

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



**TRỊNH QUỲNH MAI**

**ĐÁNH GIÁ CẢI THIỆN HIỆU NĂNG HỆ THỐNG  
QUẢN LÝ BÚP SÓNG TRONG MẠNG 5G BẰNG  
PHƯƠNG PHÁP HÌNH HỌC**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**

**(Theo định hướng ứng dụng)**

**HÀ NỘI – 2022**

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



**TRỊNH QUỲNH MAI**

**ĐÁNH GIÁ CẢI THIỆN HIỆU NĂNG HỆ THỐNG  
QUẢN LÝ BÚP SÓNG TRONG MẠNG 5G BẰNG  
PHƯƠNG PHÁP HÌNH HỌC**

**CHUYÊN NGÀNH : KỸ THUẬT VIỄN THÔNG  
MÃ SỐ : 8.52.02.08**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**  
(Theo định hướng ứng dụng)

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: TS. NGUYỄN VIỆT MINH**

**HÀ NỘI – 2022**

## LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan luận văn: "**Đánh giá cải thiện hiệu năng hệ thống quản lý búp sóng trong mạng 5G bằng phương pháp hình học**" là công trình nghiên cứu của riêng tôi.

Việc sử dụng kết quả, trích dẫn tài liệu tham khảo trên các tạp chí, các trang web tham khảo đảm bảo theo đúng quy định. Các nội dung trích dẫn và tham khảo các tài liệu, sách báo, thông tin được đăng tải trên các tác phẩm, tạp chí và trang web theo danh mục tài liệu tham khảo của luận văn.

Tôi xin chịu hoàn toàn trách nhiệm cho lời cam đoan của mình.

*Hà Nội, ngày      tháng      năm 2022*

Học viên

**Trịnh Quỳnh Mai**

## LỜI CẢM ƠN

Trong suốt quá trình học tập và nghiên cứu chương trình Thạc sỹ tại **Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông** em đã được các Thầy cô của học viện mở ra một môi trường học tập rất tốt. Em xin gửi lời cảm ơn sâu sắc tới các Thầy cô. Đặc biệt, em xin cảm ơn các **Thầy cô Khoa Đào tạo Sau Đại học** đã tận tình truyền đạt kiến thức và tạo mọi điều kiện thuận lợi cho em trong quá trình học tập nghiên cứu.

Em xin gửi lời cảm ơn chân thành nhất tới Thầy giáo **TS. Nguyễn Viết Minh** - người đã trực tiếp định hướng em lựa chọn đề tài này, đồng thời cũng là người đã tận tình hướng dẫn em trong suốt quá trình thực hiện và hoàn thành luận văn.

Mặc dù đã có nhiều cố gắng để hoàn thành luận văn bằng tất cả sự nhiệt tình và khả năng của mình, tuy nhiên luận văn không thể tránh khỏi những thiếu sót và hạn chế. Kính mong nhận được sự chia sẻ và đóng góp ý kiến của các thầy, cô giáo và các bạn đồng nghiệp.

Cuối cùng, em xin kính chúc các thầy cô giáo luôn dồi dào sức khỏe và thành công trong cuộc sống. Chúc các bạn luôn phấn đấu hết mình và thành công!

Trân trọng cảm ơn!

*Hà Nội, ngày tháng năm 2022*

Học viên

**Trịnh Quỳnh Mai**

## MỤC LỤC

<b>LỜI CAM ĐOAN .....</b>	<b>i</b>
<b>LỜI CẢM ƠN .....</b>	<b>ii</b>
<b>MỤC LỤC .....</b>	<b>iii</b>
<b>DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT .....</b>	<b>v</b>
<b>DANH MỤC BẢNG BIỂU .....</b>	<b>viii</b>
<b>DANH MỤC HÌNH VẼ ĐỒ THỊ .....</b>	<b>ix</b>
<b>MỞ ĐẦU .....</b>	<b>1</b>
<b>CHƯƠNG 1. TỔNG QUÁT VỀ MẠNG 5G VÀ CÔNG NGHỆ ĐỊNH DẠNG BÚP SÓNG .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Tổng quát mạng 5G, công nghệ vô tuyến mới (New Radio) .....</b>	<b>4</b>
1.1.1. Tổng quát mạng 5G .....	4
1.1.2. Công nghệ vô tuyến mới (New Radio) .....	6
<b>1.2. Kiến trúc mạng 5G .....</b>	<b>9</b>
1.2.1. 5G Non-Standalone (NSA) .....	9
1.2.2. 5G Standalone (SA).....	10
<b>1.3. Giải pháp beamforming trong 5G và các vấn đề kỹ thuật liên quan.....</b>	<b>13</b>
1.3.1. Giải pháp beamforming trong 5G .....	13
1.3.2. Các vấn đề kỹ thuật liên quan .....	15
<b>1.4. Kết luận chương.....</b>	<b>22</b>
<b>CHƯƠNG 2. MÔ HÌNH HỆ THỐNG ĐỊNH DẠNG BÚP SÓNG .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1. Mô hình hệ thống beamforming .....</b>	<b>23</b>
2.1.1. Các thành phần của quản lý chùm tia.....	24
2.1.2. Quản lý chùm tia trong mạng 5G .....	31
<b>2.2. Thiết lập các tham số mạng 5G trong quản lý chùm tia chế độ kết nối .</b>	<b>36</b>
2.2.1. Theo dõi chùm tia.....	39
2.2.2. Chuyển đổi/Phục hồi chùm tia sóng.....	39
<b>2.3. Kết luận chương.....</b>	<b>41</b>

<b>CHƯƠNG 3. CẢI THIẾN HIỆU NĂNG QUẢN LÝ BÚP SÓNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP HÌNH HỌC .....</b>	<b>42</b>
<b>3.1. Kỹ thuật định dạng búp sóng bằng phương pháp hình học .....</b>	<b>42</b>
3.1.1. Mô hình mạng .....	42
3.1.2. Mô hình Beamforming .....	43
3.1.3. Các thông số hiệu năng của hệ thống quản lý búp sóng .....	43
<b>3.2. Hệ thống quản lý búp sóng trong mạng 5G bằng phân tích hình học ngẫu nhiên .....</b>	<b>44</b>
3.2.1. Lựa chọn chùm tia .....	44
3.2.2. Hiệu quả của việc lựa chọn lại chùm tia .....	47
3.2.3. Xác suất chuyển đổi chùm tia.....	49
<b>3.3. Đánh giá hiệu năng hệ thống .....</b>	<b>50</b>
3.3.1. Tạo các búp kỹ thuật số với OFDM: Các đỉnh tín hiệu cao làm biến dạng chùm búp sóng.....	51
3.3.2. Xác suất sai lệch chùm tia tại BS và chi phí thời gian .....	53
3.3.3. Ảnh hưởng của số chùm tia tại MT.....	55
3.3.4. Hiệu suất phổ tổng thể.....	59
3.3.5. Hiệu suất mạng cho sự kết hợp của các MT .....	60
3.3.6. Đánh giá mức thu các búp sóng trên đường xuống của mạng 5G .....	62
<b>3.4. Kết luận chương.....</b>	<b>64</b>
<b>KẾT LUẬN.....</b>	<b>66</b>
<b>DANH MỤC CÁC TÀI LIỆU THAM KHẢO .....</b>	<b>68</b>

## DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

Ký hiệu	Tiếng Anh	Tiếng Việt
ASE	Area spectral efficiency	Hiệu suất phổ vùng
BT	Base station	Trạm gốc
CNA	Certified Network Associate	Chứng nhận quản trị mạng
CSI-RS	Channel State Information Reference Signal	Tín hiệu tham chiếu thông tin trạng thái kênh
DL	Downlink	Đường xuống
DMRS	Demodulation reference signal	Tín hiệu tham chiếu giải điều chế
ECP	Evolved Packet Core	Lõi gói tiến hóa
eMBB	enhanced Mobile BroadBand	Băng rộng di động nâng cao
EMS	Element Manager System	Hệ thống quản lý các thành phần
eNB	Enhanced Node B	Nút B tăng cường
EN-DC	Evolved-Universal Terrestrial Radio Access-New Radio	Truy nhập vô tuyến mặt đất toàn cầu phát triển-vô tuyến mới
EVM	Error Vector Magnitude	Biên độ vec tơ lỗi
FO	Full Overhead	Toàn bộ chi phí
HARQ	Hybrid automatic repeat request	Yêu cầu phát lại tự động lai ghép
IoT	Internet of things	Internet vạn vật
ISD	Inter-site distance	Khoảng cách giữa các trạm
ITU	International Telecommunication Union	Liên minh Viễn thông quốc tế
LDPC	Low-density parity-check code	Mã kiểm tra chẵn lẻ mật độ thấp
LO	Limited Overhead	Giới hạn chi phí

LOS	Line-of-Sight	Trong đường tầm nhìn
LTE	Long Term Evolution	Sự tiến hóa dài hạn
MAC	Medium Access Control	Điều khiển truy nhập môi trường
MIB	Master Information Block	Khối thông tin chính
mMTC	massive Machine Type Communications	Truyền thông kiểu máy cỡ lớn
MNO	Mobile Network Operator	Nhà khai thác mạng di động
MT	Terminal	Thiết bị đầu cuối
NLOS	Non-Line-of-Sight	Không trong đường tầm nhìn
NR	New Radio	Vô tuyến mới
NSA	Non-Standalone	Chế độ không độc lập
PBCH	Physical Broadcast Channel	Kênh quảng bá vật lý
PDCCH	Physical Downlink Control Channel	Kênh điều khiển đường xuống vật lý
PHY	Physical layer	Lớp vật lý
PO	Probabilistic Overhead	Tổng chi phí xác suất
PSS	Primary Synchronization Signal	Tín hiệu đồng bộ hóa sơ cấp
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	Điều chế biên độ cầu phương
RACH	Random Access Channel	Kênh truy nhập ngẫu nhiên
RAN	Radio Access Network	Mạng truy nhập vô tuyến
RF	Radio Frequency	Tần số vô tuyến
RLF	Radio link failure	Lỗi liên kết vô tuyến
RSRP	Reference Signal Received Power	Công suất thu tín hiệu tham chiếu
SA	Stand Alone	Chế độ độc lập
SBA	Service Based Architecture	Kiến trúc dựa trên dịch vụ
SINR	Signal to Interference-Noise Ratio	Tỷ số tín hiệu trên nhiễu cộng tạp âm

SRS	Sounding Reference Signal	Tín hiệu tham chiếu thăm dò
SSB	Synchronization Signal Block	Khối tín hiệu đồng bộ hóa
SSS	Secondary Synchronization Signal	Tín hiệu đồng bộ hóa thứ cấp
UE	User Equipment	Thiết bị người dùng
UL	Uplink	Đường lên
URLLC	Ultra Reliable Low Latency Communications	Truyền thông độ trễ thấp cực tin cậy
VNF	Virtual Network Function	Chức năng mạng ảo

## **DANH MỤC BẢNG BIỂU**

Bảng 1.1 Sự khác nhau về các thông số vô tuyến giữa LTE và 5G NR. ....	5
Bảng 2.1 Các khối SS cho các tần số. ....	27
Bảng 2.2 So sánh các giai đoạn quản lý chùm tia trong chế độ SA (DL) và NSA (DL/UL). ....	31
Bảng 2.3 Các tín hiệu tham chiếu cho các hoạt động quản lý chùm. ....	35
Bảng 3.1 Các tham số sử dụng trong phân tích hiệu năng hệ thống. ....	44

## DANH MỤC HÌNH VẼ ĐỒ THỊ

Hình 1.1 Dải tần trải rộng trong 5G .....	6
Hình 1.2 Kiến trúc mạng 5G None Stand alone và 5G Stand alone.....	9
Hình 1.3 Mô tả các dải tần trong mạng 5G.....	13
Hình 1.4 Kiến trúc định dạng búp sóng kỹ thuật số.....	16
Hình 1.5 Hệ thống định dạng búp sóng tương tự đa anten tại máy phát và máy thu. .....	17
Hình 1.6 Hệ thống định dạng búp sóng hỗn hợp với xử lý tương tự và kỹ thuật số được tách biệt. ....	19
Hình 1.7 Dạng tia của chùm phát sóng 5G. ....	21
Hình 2.1 Truy nhập ban đầu trong mạng 5G NR.....	25
Hình 2.2 Cụm SS được truyền lặp lại trong chu kỳ thời gian.....	27
Hình 2.3 Báo cáo chùm tia trong PRACH. ....	29
Hình 2.4 Quản lý chùm chế độ kết nối . ....	32
Hình 2.5 Sơ đồ minh họa các đặc tính của khối SS/PBCH đối với các khoảng cách sóng mang con khác nhau. ....	33
Hình 2.6 RS dành riêng cho từng ô và người dùng cụ thể.....	34
Hình 2.7 Phân bổ CSI-RS. ....	35
Hình 2.8 Quản lý chùm tia trong quá trình RACH và sau khi kết nối cuộc gọi. ....	36
Hình 2.9 Lựa chọn chùm DL Tx.....	37
Hình 2.10 Tinh chỉnh chùm DL Tx.....	38
Hình 2.11 Tinh chỉnh chùm DL Rx. ....	39
Hình 2.12 Minh họa quá trình chuyển đổi chùm tia. ....	40
Hình 2.13 Phục hồi tia.....	41
Hình 3.1 Mạng di động Poisson với định hướng chùm tia tới MT.....	42
Hình 3.2 Chênh lệch chùm tia cảm ứng di động.....	45
Hình 3.3 Chuyển mạch chùm xác suất với hai chùm búp sóng tại MT. ....	49
Hình 3.4 Sơ đồ kết nối tạo các búp kỹ thuật số với OFDM. ....	52
Hình 3.5 Kết quả kết nối tạo các búp kỹ thuật số với OFDM. ....	52

Hình 3.6 Đồ thị ba chiều của ASE hiệu dụng đối với chùm số $2^n$ tại BS và chùm số $2^k$ tại MT. .....	53
Hình 3.7 Ảnh hưởng của ISD, tốc độ MT và tuần hoàn SSB đến xác suất của chùm tia lệch lạc tại BS. ....	53
Hình 3.8 Chi phí thời gian trên một đơn vị thời gian so với số lượng chùm tia tại BS.....	54
Hình 3.9 Ảnh hưởng của chùm tia số $2^k$ tại MT diễn hình lên ASE hiệu dụng. ....	57
Hình 3.10 Ảnh hưởng của chùm số $2^k$ tại MT diễn hình đến ASE hiệu dụng. ....	58
Hình 3.11 Đo lường hiệu suất phổ định dạng búp sóng hỗn hợp. ....	60
Hình 3.12 Mạng không đồng nhất so với mạng đồng nhất. ....	60
Hình 3.13 Hiệu suất tổng thể cho sự kết hợp của các MT. ....	61
Hình 3.14 Mô hình thiết kế các khối xử lý của hệ thống thu nhận búp sóng của mạng 5G. ....	62
Hình 3.15 Dạng sóng của phân phát và phân thu.....	63
Hình 3.16 Công suất trên các khối SSB.....	64

## MỞ ĐẦU

Ngày nay, các công nghệ truyền thông không dây gần như không thể thiếu trong cuộc sống thường nhật, sự ra đời của nó đã thay đổi cách liên lạc, làm việc và giải trí truyền thống của con người. Công nghệ truyền thông hiện đại giúp chúng ta giải quyết công việc nhanh chóng hơn với đầy đủ tiện ích đã được tích hợp sẵn trong các thiết bị viễn thông đầu cuối đặc biệt là điện thoại thông minh. Cấu hình điện thoại ngày một được chú ý để đáp ứng được khả năng tương thích với dịch vụ của các nhà cung cấp dịch vụ. Thế hệ di động thứ năm được xem như là một bước tiến khổng lồ trong ngành công nghiệp truyền thông hiện đại của thế giới. Nhà thông minh, thiết bị thông minh, và đáng mong đợi hơn là thành phố thông minh, các thiết bị thông minh có khả năng tự kết nối thành một mạng lưới, điều khiển tự động và truyền dữ liệu với tốc độ cực cao (Tốc độ mong muốn của mạng 5G là lớn hơn 1 Gbps với băng thông từ 3 đến 300 GHz). Ngoài các ứng dụng thành phố thông minh, mối quan tâm ngày càng tăng trong sử dụng việc khai thác các khía cạnh khác nhau, không gian để cải thiện và tối ưu các kết nối nhằm nâng cao hiệu quả hoạt động và tạo ra khả năng phục hồi. Để cung cấp tốc độ cao hơn, kết nối lớn, độ trễ cực thấp và trải nghiệm người dùng cao cấp, mạng 5G không thể sử dụng chùm phát sóng cố định của mạng 3G và 4G. Các chùm phát sóng 5G là một nhóm các chùm tia hẹp có độ rộng thích hợp và định hướng đa dạng đạt được bằng cách sử dụng công nghệ tạo chùm. Những chùm tia hẹp quét qua các khu vực mục tiêu mà không để lại các vùng phủ trong các khu vực mục tiêu trong khi có phạm vi phủ sóng tối thiểu cũng như RSRP và SINR tối đa. Để tạo ra chùm phát sóng 5G với những đặc điểm này, anten 5G phải hỗ trợ công nghệ tạo chùm.

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.

Với tần số mmWave, khi ứng dụng không hiệu quả vào di động băng rộng do mất khả năng truyền lan rộng và dễ bị nghẽn đường truyền sẽ là một thách thức. Các anten mảng có thể giám sát với một số lượng lớn các phần tử anten. Mỗi phần tử có thể được sử dụng để tạo ra các chùm có hướng tập trung năng lượng truyền cao và tăng phạm vi phủ sóng. Ngoài ra, sóng milimet thông tin liên lạc phải được thiết kế để hoạt động trong điều kiện di động, bao phủ người dùng trong đường tầm nhìn (LOS) và không trong đường tầm nhìn (NLOS) ở tốc độ dành cho người đi bộ và xe cộ. Cái này có thể trở nên khá khó khăn vì hoạt động ở tần số mmWave rất nhạy cảm với những thay đổi trong môi trường di động. Do đó, mọi thứ dựa trên hệ thống truy nhập không dây mmWave như định dạng chùm sóng búp thích ứng và chuyển đổi búp sóng nhanh chóng để luôn duy trì búp sóng được chọn tốt nhất nhằm tối đa hóa hiệu suất ngay cả trong trường hợp lệch búp sóng do tính di động trong vùng và chuyển giao giữa các vùng phủ sóng. Vậy nên, kỹ thuật tạo chùm tia với hướng búp sóng hẹp cũng có thể được sử dụng để cải thiện hiệu suất mạng.

Do đó, học viên lựa chọn đề tài: **“Đánh giá cải thiện hiệu năng hệ thống quản lý búp sóng trong mạng 5G bằng phương pháp hình học”** để góp phần nghiên cứu quản lý chùm búp sóng nhằm tối ưu hóa hiệu năng trong quá trình triển khai 5G trên sóng có băng tần mmWave và dưới 6 GHz.

Nội dung luận văn bao gồm 3 chương:

- Chương 1: Tổng quát về mạng 5G và công nghệ định dạng búp sóng.
- Chương 2: Mô hình hệ thống định dạng búp sóng.
- Chương 3: Cải thiện hiệu năng quản lý búp sóng bằng phương pháp hình học.

Quản lý chùm búp sóng là trọng tâm trong hoạt động của các hệ thống di động 5G NR. Tập trung hiệu suất phát ra từ các thiết bị đầu cuối di động (MT) bằng cách tăng số lượng chùm sóng trên mỗi ô làm tăng công suất tín hiệu và giảm nhiễu. Do

đó, giải pháp có tiềm năng mang lại những cải tiến lớn về hiệu quả phổ vùng (ASE). Việc quản lý chùm sóng là một phần của phân tích cấp hệ thống, để xác định và phân tích một số chỉ số hiệu suất nhất định. Nghiên cứu quản lý chùm búp sóng bằng phương pháp hình học nhằm tối ưu hóa hiệu năng trong quá trình triển khai 5G trên sóng có băng tần mmWave và dưới 6 GHz.

# CHƯƠNG 1. TỔNG QUÁT VỀ MẠNG 5G VÀ CÔNG NGHỆ ĐỊNH DẠNG BÚP SÓNG

## 1.1. Tổng quát mạng 5G, công nghệ vô tuyến mới (New Radio)

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, ...). 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, ... 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.

### 1.1.1. Tổng quát mạng 5G

Tất cả các thay đổi của các thế 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 có độ lớn gấp khoảng bậc hai. 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 IoT (Internet of Things) và ngoài phục vụ nhu cầu của con người, 5G phải phục vụ cho các truyền thông kiểu máy khác nhau với các yêu cầu khác nhau. Sự khác nhau về tiêu chuẩn vô tuyến giữa LTE và Công nghệ vô tuyến mới (New Radio) được liệt kê trong Bảng 1.1 [3].

**Bảng 1.1 Sự khác nhau về các thông số vô tuyến giữa LTE và 5G NR.**

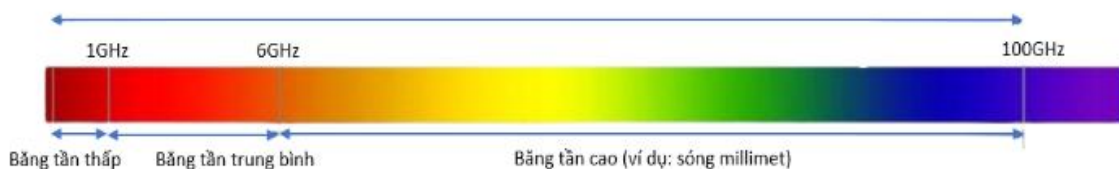
Các thông số	LTE	NR
Khoảng cách sóng mang con	15 kHz	Tần số dưới 6 GHz { 15 kHz, 30 kHz, 60 kHz} Tần số trên 6 GHz { 60 kHz, 120 kHz, 240* kHz}
Băng thông kênh nhỏ nhất/lớn nhất	1,4 MHz /20 MHz	Tần số dưới 6 GHz 5 MHz /100 MHz Tần số trên 6 GHz 50 MHz /400 MHz
Số lượng kết tập sóng mang lớn nhất	Lên đến 32 sóng mang thành phần	Lên đến 16 sóng mang thành phần
Cấu trúc khung	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
Mã hóa kênh	Turbo coding (cho dữ liệu) TBCC (cho điều khiển)	LDPC (cho dữ liệu) Polar (cho điều khiển)
Công nghệ ghép kênh	Đường xuống: OFDM Đường lên: DFT-S-OFDM	Đường lên: OFDM Đường xuống: {OFDM, DFT-SOFDM}
MIMO	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
HARQ	Dựa trên truyền phát và phát lại khối truyền tải	Dựa trên truyền phát và phát lại khối truyền tải Dựa trên truyền phát và phát lại nhóm khối mã
Tần số sóng mang	450 MHz đến 3,8 GHz Băng tần không phép (5 GHz)	600 MHz đến 40 GHz

### 1.1.2. Công nghệ vô tuyến mới (New Radio)

Để phát triển mạng 5G trở thành hiện thực, nhiều ý tưởng tiên tiến đã được đề xuất và phân tích trong những năm gần đây. Các công nghệ quan trọng chính đã được xem xét cho các hệ thống mạng 5G gồm: sóng milimet, ô nhỏ, định dạng búp sóng, công nghệ song công hoàn toàn, massive MIMO.

#### 1.1.2.1. 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 1.1 Dải tần trải rộng trong 5G .**

Mặc dù các băng tần cao trên 24 GHz đã được sử dụng trong một thời gian dài trong truyền thông không dây được thiết kế kỹ lưỡng theo kiểu truyền thẳng cố định 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 tần mmWave, không hiệu quả khi ứng dụng vào di động băng rộng do mất khả năng truyền lan rộng và dễ bị nghẽn đường truyền tín hiệu. Để 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 anten 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 mmWave, các bước sóng nhỏ ở các tần số cao hiện thực hóa việc sử dụng nhiều phần tử anten trong một hình dạng tương đối nhỏ. Đặc tính này của sóng milimet sẽ được ứng dụng trong hệ thống 5G NR khi các mảng anten MIMO cỡ 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 tổn hao trên cả đường lên và đường xuống. Những chùm tia định hướng này cũng có thể được tái sử dụng trong không gian. Một số nhà khai thác đang tập trung vào truy nhập không dây để cung cấp dịch vụ 5G tốc độ cao (khoảng 1 Gb/s) trong việc triển khai cáp/sợi thay vì triển khai 5G ban đầu trong các dải sóng milimet, ngoài ra còn hỗ trợ các ứng dụng di động băng rộng. Cách tiếp cận này sẽ giúp phát triển hệ sinh thái dựa trên sóng milimet cho phép các công nghệ 5G được sử dụng với các thiết bị chạy bằng pin.

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 “không trực tiếp”, và sử dụng chúng để bổ trợ cho các tín hiệu truyền trực tiếp 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 sóng milimet, thậm chí các biến đổi nhỏ thiết bị đầu cuối 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 nhập.

Vì sóng milimet sẽ phủ sóng cả trong nhà và 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 nhập 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 dưới 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.

Vì dải sóng milimet sử dụng tần số rất cao, nó dẫn đến suy hao lan truyền và các tổn hao khác. Để bù đắp cho những tổn hao, liên lạc định hướng là điều cần thiết ở các tần số như vậy. Các anten mảng với số lượng lớn các phần tử anten làm cho nó có thể tạo ra bước sóng nhỏ hơn. Khái niệm này cung cấp mức tăng định dạng chùm cho chuỗi truyền RF, giúp bù đắp cho tổn hao lan truyền. Hơn nữa, mảng anten lớn giúp đạt được tốc độ dữ liệu cao hơn do kỹ thuật ghép kênh không gian.

