

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



NGUYỄN THỊ THANH HƯƠNG

**NGHIÊN CỨU HIỆU QUẢ SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG
TẠI TRẠM GỐC HỆ THỐNG THÔNG TIN VÔ TUYẾN
NHIỀU ẪNG TEN**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Hà Nội - 2022

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

Nguyễn Thị Thanh Hương

**NGHIÊN CỨU HIỆU QUẢ SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG
TẠI TRẠM GỐC HỆ THỐNG THÔNG TIN VÔ TUYẾN
NHIỀU ẪNG TEN**

Chuyên ngành: Kỹ thuật Viễn thông

Mã số: 9.52.02.08

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT VIỄN THÔNG

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

- 1. PGS.TS. LÊ HỮU LẬP**
- 2. TS. LÊ MINH TUẤN**

Hà Nội - 2022

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu do tôi thực hiện. Các số liệu và kết quả trình bày trong luận án là trung thực, chưa được công bố bởi bất kỳ tác giả nào hay ở bất kỳ công trình nào khác.

Tác giả

Nguyễn Thị Thanh Hương

LỜI CẢM ƠN

Tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành tới Khoa Đào tạo Sau Đại học, Khoa Công nghệ Thông tin, Khoa Viễn thông, Ban Lãnh đạo Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, các Quý Thầy Cô đã giúp tôi trang bị kiến thức, tạo điều kiện thuận lợi cho tôi trong suốt quá trình thực hiện luận án.

Đồng thời, tôi xin bày tỏ lòng cảm ơn chân thành và sâu sắc nhất tới PGS.TS.Lê Hữu Lập; TS.Lê Minh Tuấn; TS.Trương Trung Kiên là những người Thầy đã tận tình tư vấn, đóng góp ý kiến, và hướng dẫn trong quá trình thực hiện để tôi có thể hoàn thành tốt luận án.

Xin chân thành cảm ơn các đồng nghiệp, các nhà khoa học, các thầy cô giáo công tác tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, Tổng Công ty Mobiphone đã đồng viên, hỗ trợ tôi trong quá trình thực hiện luận án.

Cuối cùng, xin gửi lời tri ân sâu sắc tới gia đình, bạn bè, những người đã luôn đồng hành, khuyến khích, là chỗ dựa tinh thần cho tôi trong thời gian thực hiện luận án này.

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	ii
LỜI CẢM ƠN.....	ii
MỤC LỤC.....	iii
THUẬT NGỮ VIẾT TẮT	vi
DANH MỤC HÌNH VẼ.....	ix
DANH MỤC BẢNG BIỂU.....	xi
LỜI MỞ ĐẦU	1
1. Lý do lựa chọn đề tài	1
2. Mục tiêu và phạm vi nghiên cứu của luận án	3
3. Phương pháp nghiên cứu	6
4. Các đóng góp của luận án.....	6
5. Bố cục của Luận án	7
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ CÁC HỆ THỐNG THÔNG TIN VÔ TUYẾN VÀ VẤN ĐỀ HIỆU QUẢ SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG	9
1.1. Tổng quan về các hệ thống thông tin vô tuyến	9
1.1.1. Hệ thống thông tin vô tuyến đa người dùng	10
1.1.2. Hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten.....	12
1.1.3. Hiệu quả năng lượng trong các hệ thống thông tin vô tuyến.....	18
1.1.4. Lợi ích của việc sử dụng hiệu quả năng lượng	20
1.1.5. Sự quan tâm của các tổ chức trong nước và quốc tế	21
1.2. Các tham số chất lượng dịch vụ ảnh hưởng tới năng lượng hệ thống....	24
1.3. Các kết quả nghiên cứu liên quan đến hiệu quả năng lượng.....	25
1.3.1 Các nghiên cứu trong nước	27
1.3.2 Các nghiên cứu trên thế giới	28

1.3.3 Một số vấn đề tồn tại và hạn chế của các nghiên cứu trước đây.....	30
1.3.4 Hướng nghiên cứu của luận án.....	31
1.4. Các phép toán và thuật toán liên quan đến hiệu quả năng lượng.....	33
1.4.1. Ngôn ngữ Ontology learning	33
1.4.2. Logic mờ (Fuzzy logic).....	36
1.4.3. Học máy (Machine learning)	39
1.5. Kết luận chương 1.....	40
CHƯƠNG 2. NÂNG CAO HIỆU QUẢ SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG TRONG	
HỆ THỐNG VÔ TUYẾN SỬ DỤNG NHIỀU ĂNG TEN TDD.....	41
2.1. Giới thiệu chung	41
2.2. Hệ thống nhiều ăng ten đa người dùng TDD.....	41
2.3. Phân tích các chỉ số liên quan đến hiệu quả sử dụng năng lượng	45
2.3.1. Phân tích công suất tiêu thụ	45
2.3.2. Phân tích tốc độ đạt được.....	48
2.3.3. Sử dụng hiệu quả năng lượng.....	50
2.3.4. Mô phỏng hệ thống đề xuất và đánh giá kết quả.....	51
2.4. Kết luận chương 2.....	56
CHƯƠNG 3. CẢI THIỆN HIỆU QUẢ NĂNG LƯỢNG TRONG HỆ	
THỐNG VÔ TUYẾN SỬ DỤNG NHIỀU ĂNG TEN FD	57
3.1. Giới thiệu chung	57
3.2. Kiến trúc hệ thống	57
3.2.1. Tổng quan về hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten FD (Full-Dimension)	57
3.2.2. Cấu trúc dàn ăng ten	60
3.2.3. Xử lý tín hiệu.....	61
3.2.4. Kênh không gian 3 chiều	62

3.3. Tối ưu hóa chuyển giao dịch vụ dựa vào ngữ cảnh thông tin	65
3.3.1. Các thông số ngữ cảnh thông tin	65
3.3.2. Đối sánh Ontology	69
3.4. Mô hình hiệu quả năng lượng hệ thống không đồng nhất đa người dùng..	70
3.4.1. Mô hình hệ thống.....	70
3.4.2. Quy trình thực hiện mô phỏng	73
3.4.3. Các kết quả tính toán và mô phỏng	74
3.5. Kết luận chương 3.....	76
KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ	77
PHỤ LỤC.....	79
Phụ lục 1: Quá trình khai báo, thu thập và xây dựng CSDL trên Protegé	79
Phụ lục 2: Phân tích, truy xuất suy diễn và ra quyết định chuyển giao dịch vụ dựa vào ngữ cảnh thông tin	82
Phụ lục 3: Trích dẫn nguồn coding chạy trên nền Java.....	84
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	87

THUẬT NGỮ VIẾT TẮT

Viết Tắt	Tiếng Anh	Tiếng Việt
3GPP	Third Generation Partnership Project	Dự án đối tác thế hệ thứ 3
4G	4th Generation	Hệ thống di động thế hệ thứ 4
5G	5th Generation	Hệ thống di động thế hệ thứ 5
AN	Access Network	Mạng truy nhập
AWGN	Additive White Gaussian noise	Nhiều Gauss trắng cộng
BS	Base Station	Trạm gốc
CSI	Channel State Information	Thông tin trạng thái kênh
CSP	Constraint Satisfaction Problem	Vấn đề về hạn chế sự hài lòng
DoF	Degrees of Freedom	Số bậc tự do không gian
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution	Hệ thống thông tin di động 2.75G
ETSI	European Telecommunications standards Institute	Viện tiêu chuẩn viễn thông châu Âu
EE	Energy Efficiency	Hiệu quả năng lượng
FDD	Frequency Division Duplex	Song công phân chia theo tần số
FD	Full Dimension	Kích thước đầy đủ
eNodeB	eNodeB	Node mạng B
GSM	Global System for Mobile	Hệ thống thông tin di động toàn cầu
Hetnet	Heterogeneous Network	Mạng không đồng nhất
HSPA	High Speed Packet Access	Truy nhập gói tốc độ cao
ICT	Information and Communication Technology	Công nghệ thông tin và truyền thông
i.i.d	Independent and identically distributed	Phân bố đồng nhất và độc lập
ITU	International Telecommunication Union	Liên minh viễn thông quốc tế

Viết Tắt	Tiếng Anh	Tiếng Việt
ITU-T	Telecommunications Standardization	Tiêu chuẩn hóa viễn thông
LOS	Line Of Sight	Đường truyền tầm nhìn thẳng
LTE	Long Term Evolution	Dự án tiến hóa dài hạn
LTE-A	Long Term Evolution advanced	Dự án tiến hóa dài hạn nâng cao
MIMO	Multiple Input - Multiple Output	Hệ thống đa đầu vào - đa đầu ra
MIMO BC	MIMO Broadcast Channels	Kênh MIMO quảng bá
MIMOMAC	MIMO Multiple Access Channels	Kênh MIMO đa truy nhập
MISO	Multiple Input - Single Output	Đa đầu vào - đơn đầu ra
MLD	Maximum Likelihood Detector	Bộ tách tín hiệu hợp lẽ tối đa
MMSE	Minimum Mean Square Error	Sai số bình phương tối thiểu
MRC	Maximum Ratio combining	Kết hợp tỷ số tối đa
MRT	Maximum Ratio Transmition	Truyền tỷ số tối đa
MS	Mobile Station	Đầu cuối di động
MPC	Multi Path Channel	Kênh kết hợp đa đường
MU-MIMO	Multiple User MIMO	MIMO đa người dùng
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing	Ghép kênh phân chia theo tần số trực giao
RSS	Receiver Strength Scale	Cường độ máy thu
RZF	Zero Forcing	Không ép buộc
QAM	Quadrature-amplitude modulation	Điều chế biên độ cầu phương
SIMO	Single Input - Multiple Output	Đơn đầu vào - đa đầu ra
QoE	Quality of Experience	Trải nghiệm dịch vụ
QoS	Quality of Services	Chất lượng dịch vụ
SISO	Single Input Single Output	Đơn đầu vào - đơn đầu ra
SNR	Signal Noise Ratio	Tỷ số tín hiệu trên tạp âm
STBC	Space-Time Block Code	Mã khối không gian - thời gian
STC	Space - Time Coding	Mã hóa không gian - thời gian

Viết Tắt	Tiếng Anh	Tiếng Việt
STTC	Space-Time Trellis Code	Mã lưới không gian, thời gian
SU-MIMO	Single User MIMO	MIMO đơn người dùng
TDD	Time Division Duplex	Song công phân chia theo thời gian
TP	Transmitter Power	Công suất phát
UE	User Equipment	Thiết bị đầu cuối người dùng
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access	Đa truy nhập phân mã băng rộng

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1. Các hệ thống thông tin vô tuyến [10]	9
Hình 1.2. Hệ thống vô tuyến đa người dùng	10
Hình 1.3. Hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten [11]	13
Hình 1.4. Các hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten đề xuất nghiên cứu	14
Hình 1.5. Hệ thống đơn người dùng và đa người dùng [108]	15
Hình 1.6. Hệ thống FD-MIMO [108].....	15
Hình 1.7. Tổng hợp các giải pháp sử dụng hiệu quả năng lượng trong hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten	27
Hình 1.8. Tổng quan các nội dung nghiên cứu của luận án	32
Hình 1.9. Quy trình ontology learning	35
Hình 1.10. Xây dựng các khái niệm ontology trong hệ thống thông tin vô tuyến.....	36
Hình 2.1. Hệ thống đa người dùng [95]	42
Hình 2.2. Cấu trúc ước lượng kênh trong hệ thống TDD [95]	43
Hình 2.3. Mô hình mô phỏng hệ thống TD-MIMO	52
Hình 2.4. Ảnh hưởng của số lượng ăng ten tại trạm gốc lên hiệu quả sử dụng năng lượng trung bình	54
Hình 2.5. Ảnh hưởng của số thuê bao trong một cell lên hiệu quả sử dụng năng lượng trung bình.....	55
Hình 2.6. Số ăng ten tại trạm gốc tối ưu về hiệu quả sử dụng năng lượng và số thuê bao trong một cell.....	56
Hình 3.1. Tiến trình tích hợp FD-MIMO trong họ 3GPP [66].....	58
Hình 3.2. Lợi ích về tổng dung lượng theo số ăng ten tại mỗi trạm gốc trong FD-MIMO [66].....	59
Hình 3.3. Cấu hình cơ bản FD-MIMO trong 3GPP LTE-Advanced.....	60

Hình 3.4. Cấu trúc dàn ăng ten hình chữ nhật	61
Hình 3.5. Các bước xử lý tín hiệu từ băng tần cơ sở tới ăng ten	62
Hình 3.6. Các lựa chọn ảo hóa khối thu phát (TXRU virtualization options).....	62
Hình 3.7. Sự không đồng nhất về độ biến thiên góc tà theo khoảng cách từ eNodeB tới UE.	63
Hình 3.8. Mạng không đồng nhất Hetnet	64
Hình 3.9. Cấu trúc hệ thống tế bào nhỏ (micro) [84].....	65
Hình 3.10. Nguyên lý đối sánh ngôn ngữ OM	70
Hình 3.11. Hệ thống vô tuyến đa người dùng cỡ lớn.....	71
Hình 3.12. Lưu đồ chuyển giao giữa các RAN	72
Hình 3.13. Quy trình thực hiện mô phỏng.....	73
Hình 3.14. Tỷ lệ chuyển giao thành công.....	75

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1. Các cặp đối ngẫu với $n(x) = 1-x$	38
Bảng 2.1. Tổng số kênh truyền yêu cầu cho các hệ thống MIMO [95].....	44
Bảng 2.2. Các tham số mô phỏng hệ thống.....	52
Bảng 3.1. Các tham số mô phỏng	71

LỜI MỞ ĐẦU

1. Lý do lựa chọn đề tài

Hiện nay, với sự phổ biến của thiết bị di động thông minh, máy tính bảng làm cho nhu cầu sử dụng các dịch vụ truyền thông tốc độ cao ngày càng lớn, theo dự báo, lưu lượng dữ liệu di động toàn cầu sẽ tăng gần vài chục lần và dự kiến đến năm 2025 sẽ có hơn 15 tỷ thiết bị di động kết nối, vượt quá dân số thế giới vào cùng thời điểm (khoảng 12,6 tỷ) [1]. Điều đó đòi hỏi các nhà mạng cùng với các nhà khoa học cần phải nghiên cứu ra những hệ thống thông tin truyền thông di động tốc độ cao, hiệu năng tốt đáp ứng nhu cầu ngày càng cao của người dùng. Một trong những công nghệ truyền thông có thể đáp ứng được những yêu cầu đó là hệ thống thông tin vô tuyến sử dụng rất nhiều ăng ten hay còn gọi là hệ thống thông tin vô tuyến MIMO (multiple-input multiple-output) [2], [3], [4], [5]. Công nghệ này được đề xuất sử dụng trong phiên bản 12 và các phiên bản tiếp theo của bộ tiêu chuẩn 3GPP LTE/LTE-Advanced, và đang trở thành một lĩnh vực nghiên cứu quan trọng, nhận được nhiều sự quan tâm của các nhà khoa học trên thế giới, đây là một công nghệ rất hứa hẹn cho mạng thông tin di động thế hệ thứ 5 (hay 5G) [6], [7], [8].

Hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten đã được ứng dụng trong nhiều tiêu chuẩn truyền thông vô tuyến nhờ vào khả năng cải thiện đáng kể của dung lượng và độ tin cậy của hệ thống thông tin này, trong khoảng thời gian đầu, các công trình nghiên cứu chủ yếu nghiên cứu về kết nối MIMO điểm-điểm hay còn gọi là MIMO đơn người dùng (SU-MIMO: single-user MIMO). Tuy nhiên, hệ thống SU-MIMO có nhược điểm là phẩm chất hệ thống sẽ suy giảm nghiêm trọng dưới tác động của nhiễu đồng kênh đa người dùng, để khắc phục nhược điểm này, hệ thống MIMO đa người dùng (multiple-user MIMO hay MU-MIMO) ra đời và đã được ứng dụng trong các tiêu chuẩn như 802.11 (WiFi), 802.16 (WiMax), 3GPP LTE/LTE-Advanced. Về cơ bản thì hệ thống MU-MIMO khác với SU-MIMO ở chỗ là có khả năng phục vụ đồng thời một số người dùng, trong hệ thống MU-MIMO, mọi chi phí đất đai của thiết bị được chuyển vào chi phí trạm gốc của các nhà mạng. Trong đó,

thiết bị đầu cuối người dùng sẽ có giá khá rẻ do có thể sử dụng đơn ăng ten mà vẫn tận dụng được tính năng ưu việt của công nghệ này, do tính phân tập đa người dùng, hiệu năng của hệ thống MU-MIMO ít bị ảnh hưởng của môi trường truyền sóng hơn so với trường hợp MIMO điểm-điểm. Tuy nhiên, các hệ thống MU-MIMO truyền thống thường dùng số lượng ăng ten nhỏ do đó chúng vẫn chưa phát huy hết được tiềm năng của công nghệ MIMO.

Cùng với sự phát triển nhanh chóng của công nghệ thông tin và truyền thông (ICT), điện năng tiêu thụ cũng đang phát triển với một tốc độ đáng kinh ngạc [1], hơn nữa, các nhà khai thác và cung cấp dịch vụ (các nhà mạng) được nhắc đến là những người đứng đầu về tiêu thụ năng lượng (như Italia Telecom là nhà khai thác tiêu thụ năng lượng lớn thứ hai tại Ý), và nhìn chung tiêu thụ năng lượng của các nhà khai thác di động tăng nhanh hơn nhiều [8]. Hơn nữa, khi việc triển khai hệ thống mạng 4G ở các nước đang phát triển (như Trung Quốc và Ấn Độ) và sau đó là phát triển hệ thống 5G trên toàn thế giới thì vô tuyến di động sẽ tiêu thụ năng lượng nhiều hơn nếu không có các biện pháp hành động hiệu quả.

Một số kết quả chỉ ra rằng việc tiêu thụ nhiều năng lượng của một trạm gốc (BS) [1] chiếm hơn 50% tổng số năng lượng được tiêu thụ của hệ thống truy cập vô tuyến, trong đó có đến 50-80% năng lượng được sử dụng cho các bộ khuếch đại, đứng từ quan điểm của các nhà khai thác, hiệu quả năng lượng không chỉ mang lại lợi ích sinh thái tuyệt vời mà còn thể hiện trách nhiệm xã hội trong cuộc chiến chống biến đổi khí hậu, tuy nhiên nó cũng mang lại lợi ích kinh tế đáng kể. Vì vậy, sử dụng hiệu quả năng lượng trong truyền thông không đây thời gian gần đây đã ngày càng thu hút được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm. Các kỹ thuật như nâng cao lớp vật lý, ghép kênh phân chia tần số trực giao, vô tuyến nhận thức, mã hóa mạng, truyền thông hợp tác...các cấu trúc mạng mới như mạng không đồng nhất, ăng ten phân chia, di động đa tần, cũng như kế hoạch quản lý nguồn tài nguyên mạng theo chất lượng dịch vụ...đã được đề xuất để giải quyết vấn đề này.

Do vậy việc nghiên cứu hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống thông tin vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten là vô cùng quan trọng, cấp thiết, nó mang ý nghĩa khoa học và thực tiễn. Học viên đã lựa chọn đề tài “*Nghiên cứu hiệu quả sử dụng năng lượng tại trạm gốc hệ thống thông tin vô tuyến nhiều ăng ten*” là một trong những hướng nghiên cứu lớn hiện nay, đề tài sẽ đóng góp một phần vào việc hoàn thiện cơ sở lý thuyết, nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng của các hệ thống thông tin vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten. Ý nghĩa thực tiễn của luận án mà nghiên cứu sinh hy vọng đạt được thể hiện ở các giải pháp đề xuất nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng cụ thể trong từng chương cụ thể.

2. Mục tiêu và phạm vi nghiên cứu của luận án

Bên cạnh những vấn đề về tốc độ trong hệ thống thì vấn đề sử dụng năng lượng hiệu quả hiện cũng là một trong những yếu tố quan tâm hàng đầu trong lĩnh vực thông tin di động vì các lý do sau: Thứ nhất, chi phí năng lượng chiếm tỷ lệ đáng kể trong chi phí vận hành khai thác hệ thống thông tin, do đó, nếu giảm thiểu được công suất tiêu thụ năng lượng sẽ đem lại lợi ích rất lớn cho các nhà mạng. Thứ hai, việc sử dụng hiệu quả năng lượng còn giúp bảo vệ môi trường, tăng năng lực cạnh tranh và tạo điều kiện cho nhà mạng có thể mở rộng thị trường, cải thiện chất lượng phục vụ đối với người dùng và xu hướng người dùng ngày càng quan tâm hơn đến những vấn đề năng lượng tiêu thụ của thiết bị di động bên cạnh các vấn đề về tốc độ và chất lượng dịch vụ xanh.

Các công trình nghiên cứu gần đây đang tập trung vào hệ thống thông tin vô tuyến nhiều ăng ten, các ăng ten được kết nối với nhau bằng cáp quang hoặc bằng đường nối mạch điện tử, điều này làm cho hệ thống hoạt động ổn định hơn, một ăng ten hỏng cũng không ảnh hưởng nhiều đến hoạt động của hệ thống. Trong hệ thống này, các trạm gốc sẽ có từ một trăm đến hàng trăm ăng ten, với hệ thống sử dụng nhiều ăng ten mỗi người dùng sẽ chỉ cần sử dụng thiết bị đầu cuối với ăng ten đơn. Do đó, hệ thống này cho phép phát huy tối đa tốc độ truyền dữ liệu, bảo mật dữ liệu, tăng hiệu quả sử dụng phổ, hiệu quả sử dụng năng lượng, đồng thời cho phép hạ giá

thành thiết bị đầu cuối người dùng MS, mỗi ăng ten dùng công suất rất nhỏ (cỡ mW), điều đó đảm bảo cho hệ thống hoạt động với hiệu quả năng lượng tốt, tuy nhiên, hệ thống này tồn tại một số vấn đề làm cho hiệu quả năng lượng trong thực tế không đạt được như trong lý thuyết. Một số tác giả gần đây khi nghiên cứu các hệ thống thông tin sử dụng nhiều ăng ten ở trạm gốc thường tập trung vào khả năng cải thiện tổng dung lượng truyền tin với một công suất tiêu thụ cố định của trạm gốc [2]-[4] hoặc khả năng giảm công suất tiêu thụ những vẫn đảm bảo tổng dung lượng truyền tin cho trước [5], trong thực tế, một cách tiếp cận để dung hoà hai mục tiêu thiết kế có phần mâu thuẫn nhau này là tối đa hoá tỷ số hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống và tổng dung lượng truyền thông tin. Theo định nghĩa thì hiệu quả sử dụng năng lượng của một hệ thống thông tin là tỷ số giữa tổng dung lượng thông tin được truyền đi trên tổng công suất tiêu thụ tương ứng [6]–[9]. Tác giả [6] đã so sánh hiệu quả sử dụng hiệu quả năng lượng giữa hệ thống MIMO với nhiều ăng ten ở trạm gốc và hệ thống sử dụng cell cỡ nhỏ, tuy nhiên, tác giả mới chỉ tính đến công suất tiêu thụ liên quan đến bức xạ tín hiệu. Trong [7] đã đề xuất mô hình công suất tiêu thụ không chỉ bao gồm công suất phát trên bộ khuếch đại công suất mà còn là công suất tiêu thụ mạch bởi các thành phần của trạm gốc BSs và các thiết bị liên quan, từ mô hình này tác giả đưa ra được công thức tính hiệu quả năng lượng, sau đó xác định được số lượng ăng ten cần thiết để mang lại hiệu quả sử dụng năng lượng cho hệ thống MIMO nhiều ăng ten, tuy nhiên, mô hình công suất tiêu thụ sử dụng trong bài báo [7] khá đơn giản và chưa phản ánh được các đặc trưng riêng của hệ thống truyền dẫn nhiều ăng ten đa người dùng. Các nghiên cứu [8], [9] đề xuất một mô hình công suất tiêu thụ thực tế hơn và có khả năng phản ánh cơ chế xử lý tín hiệu và truyền dẫn nhiều ăng ten đa người dùng để nghiên cứu hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống truyền dẫn nhiều ăng ten đơn cell với nhiều ăng ten ở trạm gốc, việc xem xét chỉ một cell duy nhất bỏ qua một số tính chất quan trọng của hệ thống này như nhiễu tín hiệu hoa tiêu và nhiễu liên cell khi truyền dữ liệu. Ngoài các nghiên cứu về mô hình phần cứng và kiến trúc mạng, một số tác giả đã tập trung nghiên cứu ứng dụng phần mềm và các thuật toán quản lý tài nguyên mạng dựa vào

chất lượng thông tin dịch vụ như Kwang-Cheng Chen và Cộng sự tại trường đại học South Florida, đã nghiên cứu các mô hình tiết kiệm năng lượng trong hệ thống vô tuyến, sử dụng thuật toán máy học [38], Tác giả S.Maghsudi, d S.Stanczak và cộng sự đã nghiên cứu tiết kiệm năng lượng bằng cách sử dụng thuật toán mờ thông minh logic mờ (fuzzy logic) ra quyết định chuyển giao dịch vụ giữa các node trong hệ thống vô tuyến di động [39], [107]. Tuy nhiên việc chuyển giao dịch vụ vẫn được thực hiện trong hoàn cảnh chuyển giao “cứng” và vẫn chưa tối ưu hóa được xác suất thành công chuyển giao và tiết kiệm năng lượng tại các trạm gốc.

