượng bit cần phát đi trong 1 giây
bit_s = bit_PO .* N_PO ./ T_DRx;
% Tổng dung lượng hệ thống trong 1 giây
bit_max = e .* B;
% Tỷ suất chiếm dung tài nguyên của pp de xuất
ketqua = (bit_s ./ bit_max) .* 100;
end

```

### pp\_truyenthong.m

```

%% Tính toán tỷ suất chiếm dung tài nguyên của phương pháp truyền thông
%%
%
function ketqua = pp_truyenthong(N_beam)
% Kích thước dãy dữ của số định danh UE trong ban tin Paging
% S-TMSI = 40 bits
N = 40;

```

```

% Tan suat paging
PR = 6400 .* ones(1, length(N_beam));
% Bang thong
B = 100e+6;
% Hieu suat pho
e = 0.225;
% So bit dieu khien RRC
bit_RRC = 64;
% Do dai khe thoi gian
T_s = 0.25;
% Do dai chu ki Long DRX (giay)
T_DRx = 1.28;

% So bit toi da truyen trong 1 PO
bit_maxPO = 2 .* T_s .* e .* B;
% So PO can trong 1 giay
N_PO_legacy = (PR .* N) ./ (bit_maxPO - bit_RRC);
% So bit danh cho ban tin paging
bit_s_legacy = N_beam .* N_PO_legacy .* bit_maxPO;
% Tong dung luong he thong trong 1 giay
bit_max = e .* B;
% Ty suat chiem dung tai nguyen cua pp truyen thong
ketqua = (bit_s_legacy ./ bit_max) .* 100;
end

```

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

### Tài liệu tiếng Việt

1. Cục Tần số (2017), “Một bước tiến quan trọng trên lộ trình hiện thực hóa 5G”  
<http://www.cuctanso.vn/tin-tuc/pages/the-gioi-vo-tuyen.aspx?ItemID=2441>

### Tài liệu tiếng Anh

2. 5GPPP Architecture Working Group (2017), “*View on 5G Architecture*”, 5GPPP.  
<https://5g-ppp.eu/>
3. Huawei (2016), “*5G Network Architecture - A High Level View*”, Huawei  
<https://www.huawei.com/>
4. ITU (2016), “*Geneva Mission Briefing Series - Emerging Trends in 5G/IMT2020*”  
<https://www.itu.int/>
5. Saurav Arora (2017), “3GPP 5G Activities”, ETSI  
<https://docbox.etsi.org/>
6. Janne Peisa (2017), “5G Techniques for Ultra Reliable Low Latency Communication”, Ericsson  
<http://cscn2017.ieee-cscn.org/program/keynotes/>
7. Hugo Tullberg (2014), “*The METIS Concepts for 5G*”, 5GPPP.  
<https://5g-ppp.eu/>
8. Salah E.A., Mauro B., Omer B., Panagiotis S., Malte S., Patrick M., Mikko S., Jose F.M., Thomas R., Gerd Z., Icaro D.S., Milos T., Mehrdad S., Ahmed M.I. (2016), “*5GPPP METIS-II White Paper - Preliminary Views and Initial Considerations on 5G RAN Architecture and Functional Design*”, 5GPPP.  
<https://metis-ii.5g-ppp.eu/documents/white-papers/>
9. GSMA (2018), “*Road to 5G: Introduction and Migration*”.  
<https://www.gsma.com/>
10. Kim Haseong (2015), “*Innovations and Changes towards 5G*”, kt Network.  
<https://www.netmanias.com/>
11. Qualcomm (2015), “*5G - Vision for the next generation of connectivity*”.  
<https://www.qualcomm.com/>
12. Alex Liang (2018), “*5G NR Transmitter and Receiver mmW Test with Solution for Signal Generation and Analysis*”, Keysight Technologies.  
<https://www.keysight.com/>
13. Daryl Schoolar (2017), “*Massive MIMO Comes of Age*”, Samsung.  
<https://www.samsung.com/global/business/networks/insights/white-paper/>
14. Xu, G., Li, Y., Yuan, J., Monroe, R., Rajagopal, S., Ramakrishna, S., Nam, Y., Seol, J., Kim, J., Gul, M.M., Aziz, A., & Zhang, J. (2017), “*Full Dimension MIMO (FD-MIMO): Demonstrating Commercial Feasibility*”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 35, pp. 1876-1886.

15. Patrick M., Nico B. (2016), "METIS II Deliverable D2.2 Draft Overall 5G RAN Design, version 1.0", 5GPPP.