Các liên kết định hướng này yêu cầu sự liên kết chính xác của các chùm phát và thu. Để đạt được sự liên kết của cặp chùm tia và đạt được hiệu suất yêu cầu từ đầu đến cuối với độ trễ mong muốn, các hoạt động quản lý chùm tia được giới thiệu trong 5G NR. Hoạt động quản lý chùm là cần thiết trong khi Truy nhập ban đầu (tức là chế độ IDLE) khi UE không kết nối với gNB và trong quá trình theo dõi (tức là chế độ CONNECTED) khi UE đang trao đổi dữ liệu với gNB.

#### **1.1.2.2. Các trường hợp sử dụng 5G**

5G có 3 loại trường hợp sử dụng đặc biệt: truyền thông kiểu máy cỡ lớn (mMTC), băng thông rộng di động nâng cao (eMBB) và truyền thông độ trễ thấp cực tin cậy (URLLC).

- mMTC đề cập đến khả năng kết nối cho số lượng lớn các thiết bị với chi phí rất thấp và tiêu thụ năng lượng rất thấp. Các thiết bị như vậy như mạng giám sát, cảm biến, thiết bị truyền động, ... cung cấp thời gian sử dụng lâu dài bằng cách tăng tuổi thọ pin và phạm vi phủ sóng.

- eMBB tương ứng với việc trao đổi dữ liệu lớn hơn giữa các nút và thiết bị của người dùng. Thực tế tăng cường (AR), thực tế ảo (VR), điện toán đám mây rất phù hợp cho các trường hợp sử dụng eMBB.

- URLLC có nghĩa là độ trễ rất thấp và độ tin cậy cực cao. Ví dụ như điều khiển tự động, giao thông tự động, thành phố thông minh và tự động hóa nhà máy.

## 1.2. Kiến trúc mạng 5G

Kiến trúc mạng của công nghệ di động 5G cải thiện rất nhiều so với các kiến trúc trước đây. Các mạng lớn có mật độ ô lớn cho phép những bước nhảy vọt về hiệu suất. Ngoài ra, kiến trúc của mạng 5G mang lại khả năng bảo mật tốt hơn so với mạng 4G LTE hiện nay. 5G NR (New Radio) là tiêu chuẩn mới nhất trong loạt tiêu chuẩn 3GPP hỗ trợ tốc độ dữ liệu rất cao với độ trễ thấp hơn so với công nghệ LTE (4G) tiền nhiệm. 5G NR hỗ trợ dải tần FR1 và FR2. FR1 là tần số dưới 6 GHz (từ 450 MHz đến 6000 MHz), trong khi FR2 là dải sóng mm (từ 24,25 GHz đến 52,6 GHz).



**Hình 1.2 Kiến trúc mạng 5G None Stand alone và 5G Stand alone.**

### 1.2.1. 5G Non-Standalone (NSA)

3GPP quyết định phát triển một bộ tiêu chuẩn “không độc lập” trong Rel.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). Về mặt kiến trúc, NSA bao gồm một RAN mới, được triển khai cùng với trạm 4G hoặc LTE với 4G Core hoặc EPC hiện có.

Về cơ bản, nó tập trung vào eMBB, nơi các thiết bị cầm tay được hỗ trợ 5G sẽ sử dụng tần số mmWave để tăng dung lượng dữ liệu nhưng sẽ tiếp tục sử dụng cơ sở hạ tầng 4G hiện có cho liên lạc thoại. NSA giúp các MNO ra mắt 5G nhanh chóng cho eMBB để có được lợi thế cạnh tranh trên thị trường viễn thông [3]. NSA cũng giúp tận dụng phạm vi hoạt động LTE/VoLTE hiện có của mình để tối đa hóa nền tảng LTE được cài đặt và tăng dung lượng đồng thời tăng hiệu quả phân phối tài nguyên. NSA sẽ không hỗ trợ lát cắt mạng, URLLC và mMTC, nhưng tốc độ băng thông rộng cao hơn của nó sẽ cho phép các dịch vụ như phát trực tuyến video, thực tế tăng cường, thực tế ảo và trải nghiệm đa phương tiện. 5G NR không độc lập sẽ cung cấp băng thông dữ liệu tăng lên bằng cách sử dụng hai dải tần số vô tuyến mới sau [5]:

- Dải tần số 1 (450 MHz đến 6000 MHz) - chồng lên các tần số 4G LTE và được gọi là tần số dưới 6 GHz. Các dải được đánh số từ 1 đến 255.
- Dải tần số 2 (24 GHz đến 52 GHz) - là dải tần chính mmWave. Các dải được đánh số từ 257 đến 511.

Lợi ích của 5G NSA:

- Cung cấp kết nối tốc độ cao cho người dùng với các thiết bị hỗ trợ 5G.
- Tận dụng các khoản đầu tư mạng hiện có vào lõi truyền tải và di động.

### ***1.2.2. 5G Standalone (SA)***

Là một kiến trúc cốt lõi hoàn toàn mới được 3GPP tiêu chuẩn hóa, mang đến những thay đổi lớn như Kiến trúc dựa trên dịch vụ (SBA) và sự phân tách chức năng của các chức năng mạng khác nhau. Kiến trúc của nó có lợi thế nhất định về tốc độ cao và đảm bảo dịch vụ đầu cuối, đặc biệt hữu ích cho các MNO, những người chuẩn

bị bắt đầu các dịch vụ 5G doanh nghiệp mới như thành phố thông minh, nhà máy thông minh hoặc các giải pháp thị trường tích hợp theo chiều dọc khác. Mô hình triển khai cho phép giới thiệu nhanh chóng các dịch vụ mới với thời gian đưa ra thị trường nhanh chóng. Tuy nhiên, nó có nghĩa là đầu tư thêm và sự phức tạp của việc chạy nhiều lõi trong mạng. 5G SA bao gồm một mạng truy cập vô tuyến mới cùng với 5G Core (5G-C), bao gồm kiến trúc gốc đám mây hoàn toàn ảo hóa (CNA) giới thiệu những cách mới để phát triển, triển khai và quản lý dịch vụ. 5G-C hỗ trợ thông lượng cao để tăng cường hiệu năng so với nhu cầu của mạng 5G. Kiến trúc dựa trên dịch vụ phù hợp với đám mây ảo hóa (SBA) giúp nó có thể triển khai tất cả các chức năng mạng phần mềm 5G bằng cách sử dụng tính toán biên [5].

5G NR độc lập bao gồm kiến trúc end-to-end mới sử dụng sóng milimet và tần số dưới 6 GHz và chế độ này sẽ không sử dụng cơ sở hạ tầng 4G LTE hiện có. 5G NR SA sẽ sử dụng băng thông rộng di động nâng cao (eMBB), truyền thông độ trễ thấp cực tin cậy (URLLC) và truyền thông kiểu máy cỡ lớn (mMTC) để triển khai tốc độ nhiều dữ liệu gigabit với hiệu quả được cải thiện và chi phí thấp hơn. 5G SA cũng cho phép khả năng phân chia mạng tiên tiến hơn, giúp các nhà khai thác nhanh chóng chuyển đổi sang cả 5G New Radio (NR) và 5G làm mạng lõi [3]. Lát cắt mạng, URLLC và mMTC mang lại độ trễ cực thấp cùng với một loạt các trường hợp sử dụng thể hệ tiếp theo như điều khiển từ xa cơ sở hạ tầng quan trọng, xe tự lái, chăm sóc sức khỏe nâng cao, ... Tuy nhiên, các trường hợp nâng cao của NR không tương thích ngược với EPC, đây là khung cung cấp dữ liệu và thoại hội tụ trên mạng 4G LTE. Mức độ tin cậy và độ trễ mà 5G cung cấp sẽ không thể thiếu để xử lý các máy điều khiển lưới điện thông minh, tự động hóa công nghiệp, robot cũng như điều khiển và điều phối máy bay không người lái.

Lợi ích của 5G SA:

- Các MNO có thể khởi chạy các dịch vụ 5G doanh nghiệp mới như thành phố thông minh và nhà máy thông minh.
- Nó được ảo hóa hoàn toàn, kiến trúc gốc đám mây (CNA), giới thiệu những cách mới để phát triển, triển khai và quản lý các dịch vụ.

- Kiến trúc cho phép kết thúc lát cắt để tách các dịch vụ một cách hợp lý.
- Tự động hóa nâng cao hiệu quả đồng thời giảm chi phí vận hành mạng.
- Bằng cách tiêu chuẩn hóa theo phương pháp gốc đám mây, các MNO cũng có thể dựa vào sự đổi mới tốt nhất từ cả nhà cung cấp và cộng đồng nguồn mở.
- Bằng cách chọn kiến trúc dựa trên gốc đám mây, các MNO cũng có thể quyết định nhiều mô hình triển khai khác nhau như đám mây riêng tại chỗ, đám mây công cộng hoặc kết hợp để đáp ứng các mục tiêu kinh doanh của họ.

Tóm lại, công nghệ 5G mang lại ba lợi thế chính:

- Tốc độ truyền dữ liệu nhanh hơn, lên đến tốc độ nhiều Gigabit/s.
- Khả năng lớn hơn, cung cấp năng lượng cho một lượng lớn thiết bị IoT trên mỗi kilomet vuông.
- Độ trễ thấp hơn, xuống đến mili giây hàng đơn vị, điều này cực kỳ quan trọng trong các ứng dụng như xe được kết nối trong các ứng dụng ITS và xe tự hành, nơi cần phản hồi gần như tức thời.

Việc cân nhắc thiết kế cho kiến trúc mạng 5G hỗ trợ các ứng dụng đòi hỏi cao rất phức tạp. Ví dụ, không có phương pháp tiếp cận một kích thước phù hợp với tất cả, phạm vi ứng dụng để yêu cầu dữ liệu khoảng cách di chuyển, khối lượng dữ liệu lớn hoặc một số kết hợp. Vì vậy, kiến trúc 5G phải hỗ trợ phổ băng tần thấp, trung bình và cao - từ các nguồn được cấp phép, chia sẻ và riêng tư để mang lại tầm nhìn 5G đầy đủ.

Vì lý do này, 5G được cấu trúc để chạy trên các tần số vô tuyến khác nhau, từ tần số dưới 1 GHz đến tần số cực cao, được gọi là “sóng milimet” (mmWave). Tần số càng thấp, tín hiệu có thể truyền đi xa hơn. Tần số càng cao, nó có thể mang nhiều dữ liệu hơn.



**Hình 1.3 Mô tả các dải tần trong mạng 5G.**

Có ba dải tần số ở cốt lõi của mạng 5G:

- Băng tần thấp của 5G hoạt động dưới 2 GHz và cung cấp phạm vi phủ sóng rộng. Băng tần này sử dụng phổ tần hiện có và đang được sử dụng cho 4G LTE, về cơ bản cung cấp kiến trúc 5G LTE cho các thiết bị 5G hiện đã sẵn sàng. Do đó, hiệu suất của 5G băng tần thấp tương tự như 4G LTE và hỗ trợ sử dụng cho các thiết bị 5G trên thị trường hiện nay.
- Băng tần trung 5G hoạt động ở dải tần 2-6 GHz và cung cấp lớp dung lượng cho các khu vực thành thị và ngoại thành. Dải tần này có tốc độ cao nhất hàng trăm Mbps.
- Băng tần cao 5G (mmWave) mang lại tần số cao nhất của 5G. Chúng nằm trong khoảng từ 24 GHz đến khoảng 100 GHz. Bởi vì tần số cao không thể dễ dàng di chuyển qua chướng ngại vật, 5G băng tần cao về bản chất là phạm vi ngắn. Hơn nữa, phạm vi phủ sóng của mmWave bị hạn chế và yêu cầu nhiều cơ sở hạ tầng di động hơn.

### **1.3. Giải pháp beamforming trong 5G và các vấn đề kỹ thuật liên quan**

#### **1.3.1. Giải pháp beamforming trong 5G**

##### **1.3.1.1. Tổng quan về kỹ thuật beamforming:**

Búp sóng về cơ bản là một dạng đặc biệt của mẫu bức xạ Anten. Đây là một phương pháp tập trung công suất bức xạ đa hướng của Anten vào một hoặc nhiều

hướng cụ thể. Trong hệ thống 5G, định dạng búp sóng hay còn gọi là beamforming được đề cập đến việc truyền tín hiệu ở dạng hẹp hơn từ trạm gốc đến máy thu theo cách mà chỉ người dùng có mục đích mới có thể truy xuất thông tin trong khi loại bỏ nhiễu từ các hướng khác. Trong khi truyền, búp chính của mẫu anten được hướng về một hướng nhất định bằng cách sử dụng pha và biên độ của mỗi phần tử anten trong một mảng. Đây là hiện tượng giao thoa trong mặt sóng. Trong khi nhận, phản hồi riêng lẻ của từng điểm anten được kết hợp để có được tín hiệu mong muốn theo hướng mong muốn [7].

Búp sóng có thể được thực hiện ở cả phía phát và phía thu. Khi nó được thực hiện ở phía phát nó được gọi là định dạng chùm phát và khi nó được thực hiện ở phía máy thu, nó được gọi là định dạng chùm thu. Búp sóng là một khái niệm rộng rãi vì nó được liên kết với quản lý tạo chùm và đào tạo chùm sẽ được thảo luận trong các phần sau.

Phân loại và định dạng chùm tia dựa trên kiến trúc và phần cứng thực hiện, định dạng búp sóng có thể được phân loại chủ yếu thành 3 loại: định dạng chùm tia tương tự, định dạng chùm tia kỹ thuật số và định dạng chùm tia sóng lai.

#### ***1.3.1.2. Đặt vấn đề về giải pháp beamforming trong 5G:***

Một tính năng chính của thiết kế 5G là khả năng hoạt động ở hai dải tần số khác nhau: tần số dưới 6 GHz và sóng milimet. Khi khả năng cung cấp của dải tần dưới 6 GHz trở nên hạn chế hơn, các dải tần mmWave có băng thông rộng hơn sẽ trở nên chiếm ưu thế hơn. Sóng milimet là sóng tần số cao, hoạt động trên phổ tần 24 GHz, mang lại dung lượng cao hơn. Hạn chế chính của việc sử dụng sóng milimet trong 5G là những sóng này rất dễ bị mất đường truyền trong không gian tự do, mưa, sương mù và các sự kiện khí quyển khác [8].

Các đặc điểm như suy hao lan truyền, tắc nghẽn đường truyền tín hiệu và hiệu ứng pha định khác với mmWave ở dải tần dưới 6 GHz, điều này đưa ra những thách thức mới cho thiết kế hệ thống và ảnh hưởng đến chất lượng và thông lượng đầu cuối của trải nghiệm người dùng. Thông lượng là một trong những yếu tố quan trọng làm nên thành công của 5G.

Để giải quyết những hạn chế này, tiêu chuẩn 3GPP 5G NR xác định các tính năng mới của Lớp vật lý (PHY) và Lớp điều khiển truy nhập môi trường (MAC) để hỗ trợ truyền thông định hướng. Trong số các tính năng quan trọng là quản lý chùm tia, được sử dụng để thu nhận và duy trì chùm tia. Nó cũng định nghĩa các thủ tục truy cập ban đầu mới để đảm bảo truyền thông theo hướng thành công. Luận văn thảo luận về các kỹ thuật quản lý chùm tia khác nhau và cách chúng phù hợp với mạng 5G NR.

### ***1.3.2. Các vấn đề kỹ thuật liên quan***

#### ***1.3.2.1 Các kỹ thuật định dạng búp sóng trong mạng 5G:***

Beamforming là công nghệ định dạng búp sóng với phương thức được sử dụng trong xử lý tín hiệu mảng chủ yếu cho hai mục đích sau:

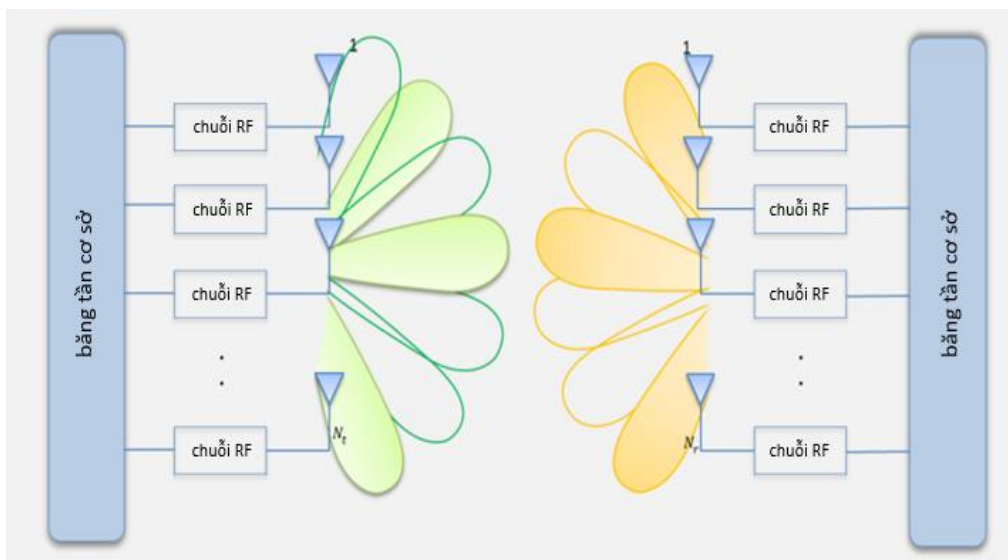
- Tìm hướng của tín hiệu mong muốn.
- Tăng cường tín hiệu mong muốn.

Beamforming là một hoạt động lọc chung kết hợp lọc thời gian và không gian, nó sử dụng tổng trọng số đầu ra của nhiều cảm biến tại thời gian nhất định. Nói cách khác, Beamforming là sự kết hợp tuyến tính của đầu ra tạm thời của nhiều cảm biến. Công nghệ định dạng búp sóng có các ứng dụng trong: Radar, Sonar, y sinh, truyền thông, hình ảnh, địa vật lý, vật lý thiên văn... Beamforming là một kỹ thuật tập trung năng lượng và do đó có hai mặt tích cực:

Tăng năng lượng tín hiệu cho người dùng dự định và giảm nhiễu ở nơi khác. Kỹ thuật này có thể được sử dụng để tăng mức độ bao phủ của tốc độ dữ liệu cụ thể hoặc hiệu suất phổ của hệ thống. Tỷ số tín hiệu trên tạp âm tăng dẫn đến độ lợi lớn hơn theo hướng của người dùng và cũng kiểm soát tốt hơn việc phân phối nhiễu không gian trong vùng phủ sóng. Beamforming có thể được áp dụng cho cả đường xuống và đường lên. Kỹ thuật này cũng giúp giữ cho chất lượng đường truyền tốt hơn, cung cấp kết nối được ổn định hơn [8].

Trong mạng 5G các sóng milimet sẽ được sử dụng chủ yếu. Suy hao lan truyền ở milimet là rất lớn bởi đặc tính của sóng milimet, do đó cần phải thêm một hệ số khuếch đại bổ sung vào hệ thống để bù suy hao, sao cho phù hợp với việc áp dụng cho các truyền thông không dây trong mạng 5G. Một cách tiếp cận quan trọng là sử

dụng anten mảng kết hợp với kỹ thuật định dạng búp sóng. Nguyên tắc cơ bản của định dạng búp sóng là truyền thông tin giống hệt nhau trên mỗi phần tử của mảng trong khi thay đổi biên độ pha của tín hiệu tại mỗi anten. Hướng và hình dạng của búp sóng hiệu quả của mảng được kiểm soát bởi sự thay đổi của các pha và biên độ của các anten riêng lẻ trong mảng. Trong các hệ thống MIMO thông thường với số lượng phần tử các anten ít, định dạng búp sóng được thực hiện ở mức băng tần cơ sở, còn được gọi là định dạng búp sóng kỹ thuật số. Xử lý tín hiệu kỹ thuật số được thực hiện khi mỗi phần tử anten được kết nối với một chuỗi RF riêng biệt, như được minh họa trong hình 1.4. Chuỗi RF thường là sự kết hợp của bộ khuếch đại tạp âm thấp, bộ chuyển đổi tương tự sang số hoặc bộ chuyển đổi số sang tương tự và bộ khuếch đại công suất anten [4].



**Hình 1.4 Kiến trúc định dạng búp sóng kỹ thuật số.**

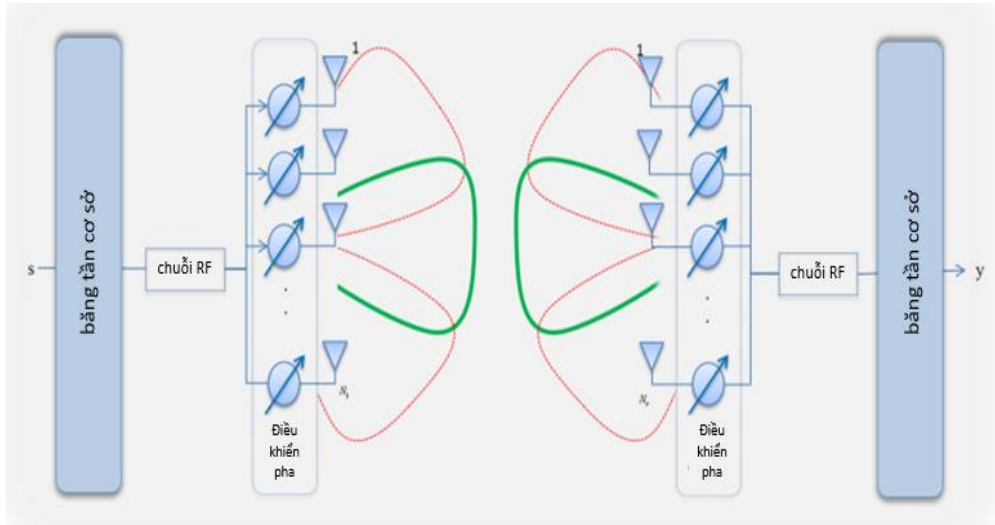
Mỗi chuỗi RF được kết nối với mỗi phần tử anten trong mảng. Tuy nhiên, ở các dải tần số sóng milimet, thực tế rất khó triển khai kỹ thuật định dạng búp sóng kỹ thuật số. Việc sử dụng số lượng bộ thu phát với số lượng anten lớn sẽ vừa tốn kém vừa tiêu tốn điện năng. Giải pháp đáng tin cậy duy nhất là sử dụng ít chuỗi RF hơn kích thước mảng anten ví dụ như hệ thống Massive MIMO sử dụng định dạng búp sóng tương tự hoặc định dạng búp sóng hỗn hợp.

Dựa trên kiến trúc và phần cứng thực hiện, định dạng búp sóng có thể được phân loại chủ yếu thành 3 loại: định dạng búp sóng tương tự, định dạng búp sóng kỹ

thuật số và định dạng búp sóng hỗn hợp. Tuy nhiên trong thực tế do chi phí đắt đỏ và tính phức tạp cao nên trong thực tế hầu như kỹ thuật định dạng búp sóng kỹ thuật số không được sử dụng. Vì thế nên trong luận văn này chỉ đề cập đến hai kỹ thuật chính là định dạng búp sóng tương tự và định dạng búp sóng hỗn hợp.

#### 1.3.2.2 Định dạng búp sóng tương tự:

Một trong những cách tiếp cận đơn giản nhất để cải thiện độ lợi định hướng trong hệ thống sóng milimet là định dạng búp sóng tương tự trong đó chỉ một chuỗi RF đơn được sử dụng. Bộ định dạng búp sóng tương tự được xây dựng với một chuỗi RF và nhiều bộ dịch pha đi qua các phần tử của anten. Pha của mỗi phần tử anten được kiểm soát bởi thuật toán tiền mã hóa. Bộ dịch pha chịu trách nhiệm điều khiển búp sóng. Một mạng các bộ dịch pha được sử dụng để điều khiển pha của tín hiệu được cấp cho anten mảng, như thể hiện trong hình 1.5. Hệ thống định dạng búp sóng tương tự được sử dụng để cung cấp búp sóng hẹp cần thiết.



**Hình 1.5 Hệ thống định dạng búp sóng tương tự đa anten tại máy phát và máy thu.**

Xem xét hệ thống truyền thông MIMO với vector định dạng búp sóng phát  $f$  và một vector định dạng búp sóng thu hay còn được gọi là vector kết hợp  $w$ , tín hiệu thông tin  $s$ , mối quan hệ đầu vào và đầu ra của hệ thống có thể được viết là:

$$y = w^* H f s + w^* n \quad (3.2)$$

Trong đó  $H$  là ma trận kênh sóng milimet và  $n$  là vector nhiễu. Lựa chọn chính xác vector  $f$  và vector  $s$  dẫn đến tăng và tối ưu độ lợi kênh.