Qua khảo sát các hướng nghiên cứu hiệu quả sử dụng năng lượng trong hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten của các tác giả trước, luận án tập trung vào các hướng nghiên cứu như sau:

Hướng nghiên cứu thứ nhất: Quản lý hiệu quả phổ tần, thích ứng tải lưu lượng, tăng số lượng ăng ten dịch vụ, ước lượng kênh, điều chế mã hóa trước nhằm tối ưu công suất tiêu thụ của các thiết bị liên quan trong trạm gốc, tiết kiệm công suất tiêu thụ của các thiết bị và nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng.

Hướng nghiên cứu thứ hai: Kiến trúc hệ thống, tối ưu kích thước của các tế bào, tự động cấu hình lại hệ thống khi cần thiết và chuyển giao dịch vụ không đồng nhất giữa các nút mạng với các tham số liên quan chất lượng dịch vụ đảm bảo hoặc chế độ bật/tắt hay chế độ ngủ của các trạm gốc khi không có lưu lượng hay dịch vụ yêu cầu. Việc tiết kiệm năng lượng sẽ được thực hiện hiệu quả tại các nút mạng bao gồm các trạm gốc BSs, việc tiết kiệm năng lượng tại BSs được thực hiện sẽ mang lại mức hiệu quả đáng kể do BSs là phần tiêu thụ năng lượng chủ yếu. Để giảm năng lượng tiêu thụ của BSs, là tắt BS khi lượng truy cập rất thấp, đồng thời, dung lượng của một BS tắt sẽ được quản lý bởi một BS phối hợp, dòng năng lượng sẵn sàng và lượng năng lượng không sẵn có trong một mạng truyền thông có thể tính toán trước được.

Hướng nghiên cứu thứ ba: Tối ưu hóa phần cứng, cấu trúc lớp vật lý trong các thiết bị trạm gốc nhằm tiết kiệm công suất tiêu thụ của các thiết bị trạm gốc, nâng

cao hiệu quả sử dụng năng lượng cho phần cứng trong hệ thống.

Mục tiêu thứ nhất: Nghiên cứu mô hình sử dụng hiệu quả năng lượng trong hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten kích thước đầy đủ FD (không gian - thời gian) không đồng nhất (Hetnet) sử dụng thuật toán thông minh để chuyển giao “mềm” dịch vụ trong mạng không đồng nhất nhờ các thuật toán thông minh trong quyết định logic mờ để chuyển giao giữa các dịch vụ khác nhau dựa vào “ngữ cảnh thông tin” (context) để tăng xác suất thành công khi chuyển giao và giảm tối đa công suất tiêu thụ trong các trạm gốc mà vẫn đảm bảo chất lượng thông tin theo tiêu chuẩn cho phép nhằm quản lý hiệu quả nguồn tài nguyên hệ thống.

Mục tiêu thứ hai: Nghiên cứu mô hình sử dụng hiệu quả năng lượng trong hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten phân chia theo thời gian TDD. Tối ưu hóa số lượng ăng ten cần thiết tại mỗi trạm gốc khi tăng số thuê bao trong một cell sao cho số thuê bao cung cấp dịch vụ đồng thời trong một cell luôn nhiều hơn số ăng ten cho phép tại trạm gốc nhằm giảm công suất tiêu thụ của trạm gốc và tăng hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống.

3. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu lý thuyết các phương pháp sử dụng hiệu quả năng lượng trong mạng vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten từ trước đến nay trong nước và ngoài nước, sau đó phân tích số liệu, đề xuất mô hình và mô phỏng bằng các thuật toán, đánh giá kết quả đề xuất cải thiện năng lượng hệ thống.

4. Các đóng góp của luận án

Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án mà nghiên cứu sinh hướng tới là đề xuất xây dựng các mô hình toán học sử dụng hiệu quả năng lượng thông qua nghiên cứu, phân tích, tính toán và mô phỏng để giải quyết bài toán sử dụng hiệu quả năng lượng trong hệ thống thông tin vô tuyến nói chung và trong hệ thống thông tin vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten nói riêng trong khi vẫn đáp ứng được yêu cầu truyền dẫn thông tin ở tốc độ cao và chất lượng dịch vụ đảm bảo tiêu chuẩn theo quan điểm của các nhà khai thác mạng viễn thông hiện nay là sử dụng hiệu quả năng lượng

không chỉ mang lại kinh tế mà còn mang lại lợi ích sinh thái và trách nhiệm xã hội trong cuộc chiến chống biến đổi khí hậu và bảo vệ môi trường.

Dựa trên các cơ sở nghiên cứu về sử dụng hiệu quả năng lượng trong hệ thống sử dụng nhiều ăng ten, luận án đề xuất một số đóng góp khoa học chính cụ thể như sau:

1) Nghiên cứu mô hình sử dụng hiệu quả năng lượng trong hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten kích thước đầy đủ FD (không gian - thời gian) không đồng nhất, sử dụng thuật toán thông minh để chuyển giao “mềm” dịch vụ trong mạng không đồng nhất bằng các thuật toán thông minh ontology trong quyết định logic mờ chuyển giao giữa các dịch vụ khác nhau dựa vào ngữ cảnh thông tin để tăng xác suất thành công khi chuyển giao và giảm tối đa công suất tiêu thụ trong các trạm cơ sở mà vẫn đảm bảo chất lượng thông tin theo tiêu chuẩn quy định cho phép nhằm quản lý hiệu quả nguồn tài nguyên hệ thống. Các kết quả nghiên cứu của luận án chính là nội dung của bài báo khoa học nằm trong danh mục các công trình đã công bố [J3, J5, J6].

(2) Nghiên cứu mô hình sử dụng hiệu quả năng lượng trong hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten phân chia thời gian TDD. Tối ưu hóa số lượng ăng ten cần thiết tại mỗi trạm gốc khi tăng số thuê bao trong một cell sao cho số thuê bao cung cấp dịch vụ đồng thời trong một cell luôn nhiều hơn số ăng ten cho phép tại trạm gốc nhằm giảm công suất tiêu thụ của trạm gốc và tăng hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống. Phân tích và tính toán dựa vào tổng lượng thông tin truyền tải, công suất tiêu thụ tại các trạm gốc có nhiều ăng ten ở trạm gốc với nhiều cell hoạt động trên cùng băng tần trên lượng thông tin yêu cầu, kết hợp các tham số ảnh hưởng trong hệ thống như suy hao đường truyền, nhiễu hoa tiêu, chất lượng thông tin bằng cách tìm các giá trị tối định tương đương. Các kết quả nghiên cứu của luận án chính là nội dung của bài báo khoa học nằm trong danh mục các công trình đã công bố [J1, J2, J4].

5. Bố cục của Luận án

Luận án được trình bày trong 03 chương chính ngoài phần mở đầu, kết luận và

các phụ lục, cụ thể nội dung được bố cục như sau:

Phần mở đầu: Phần này trình bày tính cấp thiết của luận án, lý do lựa chọn tên đề tài, mục tiêu và phạm vi nghiên cứu, phương pháp nghiên cứu, những đóng góp chính của luận án, bố cục luận án và các kết quả nghiên cứu được trình bày trong từng chương.

Chương 1: Tổng quan về các hệ thống thông tin vô tuyến và vấn đề hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống. Chương này trình bày về tổng quan về hệ thống thông tin vô tuyến nói chung và hệ thống thông tin vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten, hiệu quả sử dụng năng lượng trong các hệ thống thông tin vô tuyến và lợi ích việc sử dụng hiệu quả thông tin vô tuyến và sự quan tâm của các tổ chức trong nước và thế giới, tổng quan các vấn đề hiệu quả năng lượng của các tác giả đi trước, các vấn đề tồn tại, hướng nghiên cứu và các kết quả cần đạt được của luận án. Giới thiệu các lý thuyết tổng quan và thuật toán liên quan đến nghiên cứu của luận án.

Chương 2: Nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten phân chia theo thời gian TDD. Chương này trình bày tổng quan về hệ thống phân chia theo thời gian đa người dùng, phân tích hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống thông qua các tham số công suất tiêu thụ, tốc độ đạt được, ảnh hưởng của số ăng ten trạm gốc và ảnh hưởng của số thuê bao trong một trạm gốc, đề xuất mô hình sử dụng hiệu quả năng lượng và giải thích, đánh giá các kết quả mô phỏng và tính toán.

Chương 3: Cải thiện hiệu quả sử dụng năng lượng hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten FD. Chương này trình bày tổng quan về cấu trúc dàn ăng ten, xử lý tín hiệu, kênh không gian 3 chiều, kiến trúc chung của hệ thống và phương thức chuyển giao dịch vụ không đồng nhất dựa vào các ngữ cảnh tham số chất lượng dịch vụ thông tin, đề xuất mô hình nghiên cứu và giải thích các kết quả mô phỏng.

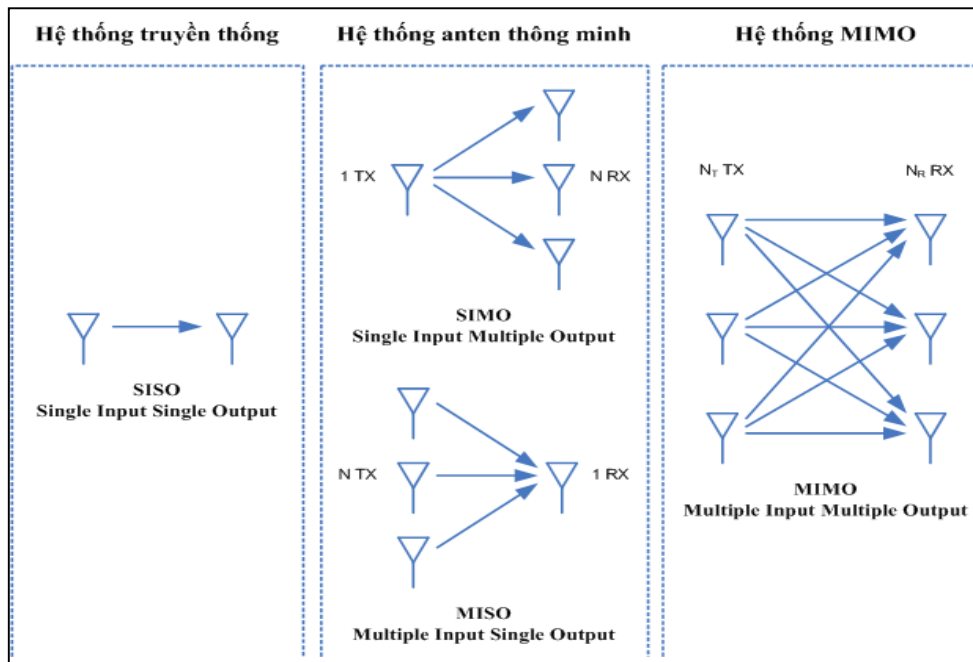
Ngoài ra: Phần phụ lục trình bày quá trình khai báo và thu thập thông tin, xây dựng cơ sở dữ liệu (CSDL), quá trình phân tích, truy xuất, suy diễn và ra quyết định, phụ lục về trích dẫn nguồn code thuật toán của các mô phỏng....

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ CÁC HỆ THỐNG THÔNG TIN VÔ TUYẾN VÀ VẤN ĐỀ HIỆU QUẢ SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG

1.1. Tổng quan về các hệ thống thông tin vô tuyến

Các hệ thống thông tin vô tuyến (không dây) có thể được phân loại thành 4 hệ thống cơ bản là SISO, SIMO, MISO và MIMO.

Hệ thống thông tin SISO là hệ thống chỉ sử dụng một ăng ten phát và một ăng ten thu, máy phát và máy thu chỉ có một bộ cao tần và một bộ điều chế, giải điều chế. Hệ thống SISO thường dùng trong phát thanh và phát hình, các kỹ thuật truyền dẫn vô tuyến cá nhân như Wifi hay Bluetooth. Dung lượng hệ thống phụ thuộc vào tỉ số tín hiệu trên nhiễu được xác định theo công thức Shannon: $C = \log_2(1+SNR)$ bit/s/Hz [10]. Hệ thống SIMO sử dụng nhiều ăng ten phát và một ăng ten thu, thông qua kỹ thuật Alamouti từ đó cải thiện lượng tín hiệu hoặc sử dụng beamforming để tăng hiệu suất phát và vùng bao phủ. Khi máy phát biết được thông tin kênh truyền, dung lượng tăng theo hàm logarit của số ăng ten phát (N_t) và được xác định gần đúng theo công thức: $C = \log_2(1+N_t.SNR)$ bit/s/Hz [10].



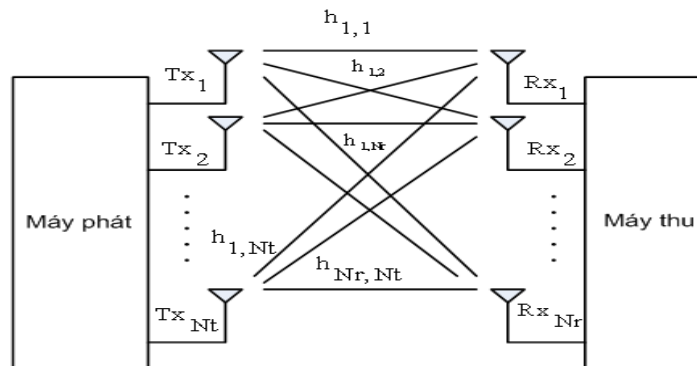
Hình 1.1. Các hệ thống thông tin vô tuyến [10]

Hệ thống SIMO sử dụng một ăng ten phát và nhiều ăng ten thu, trong hệ thống này máy thu có thể lựa chọn hoặc kết hợp tín hiệu từ các ăng ten thu nhằm tối đa tỷ số tín hiệu trên nhiễu thông qua các giải thuật beamforming hoặc MMRC (Maximal - Ratio Receive Combining). Khi máy thu biết thông tin kênh truyền, dung lượng hệ thống tăng theo hàm logarit của số ăng ten thu (N_r), được tính theo: $C = \log_2(1+N_r \cdot \text{SNR})$ bit/s/Hz [10].

1.1.1. Hệ thống thông tin vô tuyến đa người dùng

Là hệ thống sử dụng nhiều ăng ten cả nơi phát và nơi thu, hệ thống có thể phân tập phát nhờ đa ăng ten phát, cung cấp phân tập thu nhờ vào đa ăng ten thu nhằm tăng chất lượng hệ thống hoặc thực hiện beamforming tại nơi phát và nơi thu để tăng hiệu suất sử dụng công suất, triệt can nhiễu. Khi thông tin kênh truyền được biết tại cả nơi phát và thu, hệ thống có thể cung cấp độ lợi phân tập cực cao và độ lợi ghép kênh cực đại, dung lượng hệ thống có thể xác định theo công thức: $C = \min(N_T, N_R) \cdot \log_2(1 + N_T \cdot N_R \cdot \text{SNR})$ bit/s/Hz [10].

Mô hình kênh tổng quát gồm N_T ăng ten phát và N_R ăng ten thu được minh họa trong hình vẽ 1.2. Ma trận kênh truyền H của kênh truyền trong hệ thống định trước và được xem là bất biến trong suốt thời gian truyền và tổng công suất phát trên N_T là P được xem là không đổi



Hình 1.2. Hệ thống vô tuyến đa người dùng

Ma trận kênh H cho mô hình vô tuyến được biểu diễn như sau:

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{N_t,1} \\ h_{21} & h_{22} & \cdots & h_{N_t,2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ h_{N_r,1} & h_{N_r,2} & \cdots & h_{N_r,N_t} \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

Trong đó: h_{nm} là độ lợi kênh giữa ăngten phát thứ n và ăngten thu thứ m .

Giả sử: $\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \cdots & x_{N_t} \end{bmatrix}^T$ là dữ liệu phát

$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 & y_2 & \cdots & y_{N_r} \end{bmatrix}^T$ là dữ liệu thu

$\boldsymbol{\eta} = \begin{bmatrix} \eta_1 & \eta_2 & \cdots & \eta_{N_r} \end{bmatrix}^T$ là tạp âm Gaus trắng phức N_r máy thu.

T là ký hiệu phép toán chuyển vị. Khi đó, quan hệ giữa tín hiệu đầu vào nhân với tín hiệu đầu ra \mathbf{y} được xác định bởi biểu thức sau:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_{N_r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{N_t,1} \\ h_{21} & h_{22} & \cdots & h_{N_t,2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ h_{N_r,1} & h_{N_r,2} & \cdots & h_{N_t,N_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{N_t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \\ \vdots \\ \eta_{N_r} \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

Có thể viết lại quan hệ vào ra kênh ma trận $N_r \times N_t$ trong phương trình (1.2) như sau:

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \boldsymbol{\eta} \quad (1.3)$$

Độ lợi beamforming giúp hệ thống tập trung năng lượng bức xạ theo hướng mong muốn giúp tăng hiệu quả công suất, giảm can nhiễu và tránh được can nhiễu tới từ các hướng không mong muốn, từ đó giúp cải thiện chất lượng kênh truyền và tăng độ bao phủ của hệ thống, để có thể thực hiện beamforming thì khoảng cách giữa các ăng ten trong hệ thống thường nhỏ hơn bước sóng λ (thường là $\lambda/2$),

beamforming thường được thực hiện trong môi trường ít tán xạ. Khi môi trường tán xạ mạnh hệ thống có thể cung cấp độ lợi ghép kênh không gian và độ lợi phân tập, tận dụng các kênh truyền song song có được từ đa ăng ten phía phát và phía thu, các tín hiệu sẽ được phát độc lập và đồng thời ra các ăng ten, nhằm tăng dung lượng kênh truyền mà không cần tăng công suất phát hay tăng băng thông hệ thống, dung lượng hệ thống sẽ tăng tuyến tính theo số các kênh truyền song song trong hệ thống.

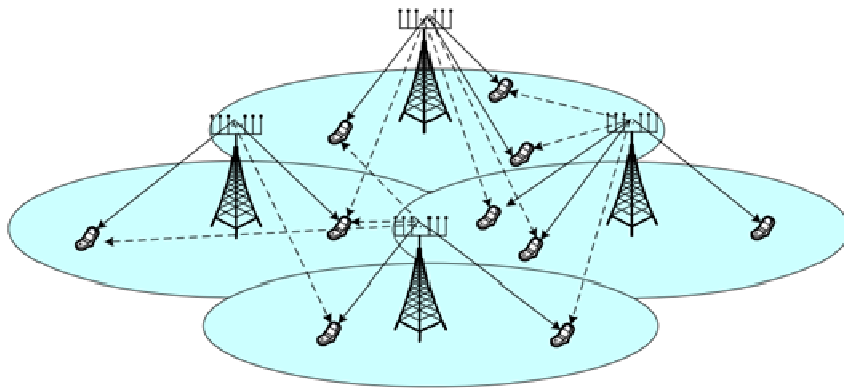
Trong truyền dẫn vô tuyến, mức tín hiệu luôn thay đổi, bị fading liên tục theo không gian, thời gian và tần số, khiến cho tín hiệu tại nơi thu không ổn định, việc phân tập cung cấp cho các bộ thu các bản sao tín hiệu giống nhau qua các kênh truyền fading khác nhau, bộ thu có thể lựa chọn hay kết hợp các bản sao tín hiệu này để giảm thiểu tốc độ sai bit BER, chống fading qua đó tăng độ tin cậy của hệ thống. Để cực đại độ lợi phân tập, giảm BER và chống lại fading, mã hóa STBC (Space-Time Block Code) và mã hóa STTC (Space-Time Trellis Code) được áp dụng. Thực tế, để hệ thống có dung lượng cao, BER thấp, chống được fading có sự tương quan giữa độ lợi phân tập và độ lợi ghép kênh trong thiết kế hệ thống.

1.1.2. Hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten

Hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten đã được nghiên cứu từ lâu và được ứng dụng trong nhiều tiêu chuẩn truyền thông không dây vì nó có thể cải thiện đáng kể dung lượng và độ tin cậy của hệ thống [11], trong khoảng thời gian đầu chủ yếu nghiên cứu về kết nối điểm điểm hay còn gọi là đơn người dùng. Trong hệ thống này, hai thiết bị đa ăng ten kết nối giao tiếp với nhau, mang lại lợi ích rất lớn cả về dung lượng cũng như độ tin cậy, tuy nhiên, hệ thống còn một số nhược điểm như chỉ giao tiếp được một người dùng, để khắc phục nhược điểm đó, hệ thống đa người dùng ra đời và về cơ bản thì hệ thống đa người dùng khác với đơn người dùng là đồng thời phục vụ cho một số người dùng. Trong hệ thống, mọi chi phí đắt đỏ của thiết bị được chuyển về cho các nhà mạng trong phân trạm gốc, trong khi đầu cuối người dùng sẽ có chi phí thiết bị khá rẻ do có thể sử dụng đơn ăng ten mà vẫn tận dụng được tính năng ưu việt của công nghệ. Do tính phân tập đa người dùng, hiệu

năng của hệ thống đa người dùng ít bị ảnh hưởng của môi trường truyền sóng hơn so với trường hợp kết nối điểm điểm, vì thế thống đa người dùng đã được ứng dụng vào trong rất nhiều tiêu chuẩn như 802.11 (Wifi), 802.16 (WiMax), LTE [11].

Có rất nhiều cấu hình và các kịch bản triển khai khác nhau cho các mảng ăng ten thực tế sử dụng trong hệ thống thông tin sử dụng nhiều ăng ten, mỗi phần tử ăng ten trong hệ thống được kết nối nhau thông qua sợi quang hoặc đường dẫn mạch điện tử.

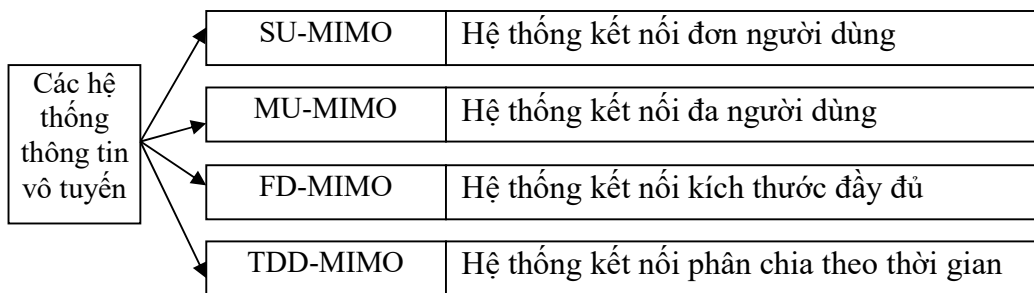


Hình 1.3. Hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten [11]

Hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten khi các trạm gốc phải biết được thông tin kênh cho cả đường lên và đường xuống, ở đường lên, điều này dễ dàng thực hiện bằng cách các đầu cuối người dùng gửi hoa tiêu, dựa vào hoa tiêu nhận được mà trạm gốc có thể ước lượng được đáp ứng xung của kênh cho mỗi đầu cuối, ở đường xuống việc này sẽ khó hơn. Trong các hệ thống kết nối truyền thống, như tiêu chuẩn LTE, các trạm gốc sẽ gửi dạng sóng hoa tiêu, dựa vào đó các đầu cuối sẽ ước lượng đáp ứng xung của kênh truyền và đầu cuối gửi lại cho trạm gốc. Điều đó sẽ không khả thi trong các hệ thống MIMO cỡ lớn, ít nhất là không khi mà hoạt động trong môi trường có tính di động cao bởi vì hai lý do sau. Thứ nhất, các hoa tiêu đường xuống tối ưu cần phải trực giao nhau giữa những ăng ten, điều đó có nghĩa rằng số lượng tài nguyên tần số thời gian cho hoa tiêu đường xuống bằng số lượng ăng ten nên hệ thống cỡ lớn sẽ yêu cầu số ăng ten gấp hàng trăm lần so với hệ thống truyền

thống. Thứ hai, số lượng đáp ứng xung của kênh do mỗi thiết bị đầu cuối phải ước lượng cũng tỷ lệ với số ăng ten của trạm gốc, tài nguyên đường lên cần để báo cho trạm gốc về đáp ứng xung của kênh sẽ lớn hơn gấp trăm lần so với hệ thống truyền thống. Do đó, hệ thống khó có thể hoạt động theo chế độ song công phân chia theo tần số FDD, mà được sử dụng theo chế độ song công phân chia theo thời gian TDD.