16. 3GPP (2016-03), "*Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); General Packet Radio Service*", 3GPP TS 23.060 version 12.11.0 Release 12
17. 3GPP (2013-11), "*Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Study on Small Cell Enhancements for E-UTRA and E-UTRAN – Higher layer aspects*", 3GPP TR 36.842 version 1.0.0 Release 12
18. Hao W., Hui T., Zhaolong H., Gaofeng N. (2018), "*User location prediction based cell discovery scheme for user-centric ultra-dense networks*", IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC2018)
19. 3GPP (2014-10), "*Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Non-Access-Stratum (NAS) protocol for Evolved Packet System (EPS); Stage 3*", 3GPP TS 24.301 version 12.6.0 Release 12
20. NEC (2018), "*Making 5G a Reality*".  
[https://www.nec.com/en/global/solutions/nsp/5g\\_vision](https://www.nec.com/en/global/solutions/nsp/5g_vision)
21. 3GPP (2014-09), "*LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2*", 3GPP TS 36.300 version 12.3.0 Release 12
22. 3GPP (2011-04), "*LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Self-configuring and self-optimizing network (SON) use cases and solutions*", 3GPP TR 36.902 version 9.3.1 Release 9
23. S. Tombaz, P., Monti et al. (2014), "*Is backhaul becoming a bottleneck for green wireless access networks?*", IEEE International Conference on Communications (ICC2014), pp. 4029–4035
24. 3GPP (2011-10), "*Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Physical layer for relaying operation*", 3GPP TS 36.216 version 10.3.1 Release 10
25. 3GPP (2018-07), "*5G; NR; Physical channels and modulation*", 3GPP TS 38.211 version 15.2.0 Release 15
26. 3GPP (2018-06), "*5G; NR; User Equipment (UE) procedure in idle mode and RRC inactive state*", 3GPP TS 38.304 version 15.0.0 Release 15
27. Agiwal M., Jin H. (2018), "*Directional Paging for 5G Communications Based on Partitioned User ID*", Sensors, Vol. 18, page 1845.
28. 3GPP (2018-07), "*LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) procedures in idle mode*", 3GPP TS 36.304 version 15.0.0 Release 15
29. Berrocal-Plaza, V., Vega-Rodriguez, M.A., Sanchez-Perez, J.M. (2016), "*An efficient way of assigning paging areas by using mobility models*". IEEE/ACM Trans. Netw., Vol. 24, pp. 3726–3739.

30. Toril, M., Luna-Ramírez, S., Wille, V., “*Automatic replanning of tracking areas in cellular networks*”. IEEE Trans. Veh. Technol., pp. 2005–2013.
31. Pacheco-Paramo, D., Akyildiz, I.F., Casares-Giner, V., “*Local anchor based location management schemes for small cells in HetNets*”, IEEE Trans. Mob. Comput., pp. 883–894.
32. Bagaa, M., Taleb, T., Ksentini, A., “*Efficient tracking area management framework for 5G networks*”, IEEE Transactions on Wireless Communications, pp. 4117–4131
33. 3GPP (2016), “*Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification*”, 3GPP TS 36.331 version 13.0.0 Release 13
34. ITU-R M. (2017), “*Minimum Requirements Related to Technical Performance for IMT-2020 Radio Interface(s)*”, ITU-R SG05.
35. Xincheng Z. (2018), “*LTE Optimization Engineering Handbook*”, IEEE Press, John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd.
36. Sesia, S., Baker M., Toufik I. (2011), “*LTE-the UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice*”, John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA.
37. 3GPP (2018-06), “*NR; Overall description; Stage-2*”, 3GPP TS 38.300 version 15.2.0 Release 15