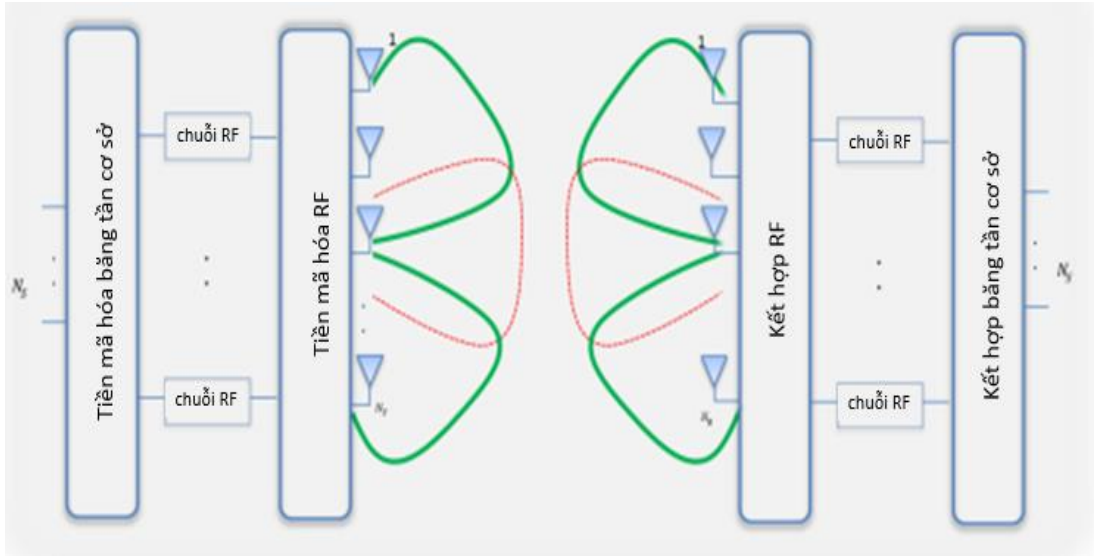
Trong anten mảng, các phần tử được đặt cách nhau một khoảng cách nhỏ thông thường có độ lớn bằng một nửa bước sóng. Dẫn đến mối quan hệ giữa tín hiệu thu được tại từng phần tử anten cụ thể, liên quan đến kỹ thuật ước tính góc đến và góc đi.

Giả định với với một đường truyền duy nhất và một anten mảng tuyến tính đồng nhất (trong đó các phần tử anten cách đều nhau bằng nửa bước sóng) có thể được viết thành  $H = ha_r(\theta')a_t^*(\theta')$ , trong đó  $h$  là độ lợi phức của đường truyền đơn. Trong ví dụ này, các vector định dạng búp sóng tối ưu có thể được thực hiện bằng cách sử dụng bộ dịch pha bằng cách thiết lập  $f = a(\theta')$  và  $w = a(\theta')$ .

Số lượng lớn các phần tử anten trong hệ thống cũng làm cho việc thu thập thông tin kênh khó khăn hơn bằng cách sử dụng các kỹ thuật ước tính truyền thống. Một số nghiên cứu ủng hộ việc sử dụng thăm dò kênh để xác định các vector trọng số tốt nhất cho mảng theo từng giai đoạn bằng cách sử dụng một sách mã bao gồm các mẫu búp sóng ở các độ phân giải khác nhau. Định dạng búp sóng tương tự với một chuỗi RF đơn chỉ hỗ trợ truyền một luồng và một người dùng. Điều này có nghĩa là không có lợi ích đa luồng hoặc đa người dùng liên quan đến MIMO. Ngoài ra, việc điều khiển búp sóng không phải là chuyện dễ dàng, đặc biệt là khi một liên kết thông tin liên lạc chưa được thiết lập.

#### **1.3.2.2 Định dạng búp sóng hỗn hợp:**

Hệ thống định dạng búp sóng tương tự có một số hạn chế trong việc điều khiển biên độ tín hiệu và độ phân giải điều khiển pha tín hiệu và một số hạn chế khác. Các kiến trúc định dạng búp sóng hỗn hợp được đề xuất để cải thiện độ lợi định dạng búp sóng và nâng cao lợi ích truyền thông MIMO bằng cách cho phép tiền mã hóa nhiều luồng. Hệ thống hỗn hợp phân tách quá trình tối ưu hóa MIMO thành các miền tương tự và kỹ thuật số. Tiêu chí thiết kế chính là giới hạn số lượng chuỗi RF và làm cho nó ít hơn số lượng anten của hệ thống.



**Hình 1.6 Hệ thống định dạng búp sóng hỗn hợp với xử lý tương tự và kỹ thuật số được tách biệt.**

Số lượng chuỗi RF được sử dụng thấp hơn số lượng anten trong mảng. Sử dụng nhiều luồng, với phương pháp kết hợp cho phép thực hiện ghép kênh không gian và MIMO nhiều người dùng. Về mặt toán học, mối quan hệ đầu vào - đầu ra của hệ thống MIMO với tiền mã hóa hỗn hợp tại máy phát và kết hợp tại máy thu được biểu diễn như sau:

$$y = \sqrt{\rho} \mathbf{W}_{BB}^* \mathbf{W}_{RF}^* \mathbf{H} \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB} s + \mathbf{W}_{BB}^* \mathbf{W}_{RF}^* n \quad (3.3)$$

Với  $\mathbf{F}_{RF}$  là một ma trận tương ứng với định dạng búp sóng tương tự và  $\mathbf{F}_{BB}$  là một ma trận tiền mã hóa băng tần cơ sở phía máy phát. Các định nghĩa tương tự áp dụng cho  $\mathbf{W}_{RF}$  và  $\mathbf{W}_{BB}$  ở phía máy thu,  $s$  là tín hiệu thông tin,  $\rho$  là công suất phát trung bình [4].

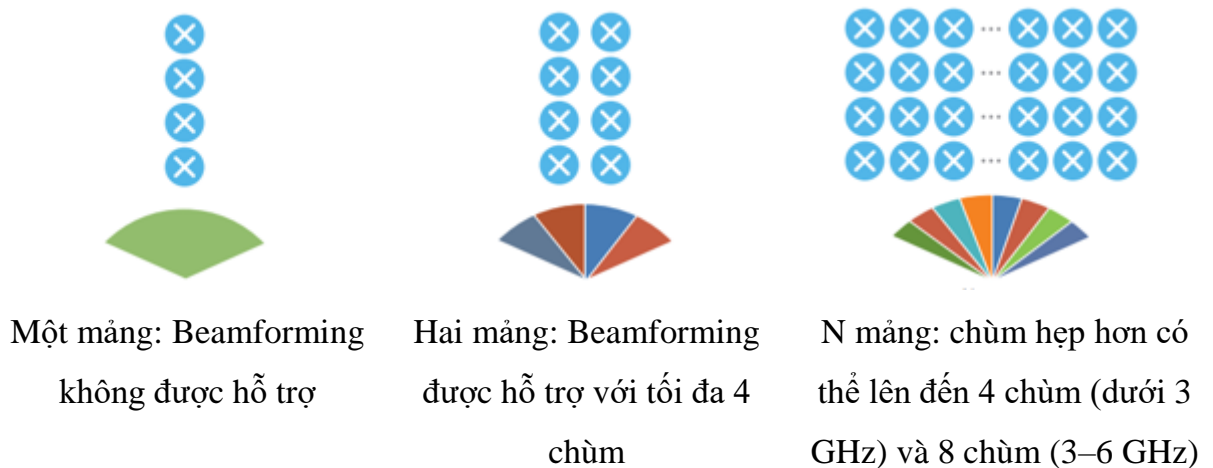
Trong cấu trúc đầu tiên, mỗi chuỗi RF được kết nối với tất cả các phần tử anten trong khi ở cấu trúc thứ hai, mảng được chia thành các mảng con, mỗi mảng được kết nối với một chuỗi RF riêng biệt. Cấu trúc đầu tiên được coi là sự kết hợp tự nhiên của tiền mã hóa tương tự và kỹ thuật số và có độ phức tạp về cấu trúc cao. Mặt khác, cấu trúc thứ hai có độ lợi định dạng búp sóng thấp hơn với độ phức tạp giảm đi nhiều. Khi nói đến việc triển khai bộ dịch pha trong các hệ thống định dạng búp sóng hỗn hợp, một số công trình đề xuất sử dụng bộ dịch pha điều khiển kỹ thuật số. Bộ tiền mã hóa kỹ thuật số giúp khắc phục sự thiếu chính xác của tín hiệu tương tự.

Một lí do khác để sử dụng mạng chuyển mạch là để giảm độ phức tạp hơn nữa và hiệu quả năng lượng tốt hơn. Thiết kế bộ kết hợp tương tự được thực hiện bởi một thuật toán lựa chọn tập hợp anten con thay vì tối ưu hóa trên tất cả các giá trị pha lượng tử hóa. Mọi chuyển mạch có thể được kết nối với tất cả các anten nếu kích thước mảng nhỏ hoặc với một tập hợp con các anten cho các mảng lớn hơn.

Hầu hết hoạt động của tiền mã hóa hỗn hợp, đòi hỏi sự sẵn có của kiến thức kênh, ít nhất là ở bộ thu. Để giảm bớt giả định này, phát triển một thuật toán tiền mã hóa hỗn hợp cho các hệ thống sóng milimet dựa trên kiến thức một phần về kênh. Với thuật toán hai giai đoạn, đã chỉ ra rằng hiệu suất tiền mã hóa hỗn hợp với kiến thức kênh hoàn hảo có thể được tiếp cận khi mỗi bộ phát và bộ thu chỉ biết các góc đi (hoặc góc đến) của nó. Một thuật toán ước tính thích ứng các tham số bằng cách sử dụng một sách mã đa phân giải phân cấp để đào tạo. Một nghiên cứu đã chỉ ra định dạng búp sóng hỗn hợp đa người sử dụng có thể được thực hiện trong đó trạm gốc có hệ thống định dạng búp sóng hỗn hợp và phục vụ nhiều người dùng đơn sử dụng định dạng búp sóng tương tự và một chuỗi RF duy nhất.

#### ***1.3.2.3 Cấu hình 4T4R tối thiểu cấp băng tần cho anten 5G:***

Bản phát hành 3GPP Rel.15 đề xuất rằng định dạng chùm tia được sử dụng để cải thiện vùng phủ sóng phát sóng 5G và lưu lượng chùm tia, thêm rằng cải tiến lý thuyết có thể đạt 3 dB. Trong TS 38.213, năm mẫu SSB được xác định cho chùm phát sóng 5G, với chùm SSB được giới hạn ở mức tối đa bốn cho các băng tần dưới 3 GHz và tám mẫu SSB cho các băng tần 3–6 GHz, như được minh họa trong hình 1.7. Tối thiểu hai mảng anten được yêu cầu để tạo ra các chùm định dạng chùm. Các tia có độ rộng hẹp hơn đồng nghĩa với việc phát sóng 5G nhiều hơn có sẵn chùm tia nhưng yêu cầu nhiều mảng anten hơn. Do đó, anten 5G phải hỗ trợ tối thiểu hai mảng trên mỗi trạm phát sóng, nghĩa là chúng phải hỗ trợ cấu hình 4T4R tối thiểu trên mỗi băng tần.



**Hình 1.7 Dạng tia của chùm phát sóng 5G.**

Không giống như các anten truyền thống chỉ có thể truyền và nhận trên các mẫu bức xạ cố định, anten định dạng chùm định hình động các hướng chùm tia chính và chùm tia rỗng tùy theo vị trí của người dùng được kết nối. Do đó, những anten cho phép trong tương lai thường được gọi là “máy phát tia”. Anten tạo chùm tia độc đáo về khả năng giảm nhiễu một cách hiệu quả, cải thiện Tỷ số tín hiệu trên nhiễu cộng tạp âm (SINR) và mang lại tín hiệu tốt hơn đáng kể người dùng cuối trải nghiệm. Với việc áp dụng ITU-WRC\* của các dải tần dưới 6 GHz và mmWave mới, và xu hướng hướng tới hiệu quả phổ tần cực cao được sử dụng trong 5G NR [4].

Chùm bức xạ cung cấp các cấu hình và khả năng khác nhau, mỗi cái phù hợp nhất cho một môi trường nhất định. Về mặt vật lý, những anten này có thể trông rất khác nhau, nhưng tất cả các trạm phát tạo chùm tia đều có chung ba triết lý thiết kế chính:

- Chứa các cấu trúc mảng tích cực hoặc thụ động.
- Sử dụng chùm tia kỹ thuật số, tương tự hoặc kết hợp.
- Trang bị nhiều bộ thu phát vô tuyến - 8T8R và cao hơn.

Để hiểu các khía cạnh hoạt động của trạm phát tạo chùm tia, hãy bắt đầu với mô tả chức năng. Thông số kỹ thuật 5G NR bao gồm các thủ tục lớp vật lý (PHY) và điều khiển truy nhập môi trường (MAC) để hỗ trợ truyền thông định hướng.

#### 1.4. Kết luận chương

Trong chương 1, luận văn đã trình bày tổng quát về mạng 5G và công nghệ định dạng búp sóng.

Chúng ta có thể thấy 5G đang dần trở thành một tiêu chuẩn công nghệ không thể thiếu ở hầu hết tất cả các quốc gia trên thế giới trong đó có cả Việt Nam. Với các loại hình dịch vụ mà 5G mang lại đang thực sự tạo ra một môi trường thông minh cho những hệ sinh thái mới như IoT, Robot, vận hành tự động... Đi cùng với đó cũng là vô số khó khăn vấp phải khi chúng ta dịch chuyển từ 4G lên 5G, các bài toán liên quan tới thiết bị đầu cuối hỗ trợ, các bài toán về tối ưu thuật toán của 5G, tốc độ của mạng 5G... Nhưng với các giải pháp như MIMO, điện toán biên, beamforming thì chúng ta đang tiến gần hơn tới lời giải cho các bài toán đó.

Các bài toán đề tối ưu cho 5G đang được đặt ra, trong số các bài toán đó có các bài toán liên quan tới việc quản lý và xử lý tín hiệu giữa các búp sóng... việc đưa được các tiêu chuẩn để mang lại quá trình quản lý búp sóng truyền dữ liệu tốt nhất đang được các tổ chức hết sức quan tâm. Kỹ thuật định dạng chùm búp sóng cũng được trình bày tổng quát trong chương 1. Từ đó, chúng ta thấy được kỹ thuật định dạng búp sóng đa dạng, có thể sử dụng trong phía phát và thu, tuy nhiên xét theo từng bên sẽ cần sử dụng kỹ thuật định dạng khác nhau, để đạt được tối ưu hiệu năng cũng như chi phí. Định dạng búp sóng là một kỹ thuật quan trọng, đóng góp trong quá trình phát triển mạng 5G. Tuy nhiên, để đảm bảo quá trình này luôn hoạt động tốt, chúng ta sẽ cần phải có các khâu giám sát, đánh giá. Vậy nên kỹ thuật quản lý chùm búp sóng trong mạng 5G sẽ được trình bày trong chương tiếp theo.

## CHƯƠNG 2. MÔ HÌNH HỆ THỐNG ĐỊNH DẠNG BÚP SÓNG

### 2.1. Mô hình hệ thống beamforming

Thiết bị người dùng 4G LTE UE giám sát định kỳ liên kết vô tuyến để thu được chất lượng kênh của eNodeB (eNB) đang phục vụ. Cách tiếp cận này cho phép nó xác định liệu mạng có thể tiếp cận UE với chất lượng liên kết chấp nhận được hay không. Nếu chất lượng liên kết được tìm thấy quá thấp so với ngưỡng, UE sẽ báo cáo lỗi liên kết vô tuyến (RLF) và kích hoạt quá trình kết nối lại ở lớp cao hơn. Quá trình này bao gồm việc bắt đầu quy trình chọn lại ô mới, tốn nhiều thời gian hơn và do đó dẫn đến giảm tốc độ dữ liệu tổng.

Với sự tiến bộ của 5G NR vào chế độ mmWave, nơi định dạng chùm tia hỗn hợp thường được ưu tiên ở cả trạm gốc và thiết bị của người dùng, việc quản lý mạng trở nên phức tạp hơn. Mặt khác, kiến trúc tạo chùm định hướng cao với số lượng phần tử anten lớn hơn trở nên rất quan trọng để đạt được tốc độ dữ liệu cao hơn. Các thủ tục đặc biệt là cần thiết để UE thiết lập kết nối và duy trì liên kết ngay cả trong các tình huống di động.

Sóng milimet cho phép định hướng truyền thông với số lượng phần tử anten lớn hơn và cung cấp độ lợi định dạng chùm bổ sung, bù đắp cho suy hao lan truyền. Tuy nhiên, các liên kết định hướng sẽ cần sự liên kết chính xác của các chùm tại gNodeB (gNB) và UE. Điều này dẫn đến nhu cầu quản lý hiệu quả các chùm búp sóng trong đó UE và gNB thường xuyên xác định các chùm búp sóng tối ưu để làm việc tại bất kỳ thời điểm nào.

3GPP đã xác định một bộ quy trình quản lý chùm tia cho 5G NR có thể áp dụng cho cả hai phương thức hoạt động:

**Chế độ rỗi:** Đây là khi UE không có hoạt động truyền dữ liệu. Quy trình ở chế độ chờ được sử dụng khi UE đang cố gắng kết nối với mạng lần đầu tiên trong khi bật hoặc khởi động lại kết nối sau khi thức dậy. Quản lý chùm tia ở chế độ rỗi sẽ giúp thiết lập một truy nhập ban đầu có định hướng.

**Chế độ đã kết nối:** Đây là khi quá trình trao đổi dữ liệu tích cực đang diễn ra giữa UE và gNB và UE đang di chuyển trong ô. Trong chế độ này, có nhiều khả năng

tín hiệu bị suy giảm nhanh chóng do các đặc tính của mmWave, vì vậy việc quản lý chùm theo thời gian thực sẽ giúp duy trì một liên kết mạnh.

Các trường hợp sử dụng cho 5G như băng thông rộng di động nâng cao (eMBB), truyền thông độ trễ thấp cực tin cậy (URLLC) và truyền thông kiểu máy cõ lớn (mMTC) sẽ cần những cải tiến kỹ thuật và quản lý chùm tia 5G đóng vai trò rất quan trọng.

Mô hình hệ thống định dạng búp sóng với các thủ tục quản lý chùm tia bao gồm:

- Quản lý chùm chế độ rời.
- Các tín hiệu đồng bộ hóa.
- Quyền truy nhập ban đầu.
- Quản lý chùm chế độ kết nối.

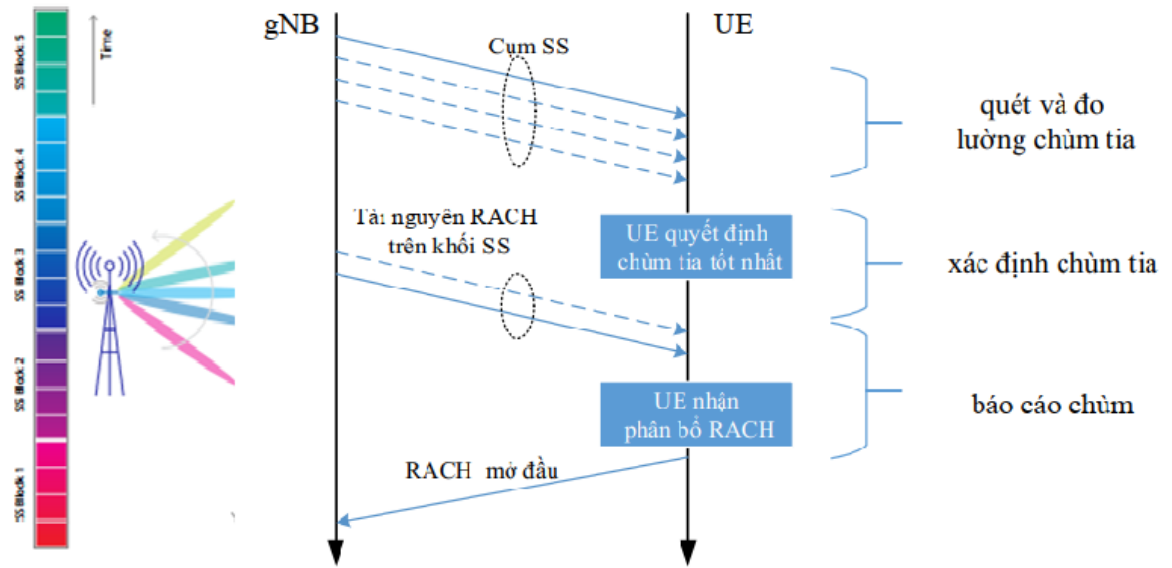
### ***2.1.1. Các thành phần của quản lý chùm tia***

Quản lý chùm tia là một tập hợp các thủ tục lớp PHY và lớp MAC để thiết lập và giữ lại một cặp chùm tia tối ưu để có kết nối tốt. Một cặp chùm bao gồm một chùm phát và một chùm tia thu tương ứng theo một hướng liên kết.

Trước khi một UE có thể giao tiếp với mạng, nó phải thực hiện các thủ tục tìm kiếm và lựa chọn ô, đồng thời có được thông tin hệ thống và đồng bộ hóa ô ban đầu. Bước đầu tiên trong quá trình đó là thu được đồng bộ hóa khung, tìm ra ô nhận dạng và giải mã bản tin MIB và SIB1.

Trong trường hợp hệ thống nhiều anten phát nhiều chùm, việc phát hiện các chùm từ gNB cũng là một phần của quy trình ban đầu mà UE thường phát hiện tất cả các chùm trong không gian tìm kiếm. Hình 2.1 cho thấy sơ đồ thời gian cho thủ tục UE truy nhập vào mạng, bao gồm các khía cạnh khác nhau của quản lý chùm tia.

Quy trình quản lý chùm tia được sử dụng trong 5G NR để thu nhận và duy trì một tập hợp các chùm TRxP (Transmission Reception Point) hoặc UE có thể được sử dụng để truyền/nhận DL và UL. Biểu đồ dưới đây minh họa ánh xạ chùm Rx sang chùm Tx trong quá trình truy nhập ban đầu trong 5G NR [1].



**Hình 2.1 Truy nhập ban đầu trong mạng 5G NR.**

UE hoạt động với cặp chùm Tx/Rx cho phép thiết bị thu và phát dữ liệu đến và đi từ trạm gốc. Cặp chùm tia đã được chọn bởi một quá trình thu/phát chùm tia hoặc theo dõi chùm tia. Quá trình này không được đảm bảo để mang lại kết nối tốt nhất như vậy vì nó là một quy trình hạn chế về thời gian và tài nguyên. Ví dụ: UE có thể không có cơ hội để quét xuyên qua tất cả các chùm Rx, hoặc có thể có trường hợp chùm Tx ban đầu được chọn xuất phát từ một tập hợp các Tx chùm tia chưa được khám phá đầy đủ. Tại bất kỳ thời điểm nào, UE có thể cần phải tinh chỉnh cặp chùm Tx/Rx mà nó hiện đang sử dụng vì chùm Tx hoặc Rx là dưới mức tối ưu. Kiến trúc NR cung cấp cho các thủ tục trong đó việc tinh chỉnh cặp chùm tia này được thực hiện. Quy trình tinh chỉnh bao gồm trạm gốc cung cấp cho các tín hiệu tham chiếu UE trong DL (được gọi là CSI-RS) tương ứng với một tập hợp chùm tia, để UE có thể thực hiện lựa chọn tinh chỉnh hơn nữa của cặp chùm tia dựa trên các phép đo được thực hiện trên các tín hiệu đó. Tập hợp các chùm mà trạm gốc cung cấp những tín hiệu này là vấn đề của thiết kế và trường hợp sử dụng, nhưng có thể phân biệt được hai trường hợp với mục đích thứ nhất là tinh chỉnh phần Tx của cặp chùm tia và mục đích thứ hai là tinh chỉnh Rx một phần [1].

Sử dụng thuật ngữ 3GPP, các thủ tục này được gọi là **quản lý chùm tia** bao gồm bốn thủ tục riêng biệt.

#### **2.1.1.1 Chùm tia quét:**

Hệ quả rõ ràng đầu tiên của việc sử dụng chùm tia để truyền dữ liệu quảng bá là sự cần thiết của chùm tia quét. Rõ ràng, một chùm tia hẹp chỉ có thể tiếp cận một phần của vùng phủ sóng tại một thời điểm nhất định và do đó chùm tia này phải được truyền đến các phần khác nhau của vùng phủ sóng vào những thời điểm khác nhau để đến được toàn bộ vùng phủ sóng. Điều này được gọi là Quét tia. Thiết bị người dùng (UE) nhận chùm tia nói chung cũng sẽ quét chùm tia của chính nó (do đó nó sẽ phải thử nhiều chùm thu khác nhau để cô lập chùm có khả năng tiếp nhận tốt nhất) và kết quả giải mã tốt nhất sẽ chỉ đạt được khi cặp chùm tia phát và nhận là tối ưu cho vị trí của thiết bị người dùng vào thời điểm đó. Quét tia được sử dụng trong quá trình truy nhập ban đầu của UE để chọn tia tốt nhất. Một gNB truyền chùm tia theo mọi hướng trong một chùm với những khoảng thời gian xác định đều đặn. Bất cứ khi nào một UE đang đồng bộ hóa với mạng, nó sẽ đọc khối tín hiệu đồng bộ hóa (SSB) và trích xuất thông tin sau:

- Tín hiệu đồng bộ sơ cấp (PSS)
- Tín hiệu đồng bộ thứ cấp (SSS)
- Kênh quảng bá vật lý (PBCH) và tín hiệu tham chiếu giải điều chế (DMRS):

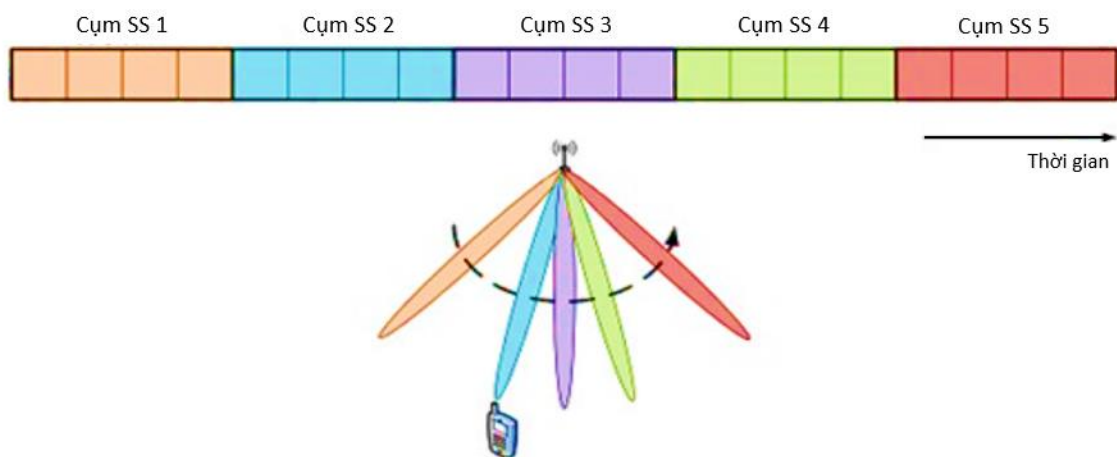
Chứa khối thông tin chính (MIB), bao gồm thông tin cơ bản để thực hiện bước tiếp theo, đó là giải mã khối thông tin hệ thống (SIB).