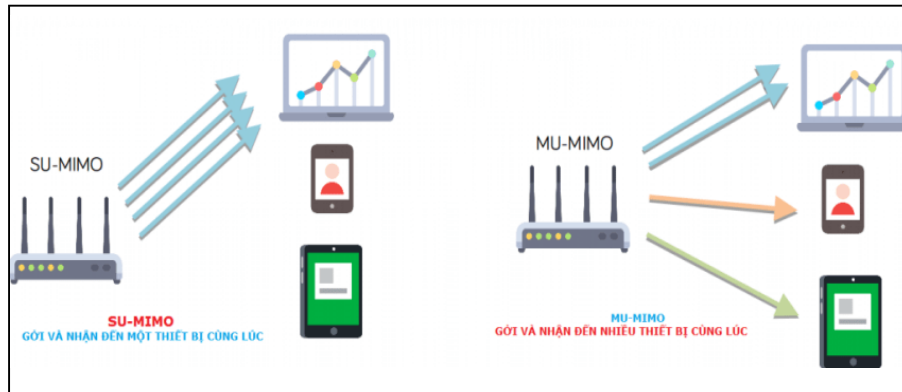
Trong phạm vi luận án, nghiên cứu một số dạng hệ thống như sau:



Hình 1.4. Các hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten đề xuất nghiên cứu

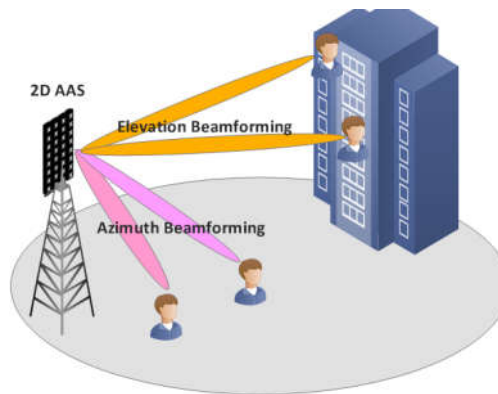
SU-MIMO: Hệ thống vô tuyến đơn người dùng, là một phần tùy chọn của chuẩn 802.11n ra mắt vào năm 2007, nó cho phép gửi và nhận dữ liệu đến một thiết bị cùng lúc, nếu có nhiều thiết bị truy cập cùng lúc, thì tốc độ xử lý của nó vẫn nhanh hơn so với router thông thường [108].

MU-MIMO: Hệ thống vô tuyến đa người dùng, công nghệ xuất hiện vào năm 2013 cùng thời điểm với chuẩn 802.11AC ra đời, đây là một chuẩn không dây mới có tốc độ truyền lên đến gigabit/giây, công nghệ này cho phép vừa truyền và nhận đến nhiều thiết bị khác nhau cùng lúc, thay chỉ một thiết bị như SU-MIMO, do có thể gửi và nhận dữ liệu cùng lúc đến nhiều thiết bị khác nhau, nên công nghệ này rất phù hợp với những môi trường nhiều người sử dụng, nhất là thường xuyên xem phim, chơi game online., hệ thống không đòi hỏi thiết bị nhận (như điện thoại, máy tính bảng...) phải có nhiều ăng ten nhưng bắt buộc thiết bị nhận phải hỗ trợ chuẩn 802.11AC [108].



Hình 1.5. Hệ thống đơn người dùng và đa người dùng [108]

FD-MIMO: Hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten kích thước đầy đủ được biết đến với tên gọi Full-Dimension MIMO (FD-MIMO) trong phiên bản 13 (Release13) của họ tiêu chuẩn 3GPP LTE-Advanced Pro, bằng cách sử dụng hàng chục, hàng trăm ăng ten ở trạm gốc để phục vụ đồng thời hàng chục thuê bao trong một cell, công nghệ này sẽ góp phần quan trọng trong việc đáp ứng yêu cầu hiệu quả sử dụng phổ tần rất cao của mạng thông tin di động thế hệ thứ 5 (5G). Hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten kích thước đầy đủ, hệ thống ăng ten có thể tạo thành một chùm theo cả hướng ngang và dọc sao cho có thể bao phủ và tập trung vào ở bất kỳ đâu trong không gian [65], [66], [84].



Hình 1.6. Hệ thống FD-MIMO [108]

Hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten không đồng nhất, từ góc độ kiến trúc, hệ thống Hetnet có thể được xem như là cấu trúc các thành phần của các mạng truy

nhập vô tuyến (RANs), các tế bào và chức năng wifi hoạt động trong cùng môi trường và các tài nguyên dữ liệu được phân bố kết hợp [85], các mạng không đồng nhất gần đây đã trở thành một chủ đề nghiên cứu chính trong truyền thông không dây do tiềm năng lớn của nó để cải thiện vùng phủ sóng và dung lượng của mạng không dây. Trong các tế bào Hetnet các tế bào siêu nhỏ, micro, pico và các trạm cơ sở có vùng phủ sóng nhỏ có thể được đặt ở các vị trí khác nhau để cải thiện hiệu quả sử dụng năng lượng vì các tế bào này hoạt động trong macrocell có thể cung cấp chất lượng dịch vụ cho người dùng gần đó [109].

TDD-MIMO: Hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten phân chia theo thời gian, thường sử dụng cho hệ thống đa người dùng cho cả đường lên và đường xuống, trong đó đường lên được gọi là kênh đa truy nhập, đường xuống gọi là kênh quảng bá (broadcast channel), trong kênh quảng bá, mỗi máy đầu cuối nhận các dữ liệu khác nhau. Trong cả đường lên và đường xuống, luôn có các kết nối đồng thời hoạt động phân chia theo thời gian trong việc khai thác sử dụng một số lượng lớn người dùng, một thuê bao sử dụng dịch vụ gồm có 2 kênh, kênh truyền tín hiệu và kênh pilot, vì thế hệ thống đa người dùng sẽ tiêu tốn nhiều tài nguyên cho việc truyền thông tin pilot ở cả hai chiều [103],

(a) Ưu điểm của hệ thống thông tin sử dụng nhiều ăng ten

Hệ thống thông tin nhiều ăng ten có một số ưu điểm sau [6], [9], [12]:

Tăng dung lượng lên 10 lần hoặc lớn hơn và đồng thời cải thiện hiệu quả năng lượng phát xạ lên tới nhiều lần, việc tăng dung lượng là kết quả của việc sử dụng ghép kênh không gian tích cực sử dụng trong hệ thống. Một vấn đề ta có thể thấy là khi hệ thống sử dụng số lượng lớn ăng ten lên tới hàng trăm thì năng lượng có thể tập trung vào khu vực nhỏ.

Chi phí thiết bị thấp do có thể được xây dựng với các phần tử công suất thấp và giá thành rẻ hơn. Hệ thống này sẽ thay thế các bộ khuếch đại đất đỏ trong các hệ thống truyền thống bằng hàng trăm bộ khuếch đại với chi phí rẻ với công suất đầu ra chỉ khoảng vài mW, một số thành phần công kênh đất đỏ ví dụ như cáp đồng trục

lớn sẽ được loại bỏ, giảm thiểu những hạn chế về độ chính xác của chuỗi RF và bộ khuếch đại riêng lẻ.

Giảm thiểu đáng kể độ trễ trong giao diện vô tuyến, hiệu năng của các hệ thống thông tin không dây thường bị giới hạn bởi hiện tượng fading, hiện tượng này có thể làm cho cường độ tín hiệu thu được rất nhỏ tại một số thời điểm nó xảy ra khi mà tín hiệu gửi từ trạm gốc đi theo nhiều đường khác nhau hay nói cách khác là hiện tượng đa đường xảy ra trước khi tín hiệu tới đầu cuối, đơn giản hóa ở lớp đa truy nhập. Do luật số lớn, kênh không đổi do vậy việc lập lịch miền tần số không cần, mỗi đầu cuối có thể nhận được toàn bộ băng thông, mà sử dụng cho hầu hết dư thừa tín hiệu điều khiển lớp vật lý.

Thiết kế hệ thống nhiều ăng ten có thể làm ổn định hơn bởi vì hệ thống này được thiết kế bởi hàng trăm ăng ten nên ngay cả khi có hỏng hóc một vài ăngten cũng không ảnh hưởng đáng kể đến hệ thống, các ăng ten bị trục trặc có thể được thay thế nóng ra khỏi hệ thống.

(b) Thách thức của hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten

Hệ thống nhiều ăng ten có thể áp dụng vào trong thực tế mặc dù còn có nhiều thách thức mà cần phải được tính toán và nghiên cứu, dưới đây là một số thách thức chính [6]:

Độ phức tạp trong tính toán lớn, với hệ thống kích cỡ lớn, việc xử lý tính toán có độ phức tạp lớn hơn các hệ thống truyền thống, thuật toán ZF được sử dụng trong hệ thống có hiệu năng tốt hơn so với thuật toán MRC/MRT, điều đó đồng nghĩa với việc thuật toán có độ phức tạp lớn hơn.

Hệ thống sử dụng chế độ song công phân chia theo thời gian (TDD) và song công phân chia theo tần số (FDD) có thể áp dụng được vào trong hệ thống vô tuyến nhiều ăng ten bằng thiết kế phương thức tiền mã hóa hiệu quả dựa trên thông tin trạng thái kênh riêng hoặc thậm chí là không có thông tin trạng thái kênh, hoặc có thể sử dụng ý tưởng cảm biến nén (compressed sensing) để giảm thiểu mào đầu thông tin phản hồi. Tại trạm gốc, các ăng ten thường tương quan khi đặt quá nhiều

vào một chỗ nhất định, do tương quan giữa đáp ứng xung của kênh từ những ăng ten khác nhau nên chúng ta không cần có thông tin trạng thái kênh CSI cho mỗi ăng ten riêng biệt. CSI có thể được chèn vào đầu tiên và sau đó chỉ có thông tin cần thiết được phản hồi trở lại, trạm gốc có thể xây dựng được CSI từ những thông tin nhận được, trong cách này, mào đầu cho thông tin phản hồi CSI có thể được giảm bớt.

1.1.3. Hiệu quả năng lượng trong các hệ thống thông tin vô tuyến

Khái niệm sử dụng năng lượng hiệu quả (thường được gọi ngắn gọn là hiệu quả sử dụng năng lượng hay hiệu quả năng lượng) là mục tiêu của những nỗ lực nhằm giảm năng lượng cần thiết cung cấp cho các sản phẩm và dịch vụ, việc cách nhiệt một công trình cho phép công trình đó sử dụng ít năng lượng hơn để sưởi ấm và làm mát mà vẫn duy trì nhiệt độ thoải mái, lắp đặt đèn huỳnh quang hoặc cửa sổ mái lấy sáng tự nhiên góp phần làm giảm năng lượng cần thiết mà vẫn đạt được cùng một mức độ chiếu sáng so với sử dụng ánh sáng từ bóng đèn sợi đốt truyền thống, đèn huỳnh quang tiết kiệm tiêu thụ ít hơn 2/3 năng lượng và có thể có tuổi thọ lâu hơn gấp 6 đến 10 lần so với đèn sợi đốt.

Có nhiều lý do khác nhau để cải thiện hiệu quả năng lượng, giảm sử dụng năng lượng góp phần làm giảm giá thành năng lượng và có thể tiết kiệm chi phí tài chính cho người tiêu thụ. Theo Cơ quan Năng lượng Quốc tế, cải thiện hiệu quả năng lượng trong các tòa nhà, quy trình công nghiệp và giao thông vận tải có thể làm giảm khoảng 1/3 nhu cầu năng lượng thế giới vào năm 2050, đồng thời giúp kiểm soát việc thải khí nhà kính toàn cầu, hiệu quả năng lượng và năng lượng tái tạo được cho là những trụ cột song sinh của chính sách năng lượng bền vững. Tại nhiều quốc gia, hiệu quả năng lượng cũng được đánh giá là mang lại lợi ích an ninh quốc gia vì có thể sử dụng để làm giảm mức nhập khẩu năng lượng và làm góp phần làm giảm tốc độ các nguồn năng lượng trong nước

Liên minh viễn thông thế giới (ITU), là tổ chức về ICT của Liên hợp quốc, và Viện tiêu chuẩn hóa viễn thông Châu Âu (ETSI) đã cùng phối hợp để thống nhất tiêu chuẩn sử dụng đánh giá hiệu quả năng lượng trong mạng vô tuyến, tiêu chuẩn

mới này có tên “Đánh giá hiệu quả sử dụng năng lượng và hệ đo trong mạng viễn thông” (ITU-T L.1330) được phát triển bởi nhóm nghiên cứu số 5 của ITU và ủy ban công nghệ về kỹ thuật môi trường của ETSI, đồng thời có sự tham gia của nhóm 3GPP của Hiệp hội di động thế giới GSMA. Theo ITU thì tiêu chuẩn này được ban hành nhằm giải quyết thực tế là tối ưu hiệu quả sử dụng năng lượng trong toàn bộ mạng lưới không thể thực hiện thông qua tối ưu một số thiết bị được sử dụng trên mạng. Tổ chức này cho rằng tiêu chuẩn này sẽ đưa ra một cách nhìn tổng quát hơn về mạng truy nhập vô tuyến và ảnh hưởng của tương tác trong kết nối giữa các thiết bị trong một mạng viễn thông phức tạp và sẽ được sử dụng để ước tính hiệu quả sử dụng năng lượng trong toàn bộ mạng lưới. Tiêu chuẩn về đánh giá hiệu quả sử dụng năng lượng này sẽ được áp dụng cho trạm thu phát sóng vô tuyến điện, hệ thống điều khiển trạm gốc và các thiết bị hạ tầng ở các trạm vô tuyến khác được sử dụng trong các công nghệ di động như GSM, UMTS (3G), LTE (4G) hay LTE-Advanced.

Theo [13] hiệu quả sử dụng năng lượng (hay hiệu suất năng lượng), ký hiệu là EE (Energy Efficiency) có đơn vị là *bit/Joule*, được định nghĩa là tỷ số giữa tổng dữ liệu (lượng thông tin) được trao đổi R_T (đơn vị là bit/second) và công suất tiêu thụ tổng P_T (đơn vị là Watt = Joule/second).

$$EE = \frac{R_T}{P_T} \quad (1.4)$$

Hiệu quả năng lượng của hệ thống thông tin di động phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong phạm vi nghiên cứu, luận án chỉ phân tích tốc độ đạt được, đảm bảo chất lượng thông tin cũng như công suất tiêu thụ sao cho mạng lại hiệu quả năng lượng tốt nhất cho hệ thống, việc sử dụng hiệu quả mang lại rất nhiều lợi ích và sự quan tâm của các tổ chức.

1.1.4. Lợi ích của việc sử dụng hiệu quả năng lượng

Giảm chi phí vận hành: Như ta đã biết, chi phí năng lượng chiếm tỷ lệ lớn trong chi phí vận hành của hệ thống mạng di động. Theo như công thức (1.4), và biết rằng dữ liệu trao đổi bằng chiều dài khung nhân với tốc độ trao đổi dữ liệu, do đó, nếu muốn tăng hiệu quả sử dụng năng lượng thì ta cần phải giảm công suất tiêu thụ tổng hoặc tăng tốc độ dữ liệu. Như chúng ta đã biết, sự phát triển của thế hệ mạng di động luôn gắn với việc tăng tốc độ hệ thống, tuy nhiên, điều đó có thể kéo theo hệ thống phức tạp, nhiều thành phần hơn, làm cho công suất tiêu thụ năng lượng tổng tăng lên, yếu tố then chốt làm cho hệ thống sử dụng năng lượng hiệu quả là công suất tiêu thụ.

Góp phần bảo vệ môi trường: Biến đổi khí hậu ngày nay là một vấn đề toàn cầu, và là vấn đề đặt ra cho bất kỳ ngành công nghiệp nào. Theo thống kê, ngành công nghệ thông tin và viễn thông (ICT) góp khoảng 2% lượng khí thải các-bon trên trái đất, trong đó các mạng thông tin di động góp 0,2% lượng khí thải các-bon trên trái đất. Theo xu hướng này, có khoảng 65% các nhà cung cấp dịch vụ viễn thông trên thế giới coi vấn đề thay đổi khí hậu là vấn đề quan trọng trong việc hoạch định chính sách phát triển chiến lược của mình.

Tăng tính cạnh tranh: Việc giảm chi phí vận hành nhờ sử dụng hiệu quả năng lượng cho phép cung cấp dịch vụ viễn thông với giá rẻ hơn, cũng cho phép các nhà mạng sử dụng số tiền đó đầu tư thêm các thiết bị, nhân lực để nâng cao hơn chất lượng dịch vụ của mạng. Theo nghiên cứu trên toàn thế giới, có 85% người sử dụng dịch vụ sẵn sàng thay đổi nhà cung cấp dịch vụ mạng hoặc thay đổi thói quen sử dụng dịch vụ nếu điều đó có ích cho việc cải thiện môi trường toàn cầu.

Tạo điều kiện mở rộng thị trường: Các nhà cung cấp mạng viễn thông đang phải đối mặt với những thách thức lớn trong quá trình mở rộng phạm vi phủ sóng, cần phải phục vụ thêm hàng triệu thuê bao mới ở các vùng nông thôn, hải đảo, vừa phải thỏa mãn các yêu cầu của thuê bao, và các nhà quản lý về môi trường trái đất. Thêm vào đó, cần phải tìm cách cắt giảm chi phí hoạt động, trong khi vẫn hỗ trợ lưu lượng

dữ liệu người dùng theo xu thế tăng liên tục và duy trì vị thế cạnh tranh với các đối thủ. Trong đó với những thị trường đang phát triển, lượng thuê bao mới sẽ tập trung ở các vùng nông thôn, vùng sâu vùng xa có điện lưới khó tiếp cận, ước tính chiếm đến 60% đến 80% tổng số thuê bao phát triển mới. Hiệp hội GSM ước tính đến năm 2025 sẽ có 118.000 trạm phát sóng sử dụng các nguồn năng lượng thay thế trên khắp thế giới (việc thay thế này có thể tiết kiệm tới 2,5 tỷ lít diesel và giảm 6,3 tấn khí thải CO₂ mỗi năm). Do đó, nếu sử dụng hiệu quả năng lượng sẽ góp phần cho nhà mạng có tiền để mở rộng và phát triển thị trường.

1.1.5. Sự quan tâm của các tổ chức trong nước và quốc tế

Tại Việt Nam, hằng năm, Bộ Thông tin và Truyền thông đã tổ chức các cuộc hội thảo để bàn về các vấn đề tiết kiệm năng lượng và hạn chế hiệu ứng nhà kính trong các ngành công nghiệp không khói, đặc biệt là Ngành công nghệ Thông tin và Truyền thông. Hiệu quả năng lượng không chỉ tác động tích cực hữu hình về tiết kiệm năng lượng, mà còn giúp đạt được một lợi nhuận lâu dài, bền vững của các nhà khai thác và cung cấp dịch vụ di động, ngoài ra, các yếu tố phi kỹ thuật, như giá cả, chiến lược tiếp thị, xây dựng pháp luật, chính sách, người sử dụng thân thiện.... cũng sẽ đóng vai trò quan trọng trong sự thành công này, các nhà khai thác mạng viễn thông đang rất quan tâm đến việc giảm năng lượng tiêu thụ bởi các hệ thống của mình, một số nhà mạng Viễn thông lớn như Vinaphone, Mobiphone và Viettel đều đang áp dụng các công nghệ tiết kiệm mức điện năng tiêu thụ cho trạm gốc. Ví dụ, Viettel đang áp dụng công nghệ BTS Power Saving mà khi thử nghiệm cho thấy mỗi trạm gốc 2G hoặc 3G có thể giảm 17% năng lượng tiêu thụ, khoảng 2.000 kWh/năm mà không ảnh hưởng chất lượng mạng

Nhiều tổ chức quốc tế đang quan tâm đến vấn đề năng lượng nói chung và vấn đề năng lượng trong mạng viễn thông nói riêng. Sau đây là tóm tắt một số thông tin với mục tiêu chính là nhấn mạnh vào tầm quan trọng của việc sử dụng hiệu quả năng lượng với xu hướng chung của thế giới.

(a) Liên minh viễn thông quốc tế (ITU)

Với vai trò là một tổ chức tiêu chuẩn quốc tế, ITU-T cũng đã và đang quan tâm một cách sâu sắc đến vấn đề sử dụng hiệu quả năng lượng trong lĩnh vực công nghệ thông tin ICT nói chung và viễn thông nói riêng. ITU đã phối hợp với các tổ chức, cơ quan khác nhau trên thế giới tổ chức các “Tuần tiêu chuẩn xanh”. Mục đích chính của “Tuần tiêu chuẩn xanh” là tăng cường nhận thức, trao đổi thông tin về tầm quan trọng và cơ hội để sử dụng các tiêu chuẩn ICT để xây dựng một nền công nghiệp viễn thông xanh.

(b) Viện tiêu chuẩn viễn thông châu Âu (ETSI)

ETSI là tổ chức tiêu chuẩn hoá thiết bị viễn thông hàng đầu trên thế giới, một số Ủy ban kỹ thuật của ETSI như Environment Engineering (EE) và Access, Terminals, Transmission and Multiplexing (ATTM) đang tích cực nghiên cứu các giải pháp để tăng hiệu quả sử dụng năng lượng của thiết bị viễn thông nói chung và thiết bị mạng thông tin di động nói riêng. Kết hợp với tổ chức 3GPP, ETSI đang tiêu chuẩn hoá các thông số định lượng và các phép đo đánh giá hiệu quả sử dụng năng lượng.

(c) Liên minh dự án thông tin di động thế hệ 3 (3GPP)

Tổ chức 3GPP đã tổ chức nhiều buổi hội thảo và đưa ra bàn luận, đánh giá các giải pháp về sử dụng hiệu quả năng lượng như: sử dụng các nguồn năng lượng xanh thay thế, các kỹ thuật và công nghệ giúp cho giảm thiểu năng lượng tiêu thụ và vận hành của hệ thống mạng. Các nhóm nghiên cứu của 3GPP nghiên cứu và tập hợp các đề xuất về công nghệ và tiêu chuẩn đối với mạng truy nhập vô tuyến liên quan đến vấn đề sử dụng tiết kiệm và hiệu quả năng lượng như được trình bày trong một số báo cáo sau đây:

3GPP TR 45.926, “Potential solutions for energy-saving for GSM/EDGE radio access BTS”: tài liệu này nghiên cứu về các giải pháp tiết kiệm năng lượng tiêu thụ hoạt động của BTS GSM/EDGE, phân tích và đánh giá các giải pháp khác nhau để xác định mức độ sử dụng hiệu quả năng lượng so với mức tiêu thụ năng lượng của BTS GSM/EDGE truyền thống.

3GPP TR 36.927, “Potential solutions for energy saving for E-UTRAN”: tài liệu này trình bày một số giải pháp tiết kiệm năng lượng cho mạng truy nhập 3G. Trong khi các giải pháp trong 3GPP TR 25.927 chỉ tập trung từng trạm NodeB đơn lẻ, các giải pháp trong tài liệu này tập trung vào việc kết hợp các trạm NodeB để tăng hiệu quả sử dụng năng lượng của cả mạng.

3GPP TR 32.826, “Study on energy savings management (ESM)”: tài liệu này tập trung nghiên cứu các giải pháp giám sát và quản lý việc tiêu thụ năng lượng qua OAM trong mạng LTE/SAE. Ví dụ của các giải pháp loại này là giảm công suất phát và chuyển trạng thái trạm gốc dựa trên các kết quả đo trên mạng.

(d) Liên minh GreenTouch

GreenTouch được thành lập năm 2010 và là tổ chức liên minh bao gồm hiệp hội công nghệ thông tin và truyền thông (ICT), các tổ chức nghiên cứu phi chính phủ và viện nghiên cứu, chuyên về truyền thông và mạng dữ liệu, trong đó bao gồm cả Internet. Phạm vi hoạt động của liên minh này là nghiên cứu và đề xuất các giải pháp nhằm giảm đáng kể lượng khí thải cacbon sinh ra từ các thiết bị, nền tảng phần cứng và mạng của ICT. Mục tiêu của tổ chức là đưa ra các kiến trúc, đặc tả kỹ thuật và lộ trình để tăng hiệu quả sử dụng năng lượng gấp 1000 lần so với mức độ hiện nay. Các thử thách về kỹ thuật chính đặt ra đối với kiến trúc này cần nghiên cứu đó là: Phân tích định lượng các ưu điểm cơ bản của kiến trúc thể hệ mạng tế bào xanh; Thiết kế các cơ chế phát hiện của mạng báo hiệu để có thể lấy thông tin về vị trí người sử dụng, khả năng của thiết bị đầu cuối, dịch vụ và các chi phí đối với năng lượng; Nghiên cứu và đề xuất các thiết kế giải thuật lựa chọn nguồn tài nguyên để nhận dạng các yêu cầu truy nhập phù hợp với điểm phục vụ lưu lượng, và kích hoạt các nguồn tài nguyên vô tuyến; Xác định kiến trúc mạng báo hiệu và các chức năng, các cơ chế liên kết giữa mạng báo hiệu và các mạng dữ liệu khác nhau. Dự án công nghệ truyền dẫn xanh (GTT): tập trung vào việc nghiên cứu thiết kế sử dụng hiệu quả năng lượng của các cơ chế truyền dẫn và chính sách quản lý nguồn tài nguyên vô tuyến. Các tiêu chuẩn hệ thống mạng di động LTE/LTE-Advanced hiện nay quy

định mỗi trạm gốc có tối đa 8 ăng ten và phục vụ đồng thời tối đa 8 thuê bao, việc sử dụng rất nhiều ăng ten cho phép tập trung năng lượng đến đúng ăng ten ở thiết bị đầu cuối để tăng công suất tín hiệu mong muốn ở thiết bị đầu cuối cần phục vụ và giảm nhiễu giữa các tuyến thông tin. Tại cuộc họp của 3GPP về định hướng lựa chọn các công nghệ cho 3GPP Rel-12, công nghệ truyền dẫn sử dụng ăng ten có rất nhiều phần tử đã được nhiều hãng sản xuất thiết bị đề xuất làm một trong những công nghệ chính để tăng tốc độ dữ liệu đồng thời tăng hiệu quả sử dụng năng lượng cho mạng thông tin di động 5G.

1.2. Các tham số chất lượng dịch vụ ảnh hưởng tới năng lượng hệ thống

Trong viễn thông, một lĩnh vực cần được đầu tư lớn vào kỹ thuật và công nghệ tiên tiến thì chất lượng luôn luôn là yếu tố quyết định sự thành bại và rõ ràng không được xem nhẹ chất lượng dịch vụ. Thông thường chất lượng dịch vụ trong mạng thông tin di động mặt đất được đánh giá qua các bộ tham số như tỷ lệ thiết lập thành công, tỷ lệ bị rơi, điểm chất lượng thoại, tốc độ tải dữ liệu [54]. Việc đo kiểm, quản lý chất lượng dịch vụ theo hướng như vậy là quản lý theo QoS, trong mạng viễn thông được định nghĩa cụ thể qua các tham số kỹ thuật được lượng hóa rõ ràng. Tuy nhiên, hiện nay công nghệ mạng đang phát triển rất nhanh, xu hướng hội tụ trên nền mạng IP nên QoS không còn là yếu tố duy nhất mang tính quyết định mà các yếu tố dần trở nên quan trọng hơn để phân biệt mức độ và đánh giá các nhà cung cấp dịch vụ là những gói dịch vụ được thiết lập tốt đến mức nào theo nhu cầu cá nhân của khách hàng sử dụng dịch vụ, đây chính là tiền đề dẫn đến khái niệm chất lượng trải nghiệm QoE [55]. Sự dịch chuyển từ quản lý QoS đến QoE kết hợp công tác đo kiểm so sánh đồng thời chất lượng dịch vụ của các nhà cung cấp đang ngày càng quan tâm.

Theo khuyến nghị ITU-TE.800 thì QoS là tập hợp tất cả các đặc tính về năng lực thỏa mãn nhu cầu cần thiết của một dịch vụ cho người sử dụng đã được nhà mạng công bố về dịch vụ đó. QoS trong các mạng thông tin di động được xác định như là tập các năng lực của mạng cung cấp dịch vụ cho khách hàng [56] [57] [58]

bao gồm: chất lượng thoại cao, mức thu tốt; xác suất bị khóa thu và tỷ lệ rơi cuộc gọi thấp; tốc độ dữ liệu cao cho các ứng dụng đa phương tiện và truyền dữ liệu.

Trong phạm vi nghiên cứu, luận án xét đến các tham số chất lượng như sau:

- Băng thông (bandwidth): Tốc độ các gói tin truyền qua mạng, tốc độ truyền tin cực đại luôn là ước muốn của nhà mạng và khách hàng
- Trễ (delay): Thời gian truyền gói tin từ một thiết bị đầu cuối này đến một thiết bị đầu cuối khác. Độ trễ truyền gói tin càng nhỏ càng tốt;
- Tỷ lệ mất gói tin (packet loss rate): Tỷ lệ giữa gói tin bị mất và tổng số gói tin đã truyền. Yêu cầu tỷ lệ mất gói tin phải nhỏ;
- Tỷ lệ lỗi gói (packet error rate): Số bit bị lỗi trong một gói tin. Tỷ lệ này càng nhỏ càng tốt;
- Độ tin cậy (reliability): Độ khả dụng của một kết nối truyền thông, cho cả tuyến thuận và ngược, độ khả dụng yêu cầu phải cao;
- Công suất phát (Pt):
- Cường độ máy thu (RSS):
- Vận tốc di chuyển (velocity):

Như vậy, QoS được định nghĩa như là khả năng của một mạng cung cấp dịch vụ với mức độ đảm bảo xác định, trong khi đó QoE lại phụ thuộc vào cảm nhận của chính các khách hàng về một số đặc điểm như: Khả năng sử dụng, khả năng truy nhập, khả năng duy trì và mức độ nguyên vẹn của dịch vụ được cấp. Không giống như QoS, QoE là sự hài lòng của khách hàng, hay còn gọi là chất lượng dịch vụ trải nghiệm thể hiện chất lượng tổng thể về sự cảm nhận của người sử dụng dịch vụ đó.

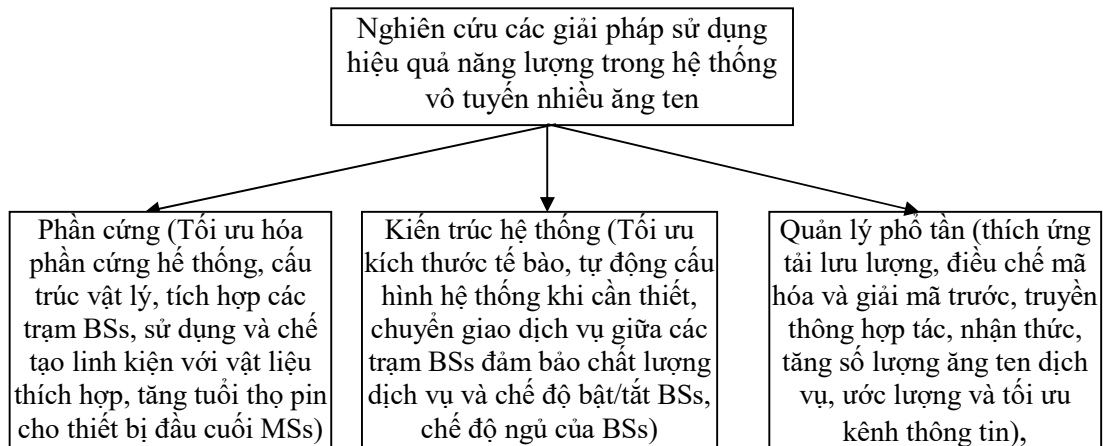
1.3. Các kết quả nghiên cứu liên quan đến hiệu quả năng lượng

Sau quá trình thu thập các nghiên cứu của các tác giả đi trước về vấn đề sử dụng hiệu quả năng lượng trong hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten, nghiên cứu sinh nhận thấy và tổng hợp các nghiên cứu trước đây tập trung vào 3 hướng chính được tổng hợp như sau:

Thứ nhất: Nghiên cứu các giải pháp sử dụng hiệu quả năng lượng trong hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten tập trung vào tối ưu hóa phần cứng, cấu trúc lớp vật lý, tích hợp các trạm gốc BSs, giảm công suất tiêu thụ tại BSs bằng cách chế tạo các vật liệu thích hợp, tăng tuổi thọ pin cho thiết bị đầu cuối MS. Một số giải pháp cho hiệu quả năng lượng trong phần cứng, cấu trúc vật lý tại các trạm gốc BSs, các thiết bị đầu cuối MSs được nghiên cứu và trình bày trong [14],[33], [34], [35], [40], [41].

Thứ hai: Nghiên cứu các giải pháp sử dụng hiệu quả năng lượng trong hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten tập trung vào kiến trúc hệ thống, tối ưu kích thước của các tế bào, tự động cấu hình lại hệ thống khi cần thiết và chuyển giao dịch vụ không đồng nhất giữa các nút mạng với các tham số liên quan chất lượng dịch vụ đảm bảo hoặc chế độ bật/tắt hay chế độ ngủ của các trạm gốc khi không có lưu lượng hay dịch vụ yêu cầu. Việc tiết kiệm năng lượng sẽ được thực hiện hiệu quả tại các nút mạng bao gồm các trạm gốc BSs, việc tiết kiệm năng lượng tại BSs được thực hiện sẽ mang lại mức hiệu quả đáng kể do BSs là phần tiêu thụ năng lượng chủ yếu. Để giảm lượng năng lượng tiêu thụ của BSs, là tắt BS khi lượng truy cập rất thấp, đồng thời, dung lượng của một BS tắt sẽ được quản lý bởi một BS phối hợp, dòng năng lượng sẵn sàng và lượng năng lượng không sẵn có trong một mạng truyền thông có thể tính toán trước được, các nghiên cứu thực hiện trình bày trong [15], [21], [22], [37], [38], [39], [45], [46], [47], [48], [49], [50].

Thứ ba: Quản lý hiệu quả phổ tần, thích ứng tải lưu lượng, tăng số lượng ăng ten dịch vụ, ước lượng kênh, điều chế mã hóa trước nhằm tối ưu công suất tiêu thụ của các thiết bị liên quan trong trạm gốc, tiết kiệm công suất tiêu thụ của các thiết bị và nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng, các nghiên cứu đã thực hiện trình bày trong [16], [17], [18], [19], [22], [23], [24], [25], [26], [36]



Hình 1.7. Tổng hợp các giải pháp sử dụng hiệu quả năng lượng trong hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten

Cụ thể phân tích các kết quả nghiên cứu của các tác giả đi trước được trình bày chi tiết trong phần tiếp theo được phân chia theo mục các kết quả nghiên cứu trong nước và nghiên cứu trên thế giới.

1.3.1 Các nghiên cứu trong nước

Ở Việt Nam, số lượng các kết quả nghiên cứu về các vấn đề liên quan đến hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten còn rất hạn chế, có một số nhóm nghiên cứu ở Việt Nam đã và đang nghiên cứu về hệ thống thông tin vô tuyến MIMO và vấn đề năng lượng. Dưới đây là những nghiên cứu điển hình đã có kết quả công bố: PGS. TS. Võ Nguyễn Quốc Bảo ở Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông nghiên cứu về truyền thông vô tuyến hợp tác [14] và vấn đề thu thập năng lượng trong các hệ thống thông tin vô tuyến [15]; TS. Trương Trung Kiên ở Viện Khoa học Kỹ thuật Bưu điện, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, nghiên cứu về hệ thống thông tin vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten, các thuật toán ứng dụng trong tiết kiệm năng lượng và thu thập năng lượng trong hệ thống MIMO [16] [17] [18] [19]; PGS.TS. Trần Xuân Nam, tại Học viện Kỹ thuật Quân sự và TS. Lê Minh Tuấn, Trung tâm Nghiên cứu và Phát triển MobiFone, Tổng công ty Viễn thông MobiFone, nghiên cứu về mã hoá không gian - thời gian trong hệ thống thông tin sử dụng nhiều ăng ten truyền thông, truyền thông vô tuyến hợp tác và điều chế không

gian cho hệ thống thông tin vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten [20], Một số tác giả đã nghiên cứu về ước lượng kênh trong hệ thống thông tin vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten và nghiên cứu về khử nhiễu kênh hoa tiêu trong hệ thống thông tin vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten và truyền thông hợp tác không kết hợp

[21],[22],[23],[24],[25],[26].

1.3.2 Các nghiên cứu trên thế giới

Với sự bùng nổ của ứng dụng tốc độ dữ liệu cao trong các mạng không dây, hiệu quả sử dụng năng lượng trong truyền thông không dây thời gian gần đây đã thu hút được sự chú ý ngày càng tăng từ các cộng đồng nghiên cứu. Cho đến nay, hiệu quả năng lượng trong các hệ thống vô tuyến đã được nhiều nhà nghiên cứu trên thế giới khảo sát và nghiên cứu. Ngoài ra, một số dự án nghiên cứu quốc tế dành riêng cho hiệu quả năng lượng trong truyền thông không dây đang được thực hiện như dự án EARTH [27][28], OPERANet [29][30], và eWIN [31][32].

Hệ thống thông tin vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten đang là một vấn đề nghiên cứu thu hút được nhiều sự quan tâm trên thế giới. Các nhóm nghiên cứu tập trung vào nhiều vấn đề khác nhau như phân tích hiệu năng hoạt động của các cấu hình hệ thống cụ thể, tối ưu tốc độ truyền tin, giảm năng lượng tiêu thụ, khử nhiễu kênh hoa tiêu, thiết kế các bộ phát đáp. Một số nghiên cứu liên quan đến vấn đề hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống thông tin sử dụng nhiều ăng ten có thể kể ra như sau: Daehan Ha, Keonkook Lee, and Joonhyuk Kang, nghiên cứu mô hình công suất tiêu thụ mới không chỉ bao gồm công suất phát trên bộ khếch đại công suất mà còn là công suất tiêu thụ mạch bởi các thành phần của trạm gốc. Từ mô hình mới đưa ra được công thức tính hiệu quả năng lượng, sau đó xác định số ăng ten cần thiết để mang lại hiệu quả năng lượng cho hệ thống sử dụng nhiều ăng ten [33]; Emil Bjornson, Luca Sanguinetti, Jakob Hoydis and Mérouane Debbah, nghiên cứu đưa ra mô hình đánh giá hiệu quả năng lượng của hệ thống từ đó tìm ra được số phần tử ăng-ten, số người dùng và công suất phát tối ưu mang lại hiệu quả của hệ thống sử dụng nhiều ăng ten [34][35]; J. Hoydis, S. ten Brink, and M. Debbah, nghiên cứu các đường lên (UL) và đường xuống (DL) của mạng phân chia thời gian (TDD), giá

định số N ăng-ten cho mỗi trạm gốc BS và số K của thiết bị đầu cuối người dùng MS sau đó ước lượng kênh, và suy hao đường truyền, tính được bao nhiêu ăng ten mỗi BS là cần thiết để đạt được $\eta\%$ giới hạn hiệu suất cuối cùng với vô hạn anten và làm thế nào nhiều anten hơn là cần thiết với MF và BF để đạt được hiệu suất của sai số bình phương trung bình tối thiểu (MMSE) và đúng quy tắc RZF tương ứng [36]; H. Yang and T. L. Marzetta, nghiên cứu dựa trên mô hình LSA để tính toán trong môi trường đô thị dày đặc, một LSA với sáu mươi bốn ODB dịch vụ tăng anten mỗi tế bào, mỗi ăng ten tiêu thụ một năng lượng nội bộ của 128 mW [37]; Kwang-Cheng Chen, University of South Florida, nghiên cứu các mô hình tiết kiệm năng lượng trong hệ thống vô tuyến, sử dụng thuật toán máy học, machine learning, IEEE Wireless Communications, 2017 [38]; S. Maghsudi and S. Stanczak, nghiên cứu tiết kiệm năng lượng bằng cách chuyển giao giữa các node sử dụng thuật toán mờ thông minh fuzzy logic [39]. Các nhóm nghiên cứu tập trung vào thiết kế đưa ra mô hình đánh giá hiệu quả năng lượng của hệ thống từ đó tìm ra được số phần tử ăng ten, tính toán hiệu suất sử dụng phổ của hệ thống thông tin sử dụng cấu hình sử dụng nhiều ăng ten mà chưa đánh giá hiệu quả năng lượng một cách tối ưu, rõ ràng. Các kết quả nghiên cứu trên mới chỉ tập trung vào hệ thống đơn tế bào và chưa tập trung vào đa tế bào, chưa áp dụng các thuật toán thông minh trong việc tính toán hiệu quả năng lượng của hệ thống.

Một số nghiên cứu đã phân tích hiệu quả năng lượng của các BSs, mà những BSs này được sử dụng đồng thời bởi nhiều hệ điều hành, để giảm lượng tiêu thụ năng lượng và chi phí vận hành trong mạng tế bào, nghiên cứu [45] đã đề xuất xem xét việc chia sẻ mạng, kết hợp với việc tắt BSs. Những tác giả này đã giới thiệu khái niệm mới có tên là chuyển giao dịch vụ nội vùng intra-cell, nêu ra khả năng MSs của một hệ điều hành mạng di động cụ thể sẽ được chuyển vùng tới một BSs được vận hành bởi những hệ điều hành mạng di động khác, và hệ điều hành sẽ tắt BSs trực thuộc nó. Tiếp đó, các tác giả tiếp tục đề xuất một cơ chế tắt BS theo lý thuyết trò chơi phân tán, nơi mà tế bào vi mô BSs và tế bào nhỏ BSs sẽ được tắt khi lưu lượng truy cập thấp và sau đó các BSs điều hành bởi các hệ điều hành mạng di động

sẽ phục vụ các MSs để đảm bảo chất lượng dịch vụ. Nghiên cứu [47] đã đề xuất hướng tiếp cận theo lý thuyết trò chơi, ví dụ như trò chơi đưa ra quyết định về giá và trò chơi kết hợp người sử dụng, hướng tiếp cận này dựa trên mối quan hệ giữa giá chuyên vùng và sự kết hợp của người sử dụng trong môi trường đa hệ điều hành mạng di động. Nhóm tác giả [48] đã đề xuất phương pháp chuyển mạch theo hành động dựa vào thực tế là mạng lưới chưa sử dụng nếu tải lưu lượng thấp và do đó các ô nhỏ của bên thứ ba có thể được sử dụng để giảm lưu lượng truy cập của nó và BSs có thể được tắt để tiết kiệm điện. Trong [49], tác giả đề xuất một sơ đồ chia sẻ cơ sở hạ tầng lý thuyết trò chơi, nơi các nhà khai thác mạng di động ước tính các xác suất chuyển đổi có thể làm giảm chi phí và cân bằng trạng thái đạt được nhằm giảm thiểu chi phí của mỗi nhà điều hành và được thử nghiệm trên lưu lượng dịch vụ thoại và số liệu.

Ngoài ra, một số nghiên cứu cho mạng 3GPP đã đề xuất khái niệm tách mặt phẳng dữ liệu và mặt phẳng điều khiển cho mạng riêng rẽ [50], trong kiến trúc riêng biệt, một ô macro bao phủ một vùng rộng và quản lý tín hiệu điều khiển, và một ô nhỏ bao gồm một vùng nhỏ và quản lý dữ liệu, Trong kiến trúc này, tế bào nhỏ BS có thể được tắt, khi có ít MSs với dịch vụ dữ liệu trong vùng phủ sóng. Công suất phát của một BSs có thể được tiết kiệm khi kết nối với mạng cung cấp bằng cách sử dụng một tế bào lớn, ngoài ra, MSs có thể được luôn kết nối với một tế bào macro và chuyển giao liên tục để tiết kiệm công suất của BSs.

1.3.3 Một số vấn đề tồn tại và hạn chế của các nghiên cứu trước đây

Qua thu thập và phân tích các nghiên cứu ở trên, vẫn còn một số vấn đề chưa được đề cập đến trong các nghiên cứu trước đây cụ thể như sau:

(a) Đối với các nghiên cứu về kiến trúc các tác giả đi trước đã tập trung tối ưu kích thước tế bào, tự động cấu hình hệ thống khi cần thiết, chuyển giao dịch vụ giữa các trạm BSs và chế độ bật/tắt BSs, chế độ ngủ của BSs khi không có tải lưu lượng. Tuy nhiên trong nghiên cứu chuyển giao dịch vụ, các tác giả hầu như chỉ tập trung vào nghiên cứu về chuyển giao “cứng” giữa các dịch vụ khi lưu lượng tải tăng và các tham số chất lượng vượt ngưỡng, các nghiên cứu chuyển giao giữa các dịch vụ

đồng nhất, các dịch vụ chuyển giao trong một cell được thực hiện ngẫu nhiên khi có yêu cầu dịch vụ từ các đầu cuối người dùng nên xác suất chuyển giao giữa các dịch vụ đạt mức độ chưa cao, việc tiết kiệm công suất tiêu thụ của các trạm BSs chưa tối ưu.

(b) Các nghiên cứu về tối ưu kênh thông tin, tăng số lượng ăng ten dịch vụ tại các trạm BSs khi số lượng thuê bao tăng lên chỉ tập trung vào các ăng ten ở trạm gốc để truyền dữ liệu đồng thời tới nhiều thuê bao và thường nghiên cứu trong mô hình đơn cell, nên bỏ qua một số tính chất như nhiễu hoa tiêu, trong các nghiên cứu chỉ tính công suất tiêu thụ liên quan đến bức xạ tín hiệu, hoặc công suất tiêu thụ bao gồm công suất phát trên bộ khuếch đại công suất và công suất tiêu thụ mạch thành phần của trạm BSs và các thiết bị tương tự. Từ mô hình đưa ra được công thức tính hiệu quả năng lượng, sau đó xác định được số ăng ten cần thiết nhưng chỉ tính cho hệ thống đơn cell với nhiều ăng ten ở trạm gốc, và việc xem xét chỉ một cell duy nhất và bỏ qua tính chất nhiễu tín hiệu hoa tiêu và nhiễu liên cell, nên việc giảm công suất tiêu thụ trên tổng dung lượng truyền tin chưa hiệu quả hoặc chỉ tính được hiệu quả năng lượng thông công suất tiêu thụ cố định trên tổng dung lượng truyền tin cho trước.

(c) Các nghiên cứu còn hạn chế trong việc sử dụng các tính toán các tham số cụ thể trong mô hình tiết kiệm công suất tiêu thụ và hiệu quả năng lượng mà chưa sử dụng các thuật toán thông minh hay thuật toán logic trong việc đưa ra quyết định chuyển giao mềm trong hệ thống.

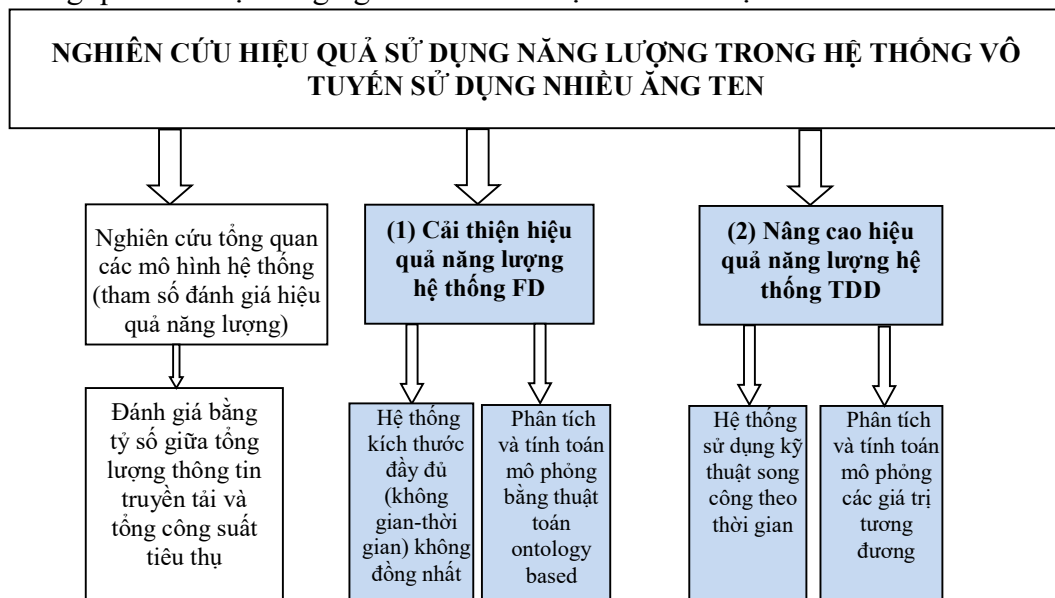
1.3.4 Hướng nghiên cứu của luận án

Để dung hòa các mục tiêu là tối đa hóa hiệu quả sử dụng năng lượng của một hệ thống bằng tính toán tổng công suất tiêu thụ trên tổng lượng thông tin truyền dẫn trong hệ thống vô tuyến sử dụng ăng ten thì không nên dùng một giải pháp cho toàn bộ hệ thống mà cần xem xét trên từng hệ thống cụ thể và có những giải pháp phân tích khác nhau đảm bảo tính hiệu quả theo đặc tính của từng hệ thống. Trên cơ sở kết quả phân tích các hạn chế của các nghiên cứu liên quan, các hướng nghiên cứu trong luận án này bao gồm:

(1) Nghiên cứu mô hình sử dụng hiệu quả năng lượng trong hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten kích thước đầy đủ FD-MIMO, giải pháp chuyển giao “mềm” dịch vụ trong mạng không đồng nhất bằng các thuật toán thông minh ontology trong quyết định logic mờ chuyển giao giữa các dịch vụ khác nhau dựa vào ngữ cảnh thông tin để tăng xác suất thành công khi chuyển giao và giảm tối đa công suất tiêu thụ trong các trạm cơ sở mà vẫn đảm bảo chất lượng thông tin theo tiêu chuẩn quy định cho phép quản lý hiệu quả nguồn tài nguyên hệ thống

(2) Nghiên cứu mô hình sử dụng hiệu quả năng lượng trong hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten phân chia theo thời gian TDD-MIMO. Tối ưu hóa số lượng ăng ten cần thiết tại mỗi trạm gốc khi tăng số thuê bao trong một cell sao cho số thuê bao cung cấp dịch vụ đồng thời trong một cell luôn nhiều hơn số ăng ten cho phép tại trạm gốc nhằm giảm công suất tiêu thụ của trạm gốc và tăng hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống. Phân tích và tính toán dựa vào tổng lượng thông tin truyền tải, công suất tiêu thụ tại các trạm gốc có nhiều ăng ten ở trạm gốc với nhiều cell hoạt động trên cùng băng tần trên lượng thông tin yêu cầu, kết hợp các tham số ảnh hưởng trong hệ thống như suy hao đường truyền, nhiễu hoa tiêu, chất lượng thông tin bằng cách tìm các giá trị tất định tương đương.