Một khối SS duy nhất trải dài bốn ký hiệu OFDM trong thời gian và 240 sóng mang con về tần số (20 khối tài nguyên). Mỗi khối SS tương ứng với một chùm tia cụ thể, được định dạng chùm theo một hướng khác nhau. Một nhóm các khối SS tạo thành một tập hợp cụm SS kéo dài một cửa sổ 5ms. Cụm SS được lặp lại định kỳ với khoảng thời gian 20ms. Các khối SS tạo thành một tập hợp cụm SS, tương ứng với FR 1 (3 đến 7,125 GHz) trong Bảng 2.1.

**Bảng 2.1 Các khối SS cho các tần số.**

Dải tần số	Khối SS trên mỗi bộ cụm SS
FR 1 - lên đến 3 GHz	4
FR 1 - 3 đến 7,125 GHz	8
FR 2 - mmWave	64

Dạng bức xạ bao phủ một khu vực không gian, sử dụng quét tia đa hướng và thành một chùm trong một khoảng thời gian đều đặn. Ví dụ, bước đầu tiên trong quy trình thiết bị đầu cuối di động truy nhập vào mạng được gọi là truy nhập ban đầu. Quá trình này là bước đồng bộ hóa với hệ thống và nhận quảng bá thông tin hệ thống tối thiểu. Vì vậy, khối SS mang PSS, SSS và PBCH và nó sẽ được lặp lại theo các hướng xác định trước (một chùm tia) trong miền thời gian trong khung 5ms, đây được gọi là cụm SS và cụm SS này sẽ thường được lặp lại trong chu kỳ 20ms. Sơ đồ dưới đây minh họa khái niệm [2].

**Hình 2.2 Cụm SS được truyền lặp lại trong chu kỳ thời gian.**

Rõ ràng một gNB có số chùm tia sẽ truyền tương ứng số khối SS theo các hướng (chùm) được xác định trước khác nhau trong những khoảng thời gian đều đặn, tập hợp các hướng được bao phủ bởi các khối SS có thể bao gồm toàn bộ các hướng được xác định trước có sẵn. Số hướng tối đa được xác định trước (khối SS) trong tập hợp cụm SS phụ thuộc vào tần số, chẳng hạn dải tần lên đến 3 GHz sẽ sử dụng 4 khối

SS trên mỗi cụm SS, từ 3 GHz đến 6 GHz sẽ sử dụng 8 khối SS trên mỗi cụm SS và từ 6 GHz đến 52,6 GHz là 64 khối SS trên mỗi cụm SS [2].

Để nhận dữ liệu quảng bá thành công, gNB và UE phải trải qua một quá trình đồng thời quét chùm tia để cô lập một cặp chùm tia tối ưu. Tùy theo số lượng các chùm búp sóng mà trạm gốc và UE được sử dụng và kích thước của vùng phủ sóng, quá trình này có thể tốn thời gian. Để tiết kiệm thời gian, dự đoán rằng quá trình này không cần phải được thực hiện ngay lập tức để đạt được cặp tốt nhất. Thay vào đó, quá trình ban đầu có thể kết thúc khi đạt được một cặp chùm đủ tốt (để có thể nhận dữ liệu) nhưng không nhất thiết là phương án tốt nhất có thể. Tuy nhiên, đặc điểm kỹ thuật 3GPP cung cấp cho một kỹ thuật có thể được sử dụng sau đó để tối ưu hóa cặp chùm tia hiện tại. Kỹ thuật này là được gọi là tinh chỉnh chùm tia.

#### **2.1.1.2 Phép đo tia:**

Đánh giá chất lượng của tín hiệu nhận được tại 5G NodeB (gNB) hoặc UE. UE đo cường độ chùm tia bằng cách đo công suất tín hiệu nhận được.

Ở chế độ rỗi, nó dựa trên các tín hiệu đồng bộ hóa và ở chế độ kết nối, nó dựa trên tín hiệu tham chiếu thông tin trạng thái kênh (CSI-RS) ở đường xuống và tín hiệu tham chiếu thăm dò (SRS) ở đường lên. UE tìm kiếm chùm tia tốt nhất theo định kỳ bằng cách sử dụng các tiêu chí ngưỡng được xác định trước do gNB xác định và xác định chùm tia có công suất thu tín hiệu tham chiếu cao nhất (RSRP).

#### **2.1.1.3 Xác định chùm tia:**

Lựa chọn các chùm phù hợp, tại gNB hoặc UE. Trong chế độ rỗi, phép đo dựa trên SS (Tín hiệu đồng bộ hóa) và trong chế độ được kết nối, phép đo dựa trên CSI-RS trong DL và SRS trong UL. Cấu hình của sổ đo CSI-RS như độ lệch chu kỳ và thời gian/tần số có liên quan đến cụm SS liên quan. Chùm tia tốt nhất cần được tìm kiếm định kỳ bằng cách sử dụng kết quả đo SS và CSI-RS. Giống như các khối SS, CSI-RS cũng sẽ được bao phủ bằng kỹ thuật quét chùm, xem xét chi phí bao phủ tất cả các hướng được xác định trước, CSI-RS sẽ chỉ được truyền trong các tập con của các hướng xác định trước đó (chùm), dựa trên vị trí của thiết bị đầu cuối di động đang hoạt động.

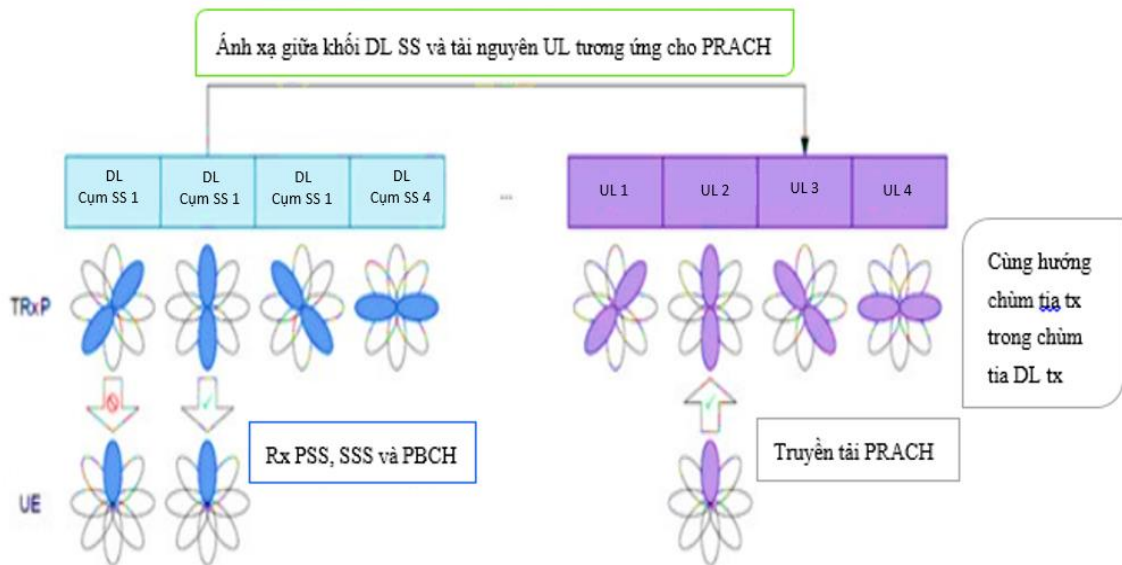
SRS trong UL tương tự như thông số kỹ thuật LTE, thiết bị đầu cuối di động sẽ truyền SRS dựa trên các hướng gNB và gNB sẽ đo SRS để xác định chùm UL tốt nhất.

Chùm DL được xác định bởi thiết bị đầu cuối di động, tiêu chí là chùm tia phải được thu với cường độ tín hiệu tối đa trên ngưỡng xác định trước.

#### 2.1.1.4 Báo cáo chùm tia:

Phản hồi của UE về chất lượng chùm và thông tin quyết định tới mạng truy nhập vô tuyến (RAN).

Trong chế độ rỗi, sau khi thiết bị đầu cuối di động đã chọn khối SS (chùm), đối với khối SS đó, có một hoặc nhiều cơ hội RACH được xác định trước với thời gian và tần số và hướng nhất định (đặc biệt chỉ với khối SS này) để thiết bị di động đầu cuối biết chùm phát (UL) nào để truyền phần mở đầu RACH. Đây là một cách để thiết bị đầu cuối di động thông báo cho gNB rằng cái nào là chùm tốt nhất. GNB (điểm phát/thu, TRP) sẽ được chỉ định cho thiết bị đầu cuối di động trong thông tin hệ thống, có một ánh xạ 1-1 giữa các khối quét tia (khối SS). UE sẽ gửi phần mở đầu PRACH trong khối UL SS tương ứng với khối DL SS trong đó cường độ tín hiệu tốt nhất được phát hiện [6].



**Hình 2.3 Báo cáo chùm tia trong PRACH.**

Ở chế độ được kết nối (Connected), thiết bị đầu cuối di động sẽ cung cấp phản hồi bằng kênh điều khiển, trong trường hợp liên kết bị lỗi và không thể khôi phục chỉ

đường bằng CSI-RS, thiết bị đầu cuối di động sẽ cố gắng khôi phục liên kết bằng cách sử dụng cụm SS.

Như minh họa trong hình 2.3, gNB quét một số khối SS theo các hướng chùm tia khác nhau. Sử dụng phép đo chùm và xác định chùm tia, thiết bị UE đánh giá đầu tiên và sau đó chọn chùm tia có tỷ số tín hiệu trên nhiễu lớn nhất hoặc SNR. Thủ tục quan trọng thứ tư là báo cáo chùm, xảy ra theo một trong hai cách:

- Chế độ không độc lập (NSA):

UE sử dụng kết nối LTE cố định để báo cáo tập hợp hướng tối ưu cho các gNB. Sau đó gNB lên lịch, cơ hội truy nhập vào mạng ngẫu nhiên ngay lập tức (để xác định tài nguyên sẵn có đầu tiên mà UE có thể sử dụng để truyền mà không cần va chạm với các thiết bị khác) theo hướng xác định với hệ số khuếch đại dạng chùm đầy đủ.

- Chế độ độc lập (SA):

Ở đây, không có kết nối LTE cố định, UE đợi gNB của nó lập lịch cho một kênh truy cập ngẫu nhiên (RACH) cơ hội. Sau đó, gNB trong mỗi khối SS chỉ định một hoặc nhiều cơ hội RACH với một thời gian nhất định và độ lệch tần số và hướng. Điều này cho UE biết khi nào truyền phần mở đầu RACH của nó về hướng được xác định bởi gNB. Quy trình báo cáo chùm tia độc lập có thể yêu cầu quét theo hướng hoàn chỉnh bổ sung của gNB cho khối SS truyền tải. Điều này càng làm tăng thời gian cần thiết để truy cập mạng.

#### **2.1.1.5 Khôi phục sự cố chùm tia:**

Khi thiết bị đầu cuối di động gặp phải tình trạng kênh kém thiết bị đầu cuối di động sẽ yêu cầu khôi phục bằng cách chỉ ra một khối SS mới hoặc CSI-RS, điều này sẽ được thực hiện bằng cách bắt đầu quy trình RACH. gNB sẽ truyền một lệnh gán DL hoặc cấp UL trên PDCCH để kết thúc quá trình khôi phục sự cố chùm.

UE chọn chùm tốt nhất tiếp theo để gửi trong phần mở đầu truy nhập ngẫu nhiên (RA) khi lỗi chùm xảy ra. Nếu lần thử RA đầu tiên không thành công, nó sẽ quét sang một chùm khác cho một quy trình RA khác. Phần mở đầu RA được gửi

trong PRACH. Cuối cùng, UE nhận được phân bổ tài nguyên đường xuống và cấp đường lên trên kênh điều khiển đường xuống vật lý (PDCCH).

Các hoạt động trên được thực hiện trong quy trình quản lý chùm 5G công nghệ vô tuyến mới. Chúng được áp dụng cho cả hai chế độ: SA (Standalone) và NSA (Non-Standalone).

**Bảng 2.2 So sánh các giai đoạn quản lý chùm tia trong chế độ SA (DL) và NSA (DL/UL).**

Giai đoạn quản lý chùm tia	SA - đường xuống	NSA- đường xuống	NSA – đường lên
Chùm tia quét	Tìm kiếm tận cùng dựa trên các khối SS mà UE nhận được.		Dựa trên SRS (Tín hiệu tham chiếu tập âm) do UE truyền và nhận bởi gNB
Đo tia	Thực hiện tại phía UE		Thực hiện ở phía gNB
Xác định hoặc lựa chọn chùm tia	UE chọn hướng truyền thông tốt nhất theo hoạt động đo chùm.		gNB cùng với bộ điều khiển trung tâm chọn cặp chùm tia tốt nhất để giao tiếp giữa chính nó và UE.
Báo cáo chùm	Tìm kiếm tận cùng ở phía gNB.	UE báo hiệu cặp chùm tia tốt nhất bằng cách sử dụng đường trục LTE, cơ hội RACH được lên lịch theo hướng đã chọn.	gNB báo hiệu cặp chùm tia tốt nhất sử dụng đường trục LTE, cơ hội RACH được lên lịch theo hướng đã chọn.

### **2.1.2. Quản lý chùm tia trong mạng 5G**

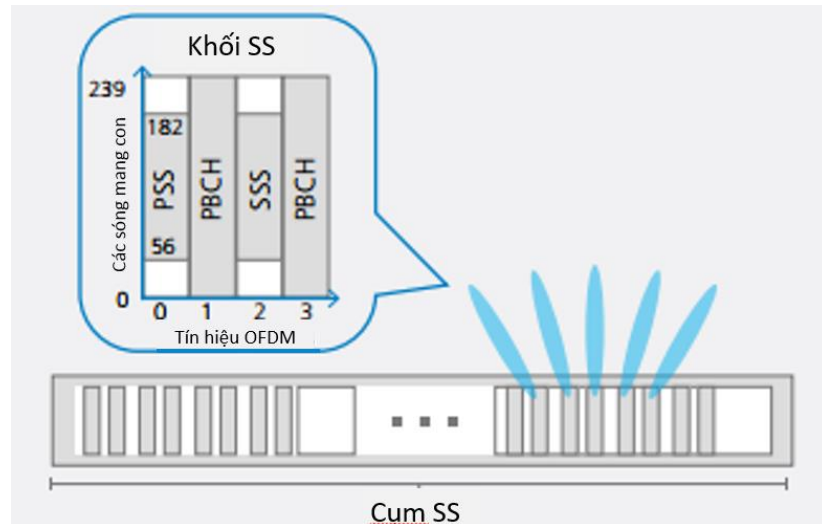
Điều cần thiết là UE phải thiết lập kết nối liên kết vật lý có hướng, với quyền truy cập ban đầu (IA) vào mạng. Ở đây các tín hiệu đồng bộ hóa đường xuống (DL) đóng một vai trò quan trọng [2].

- **Tín hiệu đồng bộ hóa (SS):**

Không giống như LTE, 3GPP xác định phiên bản định hướng của tín hiệu đồng bộ hóa cho 5G NR. Điều này đóng một vai trò quan trọng trong quản lý chùm tia.

Tín hiệu đồng bộ hóa PSS, SSS và PBCH được gửi qua các khối SS, lần lượt được nhúng bên trong khối SS lớn hơn (Cụm SS) như hình 2.4. Mỗi khối SS trong

một cụm được ánh xạ tới một hướng góc nhất định. Bằng cách quét tuần tự khác nhau hướng góc, gNB bao phủ toàn bộ khu vực ô.

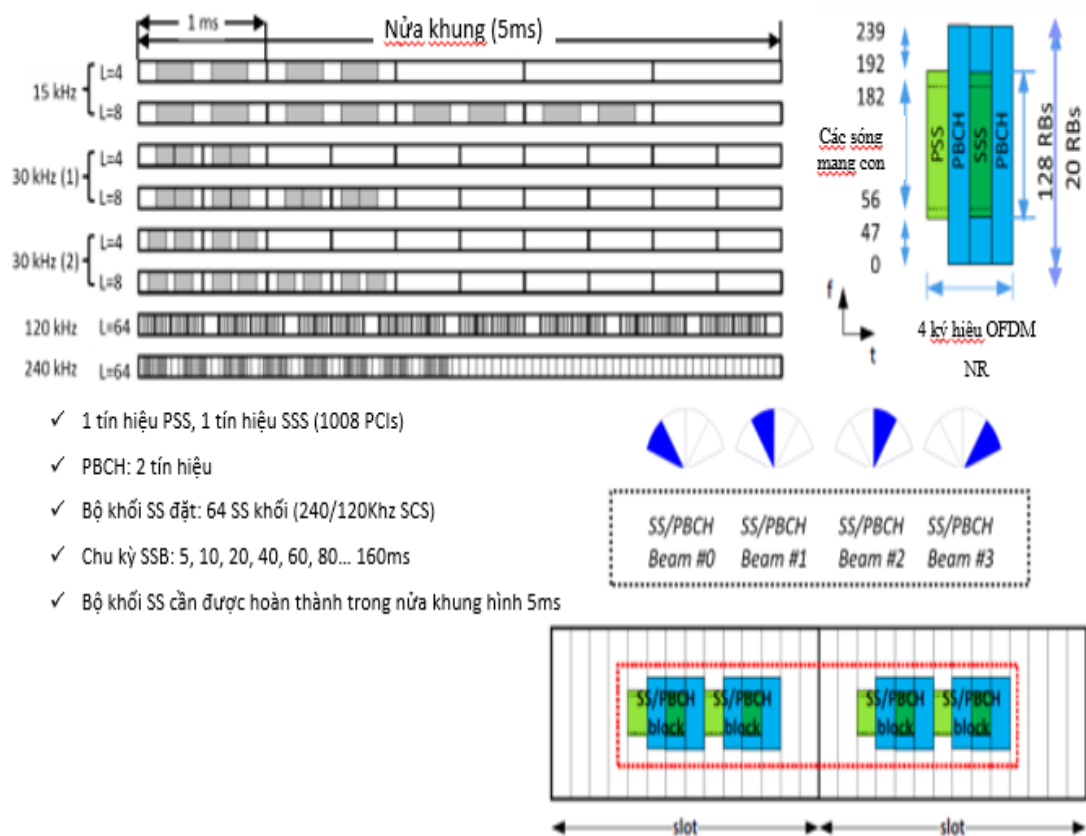


**Hình 2.4 Quản lý chùm chế độ kết nối.**

Trong chế độ được kết nối, cần phải quản lý chùm tia để duy trì sự liên kết của chùm tia phát và chùm tia thu khi các UE di chuyển - một hoạt động được định nghĩa là theo dõi. Quản lý chùm chế độ kết nối sử dụng CSI-RS đường xuống (DL) và SRS đường lên (UL).

#### **2.1.2.1 Quyền truy cập ban đầu (IA):**

Thu thập chùm tia ban đầu là quá trình mà thông tin phát sóng và đồng bộ hóa được thu thập bởi UE ngay sau khi bật nguồn. Nó dựa trên quét tia (bởi cả trạm gốc và UE). Các thông tin được UE thu nhận là các tín hiệu đồng bộ hóa và khối thông tin chính. Các tín hiệu đồng bộ hóa bao gồm Tín hiệu đồng bộ hóa chính (PSS) và Tín hiệu đồng bộ hóa phụ (SSS) và giúp UE thu được thời gian của khung, khung con và ký hiệu cũng như nhận dạng ô vật lý. Khối thông tin chính (MIB) chứa Số khung hệ thống và các thông tin hệ thống hữu ích. Điều cần thiết cho hoạt động của UE là phải thu thập được thông tin này một cách chính xác. Thông tin này được gửi dưới dạng các khối dữ liệu được chỉ định trước được gọi là khối SS/PBCH. Con số kích thước, nội dung và vị trí của các khối dữ liệu này là cố định [2]. Dưới đây là minh họa các đặc điểm Khối SS/PBCH so với khoảng cách sóng mang con khác nhau:



**Hình 2.5 Sơ đồ minh họa các đặc tính của khối SS/PBCH đối với các khoảng cách sóng mang con khác nhau.**

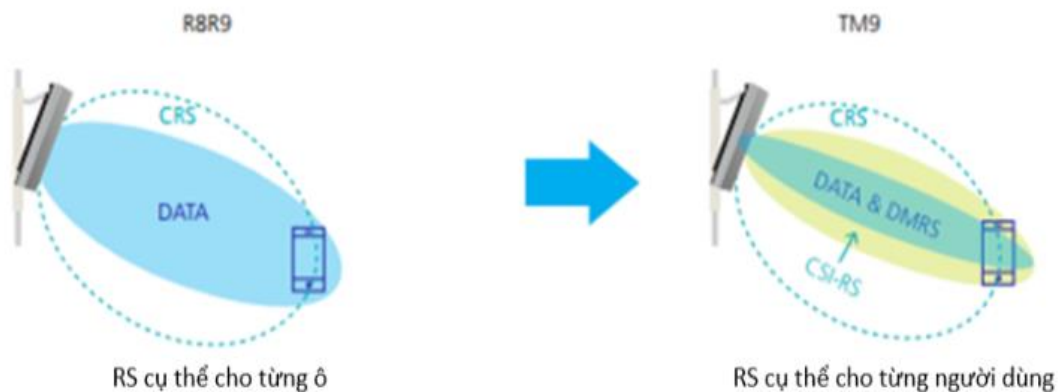
Trong quá trình quét chùm, một khối SS/PBCH được truyền bằng cách sử dụng một chùm theo một hướng và sau đó khối tiếp theo được truyền đến một hướng khác bằng cách sử dụng một chùm khác, ... do đó gửi một cách hiệu quả thông tin truyền phát này đến tất cả các phần của ô. Tổng số khối SS và tổng số cơ hội để gửi chúng được xác định bởi 3GPP. Ngoài ra, những cơ hội này được lặp lại sau một khoảng thời gian nhất định và khoảng thời gian này cũng được cố định bởi thông số kỹ thuật 3GPP, tối thiểu là nửa khung hình vô tuyến (5ms). Khoảng thời gian được phép cho số lần lặp lại của các cơ hội khối SS là 5, 10, 20, 40, 60, 80, 160 ms. Tổng thời gian mà UE thực hiện để có được một cặp chùm tia tối ưu là một hàm của tổng thời gian quét chùm tia đối với quét tia thu UE và tính tuần hoàn của khối SS [1]. Do đó, bất kỳ tối ưu hóa nào trong thời gian này phụ thuộc vào hai yếu tố giống nhau. Tính chu kỳ của khối SS và thời gian quét tia thu lần lượt phụ thuộc vào số lượng chùm tia, độ rộng chùm tia và vùng phủ sóng (trong một số trường hợp khác) và do đó phụ thuộc vào thiết bị riêng lẻ của nhà sản xuất.

### 2.1.2.2 Tín hiệu tham chiếu trạng thái thông tin đường xuống:

Thông tin trạng thái kênh (CSI) là một cơ chế mà UE sử dụng một tập hợp các tín hiệu tham chiếu để đo lường và báo cáo trở lại điều kiện kênh. 3GPP Rel.8 và Rel.9 chỉ hỗ trợ các tín hiệu tham chiếu dành riêng cho từng ô (C-RS), được sử dụng cho cả phép đo kênh và giải điều chế dữ liệu [1]. Tuy nhiên, vì C-RS dựa trên ô chứ không phải chùm hoặc UE cụ thể, gây ra quá nhiều tín hiệu ở đường xuống khi hoạt động ở các lớp MIMO cao hơn và chế độ định dạng chùm.