Tổng quan các nội dung nghiên cứu của luận án minh họa như sau



Hình 1.8. Tổng quan các nội dung nghiên cứu của luận án

1.4. Các phép toán và thuật toán liên quan đến hiệu quả năng lượng

1.4.1. Ngôn ngữ Ontology learning

Ontology là một trong các hình thức biểu diễn tri thức tiên tiến nhất hiện nay ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như trí tuệ nhân tạo, truy hồi thông tin... là nền tảng cung cấp ngữ nghĩa cho dữ liệu, cho phép dữ liệu có thể được hiểu bởi máy tính và nó được ứng dụng trong rất nhiều lĩnh vực khác nhau. Trong khoa học máy tính, một ontology là một mô hình dữ liệu biểu diễn một lĩnh vực và được sử dụng để suy luận về các đối tượng trong lĩnh vực đó và mối quan hệ giữa chúng, ontology cung cấp một bộ từ vựng chung bao gồm các khái niệm, các thuộc tính quan trọng và các định nghĩa về các khái niệm và các thuộc tính này. Ngoài bộ từ vựng, ontology còn cung cấp các ràng buộc, đôi khi các ràng buộc này được coi như các giả định cơ sở về ý nghĩa mong muốn của bộ từ vựng, nó được sử dụng trong một miền để giao tiếp giữa người và các hệ thống ứng dụng phân tán hỗn tạp khác. Các ontology được sử dụng như là một biểu mẫu trình bày tri thức về thế giới hay một phần của nó. Các ontology thường miêu tả:

- Các cá thể: Các đối tượng cơ bản, nền tảng
- Các lớp: Các tập hợp, hay kiểu của các đối tượng
- Các thuộc tính: Thuộc tính, tính năng, đặc điểm, tính cách, hay các thông số mà các đối tượng có và có thể đem ra chia sẻ.
- Các mối liên hệ: Các con đường mà các đối tượng có thể liên hệ tới một đối tượng khác, bộ từ vựng ontology được xây dựng trên cơ sở các tầng RDF và RDFS sẽ cung cấp khả năng biểu diễn ngữ nghĩa mềm và hỗ trợ lập luận khi ra quyết định nhất định.

Các phiên bản của OWL Hiện nay có ba loại OWL: OWL Lite, OWL DL (description logic), và OWL Full. OWL Lite: hỗ trợ cho những người dùng chủ yếu cần sự phân lớp theo thứ bậc và các ràng buộc đơn giản. Ví dụ: Trong khi nó hỗ trợ các ràng buộc về tập hợp, nó chỉ cho phép tập hợp giá trị của 0 hay 1. Điều này cho phép cung cấp các công cụ hỗ trợ OWL Lite dễ dàng hơn so với các bản khác. OWL

DL (OWL Description Logic): hỗ trợ cho những người dùng cần sự diễn cảm tối đa trong khi cần duy trì tính toàn vẹn (tất cả các kết luận phải được đảm bảo để tính toán) và tính quyết định (tất cả các tính toán sẽ kết thúc trong khoảng thời gian hạn chế). OWL DL bao gồm tất cả các cấu trúc của ngôn ngữ OWL, nhưng chúng chỉ có thể được sử dụng với những hạn chế nào đó (Ví dụ: Trong khi một lớp có thể là một lớp con của rất nhiều lớp, một lớp không thể là một thể hiện của một lớp khác). OWL DL cũng được chỉ định theo sự tương ứng với logic mô tả, một lĩnh vực nghiên cứu trong logic đã tạo nên sự thiết lập chính thức của OWL. OWL Full muốn đề cập tới những người dùng cần sự diễn cảm tối đa và sự tự do của RDF mà không cần đảm bảo sự tính toán của các biểu thức. Mối liên hệ giữa các ngôn ngữ con của OWL là: Mọi ontology hợp lệ dựa trên OWL Lite đều là ontology hợp lệ trên OWL DL, mọi ontology hợp lệ dựa trên OWL DL đều là ontology hợp lệ trên OWL Full, mọi kết luận hợp lệ dựa trên OWL Lite đều là kết luận hợp lệ trên OWL DL, mọi kết luận hợp lệ dựa trên OWL DL đều là kết luận hợp lệ trên OWL Full, Công cụ để xây dựng các Ontology trong phạm vi nghiên cứu là Protégé. Công cụ sử dụng để tạo file OWL.

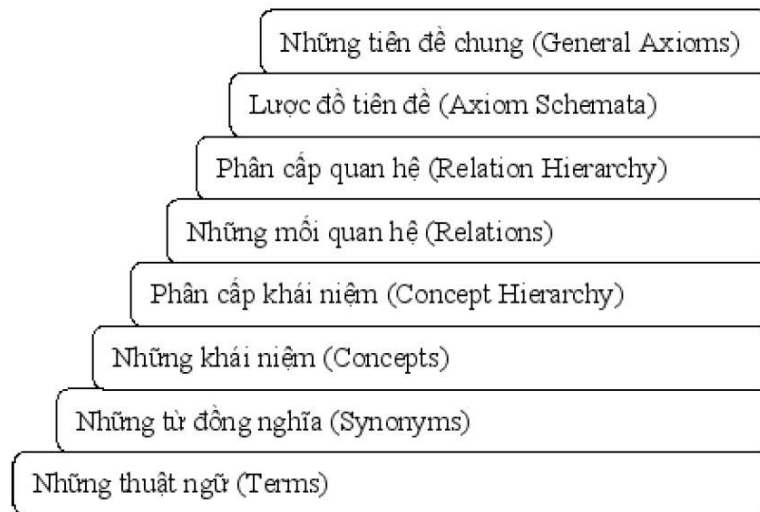
Ontology Learning có thể được mô tả như là việc thu thập của 1 mô hình miền từ dữ liệu (miền ở đây có thể như là: Geographical), nó cần dữ liệu đầu vào để học những khái niệm liên quan đến miền đã biết trước, những định nghĩa của khái niệm cũng như các mối quan hệ tổ chức giữa những định nghĩa này. Dữ liệu đầu vào có thể là lược đồ như là XML-DTD, những mô hình UML, hoặc lược đồ cơ sở dữ liệu, ontology learning có được thực hiện trên cơ sở của các nguồn được cấu trúc như XML hoặc tài liệu HTML. Trong trường hợp ontology learning được thực hiện trên cơ sở của các nguồn văn bản không được cấu trúc, chúng ta sẽ nói về ontology learning from text, ontology learning from text có thể xem là quá trình của công nghệ đảo mã (reverse engineering).

Đối với một vài ứng dụng của ontologies, điều quan trọng là kết nối những khái niệm và quan hệ đến những kí hiệu (symbols) mà được sử dụng để tham chiếu đến chúng, điều này nghĩa là việc thu thập tri thức ngôn ngữ học về những thuật ngữ mà

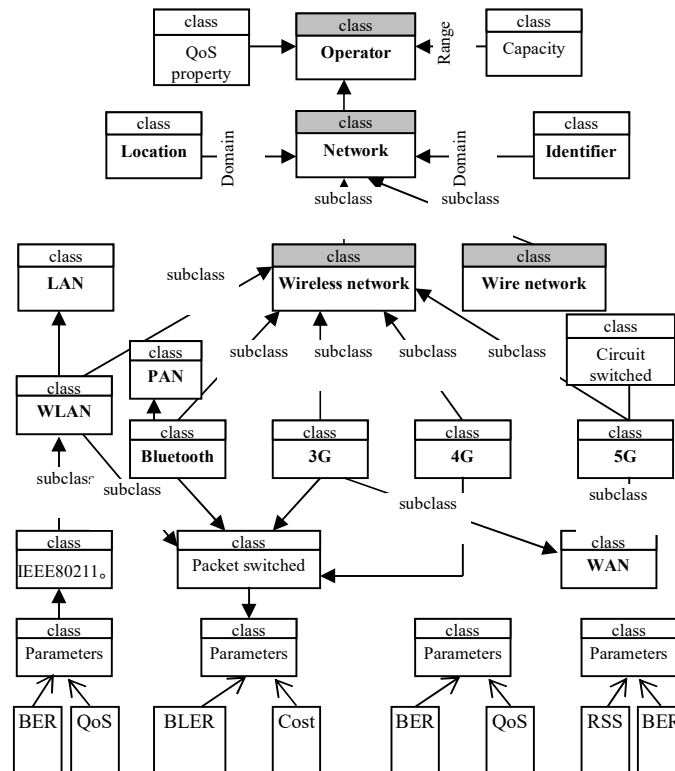
được sử dụng để tham chiếu đến một khái niệm cụ thể và những từ đồng nghĩa có thể có của những thuật ngữ này. Để ràng buộc việc giải thích những khái niệm và quan hệ, biểu đồ tiên đề (axiom schemata) như là sự phân biệt đối với các khái niệm như symmetry, reflexivity, transitivity. Cuối cùng, cũng là một trong những quan tâm đến việc sử dụng một ontology để lấy được dữ kiện mà không được mô hình hóa rõ ràng trong cơ sở tri thức nhưng có thể thu từ nó. Phân lớp đưa ra những tác vụ phụ khác nhau của công việc ontology learning:

- Thu thập những thuật ngữ liên quan, ngôn ngữ
- Sự nhận dạng những thuật ngữ đồng nghĩa, những biến thể
- Hệ thống khái niệm (concepts),
- Tổ chức phân cấp các khái niệm (concept hierchy),
- Phạm vi thích hợp learning những quan hệ (relations), thuộc tính với miền
- Tổ chức phân cấp những mối quan hệ (relations),

Khái niệm những tiên đề tùy ý (arbitrary axioms): trong hầu hết các trường hợp, những lớp xây dựng dựa trên những lớp ở phía dưới đã xây dựng rồi. Những quy trình ở những lớp cao hơn phụ thuộc vào output của những quy trình tương ứng ở các lớp thấp hơn. Tuy nhiên, những tác vụ ở những lớp khác nhau có thể được nhóm lại với nhau và thực hiện cùng một thuật toán



Hình 1.9. Quy trình ontology learning



Hình 1.10. Xây dựng các khái niệm ontology trong hệ thống thông tin vô tuyến

Những thuật ngữ có thể là từ đơn hoặc từ ghép mà có nghĩa với lĩnh vực đã cho. Đầu vào cho tác vụ này là tập hợp những tài liệu liên quan đến lĩnh vực (domain) quan tâm, và đầu ra là tập hợp chuỗi SC và SR chứa đựng những thuật ngữ mà được dùng như là dấu hiệu cho khái niệm và quan hệ giữa chúng.

1.4.2. Logic mờ (Fuzzy logic)

Từ những năm đầu của thập kỷ 90 cho đến nay, hệ điều khiển mờ và mạng nơron (fuzzy system and neuron network) được các nhà khoa học đặc biệt quan tâm nghiên cứu và ứng dụng vào sản xuất. Tập mờ và logic mờ (fuzzy set and fuzzy logic) dựa trên các suy luận của con người về các thông tin “không chính xác” hoặc “không đầy đủ” về hệ thống để hiểu biết và điều khiển hệ thống một cách chính xác. Điều khiển mờ chính là bắt chước cách xử lý thông tin và điều khiển của con người đối với các đối tượng, do vậy, điều khiển mờ đã giải quyết thành công các vấn đề điều khiển phức tạp trước đây chưa giải quyết được. Có thể nói, công nghệ tính toán

mờ là một trong những lĩnh vực nghiên cứu phát triển mạnh mẽ nhất, được đánh dấu bằng sự ra đời của hàng loạt phương pháp kỹ thuật ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau, việc tích hợp các kỹ thuật logic mờ với các phương pháp phân tích khác ngày càng diễn ra mạnh mẽ, logic mờ được ứng dụng rộng rãi để giải quyết rất nhiều bài toán của khoa học ứng dụng, những lĩnh vực có thể kể ra ở đây là vận trù học, hỗ trợ quyết định, điều khiển, nhận dạng mẫu, kinh tế, quản lý, xã hội học, mô hình thống kê, máy học, thiết kế cơ khí, chế tạo, phân lớp, suy luận, thu nhận thông tin, quản lý cơ sở dữ liệu, chuẩn đoán y tế, hệ cơ sở tri thức,... Đặc biệt trong lĩnh vực xử lý tri thức, công nghệ tính toán mờ tỏ ra vô cùng hiệu quả. Do tri thức con người thường được biểu diễn bằng các thể hiện ngôn ngữ, bằng các câu hỏi, các phát biểu về thế giới đang xét. Vấn đề đối với việc xử lý tri thức là không chỉ ở việc liên kết các tri thức, các phát biểu về thế giới đang xét, mà còn ở việc đánh giá sự đúng đắn của chúng, logic hình thức cổ điển cho phép chúng ta đánh giá một phát biểu về thế giới là hoặc đúng, hoặc sai. Tuy nhiên, trong thực tế, đánh giá một phát biểu chỉ có đúng hoặc sai là rất khó nếu không muốn nói là phi thực tế, ví dụ: đối với các tri thức dạng “Áp suất cao”, “Thể tích nhỏ”, “Quả táo đỏ”, việc xác định một cách chính xác trị chân lý của chúng là đúng hay sai là rất khó do các từ “cao”, “nhỏ” hay “đỏ” hoàn toàn có tính chất mơ hồ. Từ đó Zadeh đã mở rộng logic mệnh đề thành logic mờ, trong đó, mỗi mệnh đề P sẽ được gán cho 1 trị chân lý (P), một giá trị trong đoạn $[0, 1]$, biểu diễn mức độ đúng của mệnh đề đó. Một số định nghĩa phép toán về tập mờ thực hiện trong phạm vi nghiên cứu như sau;

Định nghĩa 1.1: Hàm $n: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ không tăng thỏa mãn các điều kiện $n(0) = 1, n(1) = 0$ gọi là hàm phủ định (negation – hay là phép phủ định).

Định nghĩa 1.2: Hàm phủ định n là chặt nếu nó là hàm liên tục và giảm chặt. Hàm phủ định n là mạnh nếu nó là chặt và thỏa mãn $n(n(x)) = x, \forall x \in [0, 1]$

Định nghĩa 1.3: Cho n là hàm phủ định, phần bù A^C của tập mờ A là một tập mờ với hàm thuộc cho bởi $A^C(a) = n(A(a))$, với mỗi $a \in \Omega$. Phần bù là trường hợp riêng khi $n(x)$ là hàm phủ định thường dùng

Định nghĩa 1.4: Cho n là phép phủ định mạnh, S là một t - đối chuẩn. Khi đó hàm T xác định trên $[0, 1]^2$ bằng biểu thức:

$$T(x, y) = n(S(n(x), n(y))), \text{ với } \forall 0 \leq x, y \leq 1 \text{ là một } t\text{-chuẩn.}$$

Định nghĩa 1.5: Cho n là phép phủ định mạnh, T là một t - chuẩn, khi ấy hàm S xác định trên $[0, 1]^2$ bằng biểu thức:

$$S(x, y) = n(T(n(x), n(y))), \text{ với } \forall 0 \leq x, y \leq 1 \text{ là một } t\text{-đối chuẩn.}$$

Dùng hai định nghĩa trên để chọn nhiều cặp (t - chuẩn, t - đối chuẩn) đối ngẫu tương ứng, chọn $n(x) = 1 - x$, ta có:

Bảng 1.1. Các cặp đối ngẫu với $n(x) = 1-x$

$T(x, y)$	$S(x, y)$
$\min(x, y)$	$\max(x, y)$
$x.y$	$x + y - x.y$
$\max \{x + y - 1, 0\}$	$\min \{x + y, 1\}$
$\min_0(x, y) = \{ \dots \}$ $\min \{x, y\}$ với $(x + y) > 1$ 0 với $(x + y) \leq 1$	$\text{Max}1(x, y) = \{ \dots \}$ $\max \{x, y\}$ với $(x + y) < 1$ 0 với $(x + y) \geq 1$
$Z(x, y) = \{ \dots \}$ $\min \{x, y\}$ với $\max(x, y) = 1$ 0 với $\max(x, y) < 1$	$Z''(x, y) = \{ \dots \}$ $\max \{x, y\}$ với $\min(x, y) = 0$ 0 với $\min(x, y) > 0$

Trong lý thuyết tập mờ và suy luận với logic mờ, một số tính chất trong lý thuyết tập hợp theo nghĩa thông thường không còn đúng nữa. Chẳng hạn trong lý thuyết tập hợp, với bất kỳ tập rõ $A \in X$, thì ta có: $A \cap A^C = \Phi$; $A \cup A^C = X$.

Định nghĩa 1.6: Cho T là t - chuẩn, S là t - đối chuẩn, n là phép phủ định. Ta có một số tính chất sau: Tính lũy (idempotency), có hai dạng định nghĩa nuốt suy rộng từ lý thuyết tập hợp: $T(S(x, y), x) = x$, với $\forall x, y \in [0, 1]$ và $S(T(x, y), x) = x$, với $\forall x, y \in [0, 1]$ đúng khi và chỉ khi $T(x, y) = \min(x, y)$, với $\forall x, y \in [0, 1]$, $S(x, y) = \max(x, y)$, với $\forall x, y \in [0, 1]$

Hiện nay, khái niệm ontology dựa trên logic mô tả truyền thống, không đủ khả năng để mô tả thông tin mờ, không thể đại diện đầy đủ và xử lý tri thức chắc chắn trong các miền ứng dụng khác nhau, cùng với các định nghĩa mờ được đề xuất, bài

toán nghiên cứu trong bài viết này tập trung vào hai vấn đề: Thứ nhất là mô hình hóa ontology mờ dựa trên logic mô tả mờ và thứ hai là đề xuất phương pháp về tích hợp ontology dựa trên phương pháp học máy, suy diễn và quyết định.

1.4.3. Học máy (Machine learning)

Học máy, một trong các công cụ trí tuệ nhân tạo mạnh mẽ, một giải pháp đầy hứa hẹn cho mạng 5G [51], chúng ta có thể hình dung một vô tuyến thông minh có khả năng tự động truy cập phổ sẵn có với sự trợ giúp của máy học, điều khiển công suất truyền dẫn phù hợp vì mục tiêu hiệu quả năng lượng (bảo toàn năng lượng) cũng như điều chỉnh các giao thức truyền dẫn.

Có hai định nghĩa khá rõ ràng về Machine Learning như sau: Theo Arthur Samuel (1959): Máy học là ngành học cung cấp cho máy tính khả năng học hỏi mà không cần được lập trình một cách rõ ràng. Theo Giáo sư Tom Mitchell - Carnegie Mellon University thì Máy học là một chương trình máy tính được nói là học hỏi từ kinh nghiệm E từ các tác vụ T và với độ đo hiệu suất P . Nếu hiệu suất của nó áp dụng trên tác vụ T và được đo lường bởi độ đo P tăng từ kinh nghiệm E [52]. Máy học được phân làm 3 loại chính là học có giám sát (Supervised learning SL), học không giám sát (Unsupervised learning UL) và học tăng cường (Reinforcement learning), trong đó phổ biến nhất là 2 loại SL và UL. Học có giám sát [53] là một kỹ thuật học máy để học tập từ tập dữ liệu được gán nhãn cho trước, tập dữ liệu cho trước sẽ chứa nhiều bộ dữ liệu, mỗi bộ dữ liệu có cấu trúc theo cặp $\{x, y\}$ với x được xem là dữ liệu thô (raw data) và y là nhãn của dữ liệu đó. Nhiệm vụ của học có giám sát là dự đoán đầu ra mong muốn dựa vào giá trị đầu vào, để nhận ra, học có giám sát tức là máy học dựa vào sự trợ giúp của con người, hay nói cách khác con người dạy cho máy học và giá trị đầu ra mong muốn được định trước bởi con người.

Tập dữ liệu huấn luyện hoàn toàn được gán nhãn dựa vào con người, tập càng nhỏ thì máy tính học càng ít. SL cũng được áp dụng cho 2 nhóm bài toán chính là bài toán dự đoán (regression problem) và bài toán phân lớp (classification

problem), Kỹ thuật SL thực chất là để xây dựng một hàm có thể xuất ra giá trị đầu ra tương ứng với tập dữ liệu. Ta gọi hàm này là hàm $h(x)$ và mong muốn hàm này xuất ra đúng giá trị y với một hoặc nhiều tập dữ liệu mới khác với dữ liệu được học, hàm $h(x)$ cần các loại tham số học khác nhau tùy thuộc với nhiều bài toán khác nhau, việc học từ tập dữ liệu (training) cũng chính là tìm ra bộ tham số học cho hàm $h(x)$.

Học không có giám sát là một kỹ thuật của máy học nhằm tìm ra một mô hình hay cấu trúc bị ẩn bởi tập dữ liệu không được gán nhãn cho trước. UL khác với SL là không thể xác định trước output từ tập dữ liệu huấn luyện được. Tùy thuộc vào tập huấn luyện kết quả output sẽ khác nhau. Trái ngược với SL, tập dữ liệu huấn luyện của UL không do con người gán nhãn, máy tính sẽ phải tự học hoàn toàn, có thể nói, học không giám sát thì giá trị đầu ra sẽ phụ thuộc vào thuật toán UL. Các kỹ thuật học máy có thể kể đến là mô hình hồi quy và thuật toán k-hàng xóm gần nhất (KNN), vector hỗ trợ máy (SVM) và học máy Bayes; k-means phân nhóm (phân cụm), phân tích thành phần chính và độc lập; quy trình quyết định Markov, kỹ thuật Q-learning và đa nhánh.... Trong phạm vi nghiên cứu, luận án giới thiệu về quan hệ của các kỹ thuật học máy, ứng dụng học máy trong các mô hình nghiên cứu, mô hình hồi quy và thuật toán k-hàng xóm gần nhất (KNN) trong các mạng vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten.

1.5. Kết luận chương 1

Chương này đã trình bày về tổng quan về hệ thống thông tin vô tuyến nói chung và hệ thống thông tin vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten, hiệu quả sử dụng năng lượng trong các hệ thống thông tin vô tuyến và lợi ích việc sử dụng hiệu quả thông tin vô tuyến và sự quan tâm của các tổ chức trong nước và thế giới, tổng quan các vấn đề hiệu quả năng lượng của các tác giả đi trước, các vấn đề tồn tại, hướng nghiên cứu và các kết quả cần đạt được của luận án. Giới thiệu tổng quan các nền tảng lý thuyết và thuật toán liên quan đến nghiên cứu của luận án, các chương tiếp theo sẽ trình bày từng vấn đề nội dung nghiên cứu được đặt ra.

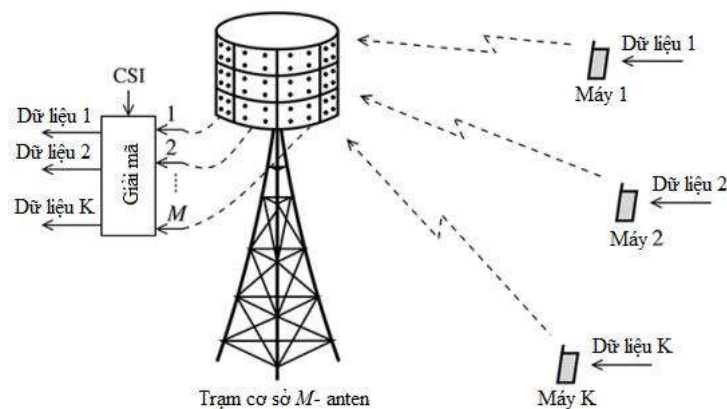
CHƯƠNG 2. NÂNG CAO HIỆU QUẢ SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG TRONG HỆ THỐNG VÔ TUYẾN SỬ DỤNG NHIỀU ĂNG TEN TDD

2.1. Giới thiệu chung

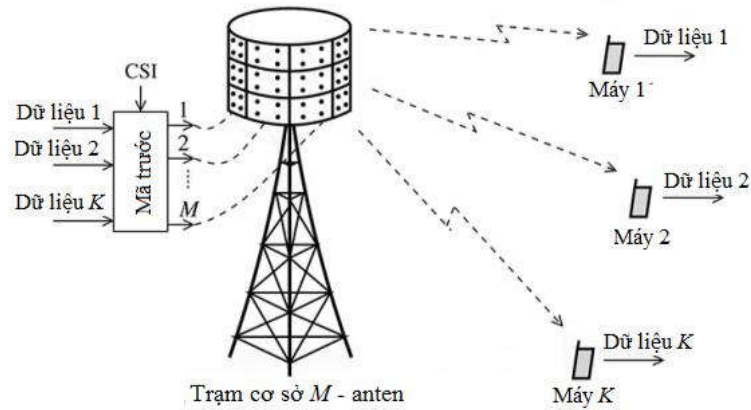
Chương này trình bày tổng quan về hệ thống nhiều ăng ten phân chia theo thời gian đa người dùng (Multi user MIMO), phân tích hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống thông qua các tham số công suất tiêu thụ, tốc độ đạt được, ảnh hưởng của số ăng ten trạm gốc và ảnh hưởng của số thuê bao trong một trạm gốc, đề xuất mô hình sử dụng hiệu quả năng lượng và giải thích, đánh giá các kết quả mô phỏng và tính toán.

2.2. Hệ thống nhiều ăng ten đa người dùng TDD

Nghiên cứu hệ thống nhiều ăng ten phân chia theo thời gian đa người dùng là một trạm gốc (trạm cơ sở) phục vụ nhiều đầu cuối sử dụng chung tài nguyên không gian và tần số. Hình 2.1 mô tả hệ thống đa người dùng cho cả đường lên và đường xuống, kênh đường lên được gọi là kênh đa truy nhập, kênh đường xuống gọi là kênh quảng bá, trong kênh quảng bá, mỗi máy đầu cuối nhận các dữ liệu khác nhau. Trong cả đường lên và đường xuống, luôn có số K dữ liệu kết nối đồng thời hoạt động tại mỗi kênh theo không gian và thời gian.