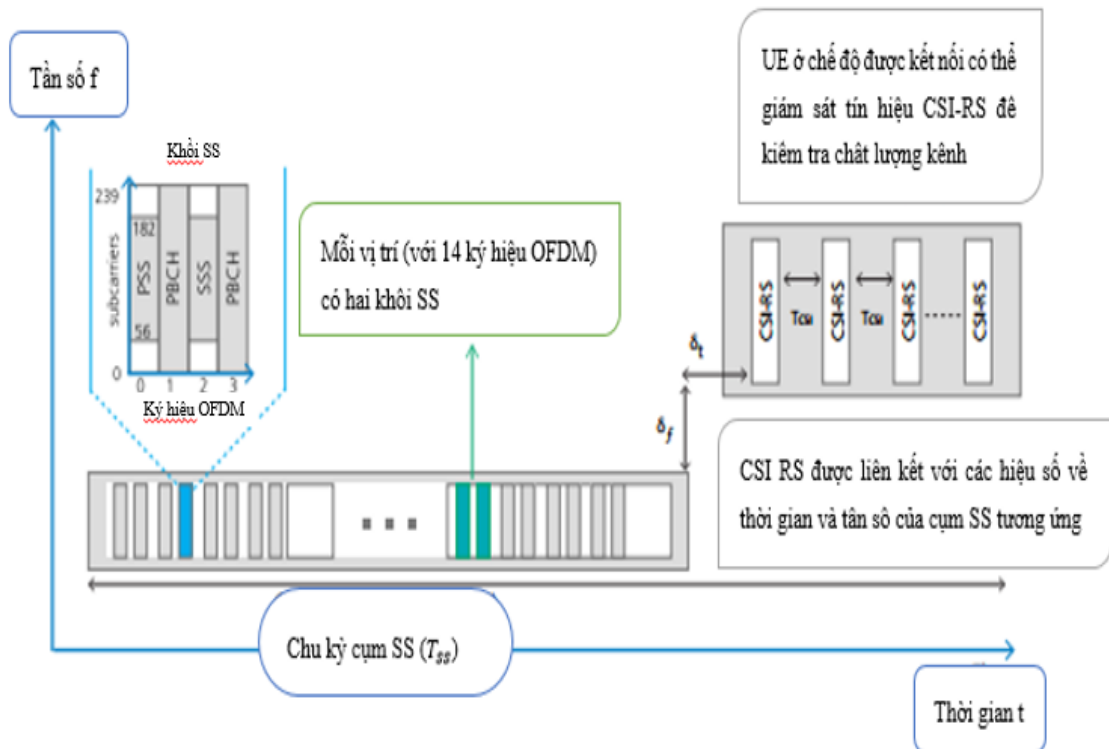
Sự ra đời của TM9 trong 3GPP Rel.10 đã tách biệt các tín hiệu tham chiếu, cụ thể là tín hiệu tham chiếu thông tin trạng thái kênh (CSI-RS) và tín hiệu tham chiếu giải điều chế (DMRS). Sự phân tách cho phép tách các quy trình đo lường kênh và giải điều chế dữ liệu.

Hình 2.6 cho thấy hai kịch bản khác nhau để xử lý các tín hiệu tham chiếu. Ở bên trái là một ví dụ cụ thể về ô, trong đó các bộ tín hiệu CSI khác nhau được kết hợp và truyền tới các UE chia sẻ hướng chùm tia chung theo 3GPP Rel.8 và Rel.9. Ở bên phải là một kịch bản dành riêng cho người dùng tận dụng TM9 trong 3GPP Rel.10. Ở đây, cả hai tín hiệu giải điều chế và dữ liệu người dùng được truyền đi, với dữ liệu người dùng có sẵn theo yêu cầu.



**Hình 2.6 RS dành riêng cho từng ô và người dùng cụ thể.**

Để xác định phân bổ CSI-RS, UE đồng bộ hóa với một ô nhất định bằng cách sử dụng các cụm SS, sau đó tìm kiếm CSI-RS tài nguyên với các khoảng cách tần số và thời gian xác định như Hình 2.7 dưới đây.



**Hình 2.7 Phân bố CSI-RS.**

### 2.1.2.3 Tín hiệu tham chiếu thăm dò đường lên:

UE truyền tín hiệu tham chiếu thăm dò UL là SRS được sử dụng để giám sát chất lượng kênh đường lên. Quá trình truyền được lập lịch bởi gNB, gNB cũng báo hiệu tài nguyên và hướng để truyền SRS của nó cho UE. Từ đó, UE có thể quản lý được chùm búp sóng có cấu hình với nhiều SRS.

**Bảng 2.3 Các tín hiệu tham chiếu cho các hoạt động quản lý chùm.**

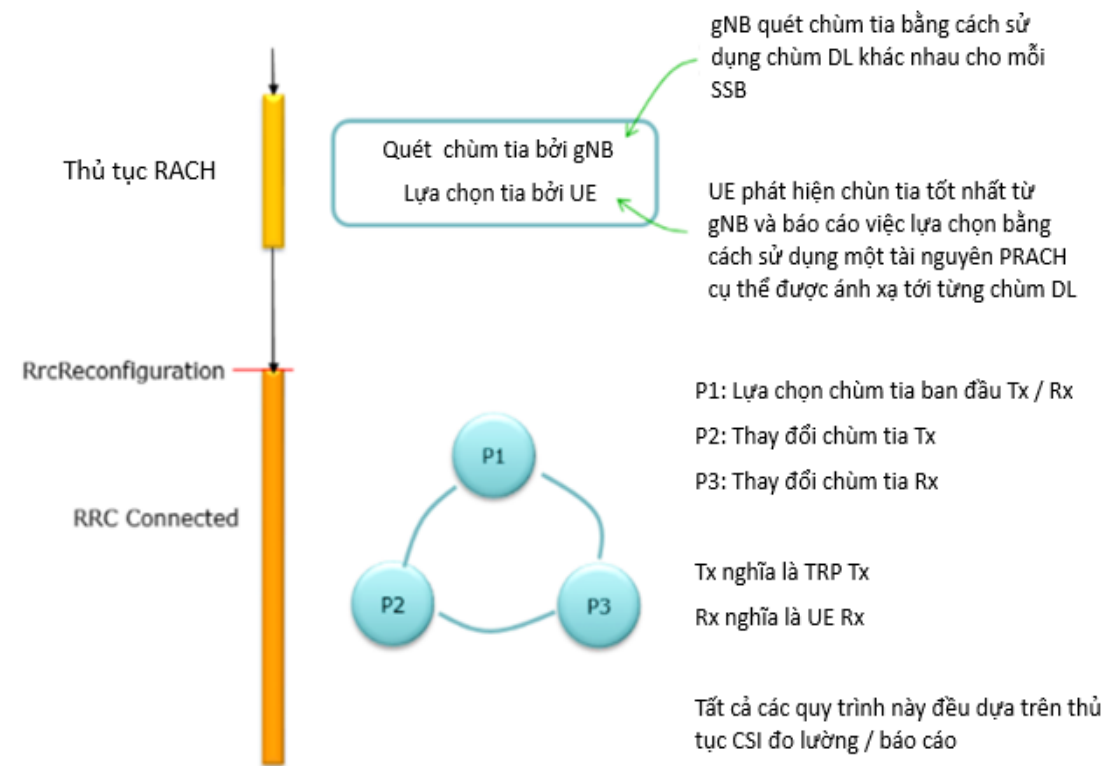
	Truy cập ban đầu (Idle UE)	Theo dõi (Connected UE)
Đường xuống	Các khối SS (mang PSS, SSS và PBCH)	CSI-RS và khối SS
Đường lên	3GPP không sử dụng tín hiệu đường lên để truy cập ban đầu	SRS

CSI – RS trong quá trình điều chỉnh chùm búp sóng là một tín hiệu tham chiếu đường xuống đặc biệt và linh hoạt cung cấp thông tin phong phú về kênh vô tuyến.

Công suất thu được, chất lượng tín hiệu, nhiễu và các đề xuất về tiền mã hóa là một trong những thông tin có thể được suy ra từ CSI- RS.

## 2.2. Thiết lập các tham số mạng 5G trong quản lý chùm tia chế độ kết nối

Bây giờ, với các cơ chế của phép đo được xác định, 3GPP đã đề xuất thêm ba cách quản lý chùm DL L1/L2, các thủ tục thường được gọi là P-1, P-2 và P-3. Đây là một tập hợp các quy trình quản lý chùm tia để cho phép UE để nhận biết tốt hơn chùm (dữ liệu) đường xuống khi ở trạng thái kết nối. Các thủ tục này hướng dẫn UE kích hoạt một số các phép đo chùm TRP, để lựa chọn và tinh chỉnh. Khái niệm này tương tự như các phép đo UE kích hoạt các sự kiện, cần thiết cho việc chuyển giao và chọn lại ô. Tuy nhiên, ở đây nó có nghĩa là giữ cho chùm tia tối ưu được chọn, vì UE chuyển vùng trên RAN.



**Hình 2.8 Quản lý chùm tia trong quá trình RACH và sau khi kết nối cuộc gọi.**

### Quy trình P1: Quét tia dựa trên SSB

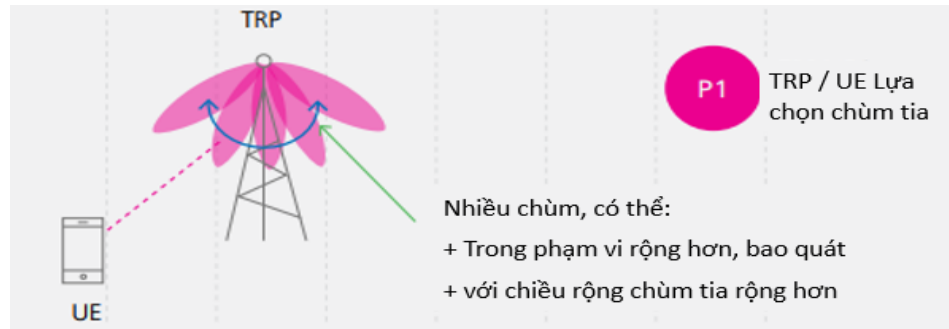
Hàm số lựa chọn chùm DL Tx và chùm DL Rx:

- Kích hoạt phép đo UE của chùm TRP Tx truyền

- Lựa chọn chùm búp sóng TRP Tx (trường hợp tạo chùm búp sóng TRP)
- Lựa chọn (các) chùm UE Rx (trường hợp tạo chùm UE)

Phạm vi đo lường:

- Bộ chùm búp lớn hơn và có thể rộng hơn
- Quét chùm Tx trong và các TRP ở giữa từ một tập hợp các chùm khác nhau



**Hình 2.9 Lựa chọn chùm DL Tx.**

Quy trình này tập trung vào việc thu ban đầu dựa trên SSB cho một UE ở chế độ rỗi. Trong quá trình thu ban đầu, quá trình quét chùm tia diễn ra ở cả đầu truyền và đầu nhận để chọn cặp chùm tia tốt nhất dựa trên các phép đo RSRP. Nói chung, các chùm được chọn rộng và có thể không phải là một cặp chùm tối ưu cho việc truyền và nhận dữ liệu. Sau khi được kết nối, các chùm được tinh chỉnh thêm bằng cách sử dụng CSI-RS (cho đường xuống) và SRS (cho đường lên), được mô tả trong phần tiếp theo [1].

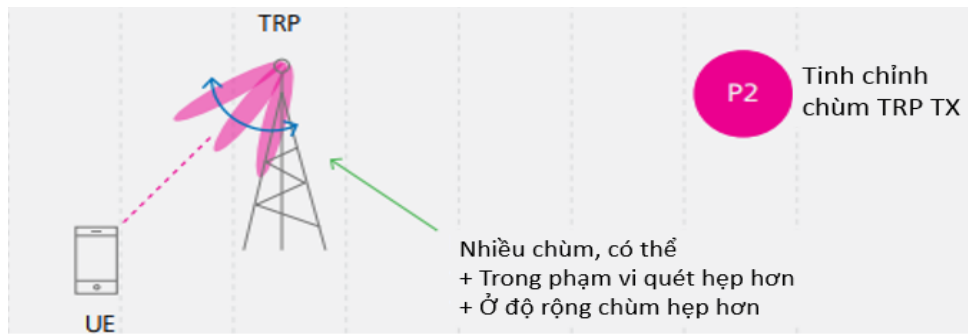
**Quy trình P2:** Tinh chỉnh chùm tia phát cuối dựa trên CSI-RS

Hàm số tinh chỉnh chùm DL Tx:

- Kích hoạt phép đo UE để tinh chỉnh chùm TRP Tx
- Có thể thay đổi (các) chùm Tx giữa/trong TRP

Phạm vi đo lường

- Chùm TRP Tx nhỏ hơn và có thể hẹp hơn P-1
- Tia TRP TX sự sàng lọc phạm vi quét hẹp hơn, độ rộng chùm hẹp hơn



**Hình 2.10 Tinh chỉnh chùm DL Tx.**

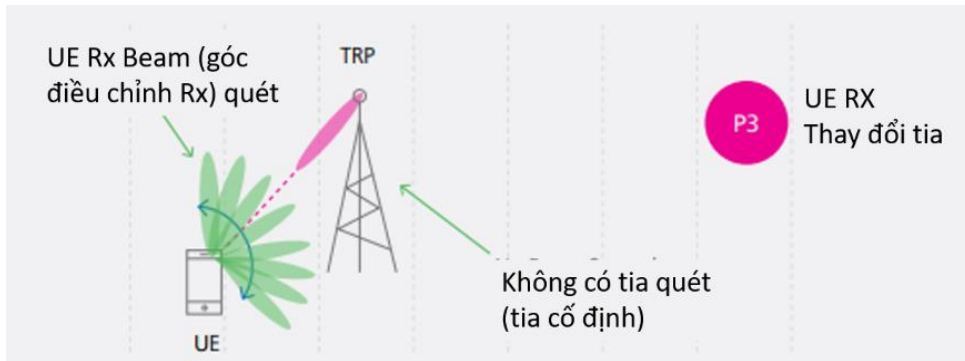
Sau khi chùm tia ban đầu được thiết lập, việc truyền dữ liệu đơn hướng với định hướng cao và độ lợi cao đòi hỏi một chùm tia mịn hơn nhiều so với chùm SSB. Do đó, một tập hợp các tài nguyên tín hiệu tham chiếu được cấu hình và truyền đi theo các hướng khác nhau bằng cách sử dụng các chùm tia mịn hơn trong phạm vi góc của chùm tia từ quá trình thu ban đầu. Sau đó, UE đo tất cả các chùm này bằng cách thu các tín hiệu với một chùm búp sóng thu cố định. Cuối cùng, chùm phát tốt nhất được chọn dựa trên các phép đo RSRP trên tất cả các chùm búp sóng truyền.

Quy trình này tập trung vào việc tinh chỉnh chùm tia ở đầu phát, trong đó quá trình quét chùm xảy ra ở đầu phát bằng cách giữ cố định chùm thu. Quy trình này dựa trên CSI-RS công suất không - 0 để tinh chỉnh chùm tia phát cuối đường xuống và SRS để tinh lọc chùm tia phát cuối đường lên. P-2 được thực hiện khi kết nối ban đầu và liên kết cặp chùm đã được thiết lập. Đây là một quy trình tinh chỉnh chùm tia để cải thiện hơn nữa kết nối.

**Quy trình P3: Tinh chỉnh chùm tia thu cuối dựa trên CSI-RS**

Hàm số tinh chỉnh chùm DL Rx:

- Kích hoạt phép đo UE để thay đổi chùm UE Rx (trường hợp tạo chùm UE)
- Phạm vi đo lường
- Cùng một chùm TRP Tx, quét chùm UE Rx



**Hình 2.11 Tinh chỉnh chùm DL Rx.**

Quy trình P-3 tập trung vào việc điều chỉnh chùm tia ở đầu nhận, trong đó quá trình quét tia xảy ra ở đầu nhận với chùm tia phát hiện tại. Quá trình này nhằm mục đích tìm ra chùm thu tốt nhất, có thể là chùm láng giềng hoặc tinh chỉnh chùm tia.

Đối với quy trình này, một tập hợp các tài nguyên tín hiệu tham chiếu (non-zero-power (NZP) CSI-RS cho đường xuống và SRS cho đường lên) được truyền với cùng một chùm phát và UE hoặc gNB nhận tín hiệu bằng cách sử dụng các chùm khác nhau từ các hướng bao phủ một phạm vi góc. Cuối cùng, chùm thu tốt nhất được chọn dựa trên các phép đo RSRP trên tất cả các chùm thu.

### **2.2.1. Theo dõi chùm tia**

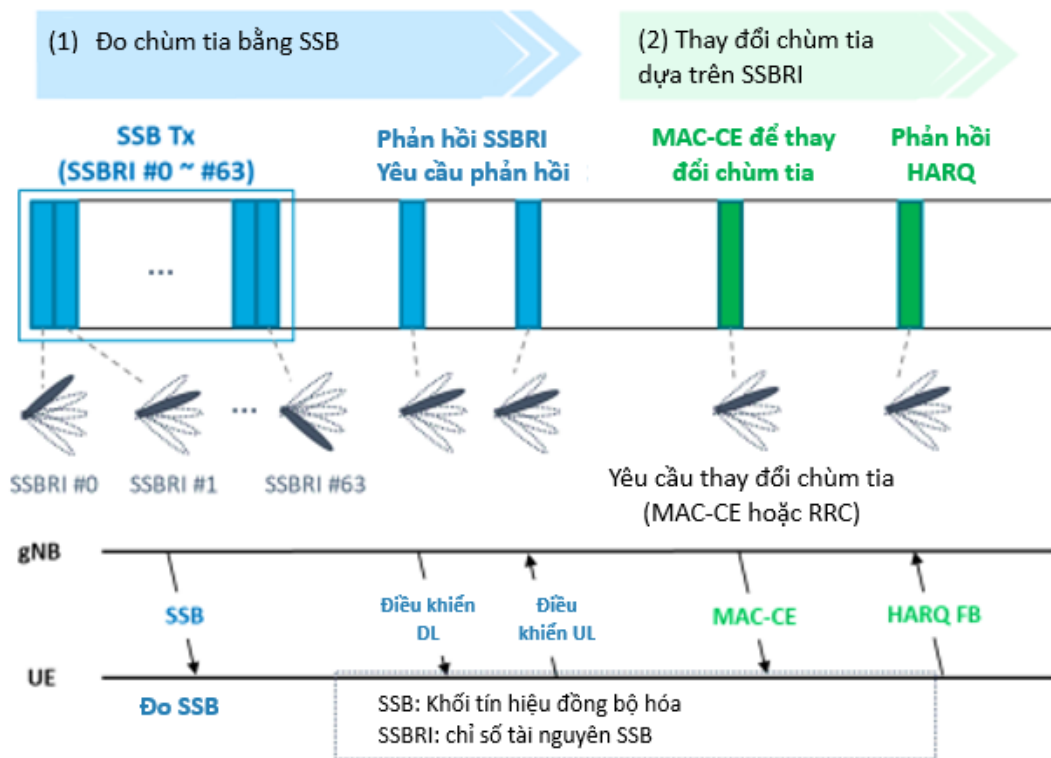
3GPP chỉ định rằng, ở mức tối thiểu, báo cáo chùm theo chu kỳ do mạng kích hoạt phải được hỗ trợ theo P-1, P-2 và hoạt động P-3 [1].

Một UE cũng có thể kích hoạt các cơ chế để phục hồi sau sự cố chùm tia. Mạng cấu hình rõ ràng UE với các tài nguyên để truyền tín hiệu UL cho mục đích khôi phục. Truyền UL/tài nguyên cần thiết để báo cáo lỗi chùm tia có thể được đặt trong cùng một phiên bản thời gian với PRACH hoặc tại một phiên bản thời gian có thể định cấu hình UE. Truyền tín hiệu DL là được hỗ trợ, cho phép UE giám sát các chùm và xác định các chùm tiềm năng mới.

### **2.2.2. Chuyển đổi/Phục hồi chùm tia sóng**

Chuyển mạch chùm tia là quá trình mà UE và trạm gốc theo dõi chùm tia tốt nhất để truyền dữ liệu đơn hướng và để đảm bảo rằng UE chuyển sang chùm tốt nhất này để có dữ liệu liên tục thu nhận thành công. Quá trình chuyển mạch chùm bao gồm những điều sau: UE có thể được ra lệnh bởi trạm gốc để thực hiện các phép đo cường độ chùm (ví dụ: RSRP) trên các chùm mà UE có thể nhìn thấy. Các phép đo

này dựa trên các khối SS được trạm gốc truyền theo định kỳ và được UE báo cáo cho trạm gốc khi nhận được phản hồi là một bản tin yêu cầu. Sử dụng phản hồi này, trạm gốc có thể quyết định ra lệnh cho UE chuyển sang một chùm tia mới (quyết định khi nào và chọn chùm tia nào cho việc này bởi trạm gốc). Thứ tự UE lựa chọn chuyển sang chùm tia mới được gửi qua phần tử Điều khiển truy nhập môi trường (MAC) và khi nhận được Yêu cầu phát lại tự động lai ghép (HARQ), trạm gốc chuyển đường truyền sang chùm mới. Thời gian và tần số chuyển đổi chùm tia là các tham số có thể được tối ưu hóa bởi các nhà cung cấp riêng lẻ.



**Hình 2.12 Minh họa quá trình chuyển đổi chùm tia.**

Khôi phục chùm tia là quá trình mà UE có thể phục hồi từ tình huống khi phân phát chùm tia hiện tại giảm xuống dưới ngưỡng đủ nhanh để không thể thực hiện chuyển đổi chùm tia, bao gồm hai bước: Phát hiện lỗi chùm tia và yêu cầu khôi phục.

Để phát hiện lỗi, UE giám sát số liệu chất lượng của khối SS là tham chiếu cho chỉ thị chùm kênh điều khiển đường xuống vật lý (PDCCH). Nếu chất lượng mong đợi thấp hơn ngưỡng đã định cấu hình cho khối SS (ví dụ: do tắc nghẽn như trong hình 2.13), sự cố chùm tia được phát hiện.



**Hình 2.13 Phục hồi tia.**

Khi UE phát hiện các sự kiện hỏng chùm và nếu UE tìm thấy khối SS mới có chỉ số chất lượng cao hơn ngưỡng đã định cấu hình, UE truyền kênh truy nhập ngẫu nhiên vật lý dựa trên tranh chấp (PRACH)(Msg-1) có tài nguyên được ánh xạ tới khối SS mới. Trong Msg-2/Msg-3 và sau đó thu/phát, gNB thay thế chùm tia cũ bằng chùm tia mới được xác định [6].

### **2.3. Kết luận chương**

Trong chương 2, luận văn đã trình bày các nội dung liên quan đến ba quá trình quản lý chùm búp sóng trong 5G.

Đầu tiên là quá trình thiết lập chùm ban đầu, đây là một quy trình lớn bao gồm nhiều bước bên trong. Các bước cũng lần lượt được trình bày trong luận văn. Trong đó có quá trình truy nhập ban đầu là một bước quan trọng trong giai đoạn thiết lập chùm ban đầu. Tiếp theo là đến quá trình điều chỉnh chùm, đây là quá trình diễn ra sau khi thực hiện xong thiết lập chùm ban đầu. Với mục đích giám sát, điều chỉnh các chùm búp sóng luôn hoạt động tốt trong môi trường luôn thay đổi, quá trình này đảm bảo đường truyền giữa bên phát và bên thu luôn ổn định trong bất cứ điều kiện nào. Trước khi tìm hiểu về quá trình điều chỉnh chùm búp sóng, chương này trình bày các nội dung về các chỉ báo chùm và CSI-RS để hiểu sâu hơn các khía cạnh liên quan đến quá trình này. Điều chỉnh chùm có thể diễn ra cả ở phía phát và phía thu theo cả hai đường lên và xuống. Cuối cùng là quá trình khôi phục liên kết. Đây là quá trình đảm bảo nếu giai đoạn điều chỉnh chùm gặp khó khăn, và đường truyền bị mất ổn định, thì ngay lập tức phải có giải pháp khôi phục lại đường liên kết trong thời gian sớm nhất có thể, đảm bảo trải nghiệm của người dùng không bị gián đoạn. Chương cuối trình bày phương pháp cải thiện hiệu năng quản lý chùm búp sóng trong 5G.

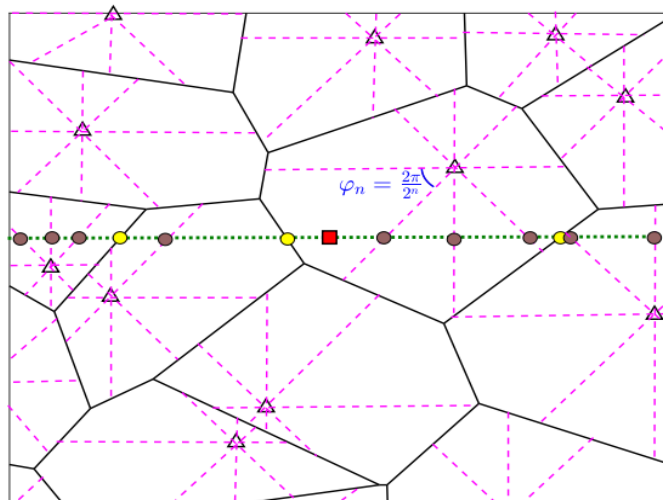
## CHƯƠNG 3. CẢI THIỆN HIỆU NĂNG QUẢN LÝ BÚP SÓNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP HÌNH HỌC

Trong chương 3 học viên muốn cung cấp một trong những phương pháp quản lý chùm búp sóng nổi bật đó là phương pháp hình học. Với phương pháp này học viên muốn trình bày những thuật toán, công thức để giải quyết bài toán quản lý chùm búp sóng trong các mạng viễn thông thế hệ mới như 5G và có thể là 6G trong tương lai.