(a) Đường lên



(b) Đường xuống

Hình 2.1. Hệ thống đa người dùng [95]

Tại mỗi đường lên, mỗi đầu cuối cũng có giá trị công suất riêng khác với kênh đường xuống và là công suất giới hạn được tính bằng tổng công suất phát xạ của tất cả các ăng ten, trên đường lên, trạm phát phải biết thông tin kênh, và mỗi đầu cuối phải được cho biết tốc độ truyền tải cho phép riêng biệt, Trên đường xuống, cả trạm cơ sở và đầu cuối đều phải biết thông tin kênh. Do đó hệ thống đa người dùng tiêu tốn nhiều tài nguyên cho việc truyền thông tin pilot ở cả hai chiều. Mối quan hệ giữa ăng ten phát và thu là tuyến tính theo phương trình của Maxwell. Tuy nhiên do những biến động về máy phát, máy thu hay tốc độ dữ liệu thực tế nên mối quan hệ giữa các ăng ten cũng thay đổi theo thời gian và môi trường truyền.

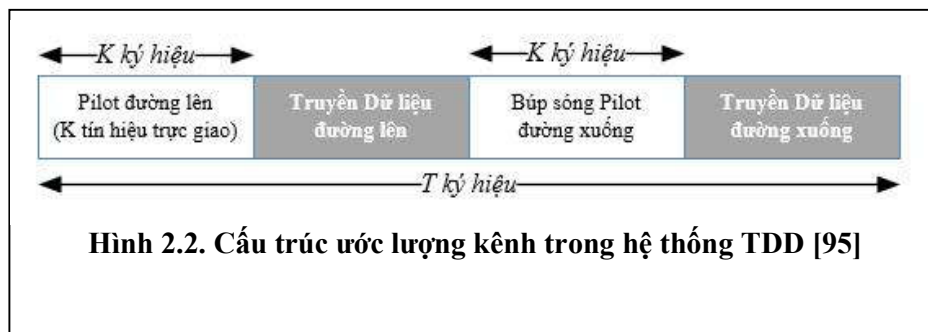
Khác với hệ thống thông thường ($M=K$), ở hệ thống đa người dùng có số ăng ten tại trạm cơ sở là $M \gg K$. Ngoài ra có thêm đặc điểm khác biệt so với hệ thống thông thường là chỉ có trạm cơ sở học thông tin kênh, Số lượng ăng ten M lớn hơn nhiều so với K , nguyên lý xử lý tuyến tính đơn giản được dùng ở cả đường lên và đường xuống.

Giả sử tất cả người dùng đều sử dụng chung nguồn tài nguyên thời gian và tần số, đồng thời trạm phát và người dùng biết chính xác kênh, kênh truyền được biết qua huấn luyện giữa người dùng và trạm phát với cách thức tùy thuộc và giao thức

của hệ thống. Trong hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten, hàng trăm hoặc hàng nghìn ăng ten tại trạm phát phục vụ đồng thời hàng trăm người dùng tại cùng một nguồn tài nguyên tần số, do đó phương thức được lựa chọn sử dụng trong hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten thường là truyền song công phân chia theo thời gian (TDD) [96], [97]

Đối với hệ thống FDD, truyền tín hiệu đường lên và đường xuống sử dụng phổ tần số khác nhau, do đó kênh đường lên và đường xuống là bất đối xứng. Tại đường xuống, trạm phát cần thông tin kênh (CSI) để mã hóa trước tín hiệu trước khi phát đến số K người dùng, số M ăng ten tại trạm phát phát M tín hiệu pilot trực giao với nhau đến K người dùng. Mỗi người dùng sẽ ước lượng kênh dựa trên pilot nhận được và phản hồi lại M kênh người dùng đến trạm phát, quy trình này yêu cầu tối thiểu M kênh đường xuống và M kênh đường lên, tương tự đối với đường lên, K người dùng phát K tín hiệu pilot trực giao đến trạm phát, trạm phát ước lượng kênh và phản hồi lại. Do đó tổng quá trình ước lượng kênh trong hệ thống FDD yêu cầu tối thiểu $(M+K)$ kênh đường lên và M cho đường xuống.

Đối với hệ thống TDD, kênh truyền đường lên và đường xuống sử dụng chung dải phổ tần số, nhưng khác khe thời gian, kênh đường lên và đường xuống có tính đối xứng nên thông tin kênh có được qua đường lên có thể sử dụng luôn cho đường xuống. Trên đường lên K người dùng phát K chuỗi pilot trực giao đến trạm phát, sau đó sử dụng thông tin kênh này để mã trước tín hiệu gửi xuống và đồng thời tạo búp sóng pilot, tổng quá trình này cần sử dụng $2K$ kênh truyền. Như vậy thời gian cần thiết để truyền pilot tỉ lệ với số ăng ten người dùng và không phụ thuộc vào số ăng ten ở trạm cơ sở [98].



Số lượng kênh truyền cần thiết để phục vụ tín hiệu pilot và thông tin phản hồi trong hệ thống Multi user MIMO và hệ thống sử dụng nhiều ăng ten. Để nhận thấy hệ thống sử dụng nhiều ăng ten với giao thức TDD sử dụng ít tài nguyên nhất, do số lượng kênh truyền cần sử dụng không phụ thuộc vào số ăng ten trạm cơ sở M .

Bảng 2.1. Tổng số kênh truyền yêu cầu cho các hệ thống MIMO [95]

	FDD		TDD	
	Đường lên	Đường xuống	Đường lên	Đường xuống
Multiuser MIMO	$K (\text{pilot}) + M (\text{hệ số kênh})$	$M (\text{pilot})$	$K (\text{pilot})$	$M (\text{pilot})$
Sử dụng nhiều ăng ten	$K (\text{pilot}) + M (\text{hệ số kênh})$	$M (\text{pilot})$	$K (\text{pilot})$	-

Giao thức truyền FDD phụ thuộc vào số anten trạm phát M , do đó trong hệ thống sử dụng nhiều ăng ten, số anten M là rất lớn nên giao thức TDD được chọn để ước lượng kênh do không phụ thuộc vào M .

Xét một hệ thống mạng tế bào với C cell [99]. Mỗi trạm gốc có cấu hình N_t ăngten, phục vụ đồng thời cho U người dùng được phân bố một cách ngẫu nhiên trong cell và thiết bị đầu cuối người dùng sử dụng là ăngten đơn. Khi đó, gọi $\mathcal{C} := \{1, 2, \dots, C\}$ là tập chỉ số lượng cell trong mạng và $\mathcal{U} := \{1, 2, \dots, U\}$ là tập số người dùng hoạt động trong mỗi cell, trong hệ thống MIMO cỡ rất lớn thì số lượng ăngten luôn lớn hơn rất nhiều so với số người dùng được phục vụ. Hệ thống mạng sử dụng giao thức truyền song công phân chia theo thời gian TDD với sử dụng lại tần số. Với giao thức này, tín hiệu đường lên và đường xuống cùng truyền trên một kênh tần số đơn, tại những thời điểm khác nhau, giả sử rằng trạm gốc và người dùng đồng bộ hoàn toàn trên cả thời gian và tần số, có thể bỏ qua các khoảng bảo vệ trong các hệ thống thông tin di động trước đây.

2.3. Phân tích các chỉ số liên quan để hiệu quả sử dụng năng lượng

Hiệu quả năng lượng trong hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten đa người dùng, có hai thành phần chính được xem xét trong phạm vi luận án đó là tổng dữ liệu (dịch vụ) trao đổi và công suất tiêu thụ trong trạm gốc, trong đó tổng dữ liệu trao đổi sẽ phụ thuộc vào tốc độ dữ liệu, cường độ dữ liệu, tỷ lệ lỗi bit..., để phân tích và đánh giá được hiệu quả sử dụng năng lượng trong hệ thống thì xem xét tốc độ dữ liệu và công suất tiêu thụ.

2.3.1. Phân tích công suất tiêu thụ

Trong phần này, phân tích công suất tiêu thụ trong hệ thống, ký hiệu $P_{t,b}$ là công suất tiêu thụ tổng trong cell b trong một khung, giải thiết $P_{t,b}$ gồm hai thành phần chính: công suất bức xạ và công suất tiêu thụ mạch [101], [102].

(a) Công suất bức xạ

Ký hiệu η_{BS} là hiệu năng bộ khuếch đại công suất tại trạm gốc và η_{UE} là hiệu năng bộ khuếch đại công suất tại những người dùng, trong đó, $0 < \eta_{BS}, \eta_{UE} \leq 1$. Ký hiệu, P_{RP-p} và P_{RP-r} là công suất bức xạ của các người dùng trong một cell trong giai đoạn dò kênh và trong giai đoạn truyền dữ liệu đường lên. Ký hiệu P_{RP-f} là công suất bức xạ của trạm gốc trong suốt quá trình truyền dữ liệu đường xuống, công suất bức xạ tổng trong một khung là:

$$\begin{aligned}
 P_{RP}(\tau_p) &= P_{RP-p} + P_{RP-r} + P_{RP-f} \\
 &= \frac{U\rho_p\tau_p}{\eta_{UE}} + \frac{U\rho_r(\tau_t - \tau_p)}{2\eta_{UE}} + \frac{\rho_f(\tau_t - \tau_p)}{2\eta_{BS}} \\
 &= \left[\frac{U(2\rho_p - \rho_r)}{2\eta_{UE}} - \frac{\rho_f}{\eta_{BS}} \right] \tau_p + \left(\frac{U\rho_r}{2\eta_{UE}} + \frac{\rho_f}{2\eta_{BS}} \right)
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

Trong đó, các biến là độc lập với N_t .

(b) Công suất tiêu thụ mạch

Chúng ta sử dụng mô hình công suất tiêu thụ mạch thực tế cho các hệ thống được đề xuất trong [102] [103], công suất tiêu thụ của các thành phần khác nhau và các hoạt động tính toán được trình bày chi tiết ở dưới đây.

Đầu tiên, ký hiệu P_{TC} là công suất tiêu thụ của các chuỗi máy thu phát. P_{BS} là công suất tiêu thụ của các các phần tử mạch dành riêng cho một ăngten trạm gốc và P_{UE} là công suất tiêu thụ các phần tử mạch dành cho một người dùng đơn ăngten. Cả P_{BS} và P_{UE} đều độc lập với N_t , U và tốc độ đạt được. ta có:

$$P_{TC}(N_t) = (N_t P_{BS} + U P_{UE}) \tau_t \quad (2.2)$$

Trong đó, $P_{TC}(N_t)$ độc lập với τ_p .

Thứ hai, gọi P_{CE} là công suất tiêu thụ của quá trình ước lượng kênh, L_{BS} và L_{UE} là hiệu năng tính toán trong mục các phép toán số học giá trị phức trên Joule (flops/Watt) tại trạm gốc và những người dùng. trong giai đoạn dò kênh, trạm gốc b sẽ thực hiện tương quan $Y_{p,b} \in \mathbb{C}^{N_t \times \tau_p}$ với $\psi_u \in \mathbb{C}^{\tau_p \times 1}$. Đây là phép tính đại số tuyến tính tiêu chuẩn và được thực hiện trong mỗi khung, ta có:

$$P_{CE}(\tau_p, N_t) = \frac{2UN_t\tau_p}{L_{BS}} \quad (2.3)$$

Thứ ba, gọi $P_{CID,b}$ là công suất tiêu thụ của các đơn vị mã hóa và giải mã của cell b . Gọi P_{CODEC} là công suất tiêu thụ tổng tính theo Watt trên mỗi bit cho việc mã hoá và giải mã một bit thông tin. Do đó, chúng ta có:

$$P_{C/D,b}(\tau_p, N_t) = P_{CODEC} \frac{(\tau_t - \tau_p)}{2} R_{t,b}(\tau_p, N_t) \quad (2.4)$$

Thứ tư, gọi P_{BT} là phần công suất tiêu thụ phụ thuộc vào tải trên một bit và công suất này tương tự cho cả đường lên và đường xuống. Do đó, công suất tiêu thụ tổng của phần đường trực phụ thuộc vào tải của cell b là:

$$P_{BH,b}(\tau_p, N_t) = P_{BT} \frac{(\tau_t - \tau_p)}{2} R_{t,b}(\tau_p, N_t) \quad (2.5)$$

Thứ năm, gọi P_{LP} là công suất tiêu thụ của quá trình xử lý tuyến tính. tại trạm gốc, có hai hoạt động tính toán chính trong quá trình xử lý tuyến tính là: i) xác định ma trận bộ tách sóng, bộ tiền mã hóa và ii) quá trình nhân vectơ ký hiệu được truyền (hoặc nhận được) với ma trận bộ tiền mã hóa (hoặc ma trận bộ tách sóng). Vì hoạt động tính toán đầu tiên được thực hiện trên mỗi khung, do đó công suất tiêu thụ tương ứng sẽ là [103]:

$$P_{LP-C}(N_t) = \frac{3N_t U}{L_{BS}} \quad (2.6)$$

Công suất tiêu thụ của hoạt động nhân vectơ ma trận là:

$$P_{LP-M}(N_t, \tau_p) = (\tau_t - \tau_p) \frac{2N_t U}{L_{BS}} \quad (2.7)$$

Do đó, công suất tiêu thụ tổng cho quá trình xử lý tuyến tính là:

$$P_{LP}(\tau_p, N_t) = \frac{N_t U}{L_{BS}} [3 + 2(\tau_t - \tau_p)] \quad (2.8)$$

Cuối cùng, gọi P_{FIX} là công suất tiêu thụ cố định được sử dụng cho quạt làm mát, báo hiệu điều khiển, và công suất phụ thuộc vào tải của kiến trúc hạ tầng đường trực, bộ dao động nội và bộ xử lý băng gốc [104]. Chú ý rằng P_{FIX} là không phụ thuộc vào τ_p và N_t .

(c) Công suất tiêu thụ tổng

Công suất tiêu thụ mạch tổng của cell b trong một khung, ký hiệu là $P_{CP,b}$ là:

$$\begin{aligned} P_{CP,b}(\tau_p, N_t) &= P_{FIX} + P_{TC}(N_t) + P_{CE}(\tau_p, N_t) \\ &+ P_{CID,b}(\tau_p, N_t) + P_{BH,b}(\tau_p, N_t) + P_{LP}(\tau_p, N_t) \end{aligned} \quad (2.9)$$

Theo phân tích ở trên, ta có công suất tiêu thụ tổng được định nghĩa là: $P_{t,b}(\tau_p, N_t) := P_{RP}(\tau_p) + P_{CP,b}(\tau_p, N_t)$. Chúng ta có, công suất tiêu thụ tổng tương đương tất định tương ứng của cell b trong một khung, được ký hiệu là $\bar{P}_{t,b}(\tau_p, N_t)$.

2.3.2. Phân tích tốc độ đạt được

Chúng ta giả sử rằng các trạm gốc sử dụng quá trình xử lý kết hợp tỷ số tối đa tuyến tính đơn giản MRC hoặc truyền tỷ số tối đa tuyến tính đơn giản MRT được dựa trên ước lượng kênh, khi đó $\mathbf{w}_{bu} = \hat{\mathbf{h}}_{bbu}$, và $\mathbf{f}_{bu} = \hat{\mathbf{h}}_{bbu}$. Chúng ta, sử dụng phương pháp tương đương tất định [99], [100] để xấp xỉ tỷ lệ tín hiệu trên tạp âm cộng nhiễu đạt được và tốc độ của người dùng u trong cell b .

(a) Tốc độ ở đường lên

Ở đường lên, theo như [100], chúng ta có thể viết lại $\tilde{y}_{r,bu}$ lại như sau:

$$\tilde{y}_{r,bu} = \mathbf{w}_{bu}^* \mathbf{h}_{bbu} x_{r,bu} + \frac{1}{\sqrt{\rho_r}} \tilde{z}_{r,bu} + \sum_{(c,k) \neq (b,u)} \mathbf{w}_{bu}^* \mathbf{h}_{bck} x_{r,ck} \quad (2.10)$$

Sau khi biến đổi ta có:

$$\tilde{y}_{r,bu} = \mathbf{w}_{bu}^* \mathbf{g}_{bbu} x_{r,bu} + \mathbf{w}_{bu}^* (\mathbf{h}_{bbu} - \mathbf{g}_{bbu}) x_{r,bu} + \sum_{(c,k) \neq (b,u)} \mathbf{w}_{bu}^* \mathbf{h}_{bck} x_{r,ck} + \frac{1}{\sqrt{\rho_r}} \tilde{z}_{r,bu} \quad (2.11)$$

Ứng dụng phương pháp thường được sử dụng trong [99],[100]. Ý tưởng xử lý $\tilde{y}_{r,bu}$ như là một tín hiệu thu được của hệ thống SISO với ảnh hưởng của kênh \mathbf{g}_{bbu} , trong khi đó những thành phần còn lại giống như là nhiễu Gauss trắng cộng không tương quan. Khi đó, công suất tín hiệu mong muốn là:

$$S_{r,bu} = \left| \mathbf{w}_{bu}^* \mathbf{g}_{bbu} \right|^2 \quad (2.12)$$

Công suất nhiễu cộng tạp âm là:

$$I_{r,bu} = \left| \mathbf{w}_{bu}^* (\mathbf{h}_{bbu} - \mathbf{g}_{bbu}) \right|^2 + \sum_{(c,k) \neq (b,u)} \left| \mathbf{w}_{bu}^* \mathbf{h}_{bck} \right|^2 + \frac{1}{\rho_r} \left| \mathbf{w}_{bu}^* \right|^2 \quad (2.13)$$

Tốc độ đạt được trên đường lên tương đương tất định tương ứng của người dùng u trong cell b là:

$$\bar{R}_{r,bu}(\tau_p, N_t) = \log_2 \left[1 + \bar{\eta}_{r,bu}(\tau_p, N_t) \right] \quad (2.14)$$

(b) *Tốc độ ở đường xuống*

Chúng ta giả sử rằng người dùng không có bất cứ thông tin trên kênh tức thời ở đường xuống, chúng ta sử dụng kỹ thuật được sử dụng trong [99], [100] để phân tích tốc độ đạt được ở đường xuống. Đặc biệt, người dùng u trong cell b chỉ biết $\mathbf{E}[\mathbf{h}_{bbu}^* \mathbf{f}_{bu}]$, tương tự như những phân tích ở đường lên, xem xét nhiễu cộng không tương quan trường hợp tồi nhất. công suất tại người dùng u trong cell b là:

$$S_{f,bu} = \rho_f \lambda_b \left| \mathbf{E}[\mathbf{h}_{bbu}^* \mathbf{f}_{bu}] \right|^2 \quad (2.15)$$

Công suất nhiễu cộng với tạp âm tại người dùng u trong cell b là:

$$I_{f,bu} = \rho_f \lambda_b \text{var}[\mathbf{h}_{bbu}^* \mathbf{f}_{bu}] + 1 + \sum_{(c,k) \neq (b,u)} \rho_f \lambda_c \mathbf{E} \left[\left| \mathbf{h}_{cbu}^* \mathbf{f}_{ck} \right|^2 \right] \quad (2.16)$$

Theo kết quả đã nghiên cứu [100] và bỏ qua những thành phần tiệm cận về không ta có:

$$S_{f,bu} = \lambda_b(\tau_p) |tr \Phi_{bbu}|^2 \quad (2.17)$$

$$I_{f,bu} = \sum_{c \neq b} \bar{\lambda}_c(\tau_p) |tr \Phi_{cbu}|^2 + \frac{1}{\rho_f} + \sum_{(c,k) \neq (b,u)} \bar{\lambda}_c(\tau_p) tr \mathbf{R}_{cbu} \Phi_{cck} \quad (2.18)$$

Tốc độ đạt được ở đường xuống tương đương tất định tương ứng của người dùng u trong cell b là:

$$\bar{R}_{f,bu}(\tau_p, N_t) = \log_2 \left[1 + \bar{\eta}_{f,bu}(\tau_p, N_t) \right] \quad (2.19)$$

Ký hiệu $R_{t,b}(\tau_p, N_t)$ là tốc độ tổng chưa chuẩn hóa trong cell b . Khi đó, tổng dữ liệu được trao đổi trong cell b trong cả một khung là $\frac{(\tau_t - \tau_p)}{2} R_{t,b}(\tau_p, N_t)$. Tốc độ tổng chưa chuẩn hóa tương đương tất định trong cell b trong khung a là:

$$\bar{R}_{t,b}(\tau_p, N_t) := \sum_{u=1}^U \left[\bar{R}_{r,bu}(\tau_p, N_t) + \bar{R}_{f,bu}(\tau_p, N_t) \right] \quad (2.20)$$

Tổng dữ liệu trao đổi tương đương tất định của một người dùng u trong cell b trong một khung là $\frac{(\tau_t - \tau_p)}{2} \bar{R}_{u,t,b}(\tau_p, N_t)$

2.3.3. Sử dụng hiệu quả năng lượng

Sử dụng hiệu quả năng lượng được định nghĩa cho một khung là tỷ lệ giữa tổng số dữ liệu đã trao đổi và tổng công suất tiêu thụ., gọi EE_b là hiệu quả năng lượng của cell b . Theo định nghĩa ta có:

$$EE_b(\tau_p, N_t) = \frac{(\tau_t - \tau_p) R_{u,t,b}(\tau_p, N_t)}{2P_{t,b}(\tau_p, N_t)} \quad (2.21)$$

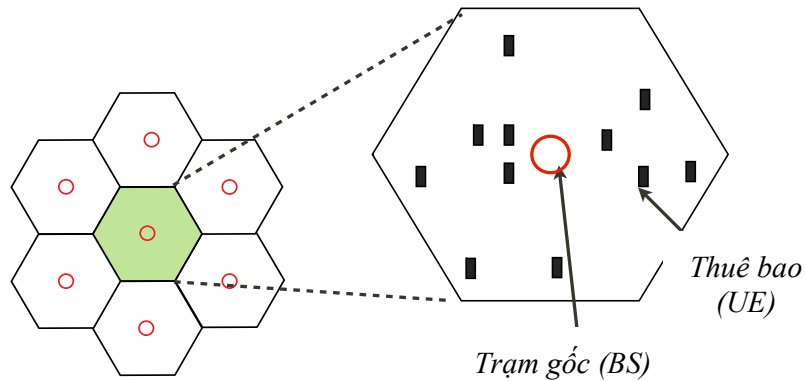
Do đó, hiệu quả năng lượng tương đương tất định của cell b trong một khung được định nghĩa là:

$$\overline{EE}_b(\tau_p, N_t) = \frac{(\tau_t - \tau_p) \bar{R}_{u,t,b}(\tau_p, N_t)}{2\bar{P}_{t,b}(\tau_p, N_t)} \quad (2.22)$$

Từ công thức ta thấy rằng hiệu quả năng lượng là một hàm phụ thuộc vào chiều dài của giai đoạn training τ_p và số ăng ten ở trạm gốc N_t . muốn hiệu quả năng lượng sử dụng trong hệ thống MIMO tốt thì chúng ta cần xem xét hai yếu tố đó sao cho tốc độ hệ thống lớn nhất và công suất tiêu thụ nhỏ nhất có thể.

2.3.4. Mô phỏng hệ thống đề xuất và đánh giá kết quả

Trong phần này, mô phỏng hệ thống và phân tích đánh giá kết quả, kịch bản mô phỏng và những tham số sử dụng mô phỏng sử dụng bộ chương trình mô phỏng *mMIMOSim* viết bằng ngôn ngữ Matlab và được phát triển bởi nhóm nghiên cứu của TS.Trương Trung Kiên và nhóm cộng sự (Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông) để mô phỏng một mạng thông tin di động có 7 cells, mỗi cell có hình lục giác đều được bố trí như trong hình vẽ, trong đó, các trạm gốc được đặt ở trung tâm của cell và được miêu tả bằng hình tròn, người dùng hay thuê bao có vị trí phân bố đều ngẫu nhiên trong diện tích của mỗi cell và được miêu tả bằng hình chữ nhật, giả thiết rằng các thuê bao trong mỗi cell sẽ trao đổi thông tin với trạm gốc trong cùng cell, các cell có cùng số người dùng và các cell có cấu hình trạm gốc giống nhau, ví dụ như: số ăng ten tại mỗi trạm gốc bằng nhau và cách thức triển khai ăng ten trong cell cũng tương tự nhau. Trong khi đó các UEs sử dụng ăng ten đơn đẳng hướng, số ăng ten tại một trạm gốc ít nhất gấp đôi số thuê bao trong cùng cell, $N_t \geq 2U$ và tập chuỗi hoa tiêu trực giao đủ lớn so với số người dùng trong mỗi cell và các cell sẽ tái sử dụng chung một tập chuỗi hoa tiêu trực giao này và sử dụng một phần bộ tham số của hệ thống thông tin di động 4G LTE/LTE-Advanced khi xây dựng kịch bản mô phỏng [102][103][105]. Mô hình mạng mô phỏng trong đó các trạm gốc được đặt ở trung tâm cell và được minh họa bằng một hình tròn ở tâm của các cell, các thuê bao có vị trí phân bố đều ngẫu nhiên trong diện tích của mỗi cell và minh họa bằng các hình chữ nhật.



Hình 2.3. Mô hình mô phỏng hệ thống TD-MIMO

Xem xét tính toán tốc độ đạt được trung bình trên đường lên và đường xuống của một người dùng trong trung tâm cell trong khi tất cả các người dùng khác được phân bố ngẫu nhiên không đồng nhất trong các cell liên quan, cũng như tính toán hiệu năng trung bình khi một người dùng đặc trưng được phân bố một cách không đồng nhất trên vòng tròn được đặt tại trung tâm cell tương ứng như trong hình 2.3, tính công suất tiêu thụ trong mạch thực tế và công suất tiêu thụ liên quan đến các hoạt động xử lý tín hiệu trong mỗi cell.

Bảng 2.2. Các tham số mô phỏng hệ thống

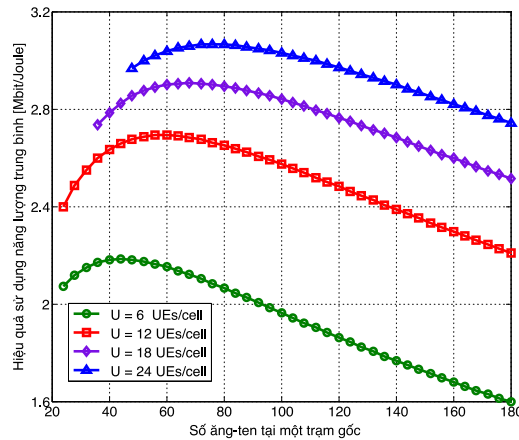
<i>Tên tham số</i>	<i>Giá trị và mô tả</i>
Mô hình suy hao đường truyền	$128,1 + 37,6 \log_{10}(d)$, trong đó $d > 35\text{m}$ là khoảng cách truyền dẫn tính theo đơn vị km
Công suất phát của MS ở đường lên	24dBm (trong cả quá trình truyền chuỗi hoa tiêu và truyền dữ liệu)
Công suất phát của trạm gốc BSs	43dBm
Tần số sóng mang	2GHz
Băng thông	20MHz
Mật độ tạp âm nhiệt	-174dBm/Hz
Băng thông kết hợp của kênh	180kHz
Thời gian kết hợp của kênh:	10ms
Tăng ích ăngten trạm gốc	10dBi
Tăng ích ăngten ở MS	0dBi
Hệ số tạp âm nhiệt ở trạm gốc	5dB
Hệ số tạp âm nhiệt ở MS	9dB
Hiệu suất tính toán tại trạm gốc	12,8 Gflops/W

<i>Tên tham số</i>	<i>Giá trị và mô tả</i>
Hiệu suất tính toán tại MS	5 Gflops/W
Hiệu suất của bộ khuếch đại công suất PA tại BS	0,39
Hiệu năng của bộ khuếch đại công suất PA tại MS	0,3
Công suất tiêu thụ cố định (các tín hiệu điều khiển, quạt,...)	18W
Công suất cần để chạy các phần tử mạch tại một ăng-ten tại trạm gốc BSs	1W
Công suất cần để chạy các phần tử mạch tại một MSs	0,1W
Công suất yêu cầu cho quá trình mã hóa và giải mã	0,9 W/(Gbit/s)
Công suất yêu cầu cho lưu lượng đường trục	0,25 W/(Gbit/s)

(a) Ảnh hưởng của số ăng ten ở trạm gốc

Kết quả mô phỏng hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống cỡ lớn dưới dạng hàm số của số ăng ten tại trạm gốc N_t cho các giá trị khác nhau của số thuê bao trong một cell $U \in \{6, 12, 18, 24\}$. Từ các kết quả mô phỏng trên, chúng ta có thể có một số nhận xét như sau: Với một giá trị số thuê bao trong một cell U cố định, hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống là một hàm lồi của số ăng-ten tại trạm gốc. Điều này có thể giải thích dựa vào tốc độ tăng của tốc độ bit tổng cộng và của tổng công suất tiêu thụ khi tăng số ăng ten tại trạm gốc, lưu ý rằng, tổng công suất tiêu thụ là một hàm tuyến tính bậc nhất của số ăng ten tại trạm gốc. Trong khi đó, tốc độ bit tổng cộng là một hàm logarithm của số ăng ten tại trạm gốc. Vì vậy, khi số ăng ten tại trạm gốc nhỏ, khi tăng số ăng ten tại trạm gốc, hiệu năng sử dụng năng lượng của hệ thống tăng gần như tuyến tính. Nếu tiếp tục tăng số ăng ten tại trạm gốc, đến một thời điểm nhất định, tốc độ tăng của tốc độ bit tổng cộng sẽ chậm hơn tốc độ tăng của tổng công suất tiêu thụ, khiến cho hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống bắt đầu giảm. Với số thuê bao trong một cell $U \in \{6, 12, 18, 24\}$, số ăng ten tại trạm gốc tối ưu về hiệu quả sử dụng năng lượng tương ứng là $N_t = \{44, 60, 68, 76\}$. Hiện nay, một số công ty đã triển khai thử nghiệm một số hệ thống thông tin di

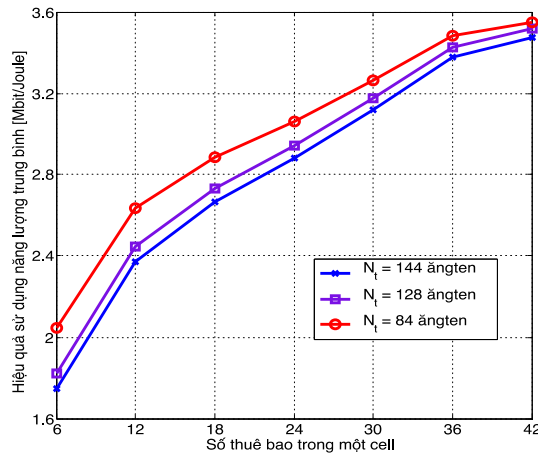
động MIMO cỡ rất lớn có tới 128 ăng ten nhằm mục đích nghiên cứu và thử nghiệm. Có thể nhận thấy, để tối ưu hiệu quả sử dụng năng lượng trong hệ thống sử dụng nhiều ăng ten, số lượng ăng ten cần triển khai tại mỗi trạm gốc hoàn toàn nằm trong giới hạn cho phép của các công nghệ hiện có.



Hình 2.4. Ảnh hưởng của số lượng ăng ten tại trạm gốc lên hiệu quả sử dụng năng lượng trung bình

(b) Ảnh hưởng của số thuê bao trong một cell

Kết quả mô phỏng hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống sử dụng nhiều ăng ten là hàm số của số thuê bao trong một cell với số ăng ten tại trạm gốc cho trước, chúng ta có thể nhận thấy rằng với số ăng ten tại trạm gốc cho trước, việc tăng số thuê bao trong một cell (sao cho số thuê bao trong một cell luôn ít hơn một nửa số ăng ten tại trạm gốc) sẽ làm tăng hiệu quả sử dụng năng lượng trung bình của hệ thống, tuy nhiên, lượng tăng hiệu quả sử dụng năng lượng trung bình của hệ thống trên mỗi thuê bao mới sẽ giảm đi.

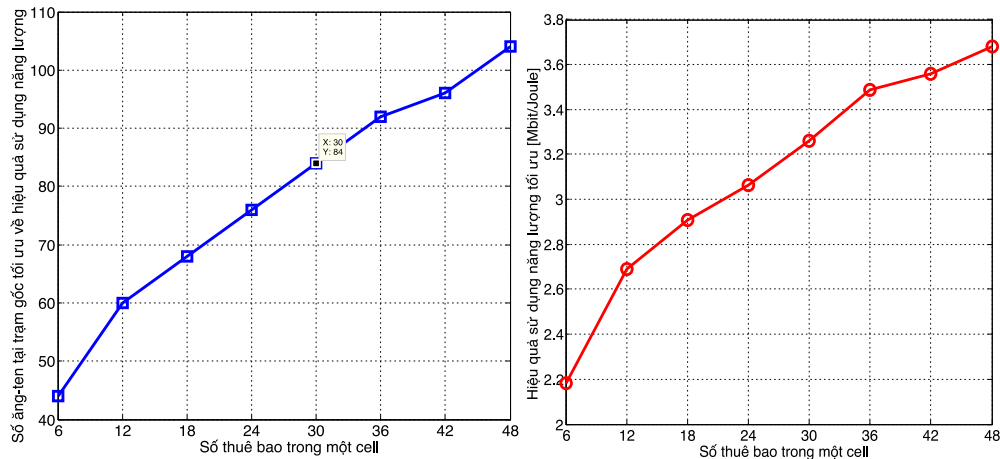


Hình 2.5. Ảnh hưởng của số thuê bao trong một cell lên hiệu quả sử dụng năng lượng trung bình

(c) Tối ưu hiệu quả sử dụng năng lượng

Số ăngten tại trạm gốc tối ưu về hiệu quả sử dụng năng lượng với số thuê bao trong một cell cho trước, hiệu quả sử dụng năng lượng tối ưu ứng với số ăng ten tại trạm gốc tối ưu đã xác định, có thể nhận thấy rằng số ăng ten tối ưu tại trạm gốc và hiệu quả sử dụng năng lượng gần tuyến tính theo số thuê bao.

Từ một số phân tích và quan sát các kết quả mô phỏng, rút ra một số nhận xét như sau: Với một giá trị số thuê bao trong một cell U cố định, hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống là một hàm lồi của số ăng ten tại trạm gốc. Để tối ưu hiệu quả sử dụng năng lượng trong hệ thống MIMO cỡ rất lớn, số lượng ăng ten cần triển khai tại mỗi trạm gốc hoàn toàn nằm trong giới hạn cho phép của các công nghệ hiện có. Với số ăng ten tại trạm gốc cho trước, việc tăng số thuê bao trong một cell (sao cho số thuê bao trong một cell luôn ít hơn một nửa số ăng-ten tại trạm gốc) sẽ làm tăng hiệu quả sử dụng năng lượng trung bình của hệ thống. Tuy nhiên, lượng tăng hiệu quả sử dụng năng lượng trung bình của hệ thống trên mỗi thuê bao mới sẽ giảm đi. Số ăng ten tối ưu tại trạm gốc và hiệu quả sử dụng năng lượng tối ưu tương ứng tăng gần như tuyến tính theo số thuê bao trong một cell. Số lượng N_t được thể hiện là trong khoảng 84, 128 và 144 ăng ten, hiệu quả sử dụng năng lượng tối ưu được tính bằng bit/Joule (hay Mbit/joule).



Hình 2.6. Số ăng ten tại trạm gốc tối ưu về hiệu quả sử dụng năng lượng và số thuê bao trong một cell

2.4. Kết luận chương 2

Chương này giới thiệu Chương này trình bày tổng quan về hệ thống nhiều ăng ten phân chia theo thời gian đa người dùng TDD, là một dạng của kỹ thuật thông tin sử dụng rất nhiều ăng ten ở trạm gốc, kỹ thuật này trong LTE Advanced Pro sử dụng tới 64 hoặc thậm chí 128, ăng ten ở trạm gốc để phục vụ đồng thời hàng chục thuê bao trên cùng một tài nguyên vô tuyến cho phép tăng dung lượng tổng của mỗi cell lên từ 5 đến 10 lần so với tổng dung lượng của một cell trong LTE Advanced Release 10 và trình bày một số đặc trưng kỹ thuật riêng của trong khuôn khổ họ tiêu chuẩn của 3GPP.

Kết quả phân tích hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống thông qua các tham số công suất tiêu thụ, tốc độ đạt được, ảnh hưởng của số ăng ten trạm gốc và ảnh hưởng của số thuê bao trong một trạm gốc trong kịch bản mô phỏng và các tham số mô phỏng, chương này đã cho thấy ảnh hưởng của số ăng ten tại trạm gốc và số thuê bao trong một cell lên hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống thông tin vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten là khác nhau. Từ những phân tích trên có thể thấy rằng hệ thống vô tuyến nhiều ăng ten có một triển vọng rất lớn trong phát triển hệ thống mạng viễn thông trong tương lai, lớn đa người dùng đa cell với mô hình kênh phức tạp hơn.

CHƯƠNG 3. CẢI THIỆN HIỆU QUẢ NĂNG LƯỢNG TRONG HỆ THỐNG VÔ TUYẾN SỬ DỤNG NHIỀU ĂNG TEN FD

3.1. Giới thiệu chung

Thomas Mazretta đã đề xuất một ý tưởng để tận dụng tiềm năng của kỹ thuật MIMO thông qua việc sử dụng rất nhiều ăng ten ở trạm gốc hay eNodeB để phục vụ đồng thời hàng chục thuê bao sử dụng cùng một tài nguyên vô tuyến [60], [61] [62], và được đề xuất trong bộ tiêu chuẩn 3GPP LTE-Advanced Pro (có thể coi là tiêu chuẩn của tổ chức 3GPP cho mạng 4,5G hay mạng 5G) [62-65].

Chương này giới thiệu và xem xét kiến trúc mạng FD không đồng nhất với dữ liệu được tách riêng, ở đó cơ bản một cell quản lý các tín hiệu điều khiển và một cell quản lý lưu lượng dữ liệu, kiến trúc hệ thống và hiệu quả sử dụng năng lượng bằng chuyển giao dịch vụ không đồng nhất dựa vào ngữ cảnh thông tin và các tham số chất lượng thông tin được đề xuất như là công suất tín hiệu thu, tốc độ di chuyển của UE, tải lưu lượng, mức điều khiển cuộc gọi, loại dữ liệu thông tin,.. Sau đó tính toán và phân tích xác suất chuyển thành công dịch vụ nhằm tăng lượng thông tin truyền tải và giảm công suất tiêu thụ để cải thiện hiệu quả sử dụng năng lượng trong hệ thống.

3.2. Kiến trúc hệ thống

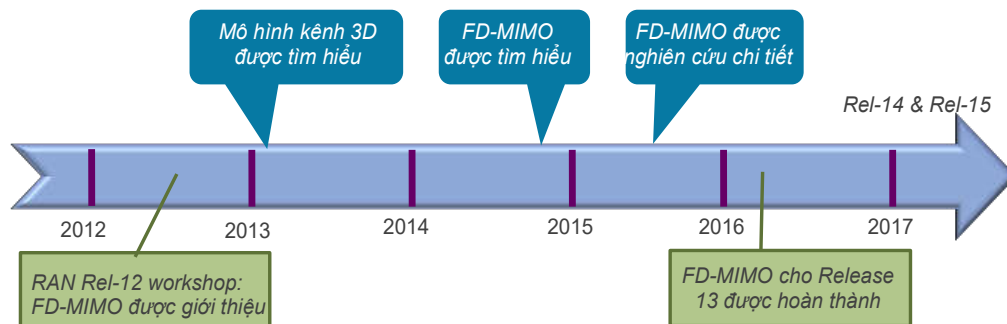
3.2.1. Tổng quan về hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten FD (Full-Dimension)

Hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten ở máy phát và máy thu để tăng tốc độ truyền tin, tăng độ tin cậy và chống nhiễu so với hệ thống thông tin đơn ăng ten, hệ thống cho phép chia nhỏ dữ liệu cần truyền thành các luồng dữ liệu độc lập để truyền đồng thời qua các ăng ten sử dụng cùng một tài nguyên vô tuyến, về cơ bản, tốc độ dữ liệu tổng cộng tăng tỷ lệ với số luồng dữ liệu độc lập có thể truyền đồng thời. Nhờ vào những lợi ích trên, kỹ thuật đã được tích hợp vào nhiều họ tiêu chuẩn thông tin vô tuyến khác nhau như họ tiêu chuẩn 3GPP LTE/LTE Advanced cho

mạng thông tin di động tế bào, họ tiêu chuẩn IEEE 802.11n cho mạng vô tuyến nội hạt (WiFi) hay mạng thông tin vô tuyến adhoc.

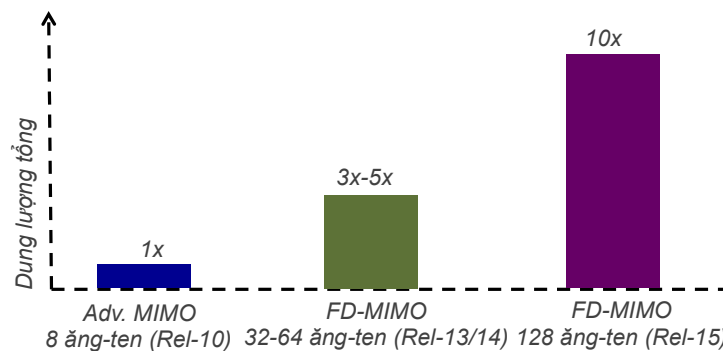
Do các hạn chế về không gian lắp đặt, công nghệ sản xuất và chi phí lắp đặt ăng ten, số lượng ăng ten có thể được trang bị tại các nút mạng trong các họ tiêu chuẩn hiện nay thường bị giới hạn, ví dụ, trong tiêu chuẩn 4G LTE Advanced Release 10 quy định mỗi eNodeB chỉ có tối đa 08 ăng ten và mỗi UE chỉ có tối đa 04 ăng ten. Do đó, số luồng dữ liệu độc lập tối đa có thể trao đổi đồng thời giữa một eNodeB và các UE cũng bị giới hạn. Cụ thể, khi sử dụng kỹ thuật thông tin đơn người dùng (SU-MIMO), tiêu chuẩn 4G LTE-Advanced Release 10 hỗ trợ truyền đồng thời tối đa 04 luồng dữ liệu độc lập giữa eNodeB và một UEs. Tương tự, khi sử dụng kỹ thuật thông tin đa người dùng (MU-MIMO), LTE-Advanced Release 10 hỗ trợ truyền đồng thời tối đa 08 luồng dữ liệu độc lập giữa eNodeB và một số UE. Mặc dù đã eNodeB trong mạng 4G LTE-Advanced Release 10 đã hỗ trợ truyền đồng thời nhiều luồng dữ liệu độc lập, những ứng dụng cụ thể của kỹ thuật MIMO trong các mạng thông tin di động hiện nay (mạng 4G trở về trước) chưa phát huy hết tiềm năng của kỹ thuật này.

Hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten FD bắt đầu được đưa ra thảo luận trong 3GPP từ khoảng giữa năm 2012, từ đó đến nay, đang dần được tích hợp vào họ tiêu chuẩn 3GPP cho mạng 4G và mạng 5G. Gần đây, FD-MIMO đã chính thức là một công nghệ cấu thành của bộ tiêu chuẩn 3GPP LTE-Advanced Pro (Release 13 và sau đó)



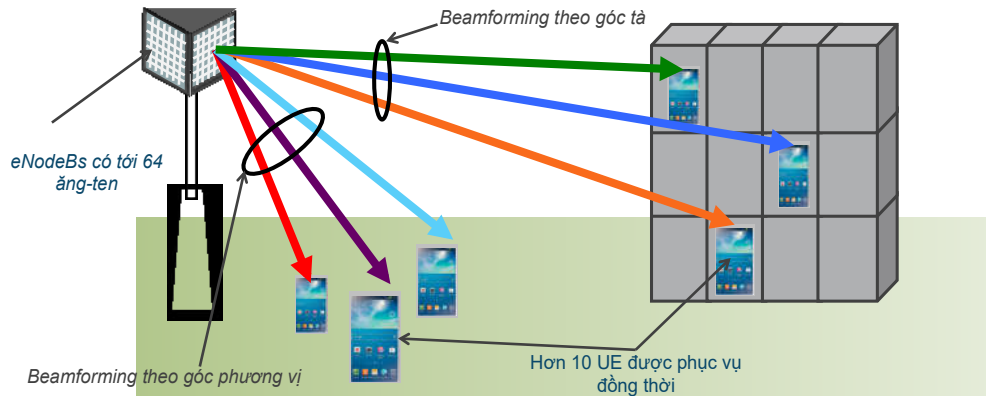
Hình 3.1. Tiến trình tích hợp FD-MIMO trong họ 3GPP [66]

Về cơ bản, FD-MIMO là một dạng hệ thống sử dụng rất nhiều ăng ten ở trạm gốc để phục vụ đồng thời nhiều thuê bao, cụ thể, 3GPPLTE-Advanced Pro Release 13 quy định mỗi eNodeB có thể có tới 64 ăng ten để phục vụ đồng thời hơn 10 UEs trên cùng một tài nguyên vô tuyến. Về nguyên tắc, cấu hình FD-MIMO sử dụng 64 ăng ten ở eNodeB cho phép tăng dung lượng tổng của cell lên khoảng 5 lần so với cấu hình MIMO truyền thống với 8 ăng-ten ở eNodeB trong 3GPP LTE-Advanced Release10. Dự kiến, 3GPP LTE-Advanced Pro Release 15 sẽ quy định việc hỗ trợ tới 128 ăng ten ở mỗi eNodeB và cho phép phục vụ đồng thời nhiều thuê bao hơn, từ đó cho phép tăng dung lượng tổng lên 10 lần so với dung lượng tổng đạt được ở 3GPP LTE-Advanced Release 10 [66].



Hình 3.2. Lợi ích về tổng dung lượng theo số ăng ten tại mỗi trạm gốc trong FD-MIMO [66]

Truyền dẫn MIMO đa người dùng (MU-MIMO) giữa eNodeB và các MS dựa trên kỹ thuật tạo búp sóng số (digital beamforming), tuy nhiên, các phiên bản trước đây (Release 12 trở về trước) chỉ sử dụng kỹ thuật tạo búp sóng số trong không gian 2 chiều (2-D beamforming) hay beamforming dựa trên góc phương vị (azimuth), Trong khi đó, FD-MIMO sử dụng kỹ thuật tạo búp sóng số trong không gian 3 chiều (3-D beamforming) hay búp sóng dựa trên cả góc phương vị và cả góc tà (elevation), điều này cho phép hệ thống có thể hỗ trợ đồng thời nhiều MS hơn và tạo sự linh hoạt trong việc lập lịch các MS sẽ phục vụ tại một thời điểm nhất định.

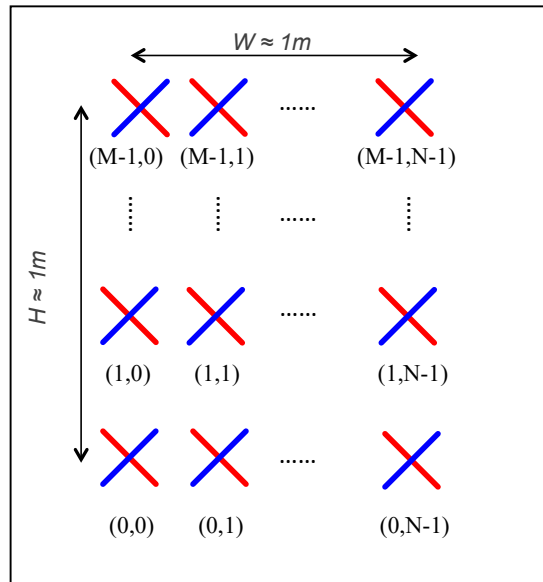


Hình 3.3. Cấu hình cơ bản FD-MIMO trong 3GPP LTE-Advanced

3.2.2. Cấu trúc dàn ăng ten

Các hệ thống thông tin MIMO truyền thống thường giả thiết dàn ăng ten có cấu trúc thẳng tuyến tính cách đều (ULA-Uniform Linear Array). Tuy nhiên, khi số lượng ăng ten tại trạm gốc lớn thì cấu trúc dàn ăng ten ULA yêu cầu kích thước vật lý khá lớn, với một hệ thống thông tin MIMO hoạt động ở tần số sóng mang $f_c = 2\text{GHz}$ (ứng với bước sóng $\lambda = 0,15\text{m}$) thì một dàn ăng ten có cấu trúc ULA với 128 phần tử có kích thước khoảng 19m. Chính vì vậy, 3GPP LTE Advanced Pro khuyến nghị sử dụng cấu trúc ăng ten dạng hình chữ nhật cách đều (URA – Uniform Rectangular Array) kết hợp sử dụng các phân cực ăng ten khác nhau. Cấu trúc ăng ten FD được mô hình bởi bộ 03 tham số (M,N,P) trong đó: (i) M là số ăng ten có cùng phân cực trên mỗi cột, (ii) N là số cột trong cấu trúc URA, và (ii) P là số phân cực ăng ten được sử dụng [69],[70],[71]. Khi đó, một cấu trúc dàn ăng ten URA với 128 phần tử và $P = 2$ phân cực ăng ten có thể được bố trí trên một hình vuông có kích thước (1m x 1m). Như vậy, cấu trúc dàn ăng ten URA với nhiều phân cực cho phép tăng tính khả thi của việc triển khai dàn ăng ten với hàng trăm phần tử trên thực tế. Hiện nay, 3GPP LTE Advanced Pro Release 13 quy định số cột trong dàn ăng ten URA là $N = 1, 2, 4, 8$ và 16 ; số phân cực ăng ten $P = 2$ với $\pm 45^\circ$ ở eNodeB và $0/90^\circ$ ở UE. Khoảng cách giữa các phần tử ăng ten kề nhau được quy định là nửa

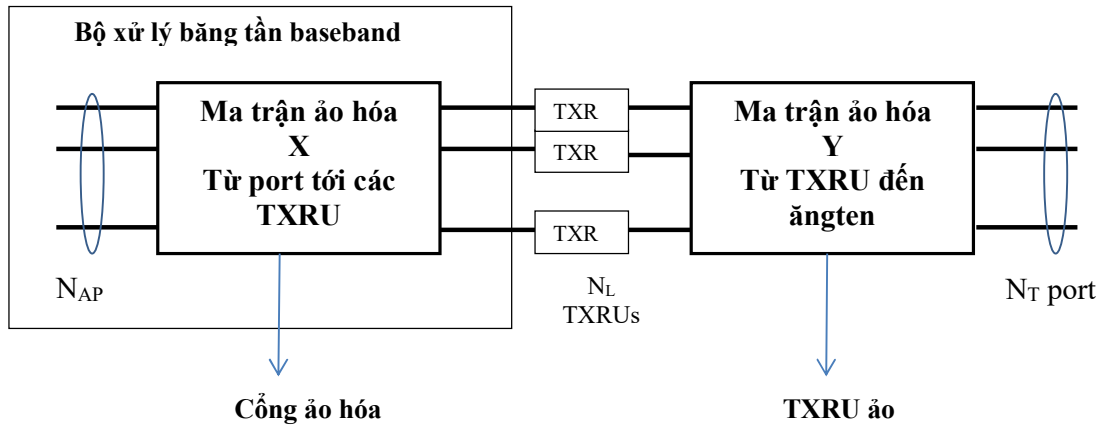
bước sóng hay $0,5\lambda$. Tăng ích hướng cực đại của mỗi phần tử ăng ten là 8dBi. Hình 2.4 thể hiện cấu trúc dàn ăng ten hình chữ nhật cách đều với N cột và M ăng ten trên mỗi cột P = 2 phân cực khác nhau (biểu diễn màu xanh và bởi màu đỏ)



Hình 3.4. Cấu trúc dàn ăng ten hình chữ nhật

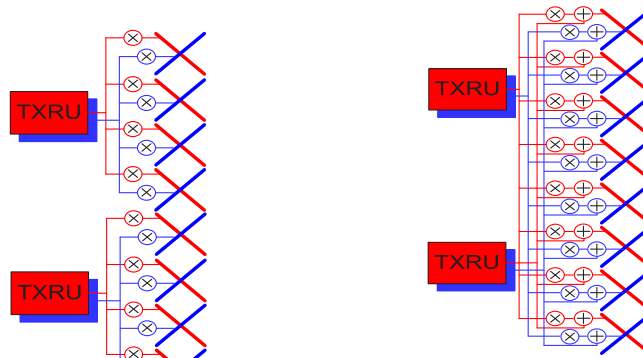
3.2.3. Xử lý tín hiệu

Các luồng dữ liệu ứng với N_{AP} cổng ăng ten (antenna port) được xử lý qua 03 bước trong khi được truyền từ cổng ăng ten tới khi được phát ra môi trường qua ăng-ten phát vật lý (như được minh hoạ trong hình vẽ). Bước thứ nhất là ảo hoá cổng ăng ten (antenna port virtualization) trong đó các luồng dữ liệu ứng với các cổng ăng ten được mã trước lên một số khối thu phát (TXRU: Transceiver Unit). Bước thứ hai là ảo hoá khối thu phát (TXRU virtualization) trong đó tín hiệu ở đầu ra của các TXRU được mã trước lên một số ăng ten vật lý. Bước cuối cùng liên quan mẫu phát xạ của ăng ten vật lý trong đó tín hiệu được phát đi từ các phần tử của dàn ăng ten với mẫu phát xạ định hướng nhất định.