### 3.1. Kỹ thuật định dạng búp sóng bằng phương pháp hình học

Trong toán học và viễn thông, mô hình hình học ngẫu nhiên của mạng không dây đề cập đến các mô hình toán học dựa trên hình học ngẫu nhiên được thiết kế để biểu diễn các khía cạnh của mạng không dây. Nghiên cứu liên quan bao gồm việc phân tích và so sánh các mô hình này với mục đích hiểu rõ hơn về các mạng truyền thông không dây để dự đoán và kiểm soát các số liệu hiệu suất mạng khác nhau. Việc sử dụng chúng đã tăng lên đáng kể để nghiên cứu một số công nghệ mạng không dây bao gồm mạng điện thoại di động, mạng cảm biến, mạng sử dụng cho xe cộ và một số loại mạng di động, chẳng hạn như mạng di động không đồng nhất. Hiệu suất và chất lượng chính thường dựa trên các khái niệm từ lý thuyết thông tin như tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu cộng với tạp âm, tạo cơ sở toán học để xác định kết nối mạng và vùng phủ sóng.

#### 3.1.1. Mô hình mạng



Hình 3.1 Mạng di động Poisson với định hướng chùm tia tới MT.

Mô hình mạng như trên mỗi BS có  $2^3 = 8$  chùm tia (tức là với  $n = 3$ ). Các ký hiệu tam giác là trạm gốc (BS), hình vuông màu đỏ là vị trí thiết bị đầu cuối (MT), vòng tròn màu nâu là vị trí chọn lại chùm dựa trên hình học, vòng tròn màu vàng là vị trí bàn giao BS, đường liền nét màu đen là ranh giới ô, đường đứt nét là ranh giới chùm và đường chấm là quỹ đạo của MT.

Một mạng di động đường xuống, nơi các vị trí BS được mô hình hóa như một quá trình điểm Poisson đồng nhất (PPP)  $\Phi \subset R^2$  với cường độ  $\lambda$ . Giả sử rằng một MT có hướng chuyển động trên một đường thẳng có hướng ngẫu nhiên với tốc độ  $v$ . Không mất tính tổng quát, nhờ tính đẳng hướng và tính đứng yên của PPP, đường chuyển động MT này có thể được coi là dọc theo trục  $x$  và đi qua gốc tọa độ. Với giả thiết mỗi BS luôn có MT để phục vụ. Ngoài ra, một BS phục vụ một MT tại một thời điểm cho mỗi khối tài nguyên. Một MT tự liên kết với BS gần nhất. Sự liên kết như vậy dẫn đến các ô BS hình thành một mạng lưới Poisson như trong hình 3.1. Gọi giá trị  $X_0 \in \Phi$  biểu thị vị trí của BS phục vụ của MT tại một thời điểm nhất định. Tập trung vào MT được đặt tại trạm gốc tại thời điểm đó. Sau khi tính trung bình trên PPP, MT này trở thành MT điển hình [2].

### 3.1.2. Mô hình Beamforming

Một BS tại vị trí  $X \in \Phi$  sử dụng định hướng chùm tia để giao tiếp với MT định hướng nằm ở gốc tọa độ. Như hình 3.1, ước tính anten thực tế mô hình bởi một phân khu, trong đó mỗi khu vực tương ứng với búp chính của một BS chùm. Để đơn giản, chúng ta giả sử rằng mỗi BS có  $2^n$  chùm với  $n \in \mathbb{N}$ , tương ứng với  $2^{n-1}$  biên chùm. Do đó, độ rộng chùm tia cho một BS là:

$$\varphi_n = \frac{2\pi}{2^n} = \frac{\pi}{2^{n-1}} \quad (3.1)$$

### 3.1.3. Các thông số hiệu năng của hệ thống quản lý búp sóng

Với mô hình hệ thống quản lý búp sóng học viên sẽ sử dụng các tham số dưới đây để áp dụng tính toán và phân tích hiệu năng của phương pháp quản lý búp sóng được triển khai trong chương 3 như sau:

**Bảng 3.1 Các tham số sử dụng trong phân tích hiệu năng hệ thống**

<b>Ký hiệu tham số</b>	<b>Ý nghĩa</b>
$\lambda$	Cường độ BS
$v$	Vận tốc MT
$c$	Tốc độ ánh sáng
$2^n$	Số lượng búp sóng tại BS
$2^k$	Số lượng búp sóng tại MT
$\tau$	Chu kỳ SSB
$\varphi_n$	Băng thông tại BS
$\mu_c$	Thời gian khi chuyển đổi BS
$\mu_b$	Độ hiệu quả của loại bỏ chùm tia
$\mu_{t,b}$	Thời gian của chùm tia dựa trên hình học sự lựa chọn lại
$\mu_{s,b}$	Độ tuyến tính của sự lựa chọn búp sóng dựa trên hình học
$p_{bm}^{BS}$	Xác suất lệch búp sóng tại BS
$p_{bm}^{MT}$	Xác suất lệch búp sóng tại MT
$p_{sw}$	Xác suất chuyển đổi búp sóng
$T_{st}$	Thời gian lưu trú dựa trên hình học
$T_{eff,st}$	Thời gian lưu trú hiệu quả
$T_o$	Chi phí thời gian trung bình trên một đơn vị thời gian
$T_b$	Chi phí lựa chọn lại búp sóng
$T_c$	Chi phí bàn giao ô

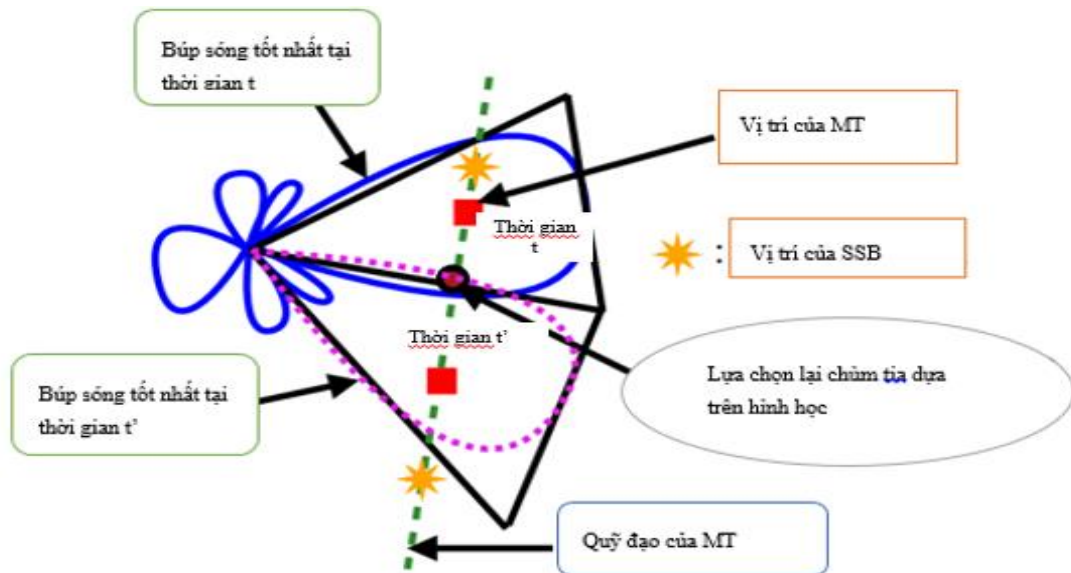
### **3.2. Hệ thống quản lý búp sóng trong mạng 5G bằng phân tích hình học ngẫu nhiên**

#### **3.2.1. Lựa chọn chùm tia**

Theo như hình 3.2, MT có thể vượt qua một số ranh giới ô và chùm khi nó di chuyển trên đường thẳng. Tại ranh giới ô, một sự chuyển giao BS xảy ra. Do đó, một

chùm tia mới ở lần phục vụ tiếp theo BS và tiềm năng ở MT cần được chọn trong quá trình bàn giao BS. Trong ô cũng vậy, MT di chuyển từ búp chính của chùm tia này sang búp chính của chùm tia khác. Do đó, một chùm tia mới phải được chọn lại ở BS và có khả năng ở MT cũng như để MT để duy trì kết nối với chùm BS phục vụ tốt nhất. Phương pháp này được gọi là dựa trên hình học.

Việc lựa chọn lại chùm tia sẽ diễn ra, để MT tiếp tục kết nối với búp của chùm tốt nhất, nó nên chọn lại chùm ở ranh giới chùm. Vị trí chọn lại chùm như vậy được đánh dấu bằng hình tròn màu nâu trong hình 3.2. Tuy nhiên, do đặc điểm của hệ thống 5G NR, ở đây được gọi là chọn lại chùm dựa trên việc thực hiện phép đo, trong đó các sự kiện chọn lại chùm chỉ xảy ra sau các sự kiện đo chùm của cụm SSB, được BS truyền định kỳ với chu kỳ  $\tau$  [9].



**Hình 3.2 Chênh lệch chùm tia cảm ứng di động.**

Việc chọn lại chùm tia nên xảy ra ở ranh giới chùm tia để MT luôn kết nối với búp chính của chùm tia tốt nhất. Nhưng vị trí SSB (tín hiệu đồng bộ hóa) tham chiếu hình thành chùm có thể không trùng với vị trí lý tưởng cắt lại chùm tia tại biên chùm tia, MT tại thời điểm  $t'$  vẫn được kết nối với búp sóng bên của chùm đã chọn trước đó tại thời điểm  $t$ , dẫn đến lệch chùm.

Chênh lệch chùm tia xảy ra khi các búp sóng chính của BS phục vụ và MT điển hình là không thẳng hàng với nhau. Cụ thể là trong một SSB, tại BS phục vụ, chùm tia có MT bên trong búp sóng chính của nó (tức là chùm tốt nhất) được chọn

để giao tiếp (coi là chùm tia tham chiếu). Do tính di động của MT, nếu khoảng thời gian giữa hai SSB liên tiếp đủ dài, có thể MT đã di chuyển ra khỏi búp sóng chính của chùm tham chiếu mà không chọn chùm mới tại biên chùm (tức là không có thực hiện chọn lại chùm dựa trên hình học). Do đó, MT vẫn được kết nối với chùm tham chiếu qua búp sóng bên cho đến SSB tiếp theo khi chùm tham chiếu mới được chọn. Như một sự di động – sự sai lệch chùm tia cảm ứng tại BS làm giảm cường độ tín hiệu tại MT vì khi đó nó nằm trong búp sóng bên của chùm tham chiếu được chọn trong SSB trước đó. Tương tự như sai lệch chùm tia ở BS, có thể có sự sai lệch chùm tia ở MT điển hình. Trong một SSB, chùm hướng về phía BS phục vụ được chọn tại MT để nhận từ BS phục vụ. Do tính di động của MT giữa hai SSB liên tiếp, có thể là chùm được chọn tại MT trong SSB trước đó không còn hướng búp chính của nó đối với BS phục vụ. Kết quả là MT nhận được từ BS phục vụ trong búp sóng bên của chùm tia đã được chọn trước đó trong SSB trước đó. Trong trường hợp xấu nhất của chùm tia lệch, búp sóng bên của chùm được chọn tại BS phục vụ được căn chỉnh với búp sóng bên của chùm được chọn tại MT điển hình.

Xác suất lệch chùm tia giữa chùm tia của BS và MT do tính di động của MT giữa hai sự kiện đo chùm liên tiếp. Tại một thời điểm nhất định, xác suất lệch chùm tia  $p_{bm}^{BS}$  tại BS phụ thuộc vào tốc độ  $v$  của MT, khoảng thời gian  $\tau$  giữa hai SSB và khoảng cách trung bình giữa hai ranh giới chùm BS liên tiếp. Một công thức dưới đây để ghi lại các hiệu ứng các tham số này về xác suất lệch chùm tia tại BS do tính di động của MT trong mô hình mạng. Đánh giá xác suất  $p_{bm}^{BS}$  với MT nằm ngoài búp sóng chính của chùm tham chiếu bằng [9]:

$$p_{bm}^{BS} = 1 - \exp\left(-\frac{v\tau}{1/\mu_{s,b}}\right) \quad (3.4)$$

Trường hợp lệch chùm ở phía BS sử dụng một công thức tương tự để tính xác suất  $p_{bm}^{MT}$  của lệch chùm ở phía MT như sau:

$$p_{bm}^{MT} = 1 - \exp\left(-\frac{v\tau}{1/\mu_{s,m}}\right) = 1 - \exp\left(-\frac{2^k \sqrt{\lambda} v\tau}{\pi}\right) \quad (3.5)$$

trong đó  $1/\mu_{s,m} = \frac{\pi}{2^k \sqrt{\lambda}}$  là khoảng cách trung bình giữa hai ranh giới chùm tia MT liên tiếp.

a/ Lựa chọn búp sóng trong quá trình bàn giao BS:

Khi MT thực hiện chuyển giao BS, một chùm tia được chọn với BS mới cũng như MT điển hình. Cường độ tuyến tính của các giao cắt ranh giới ô (tức là các giao cắt BS) là:  $\mu_{s,c} = \frac{4\sqrt{\lambda}}{\pi}$ . Do đó, thời gian của BS chuyển giao (hoặc lựa chọn chùm tương đương) là:

$$\mu_c = \frac{4\sqrt{\lambda}}{\pi} v \quad (3.6)$$

b/ Lựa chọn lại búp sóng trong ô:

Tính toán số lượng trung bình loại bỏ chùm tia mà MT điển hình thực hiện trên mỗi đơn vị độ dài và thời gian của việc cắt bỏ chùm tia, tức là tốc độ trung bình của việc loại bỏ búp sóng. Đối với chùm tia  $2^n$  tại BS và PPP có giá trị  $\lambda$ , độ tuyến tính  $\mu_{s,b}$  của sự chọn lại chùm dựa trên hình học đối với MT điển hình chuyển động trên một đường thẳng với tốc độ  $v$  là  $\frac{2^k \sqrt{\lambda}}{\pi}$ , trong khi khoảng thời gian  $\mu_{t,b}$  là:

$$\mu_{t,b}(n) = \frac{2^n \sqrt{\lambda}}{\pi} v. \quad (3.7)$$

Định lý này có giá trị khi tích phân trên tất cả các hướng chuyển động của MT được chọn thống nhất một cách ngẫu nhiên, và nó không giữ một hướng cố định của chuyển động MT.

### 3.2.2. Hiệu quả của việc lựa chọn lại chùm tia

Tần suất chọn lại chùm tia trong một ô bằng cách lấy có tính đến hình học và thiết kế hệ thống. Nó xác định chi phí thời gian liên quan đến chùm sự lựa chọn lại. Hiệu quả của việc lựa chọn lại chùm tia phụ thuộc vào thời gian lưu trú hiệu quả. Khoảng thời gian này được tính trung bình trong đó MT đã chọn bất kỳ chùm BS phân phối nhất định nào. Đây là tham số cần thiết để đánh giá xem liệu MT sẽ có đủ thời gian để thực hiện liên kết và tinh chỉnh chùm tia MT thích ứng trước khi truyền dữ liệu [9].

**Biểu thức 1:** Khi tính đến số lượng trung bình của các lần chọn lại chùm dựa trên hình học bị bỏ qua giữa hai SSB liên tiếp, thời gian hiệu quả của việc chọn lại chùm sẽ trở thành:

$$\mu_b(n) = \frac{1}{\max(\tau, \frac{1}{\mu_{t,b}(n)})}. \quad (3.8)$$

trong đó  $\tau$  là chu kỳ SSB.

**Biểu thức 2:** Các hình học dựa trên thời gian lưu trú của  $T_{s,t}$  của MT định nghĩa là thời gian trung bình dành bởi MT bên trong búp sóng chính của chùm tia đơn giản là nghịch đảo của cường độ thời gian  $\mu_{t,b}$ , tức là:

$$T_{st} = \frac{1}{\mu_{t,b}} = \frac{\pi}{2^n \sqrt{\lambda} v} \quad (3.9)$$

**Biểu thức 3:** Thời gian lưu trú hiệu quả  $T_{eff,st}$  được định nghĩa là thời gian trung bình mà MT được kết nối với một chùm BS là:

$$T_{eff,st} = \frac{1}{\mu_b(n)} = \max\left(\tau, \frac{1}{\mu_{t,b}(n)}\right) \quad (3.10)$$

**Nhận xét:** Thời gian lưu trú hiệu quả cho phép đánh giá xem liệu MT có đủ hay không thời gian để thực hiện sàng lọc chùm tia MT và thích ứng liên kết trước khi truyền dữ liệu. Ngoài ra, đối với một chu kỳ  $\tau$  của SSB, thời gian lưu trú hiệu quả bằng thời gian lưu trú dựa trên hình học.

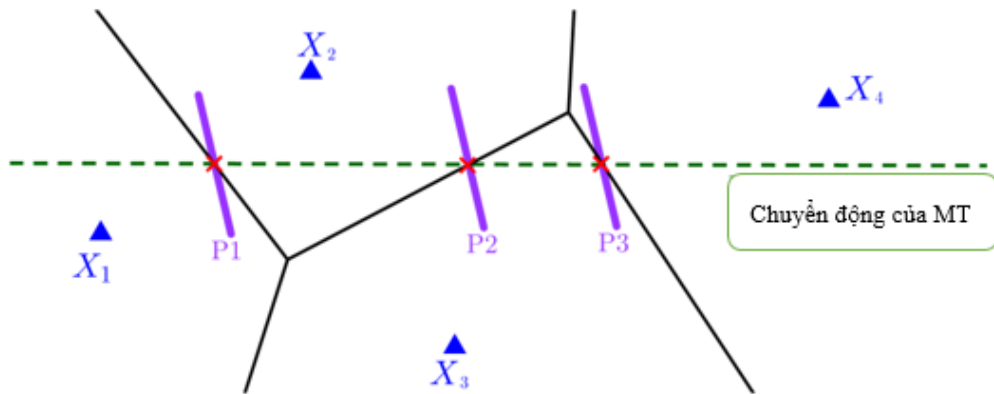
Tổng thời gian liên quan đến MT các phép đo tín hiệu tham chiếu và di động trong 5G cần thiết cho việc chuyển giao giữa các ô và chùm chuyển đổi trong ô. Chi phí chung xác định thời gian hiệu quả có sẵn để truyền dữ liệu. Việc chuyển giao BS và lựa chọn lại chùm tia có thể dẫn đến chi phí đáng kể về độ trễ bổ sung cần thiết để tiến hành định kỳ phép đo và báo cáo SSB được yêu cầu đối với quy trình quét chùm tia và căn chỉnh chùm tia SSB. Chi phí thời gian như vậy làm giảm thời gian tổng thể có sẵn cho việc truyền dữ liệu với hai trường hợp:

- Thời gian  $T_c$  để thực hiện đồng thời các quy trình chọn lại ô và chùm trong mỗi BS bàn giao tại điểm giao nhau ranh giới ô. Điều này bao gồm phép đo

SSB định kỳ, thời gian xử lý của phía nhận cho các SSB và thời gian gián đoạn chuyển giao do chuyển mạch ô và cấu hình lại kiểm soát tài nguyên vô tuyến (RRC).

- Thời gian  $T_b$  để căn chỉnh chùm sau mỗi lần chọn lại chùm trong ô của BS, bao gồm phép đo SSB định kỳ và thời gian xử lý máy thu cho các SSB. Ngoài ra còn có một hệ số tỷ lệ cho các độ trễ đo SSB đó, liên quan đến cách MT thực hiện các phép đo SSB, về bản chất liên quan đến số lượng băng anten và chuỗi xử lý băng tần cơ sở liên quan của chúng.

### 3.2.3. Xác suất chuyển đổi chùm tia



**Hình 3.3 Chuyển mạch chùm xác suất với hai chùm búp sóng tại MT.**

Các ký hiệu hình tam giác mô tả các BS nằm theo PPP. Các đường liền nét màu đen biểu thị ranh giới ô. Một "chữ thập" biểu thị vị trí bàn giao BS của MT. P1, P2 và P3 biểu thị các băng được định hướng ngẫu nhiên của MT liên quan đến từng vị trí bàn giao BS, trong đó mỗi chùm trong số hai chùm bao phủ các nửa bên trái và bên phải được ngăn cách bởi băng điều khiển. Ví dụ: BS ở vị trí X1 và X2 nằm trong phạm vi phủ sóng của hai chùm tia khác nhau, tức là ở phía đối diện của băng điều khiển P1. Như vậy sẽ có một chùm tia công tắc trong quá trình chuyển giao từ X1 sang X2. Ngược lại, X2 và X3 nằm trong vùng phủ của cùng một chùm (chùm bên trái). Do đó không cần chuyển đổi tia trong quá trình chuyển giao từ X2 sang X3 [9].

Dự đoán khả năng chuyển đổi chùm tia trong chuyển giao BS vì chùm tia chuyển mạch là cần thiết nếu và chỉ khi hiện tại và lần phân phát tiếp theo BS nằm

trong vùng phủ sóng của các chùm MT khác nhau. Trường hợp của 2 chùm búp sóng ở MT được mô tả trong hình 3.3. Khai thác các thuộc tính của PPP để mô hình hóa các vị trí BS, để xác suất hiện tại và các BS phục vụ tiếp theo nằm trong các chùm khác nhau có thể được tính toán. Đặc biệt, khi có  $2^k$  chùm tại MT điển hình với các búp chính được định hướng đồng nhất một cách hướng ngẫu nhiên và bao phủ tất cả các hướng, xác suất chuyển đổi chùm tia là:

$$p_{sw} = \frac{\pi}{2^k} \sin \frac{2^k}{\pi}, \quad k \geq 1. \quad (3.11)$$

Ngoài ra, chỉ một phần  $p_{sw}$  của chuyển giao BS yêu cầu chuyển đổi chùm búp sóng. Khi có 2, 4 hoặc 8 chùm tia tại MT, xác suất chuyển đổi chùm tia trong quá trình chuyển giao BS tương ứng là 0,637; 0,9 và 0,975. Do đó, tổng chi phí trung bình trên một đơn vị thời gian có thể được cung cấp bởi [9]:

$$T_o(n) = 2^k \mu_b(n) T_b + (p_{sw} 2^k + 1 - p_{sw}) \mu_c T_c \quad (3.12)$$

### 3.3. Đánh giá hiệu năng hệ thống

Luận văn tập trung nghiên cứu và đi vào phân tích các tham số ảnh hưởng và các chỉ tiêu kỹ thuật cho beamforming sẽ được ứng dụng cho mạng 4G và 5G. Sau khoảng thời gian được thầy giáo TS. Nguyễn Viết Minh tận tình hướng dẫn, học viên quyết định sử dụng các công cụ toán học và các công cụ mô phỏng bao gồm: phần mềm Keysight VSA và phần mềm mô phỏng đánh giá hệ thống Keysight SystemVue. Phần dưới đây trình bày về một nghiên cứu mô phỏng đánh giá hiệu năng sẽ bao gồm mạng 5G với các kỹ thuật định dạng búp sóng và kỹ thuật quản lý búp sóng. Với việc sử dụng phương pháp hình học vào việc quản lý búp sóng học viên sẽ đưa ra hiệu quả của phương pháp với các trường hợp khác nhau như: một búp sóng, hai búp sóng, bốn búp sóng,... Học viên tập trung phân tích đánh giá hiệu năng tại thiết bị đầu cuối (MT). Từ các kết quả thu được có thể đánh giá hiệu năng hệ thống quản lý búp sóng trong mạng 5G với phương pháp hình ngẫu nhiên. So sánh với các phương pháp khác việc sử dụng các công cụ được thiết lập từ hình học ngẫu nhiên, học viên nhận thấy việc tối ưu hóa được phương pháp hình học sẽ mang lại số lượng chùm tia tại BS và MT nhằm tối đa hóa hiệu suất ASE của đường xuống. Phương pháp hình học giúp

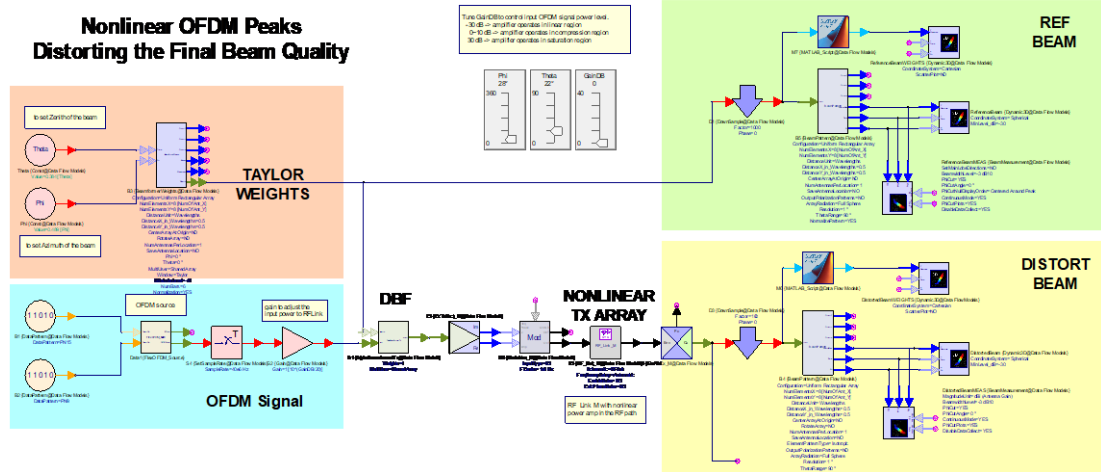
đánh giá trực qua hiệu năng của việc quản lý búp sóng trong mô hình mạng không dây, dễ dàng áp dụng vào thực tế sóng milimet phổ biến hiện nay. Với phương pháp này được phân tích và đánh giá dựa trên các tham số trọng tâm nhất của búp sóng trên cả phía phát và phía thu như: công suất phát, mật độ búp sóng dựa vào ISD, chu kỳ của một SSB, thời gian UE duy trì sử dụng trong một ô, vận tốc di chuyển của các thiết bị cuối... Từ đó áp dụng triển khai trong thực tiễn dạng mạng đồng nhất là mạng sử dụng các MT và BS có các tham số tương đương nhau; và mạng không đồng nhất là sự kết hợp giữa các MT và BS khác nhau. Sau đây học viên xin được trình bày kết quả và đánh giá hệ thống quản lý búp sóng khi sử dụng phương pháp hình học ngẫu nhiên.

### ***3.3.1. Tạo các búp kỹ thuật số với OFDM: Các đỉnh tín hiệu cao làm biến dạng chùm búp sóng***

Học viên sử dụng mô phỏng này để cho thấy hiệu ứng động của các điểm phi tuyến TX làm suy giảm chất lượng chùm tia cuối cùng trên tín hiệu dải động cao, sử dụng các đường kết nối vô tuyến.

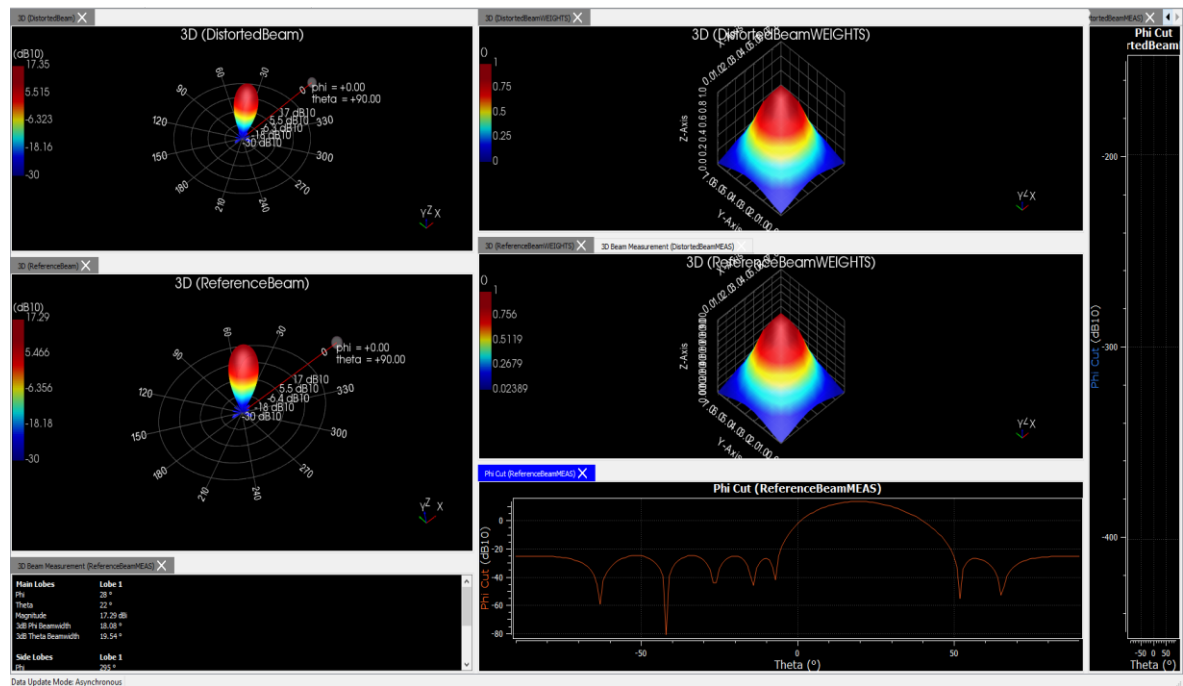
Tín hiệu OFDM giống 802.11a với tỷ lệ đỉnh trên trung bình cao được đẩy qua một mảng 8x8 PA (Power Amplifier) truyền. Các quả cân dạng chùm ban đầu sử dụng một cơn Taylor để triệt tiêu các thanh trượt. Tuy nhiên, khi mỗi bộ khuếch đại công suất đi vào quá trình nén, nó sẽ thay đổi độ lớn (AM-AM) và pha (AM-PM) của các trọng lượng tạo chùm được xây dựng cẩn thận. Thực tế, các biên độ ở tâm mảng là cao nhất, và nén sớm hơn các phần tử ở cạnh nên lượng nén không đồng đều. Hiệu ứng chính là tính năng nén AM-AM làm phân tán cửa sổ Taylor, làm xuất hiện các sidelobes. Nếu chúng ta bật AM-PM trên bộ khuếch đại Spectrasys, thì các thay đổi về pha cũng sẽ phân bố và có thể định hướng sai cho chùm chính, trên cơ sở động.

Sơ đồ thiết kế hệ thống được trình bày như hình 3.4. Sơ đồ kết nối tạo các búp kỹ thuật số với OFDM.



**Hình 3.4 Sơ đồ kết nối tạo các búp kỹ thuật số với OFDM.**

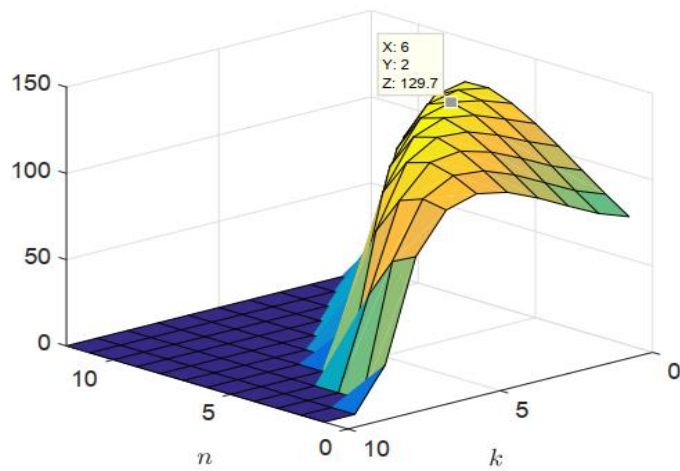
Sau khi tiến hành mô phỏng trên phần mềm SystemVue và Matlab học viên thu được kết quả được miêu tả như hình 3.5.



**Hình 3.5 Kết quả kết nối tạo các búp kỹ thuật số với OFDM.**

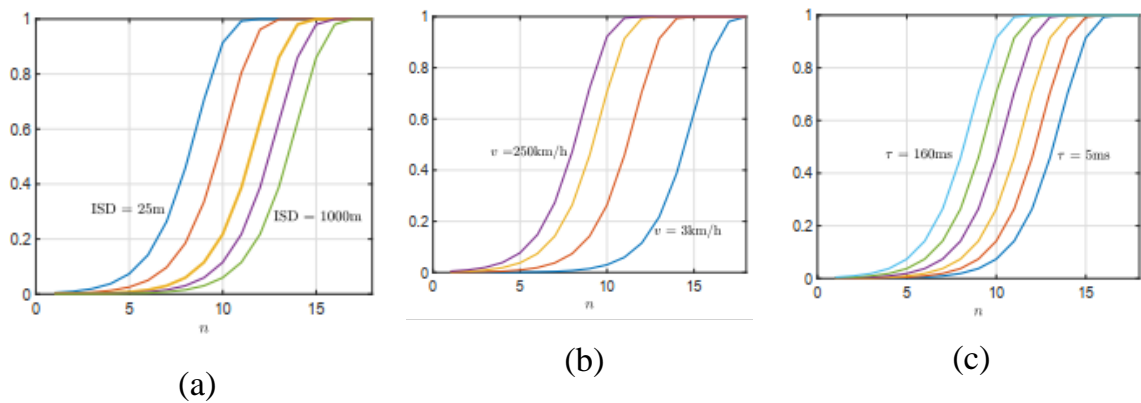
Hình 3.5 cung cấp một cái nhìn chung về tác động của truyền thông định hướng từ các khía cạnh của cả trạm thu phát và thiết bị đầu cuối. Cụ thể, nó cung cấp số lượng chùm tia tối ưu tại trạm cũng như thiết bị đầu cuối sử dụng tối ưu hóa. Đối với trường hợp LO, số lượng tối ưu của tia ở thiết bị đầu cuối là  $2^8 = 256$ , còn số lượng

chùm tia ở trạm là  $2^6 = 64$ . Điều này là do thực tế rằng, trường hợp LO chi phí thời gian không tăng theo số lượng chùm tại thiết bị đầu cuối. Vì vậy, tốt hơn là tăng số lượng chùm tia ở thiết bị đầu cuối thay vì ở trạm thu phát để đạt được đủ độ lợi chùm tia. Tuy nhiên, tác động tiêu cực của việc tăng khả năng lệch chùm tia cuối cùng chiếm ưu thế, điều này làm giảm hiệu quả ASE sau khi tăng số lượng chùm vượt quá 256 ở thiết bị đầu cuối. Mặt khác, như hình 3.6 cho thấy, số lượng chùm tia tối ưu tại thiết bị đầu cuối giảm xuống 4 đối với trường hợp FO do sự gia tăng tỷ lệ thuận trong chi phí thời gian với số lượng chùm búp sóng ở thiết bị đầu cuối.



**Hình 3.6** Đồ thị ba chiều của ASE hiệu dụng đối với chùm số  $2^n$  tại BS và chùm số  $2^k$  tại MT.

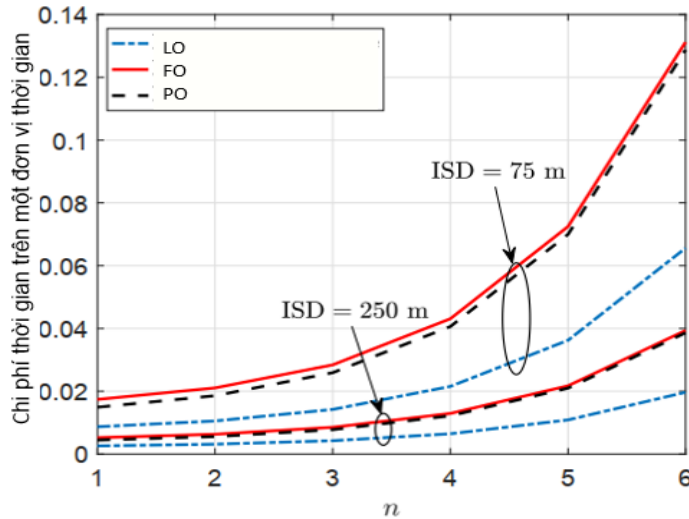
### 3.3.2. Xác suất sai lệch chùm tia tại BS và chi phí thời gian



**Hình 3.7** Ảnh hưởng của ISD, tốc độ MT và tuần hoàn SSB đến xác suất của chùm tia lệch lạc tại BS. [9]

Với hình 3.7a các giá trị tương ứng  $ISD = 25, 75, 250, 500, 1000$  m;  $v = 30$  km/h;  $\tau = 20$  ms. Hình 3.7b với  $v = 3, 30, 120, 250$  km/h;  $ISD = 200$  m;  $\tau = 20$  ms. Hình 3.7c với  $\tau = 5, 10, 20, 40, 80, 160$  ms;  $ISD = 200$  m;  $v = 30$  km/h.

Hình 3.7 mô tả xác suất lệch chùm tia  $p_{bm}^{BS}$  như thế nào tại BS đối với từng trường hợp thay đổi giá trị  $ISD$ , tốc độ  $v$  của MT và chu kỳ tuần hoàn SSB là  $\tau$  dưới dạng hàm của  $2^n$  chùm tia tại BS. Hình 3.7a với  $ISD$  khoảng cách giữa các trạm càng nhỏ thì mật độ mạng càng dày đặc, xác suất sai lệch chùm tia  $p_{bm}^{BS}$  tăng vì kích thước ô trung bình giảm, do đó làm tăng cơ hội MT di chuyển trong phạm vi của chùm giữa hai SSB liên tiếp mà không thực hiện chọn lại chùm. Vì vậy, đối với mạng 5G NR dày đặc, chẳng hạn như với  $ISD = 25$  m, có số lượng chùm tia lớn tại BS có thể không mang lại nhiều lợi thế vì độ lợi tạo chùm nhanh chóng bị chi phối bởi âm tác động của sự lệch chùm khi  $n$  tăng lên. Ngoài ra, MT di chuyển càng nhanh, cơ hội mà MT di chuyển trong vùng phủ của chùm tia mới giữa hai SSB liên tiếp càng cao mà không cần thực hiện chọn lại chùm (hình 3.7b). Cuối cùng, hình 3.7c cho thấy rằng việc tăng tính định kỳ của SSB dẫn đến khoảng thời gian dài hơn giữa hai lần truyền SSB liên tiếp, do đó  $p_{bm}^{BS}$  tăng ở BS. Một phân tích tương tự có thể được thực hiện để phân tích tác động của  $ISD$ , tốc độ MT và chu kỳ SSB về xác suất lệch chùm tia ở MT.



**Hình 3.8 Chi phí thời gian trên một đơn vị thời gian so với số lượng chùm tia tại BS.**

Hình 3.8 mô tả với  $v = 30$  km/h,  $k = 1$  (tức là MT sử dụng 2 chùm tia),  $\tau = 20$  ms.

Chi phí thời gian do lựa chọn chùm tia trong quá trình bàn giao BS và sự lựa chọn chùm tia do tính di động trong một ô của MT phụ thuộc cốt yếu vào số lượng của các đơn vị xử lý băng tần cơ sở tại MT. Hình 3.8 mô tả ảnh hưởng của số lượng chùm tia tại BS về thời gian chi phí. Đối với các giá trị ISD nhỏ hơn, kích thước ô trung bình nhỏ hơn, dẫn đến chuyển giao BS thường xuyên hơn và lựa chọn chùm tia trong ô. Điều này sẽ làm tăng chi phí thời gian trên một đơn vị thời gian. Do cùng một lý do, sự khác biệt giữa trường hợp toàn bộ chi phí và trường hợp chi phí xác suất lớn hơn ở ISD nhỏ hơn. Vì vậy, trường hợp thứ hai được mong đợi để mang lại nhiều lợi ích hơn về thời gian truyền dữ liệu trong các mạng di động siêu dày đặc. Khi số lượng chùm tia tại BS nhỏ hơn (giả sử  $2^3 = 8$ ), sự khác biệt giữa ba trường hợp trên cao là nhỏ hơn. Nhưng các trường hợp chi phí đầy đủ và có xác suất có độ phức tạp phân cứng thấp hơn do một đơn vị xử lý băng tần cơ sở duy nhất so với hai đơn vị trong trường hợp chi phí hạn chế. Mặt khác, đối với một số lượng lớn các chùm tia tại BS, thời gian tiêu hao trong giới hạn trường hợp trên cao nhỏ hơn nhiều, điều này có thể biện minh cho việc có độ phức tạp phân cứng cao hơn.

### 3.3.3. Ảnh hưởng của số chùm tia tại MT

Ngoài ra còn có một yếu tố tỷ lệ cho các độ trễ đo SSB đó, liên quan đến cách MT thực hiện các phép đo SSB, về bản chất liên quan đến số lượng bảng ăng-ten và chuỗi xử lý băng tần cơ sở liên quan của chúng. Cụ thể, 3GPP chỉ định một số giả định về thiết bị người dùng nhiều bảng điều khiển tùy thuộc vào số lượng chuỗi xử lý băng tần cơ sở và số lượng bảng ăng-ten ở phía MT. Phần tổng chi phí trung bình trên một đơn vị thời gian phụ thuộc vào việc mỗi chùm tia  $2^k$  tại MT điển hình có chuỗi xử lý băng tần cơ sở riêng hay không.

Trường hợp LO (Limitted Overhead): với mỗi chùm tia  $2^k$  tại MT điển hình có chuỗi xử lý băng tần cơ sở riêng cho các phép đo SSB độc lập. Do đó, phép đo chùm SSB có thể được thực hiện đồng thời trong tất cả chùm tia của MT. Trong trường hợp này, tổng chi phí trung bình trên một đơn vị thời gian là

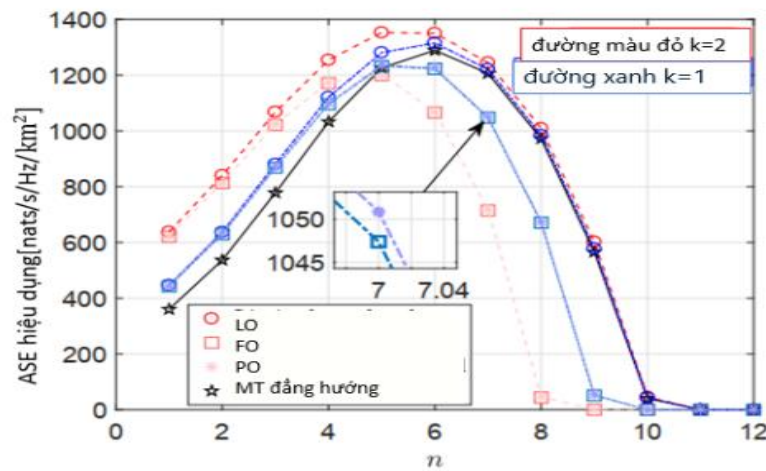
$$T_o(n) = \mu_b(n)T_b + \mu_c T_c \quad (3.13)$$

Trường hợp FO (Full Overhead): với một đơn vị xử lý băng tần cơ sở duy nhất cần được chia sẻ bởi tất cả các chùm  $2^k$  ở MT điển hình. Do đó, phép đo SSB cho mỗi chùm tia  $2^k$  được thực hiện tuần tự. Trong trường hợp này, tổng chi phí trung bình trên một đơn vị thời gian là

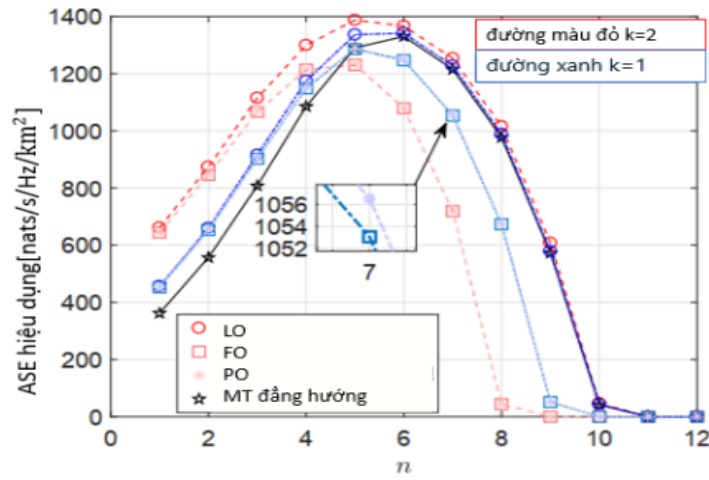
$$T_o(n) = 2^k (\mu_b(n)T_b + \mu_c T_c) \quad (3.14)$$

Do đó, trường hợp FO có tổng chi phí trung bình trên một đơn vị thời gian gấp 2k lần so với chi phí trong trường hợp tổng chi phí hạn chế, nhưng với lợi thế là độ phức tạp phần cứng ít hơn đáng kể ở MT. Dưới đây là một số ví dụ cụ thể áp dụng với 2 chùm tia ( $k=1$ ) và 4 chùm tia ( $k=2$ ) để phân tích và đánh giá ảnh hưởng của số chùm tia tại MT.

Hình 3.9 mô tả đối với các ISD khác nhau, sự cân bằng hệ thống liên quan với máy đầu cuối định hướng và ảnh hưởng của số lượng chuỗi xử lý băng tần cơ sở. Chi phí thời gian cho giới hạn trường hợp trong không khí và máy đầu cuối đa hướng giống nhau và nhỏ hơn khi so sánh đối với trường hợp tổng chi phí xác suất (PO) và toàn bộ chi phí (FO), với trường hợp FO dẫn đến chi phí thời gian cao nhất.



(a) Pha đỉnh Rayling



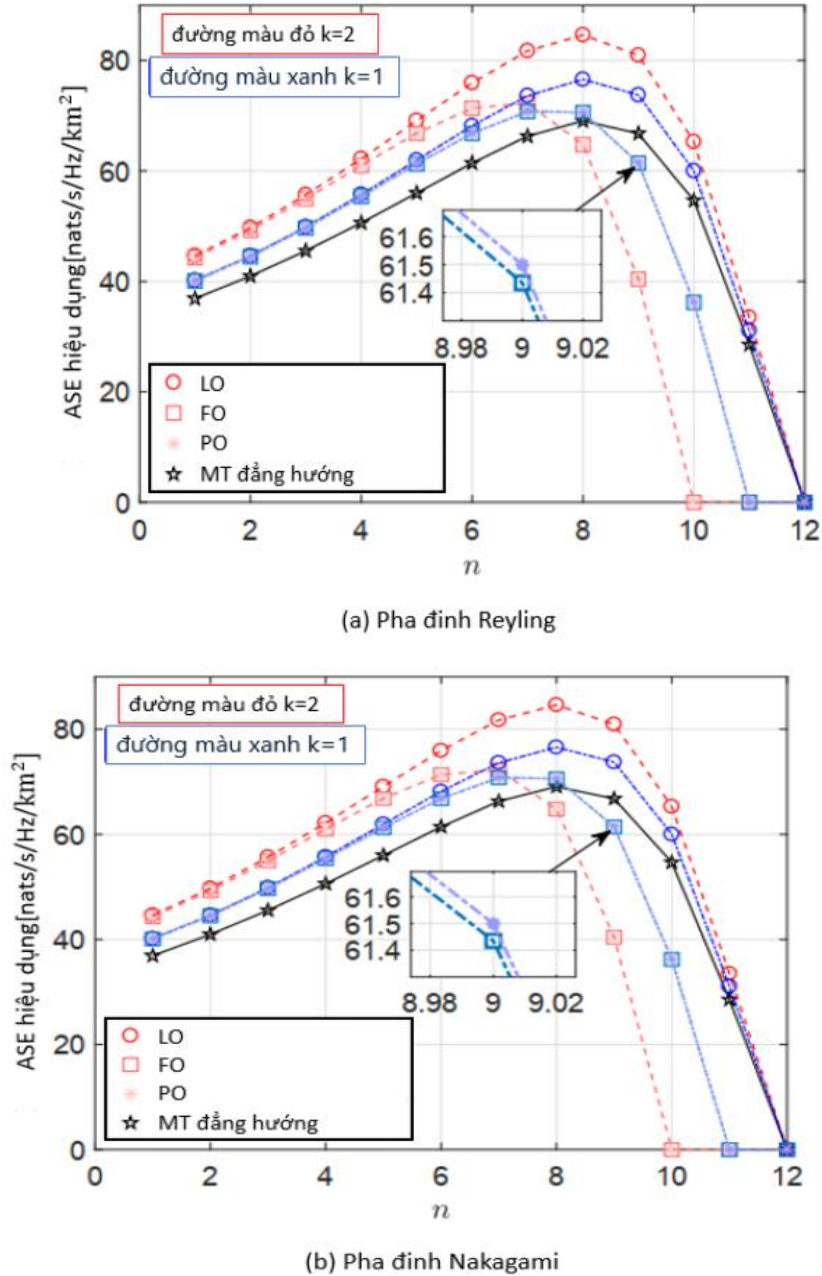
(b) Pha đình Nakagami

**Hình 3.9 Ảnh hưởng của chùm tia số  $2^k$  tại MT điển hình lên ASE hiệu dụng.**

Hình 3.9 mô tả với  $v = 30$  km/h và  $ISD = 75$  m. Cụ thể, hình 3.9 và hình 3.10 so sánh hiệu suất của MT định hướng với 2 chùm tia và 4 chùm tia (tương ứng với  $k=1$  và  $k=2$ ) với MT đa hướng. Đối với trường hợp LO, mức tăng định dạng chùm bổ sung do nhiều chùm hướng tại MT luôn chiếm ưu thế so với trường hợp MT đa hướng, như thời gian vượt quá do nhiều chùm tia tại MT không đổi đối với trường hợp LO không phân biệt trong số  $2^k$  của chùm tia tại MT. Nói cách khác, với mọi giá trị của  $n$ , trường hợp LO với 4 chùm tia tại MT hoạt động tốt nhất và trường hợp LO với 2 chùm tia hoạt động tốt hơn trong trường hợp MT đa hướng. Mặc dù xác suất lệch chùm tia tại MT tăng theo  $k$ .

Mặt khác, đối với trường hợp FO, chi phí thời gian tăng tỷ lệ thuận với  $2^k$  chùm tia tại MT cũng như  $2^n$  chùm ở BS. Vì vậy, sau một giá trị nhất định của  $n$ , độ lợi tạo tia tại MT cuối cùng bị chi phối bởi tăng chi phí thời gian và xác suất lệch chùm tia ở cả MT và BS. Ngoài ra, đối với trường hợp FO, khi  $2^n$  chùm tia tại BS đủ lớn lợi thế của hướng giao tiếp tại MT biến mất do tổng thời gian tăng lên và đa hướng tiếp nhận tại MT dẫn đến ASE hiệu quả hơn. Giá trị tối ưu của  $n$  đạt giá trị cực đại hiệu suất ASE giảm khi tăng  $k$  để cân bằng giữa tác động tích cực của việc tạo chùm tia và tác động tiêu cực của việc tăng chi phí thời gian và tăng xác suất lệch chùm tia. Đối với một số chùm tia đã cho tại MT, tức là đối với  $k$  cố định, trường hợp PO mang

lại lợi thế hơn trường hợp FO do số lượng chuyển mạch chùm nhỏ hơn tại MT đối với tập hợp các tham số mạng nhất định.



**Hình 3.10 Ảnh hưởng của chùm số  $2^k$  tại MT điển hình đến ASE hiệu dụng.[9]**

Để xác định ảnh hưởng của độ mờ dần đến hiệu suất, học viên so sánh hai mô hình giảm dần: Rayleigh và Nakagami. Như thể hiện trong hình 3.10 với  $v = 30$  km/h và  $ISD = 250$  m, cả hai mô hình đều có cùng hiệu suất ASE, cho số lượng chùm tia khác nhau tại BS và MT,  $ISD$ . Mô tả hình 3.10 cho thấy ảnh hưởng của  $ISD$  đối với MT định hướng giống như đối với MT đa hướng. Đối với hướng trường hợp MT,

trường hợp FO với 4 chùm ở MT ( $k = 2$ ) bắt đầu hoạt động kém hơn so với trường hợp FO với 2 chùm tại MT ( $k = 1$ ) và MT đa hướng, dịch chuyển về phía phải với sự gia tăng ISD khi ảnh hưởng của độ lợi định dạng chùm tăng lên do kích thước ô trung bình lớn hơn.

### 3.3.4. Hiệu suất phổ tổng thể

Hiệu suất phổ của một hệ thống vô tuyến được xác định như một lượng thông tin được cung cấp hoặc người dùng được phân phát trong một băng thông nhất định trong mỗi khu vực. Thông thường được biểu diễn dưới dạng  $\frac{\text{bits}}{s}/\text{Hz}$ . Nếu một hệ thống có tốc độ dữ liệu là 15Mbps và băng thông là 2MHz thì hiệu suất phổ của hệ thống được đo lường như sau:

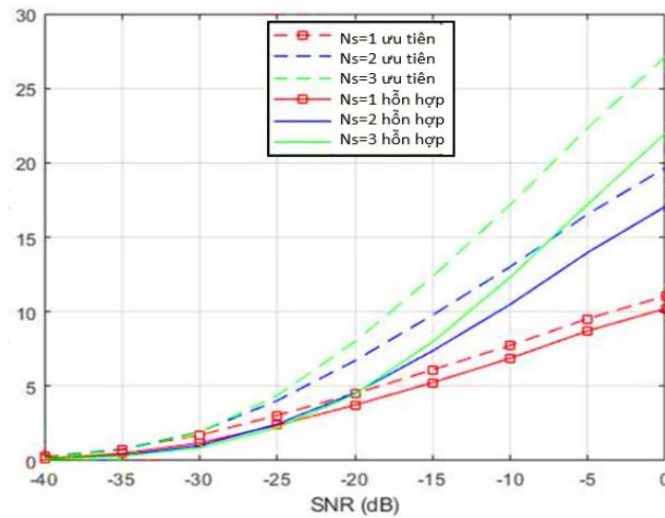
$$\text{Hiệu suất phổ} = \frac{\text{Tốc độ dữ liệu}(\frac{\text{bits}}{s})}{\text{Băng thông (Hz)}} = \frac{15\text{Mbps}}{2\text{MHz}} = 7.5(\frac{\text{bits}}{s}/\text{Hz}) \quad (3.13)$$

Định dạng búp sóng cải thiện hiệu suất phổ của kênh giữa trạm gốc và người dùng theo nhiều cách khác nhau như:

- Kiểm soát công suất của tín hiệu đường xuống và đường lên dựa trên góc đến hoặc hướng đến.
- Sử dụng thông tin của trình tự đào tạo.
- Cải thiện chất lượng tín hiệu bằng định dạng búp sóng bởi ngăn chặn nhiễu vì vậy cải thiện tỉ số tín hiệu trên nhiễu tốt hơn.
- Hệ thống MIMO với các anten định dạng búp sóng ở trạm gốc có thể cải thiện dung lượng hệ thống và hiệu suất phổ nhờ tiền mã hóa mạch lạc.
- Tốc độ dữ liệu của hệ thống có thể được cải thiện bởi định dạng búp sóng vì tốc độ tải xuống và tải lên phụ thuộc vào độ lợi anten.

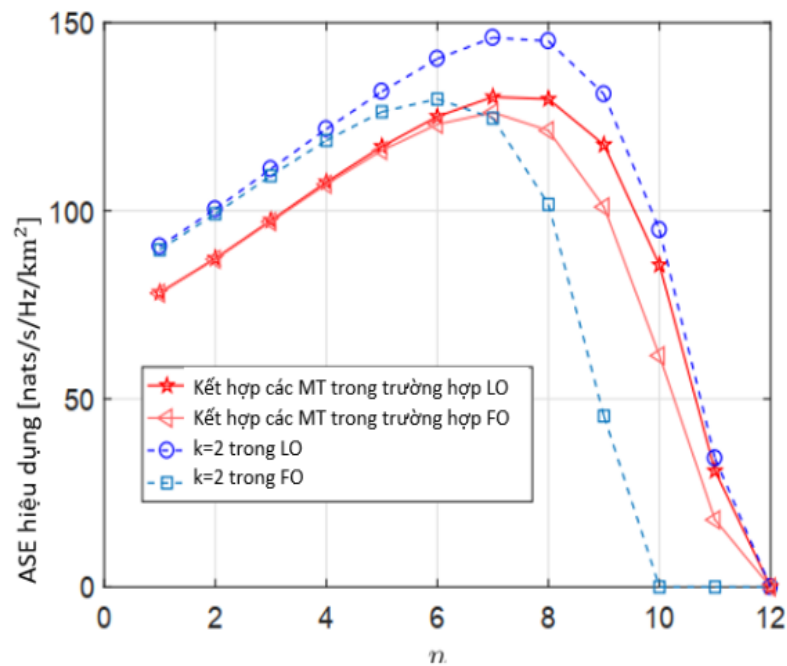
Với các yêu cầu cần thiết được đáp ứng, định dạng búp sóng có thể được thực hiện tốt hơn so với các kỹ thuật truyền tải phân tập khác. Một trong những chỉ số của 5G là hiệu suất phổ. Hình 3.11 thể hiện hiệu quả phổ như là một hàm của tỉ số tín hiệu trên nhiễu trong trường hợp định dạng búp sóng hỗn hợp và định dạng búp sóng tối ưu. Trong định dạng búp sóng tối ưu, các vector trọng số được chọn để đạt được hiệu suất tối ưu bằng cách chéo hóa ma trận kênh. Một mạng có hệ thống MIMO 64x64 cùng với 4 chuỗi RF tại cả máy thu và máy phát có thể hỗ trợ lên đến 4 luồng

dữ liệu. Tần số sóng mang 30 GHz được sử dụng và góc khởi hành từ máy phát là góc phương vị và góc cao. Máy thu có thể thu sóng từ mọi hướng. Hiệu suất phổ được tính toán trong khoảng tỉ số tín hiệu trên nhiễu -40:5:0 (dB). Với  $N_s$  là số luồng dữ liệu được sử dụng. Có thể thấy kết quả trong hình 3.11 chỉ ra rằng định dạng búp sóng hỗn hợp với yêu cầu ít hơn về phần cứng có thể đạt được công suất phổ gần bằng so với định dạng búp sóng tối ưu.



Hình 3.11 Đo lường hiệu suất phổ định dạng búp sóng hỗn hợp.

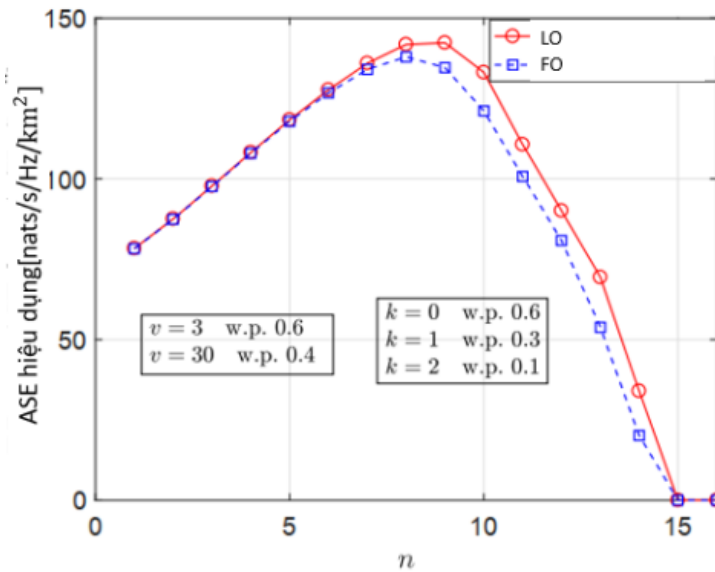
### 3.3.5 Hiệu suất mạng cho sự kết hợp của các MT



Hình 3.12 Mạng không đồng nhất so với mạng đồng nhất. [9]

Hình 3.12 so sánh một mạng đồng nhất chỉ gồm các MT với 4 chùm ( $k = 2$ ) và mạng không đồng nhất gồm hỗn hợp các MT đi cùng vận tốc  $v = 30$  km/h. Đối với mạng không đồng nhất, 60% trong số MT là đa hướng, 30% số MT là với 2 chùm, và 10% số MT là với 4 chùm.

Cụ thể, đối với trường hợp LO, hiệu suất ASE của MT mạng đồng nhất với 4 chùm bị mất nếu các loại MT khác được thêm vào mạng đó. Kết quả dự đoán là MT có 2 chùm và MT đa hướng đạt được dạng chùm nhỏ hơn đạt được, trong khi chi phí thời gian do nhiều chùm tia tại MT vẫn giữ nguyên không phân biệt loại MT. Mặt khác, đối với trường hợp FO, thiết kế của mạng phức tạp. Đặc biệt, hình 3.12 mô tả số lượng chùm tia tại BS phải được điều chỉnh như thế nào tùy thuộc vào thành phần của mạng.



**Hình 3.13 Hiệu suất tổng thể cho sự kết hợp của các MT.[9]**

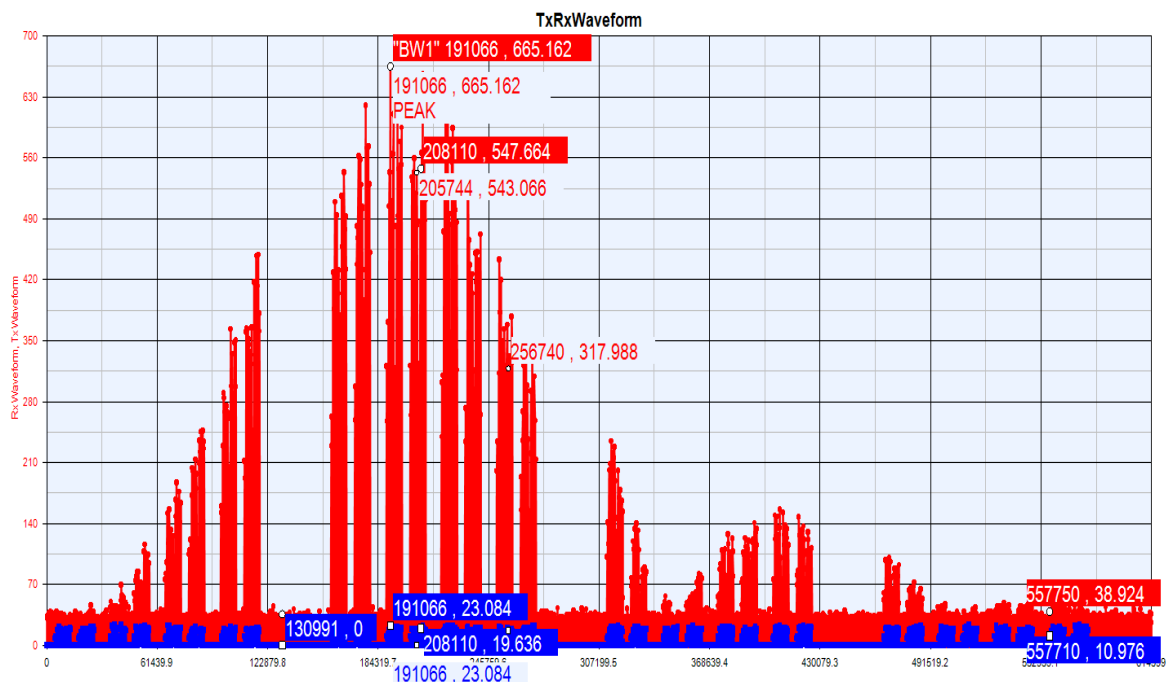
Hình 3.13 mô tả lại hiệu suất tổng thể của mạng bao gồm sự kết hợp của các MT trong đó 60% số MT chuyển động với vận tốc 3 km/h, còn 40% chuyển động với vận tốc 30 km/h. Với mỗi loại MT mang tốc độ, 60% số MT là đa hướng, 30% số MT có 2 chùm, và 10% số MT có 4 chùm. Trong một mạng lưới như vậy,  $2^9 = 512$  chùm được yêu cầu tại BS để tối đa hóa hiệu suất phổ vùng ASE cho trường hợp LO, trong khi  $2^8 = 256$  chùm tia là đủ cho trường hợp FO. Lưu ý rằng, mặc dù



Nhìn chung, sau đây là các tính năng được hỗ trợ trong mô phỏng:

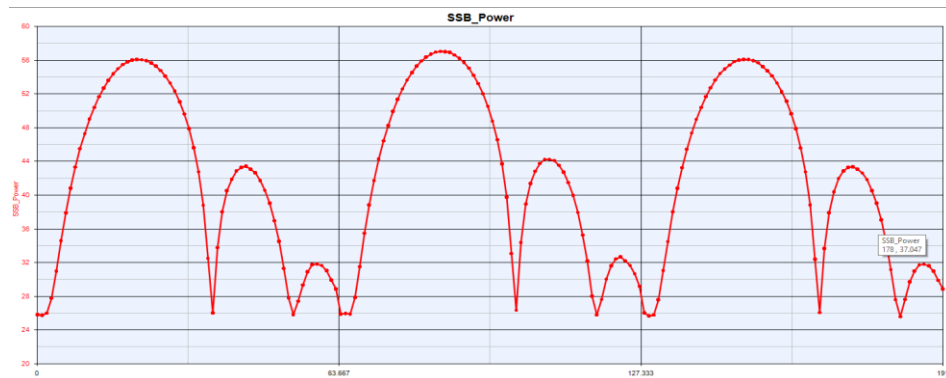
1. Tạo tín hiệu SS/PBCH.
2. Mô hình hóa kênh RF Tx và cấu trúc mảng theo giai đoạn Tx.
3. Cài đặt quét tia Tx cho các khối SS/PBCH.
4. Kênh LOS MIMO với đầu vào mẫu anten tùy chỉnh (cũng có thể hỗ trợ kênh MIMO 5G).
5. Tạo nhiễu.
6. Mô hình hóa kênh Rx RF và cấu trúc mảng theo giai đoạn Rx.
7. Cài đặt quét tia Rx cho các khối SS/PBCH.
8. Đồng bộ hóa và đo tia.

Sau khi tạo ra tín hiệu bằng Matlab học viên đưa dữ liệu vào trong mô hình trên và sử dụng phần mềm mô phỏng Keysight SystemVue để có được các kết quả về dạng sóng của các tín hiệu phản phát và phản thu được thể hiện trên hình 3.15.



**Hình 3.15 Dạng sóng của phản phát và phản thu.**

Ngoài ra ta cũng đo được công suất trên mỗi khối SSB được thể hiện như trong hình 3.16.



**Hình 3.16 Công suất trên các khối SSB.**

Dựa vào đồ thị công suất của các khối SSB sau khi mô phỏng dễ nhận thấy rằng công suất của các khối SSB là khác nhau với từng búp sóng khác nhau. Điều này được thể hiện rõ ràng nhất khi các thiết bị đầu cuối ở gần hoặc xa với trạm thu phát sóng, công suất thu và nhận được sẽ khác nhau, với công nghệ búp sóng và công suất cho từng SSB ta có thể hoàn toàn điều khiển công suất thu phát sóng của trạm để phù hợp với từng khoảng cách của các thiết bị đầu cuối khác nhau. Đặc biệt với các dịch vụ mMTC thì số lượng thiết bị sẽ rất lớn điều này đòi hỏi công suất và khả năng xử lý của trạm phải thực sự tốt.

### 3.4. Kết luận chương

Trong chương 3 đặt ra được bài toán kỹ thuật định dạng búp sóng. Ở đây cụ thể là định dạng cho một búp sóng, hai búp sóng và từ đó phát triển lên hệ thống cục bộ với nhiều búp sóng. Do vậy, xác định rõ được vai trò của hệ thống quản lý búp sóng giúp lựa chọn và chuyển giao chùm búp sóng mang lại cường độ hiệu quả nhất trong các trường hợp giả thuyết được đề ra. Chương này cũng giúp định nghĩa được các chỉ số hiệu suất phù hợp với 5G NR RAN và hình học ngẫu nhiên được sử dụng để tính toán các biểu thức. Các biểu thức này sau cho phép đánh giá hiệu quả sự thu nhận búp sóng trong mạng 5G. Từ đó xem xét tính trung bình trên tất cả người dùng của một mạng lớn, khi tính đến cả ưu điểm của mật độ chùm tia về mặt cải thiện SINR, và nhược điểm của nó về tổng chi phí chuyển giao mà người dùng di động phải chịu khi họ chuyển đổi chùm hoặc ô. Đối với kịch bản ô pico/macro đô thị dày đặc ở dải tần dưới 6 GHz và mmWave, khung ghi lại chính xác sự cân bằng hệ thống giữa các ISD, mật đường, can thiệp và báo hiệu trên cao do quản lý chùm tia.

Kết quả cho thấy mối quan hệ phụ thuộc lẫn nhau giữa các tham số hệ thống và tối ưu tham số nhằm đạt được hiệu năng cao nhất. Với kết quả của mô phỏng và đánh giá nhận thấy 5G với các kiến trúc định dạng búp sóng mang lại hiệu suất vượt trội so với 4G. Qua đó có thể thấy rằng khi kỹ thuật định dạng búp sóng được áp dụng cho 5G và khi 5G được triển khai phổ biến, phù hợp nhất đối với triển khai trong thực tế. Chất lượng các dịch vụ và trải nghiệm người dùng sẽ tăng lên rất cao so với 4G. Học viên nhận thấy phương pháp quản lý búp sóng bằng phương pháp hình học có thể áp dụng cho nhiều hệ thống tập trung vào chùm tia có liên quan như IEEE 802.11ax / Wi-Fi 6. Điều này cũng cho thấy rằng hình học ngẫu nhiên mô hình có thể hiệu quả để tiến hành phân tích mức hệ thống của các mạng truy nhập vô tuyến dựa trên chùm chẳng hạn như 5G NR.

## KẾT LUẬN

Trong quá trình nghiên cứu, tìm hiểu và hoàn thành đề tài luận văn tốt nghiệp “Đánh giá cải thiện hiệu năng hệ thống quản lý búp sóng trong mạng 5G bằng phương pháp hình học” học viên đã được tiếp cận với nhiều thuật toán cũng như công nghệ mới hỗ trợ cho hệ thống 5G hiện nay.

Luận văn này đã trình bày toàn bộ lý thuyết về hệ thống quản lý chùm búp sóng trong mạng 5G. Luận văn đã đặt ra mô hình hệ thống định dạng búp sóng trong mạng 5G. Hệ thống rõ ràng với các thành phần của việc quản lý chùm tia, bắt đầu từ truy nhập ban đầu, phép đo và xác định chùm, báo cáo chùm, lựa chọn hoặc khôi phục búp sóng dựa trên tín hiệu SSB. Trên cơ sở lý thuyết đó, học viên đã tìm hiểu được phương pháp giúp quản lý chùm búp sóng một cách hiệu quả nhất. Học viên xin đề xuất phát triển một phương pháp toán học cho vấn đề quản lý chùm tia trong mạng 5G. Sử dụng các công cụ được thiết lập từ hình học ngẫu nhiên, học viên nhận thấy việc tối ưu hóa được phương pháp hình học sẽ mang lại số lượng chùm tia tại BS và MT nhằm tối đa hóa hiệu suất ASE của đường xuống. Việc tối ưu hóa cho phép phân tích hệ thống về việc triển khai 5G dựa trên các thông số đầu vào. Đặc biệt, nó tính đến tốc độ trung bình của các thiết bị đầu cuối, lệch chùm do tính di động, lựa chọn chùm dựa trên hình học trong quá trình chuyển giao BS và chọn lại chùm trong một ô, và chi phí thời gian liên quan đến các lựa chọn lại búp sóng. Là một phần của quá trình tính toán ASE, học viên xác định và đánh giá nhiều chỉ số hiệu suất mới và cơ bản.

Trong tương lai, mô hình này có thể được cải tiến để kết hợp các BS chuyên biệt với mảng anten và ảnh hưởng của chúng đối với việc định hình/thu được chùm tia, các mô hình tắc nghẽn MT và các mô hình khác. Hơn nữa, mô hình của luận văn có thể mở rộng để nắm bắt các đánh đổi khác liên quan đến việc thiết kế RAN dựa trên chùm tia. Ví dụ, thời gian lưu lại chùm tia trung bình, tức là thời gian người dùng ở lại với một chùm tia nhất định trước khi chuyển sang một chùm tia khác, giảm khi số lượng chùm tia trong bộ chùm tia tăng lên, tác động lên thời gian có sẵn để thực

hiện ước tính kênh, điều chỉnh liên kết và kiểm soát công suất. Ngoài ra, giảm khoảng thời gian định kỳ trong đó tài nguyên tín hiệu tham chiếu dạng chùm được giám sát có thể cải thiện hiệu quả và thời gian phản hồi của quá trình tinh chỉnh chùm tia, nhưng đồng thời nó dẫn đến giảm hiệu quả quang phổ do chi phí điều khiển.

Với giải pháp này hoàn toàn có thể áp dụng cho các hệ thống 5G thực tế từ đó sẽ giúp nâng cao khả năng xử lý của hệ thống. Đặc biệt là các hệ thống 5G của Việt Nam do các doanh nghiệp nghiên cứu và phát triển. Luận văn vẫn còn những sai sót trong quá trình nghiên cứu cũng như quá trình mô phỏng và đưa ra kết quả. Học viên rất mong nhận được lời góp ý bổ ích từ phía các thầy cô để luận văn có thể hoàn thiện hơn nữa. Một lần nữa em xin gửi lời cảm ơn thầy giáo TS. Nguyễn Viết Minh, người đã trực tiếp hướng dẫn em thực hiện đề tài này. Em cũng xin gửi lời cảm ơn chân thành tới các thầy cô giáo và các bạn bè đã giúp em trong quá trình học tập và làm luận văn tốt nghiệp.

## DANH MỤC CÁC TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] 3GPP Technical Specification 38.802 (Release 14) - *Beam Management Procedure for NR MIMO*, [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org)
- [2] 3GPP R1-166389. 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #86 - *Beam Management in Millimeter Wave Systems*
- [3] Bulletin of telecom technology, (2018), “Evolution of Mobile Communications (4G and 5G).
- [4] M. Di Renzo, (2015), “Stochastic geometry modeling and analysis of multi-tier millimeter wave cellular networks,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 14, no. 9, pp. 5038-5057.
- [5] M. P. A. R. D. C. a. M. Z. Marco Giordani, “Standalone and Non-Standalone Beam Management for 3GPP NR at mmWaves,” *IEEE Communications Magazine*, April 2019.
- [6] M. Giordani, M. Polese, A. Roy, D. Castor, and M. Zorzi, (2019), “A tutorial on beam management for 3GPP NR at mmWave frequencies,” *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 21, no. 1, pp. 173-196, First quarter 2019.
- [7] Samir Ahmed, “Beamforming Management and beam training in 5G System”, 2019.
- [8] S. S. Kalamkar, F. M. Abinader Jr., F. Baccelli, A. S. Marciano Fani, and L. G. Uzeda Garcia, (2020), “Stochastic geometrybased modeling and analysis of beam management in 5G,” *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*.
- [9] Sanket S. Kalamkar, Francois Baccelli, Fuad M. Abinader Jr., Andrea S. Marciano Fani, and Luis G. Uzeda Garcia, (2019), “Beam Management in 5G: A Stochastic Geometry Analysis”

## **BẢN CAM ĐOAN**

Tôi cam đoan đã thực hiện việc kiểm tra mức độ tương đồng nội dung luận văn/luận án qua phần mềm DoIT một cách trung thực và đạt kết quả mức độ tương đồng % toàn bộ nội dung luận văn/luận án. Bản luận văn/luận án kiểm tra qua phần mềm là bản cứng luận văn/luận án đã nộp để bảo vệ trước hội đồng. Nếu sai tôi xin chịu các hình thức kỷ luật theo quy định hiện hành của Học viện.

Hà Nội, ngày tháng 05 năm 2022

**HỌC VIÊN CAO HỌC/NCS**

**TRỊNH QUỲNH MAI**