Hình 3.5. Các bước xử lý tín hiệu từ băng tần cơ sở tới ăng ten

Mỗi khối thu phát TXRU chỉ gắn với các phần tử ăng ten của dàn mà có cùng phân cực. Có hai lựa chọn cho bước ảo hoá khối thu phát để xử lý tín hiệu. Ở lựa chọn thứ nhất, mỗi TXRU chỉ kết nối đến một tập con các phần tử ăng ten có cùng phân cực. Ở lựa chọn thứ hai, mỗi TXRU được kết nối đến toàn bộ các phần tử ăng ten của dàn có cùng phân cực. Tín hiệu khi truyền từ TXRU đến các phần tử ăng ten vật lý sẽ được nhân với các trọng số nhất định [70].



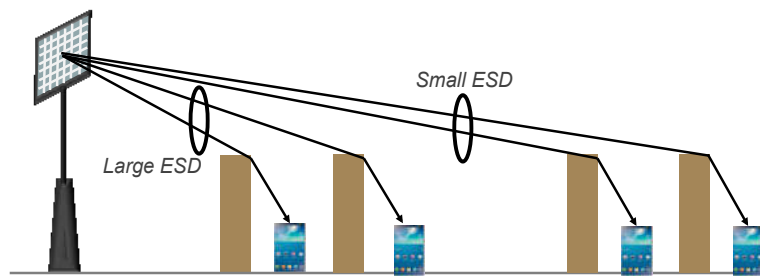
Hình 3.6. Các lựa chọn ảo hóa khối thu phát (TXRU virtualization options).

3.2.4. Kênh không gian 3 chiều

Hệ thống FD dựa trên kỹ thuật tạo búp sóng số không gian ba chiều, điều này yêu cầu việc ước lượng chính xác góc tà và góc phương vị của các sóng lan truyền giữa BS (eNodeB) và MS, việc ước lượng các góc này lại cần đến một mô hình kênh vô tuyến được xây dựng cho không gian truyền sóng 3 chiều và thực tế là

3GPP đang có những nghiên cứu để xây dựng mô hình kênh vô tuyến 3 chiều này như được trình bày trong [71]. Một số đặc điểm khác biệt của mô hình kênh vô tuyến 3 chiều so với mô hình kênh vô tuyến 2 chiều truyền thống là:

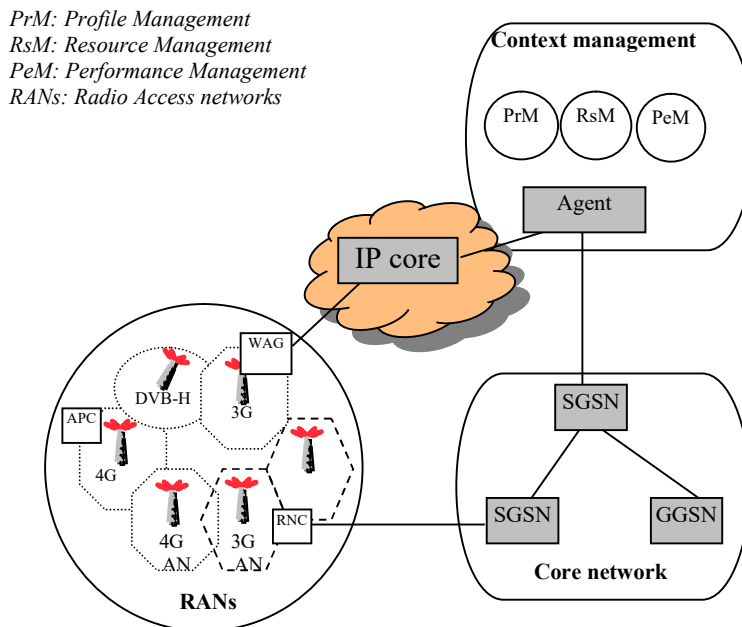
- Điều kiện tầm nhìn thẳng (LoS – Line of Sight) của kênh phụ thuộc vào độ cao của MS và khoảng cách giữa BS và MS. Về cơ bản, xác suất xuất hiện đường truyền tầm nhìn thẳng sẽ tăng theo độ cao của MS và theo khoảng cách giữa BS và MS.
- Suy hao truyền dẫn trong không gian phụ thuộc vào độ cao của MS, chẳng hạn kết quả đo đạc trong một toà nhà cao tầng cho thấy MS ở tầng cao hơn sẽ có suy hao truyền dẫn trong không gian nhỏ hơn với độ lợi khoảng 0,6dB/m chiều cao.
- Sự biến thiên của góc tã phụ thuộc vào độ cao của MS và khoảng cách giữa BS và MS. Cụ thể, các MS ở xa BS sẽ có mức biến thiên góc tã nhỏ hơn các MS ở gần BS.



Hình 3.7. Sự không đồng nhất về độ biến thiên góc tã theo khoảng cách từ BS tới MS.

Hệ thống không đồng nhất Hetnet, từ góc độ kiến trúc có thể được xem như bao gồm các chức năng mạng truy nhập vô tuyến (RAN) thông thường, khả năng truyền tải RAN, các tế bào nhỏ và chức năng vô tuyến, được ảo hóa và phân phối trong môi trường hoạt động. các tài nguyên dữ liệu trung tâm được kết hợp với tính toán, kết nối mạng và lưu trữ [84, 85], chức năng mạng tự tối ưu hóa (SON) là điều cần thiết để kích hoạt tính năng tăng hiệu suất và năng lượng mạng theo thứ tự độ lớn với các ô nhỏ, tự cấu hình hoặc 'plug and play' giúp giảm thời gian và chi phí triển

khai, trong khi tự tối ưu hóa sau đó đảm bảo mạng tự động điều chỉnh hiệu quả tối đa khi điều kiện thay đổi. Nhu cầu lưu lượng, vận tốc di chuyển của người dùng và dịch vụ đa phương tiện thích ứng, các hàm liên quan đến các hoạt động và quản lý của mạng không đồng nhất Hetnet có khả năng tự tối ưu để tiết kiệm năng lượng có thể trong một miền hoặc mở rộng nó để cung cấp việc quản lý chất lượng dịch vụ tự động trên toàn bộ Hetnet [86]



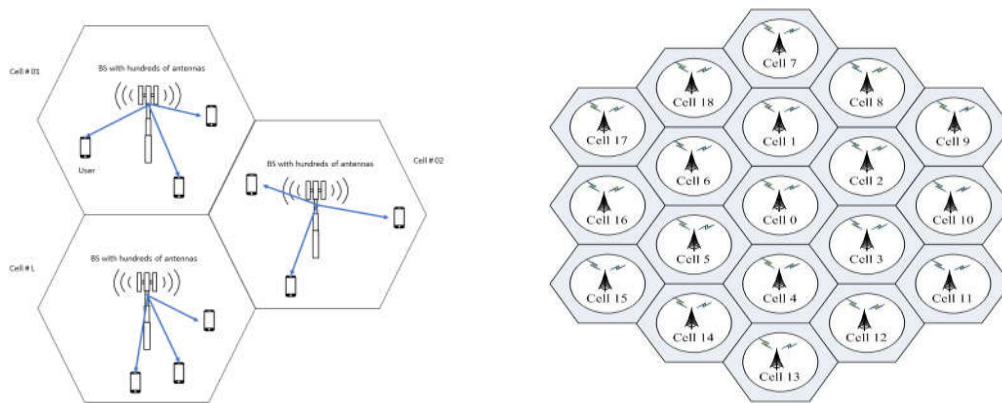
Hình 3.8. Mạng không đồng nhất Hetnet

Một mạng không dây không đồng nhất nhiều ăng ten là một trường hợp đặc biệt của Hetnet, trong khi Hetnet có thể bao gồm mạng máy tính hoặc thiết bị có khả năng khác nhau về hệ điều hành, phần cứng, giao thức thì Hetnet MIMO là mạng không dây bao gồm các thiết bị sử dụng công nghệ truy cập vô tuyến cơ bản khác nhau (RANs) [87].

Vẫn còn một số vấn đề cần giải quyết trong các mạng không dây không đồng nhất như: Xác định năng lực của hệ thống Hetnet MIMO [88], khả năng tương tác

của công nghệ [89], Chuyển giao, chất lượng dịch vụ/chất lượng trải nghiệm [90], sự can thiệp giữa RANs [91]

Có một số lợi ích đối với Hetnet MIMO so với mạng không dây đồng nhất truyền thống là độ tin cậy tăng, hiệu suất quang phổ được cải thiện và độ phủ sóng tăng lên, độ tin cậy được cải thiện bởi vì khi một RAN cụ thể trong Hetnet MIMO không thành công, nó vẫn có thể duy trì kết nối bằng cách chuyển giao sang RAN khác. Hiệu suất phổ được cải thiện bằng cách sử dụng RAN có thể có ít người dùng thông qua việc cân bằng tải trên RAN và mức độ phù hợp có thể được cải thiện vì RAN khác nhau có thể lấp đầy lỗ hổng trong phạm vi phủ sóng mà bất kỳ một mạng đơn lẻ nào cũng không thể lấp đầy được.



Hình 3.9. Cấu trúc hệ thống tế bào nhỏ (micro) [84]

3.3. Tối ưu hóa chuyển giao dịch vụ dựa vào ngữ cảnh thông tin

3.3.1. Các thông số ngữ cảnh thông tin

Trong phạm vi luận án giả định rằng kiến trúc mạng không đồng nhất với một ô macro có lớp phủ các ô nhỏ chồng lên nhau, các ô nhỏ tập trung tại một vài khu vực nóng và chỉ một ô macro duy nhất được giả định để đơn giản, Tương tự như công việc trong [92] và môi trường ô macro sẽ được xem xét.

Các MSs thường di chuyển tuân theo một mô hình chuyển động ngẫu nhiên, nơi đó cell thường trú địa phương được giả định cho các MS trong các cell tại các

điểm nóng. Tốc độ của một MSs thường tuân theo sự phân bố đồng đều, lưu lượng dữ liệu được tạo tại MSs được xác định là lưu lượng dữ liệu tốc độ thấp hoặc lưu lượng dữ liệu tốc độ cao dựa trên giá trị được xác định trước tỷ lệ lưu lượng dữ liệu tốc độ cao. Một số giả thuyết nghiên cứu đề xuất như sau:

Giả thuyết 1: Điều kiện thâm nhập cuộc gọi được kiểm tra đối với các RAN trong danh sách RAN có thể được chuyển giao được định nghĩa công thức (3.1):

$$C' + C_{req} \leq TH_{HO} \times C \quad (3.1)$$

Trong đó C' là năng lực yêu cầu của MS đang hoạt động, C_{req} là công suất yêu cầu của một cuộc gọi chuyển giao, C là năng lực đáp ứng, TH_{HO} là tỷ lệ năng lực RAN dự trữ cho cuộc gọi chuyển giao.

Nếu điều kiện của (3.1) không thỏa mãn tại một RAN thì bị loại khỏi danh sách RAN có thể chuyển giao

Mức điều khiển thâm nhập được định nghĩa trong (3.2):

$$C_{B_{target-BS,k}} = \begin{cases} 1, & \text{nếu } C' + C_{req} \leq TH_{HO} \times C \\ 0, & \text{nếu khác} \end{cases} \quad (3.2)$$

Giả thuyết 2: Tính khả dụng của dịch vụ thông tin tại RAN được kiểm tra thông qua trạng thái của RAN được phân loại thành tắt và bật được định nghĩa theo công thức (3.3) và (3.4):

$$W_{Ss} = \begin{cases} 1, & \text{nếu } B_{Ss} \text{ bật} \\ 0, & \text{nếu khác} \end{cases} \quad (3.3)$$

$$a_{Ss,k} = \begin{cases} 1 & \text{nếu } u_k \text{ được phục vụ bởi } B_{Ss} \\ 0, & \text{nếu khác} \end{cases} \quad (3.4)$$

Tải lưu lượng của một ô macro và một ô nhỏ được định nghĩa như trong Công thức (3.5):

$$D_{Cell_{load}_{B_{target-BS,k}}} = \begin{cases} 1, & \text{nếu lưu lượng } B_{target-BS,k} \text{ ở mức cao} \\ 0, & \text{nếu khác} \end{cases} \quad (3.5)$$

Giả thuyết 3: Sự tồn tại của dịch vụ dữ liệu yêu cầu bởi MS k , kiểu dữ liệu của MS k , và tốc độ của MS k được định nghĩa trong phương trình (3.6) - (3.8):

$$d_k = \begin{cases} 1, & \text{nếu } u_k \text{ yêu cầu dịch vụ} \\ 0, & \text{nếu khác} \end{cases} \quad (3.6)$$

$$r_k = \begin{cases} 1, & \text{nếu } u_k \text{ yêu cầu dịch vụ tốc độ cao} \\ 0, & \text{nếu } u_k \text{ yêu cầu dịch vụ tốc độ thấp} \end{cases} \quad (3.7)$$

$$v_k = \begin{cases} 1, & \text{nếu } u_k \text{ yêu cầu dịch vụ vận tốc cao} \\ 0, & \text{nếu } u_k \text{ yêu cầu dịch vụ vận tốc thấp} \end{cases} \quad (3.8)$$

Để xem xét RSS của RAN, Các sự kiện A2 và A3 được định nghĩa trong phương trình (3.9) và (3.10)

$$A2_{Bserv_BS,k} = \begin{cases} 1, & \text{nếu điều kiện A2 thỏa mãn} \\ 0, & \text{nếu khác} \end{cases} \quad (3.9)$$

$$A3_{Btarget_BS,k} = \begin{cases} 1, & \text{nếu điều kiện A3 thỏa mãn} \\ 0, & \text{nếu khác} \end{cases} \quad (3.10)$$

Các trường hợp chuyển giao được xem xét và đề xuất như sau:

Miêu tả các case nghiên cứu

Case 1: Chuyển giao dịch vụ từ một ô macro hiện tại sang một ô macro khác

Case 2: Chuyển giao dịch vụ từ một ô macro hiện tại sang một ô micro khác

Case 3: Chuyển giao dịch vụ từ một ô micro hiện tại sang một ô macro khác

Case 4: Chuyển giao dịch vụ từ một ô micro hiện tại sang một ô micro khác

Tổng số chuyển giao được định nghĩa như trong phương trình sau:

$$HO_{total} = HO_{case1} + HO_{case2} + HO_{case3} + HO_{case4} \quad (3.11)$$

Dựa trên số lượng chuyển giao, phân tích và tính toán tổng mức tiêu thụ năng lượng của một tế bào macro BS và một tế bào nhỏ BS, trong đó đại diện No_UElow_rate và No_UEhigh_rate số lượng MS được phục vụ với lưu lượng dữ liệu tốc độ thấp và MS với lưu lượng dữ liệu tốc độ cao và tương ứng.

Sau đó, tổng mức tiêu thụ năng lượng của các BS trong mạng được xem xét thu được bằng công thức (3.12):

$$P_{total} = P_{Macr\ total} + \sum_{k=1}^{Số\ BS_s} P_{small\ total,k} \quad (3.12)$$

Cuối cùng là vấn đề tối ưu hóa của đề án được đề xuất để giảm thiểu số lượng handovers được xây dựng như trong phương trình sau:

\min	HO_{total}
S, t	$a_{m,k} \leq W_{M_m}, u_{n,k} \leq W_{S_s}$
	$r_k \leq d_k$
	$\sum_{n=1}^{Số\ BS_s} a_{n,k} \leq 1$
	$W_{M_m}, W_{S_s} \leq 1$
	$1 \leq k \leq NumUE_s, 1 \leq n \leq NumBS_s$

(3.13)

Xem xét tất cả các phương trình trước, công suất tiêu thụ có thể của một tế bào nhỏ được định nghĩa như trong phương trình (3.14):

$$P(Ss)_{small} = W_{Ss} \times (P^{static} + P_{small_linear}) \quad (3.14)$$

Ngoài ra, tiêu thụ điện năng có thể có của một tế bào macro được định nghĩa như trong phương trình (3.15):

$$P_{Macro_total} = W_{M_m} \times (P^{static} + P_{Macr_linear}) \quad (3.15)$$

Tổng mức tiêu thụ năng lượng được định nghĩa như trong Công thức (3.16):

$$P_{total} = P_{Macr\ total} + \sum_{Ss=1}^{Số\ BS_s} P(Ss)_{small\ total} \quad (3.16)$$

Cuối cùng, vấn đề tối ưu hóa năng lượng của luận án được đề xuất được xây dựng như trong công thức (3.17):

\min	P_{total}
S, t	$P(n)_{small} \leq nP_{small}^{max}$
	$P_{macro} \leq p_{macro}^{max}$
	$\alpha_{Mmk} \leq W_{M_m}, \alpha_{S_nk} \leq W_{S_s}$
	$r_k \leq d_k$
	$\sum_{n=1}^{BS} \alpha_{S_nk} \leq 1$
	$W_{M_m}, W_{S_s} \leq 1$
	$1 \leq k \leq NumUE_s, 1 \leq n \leq NumDS_s$

(3.17)

3.3.2. Đối sánh Ontology

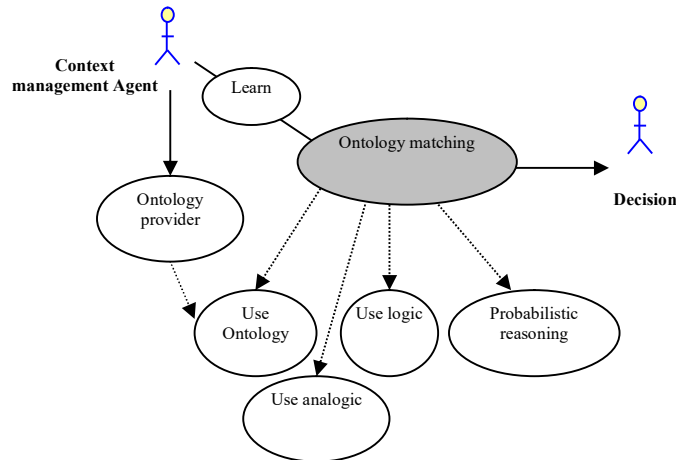
Xây dựng các thành phần và CSDL ontology: Các cá thể, các lớp, các thuộc tính, các mối quan hệ, các thuật ngữ trong các từ vựng và mối liên hệ giữa các thuật ngữ này để đảm bảo phù hợp với quá trình xử lý bởi các phần mềm. Sử dụng phương pháp đối sánh Ontology (Ontology matching) và tập mờ fuzzy logic để suy luận và quyết định chuyển giao dịch vụ theo ngữ cảnh thông tin.

Các thông số được đề xuất để sử dụng trong việc chuyển giao dịch vụ giữa các nhà cung cấp dịch vụ bao gồm các điều kiện nút mạng, điều kiện nút di động, cũng như khả năng của các mạng khác nhau trong vùng lân cận của người sử dụng. Để tránh chuyển giao không liên tục giữa các dịch vụ, hay gọi là hiệu ứng ping-pong, các giá trị cửa sổ trung bình cũng được sử dụng logic để xử lý các thông số và quyết định xem có nên chuyển giao dịch vụ hay không. Luận án đề xuất tập hợp suy luận logic mờ để đưa ra quyết định có chuyển giao dịch vụ hay không dựa trên các tham số quản lý chất lượng, mỗi tập hợp mờ sẽ có các giá trị thấp (L range), trung bình (M range) hoặc cao (H range), đều nằm ở mức giá trị giữa "0" hoặc "1", các giá trị này sẽ được nhờ bộ suy luận hoặc suy diễn tương quan liên hệ và ra quyết định dựa

trên một bộ quy tắc mờ được áp dụng để xác định ngữ cảnh chuyển giao dịch vụ giữa các BSs nên xảy ra vào thời nào. Có hai khả năng xảy ra như sau chuyển giao dịch vụ (HO) hoặc không chuyển giao dịch vụ (NOHO), Một số quy tắc suy diễn mờ cho các trường hợp chuyển giao và không chuyển giao theo thuật toán như sau:

IF (BLER = Medium) AND (NHO = Low) VÀ (TAT = Medium) VÀ (COST = Low) THEN HO

IF (BLER = Medium) AND (NHO = cao) VÀ (TAT = Low) VÀ (COST = cao) THEN NOHO



Hình 3.10. Nguyên lý đối sánh ngôn ngữ OM

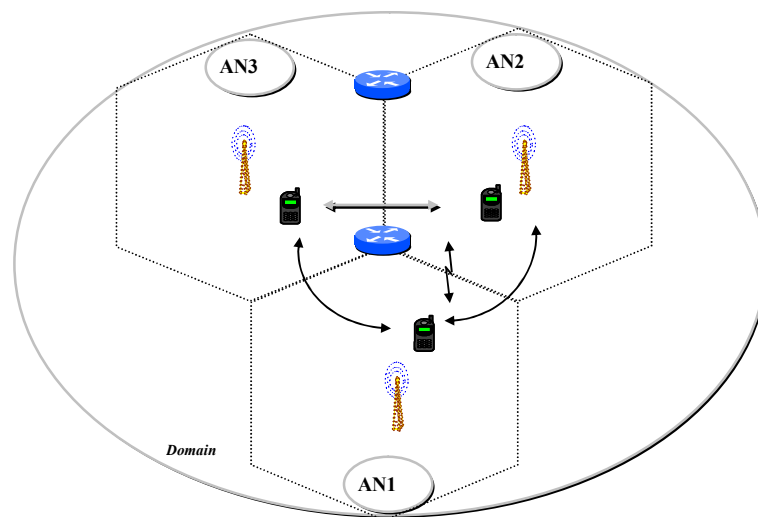
3.4. Mô hình hiệu quả năng lượng hệ thống không đồng nhất đa người dùng

3.4.1. Mô hình hệ thống

Trong hệ thống, giả định kiến trúc mạng không đồng nhất với một ô macro có lớp phủ các ô nhỏ chồng lên nhau, các tham số của BS hiện có liên quan nhỏ hơn ngưỡng xác định trước, như được định nghĩa trong 3GPP [93] [94]. Một UE định kỳ kiểm tra các thông số dịch vụ để đảm bảo chất lượng thông tin hiện tại (QoS) của các mạng truy nhập RAN (hay gọi tắt là AN) hiện tại và RAN lân cận, ưu tiên thiết bị người dùng được kết nối với BSs sẵn sàng có QoS đảm bảo và tìm kiếm danh sách ô đích chuyển giao nếu các thông số ngữ cảnh của AN hiện có liên quan nhỏ

hơn ngưỡng xác định trước và được định nghĩa trước. Sau đó, liệt kê các danh sách các RAN có thể chuyển giao, quyết định chuyển giao giữa các ô dựa vào ngữ cảnh thông tin, các thông số ngữ cảnh được quan tâm như là: công suất truyền dẫn (RSS), tỷ lệ lỗi bit (BER), vùng phủ sóng (Coverage), tốc độ thông tin (SP), vận tốc di chuyển (VL). Trong phạm vi nghiên cứu, các tham số của một MSs được phân loại là thấp, cao, trung bình.

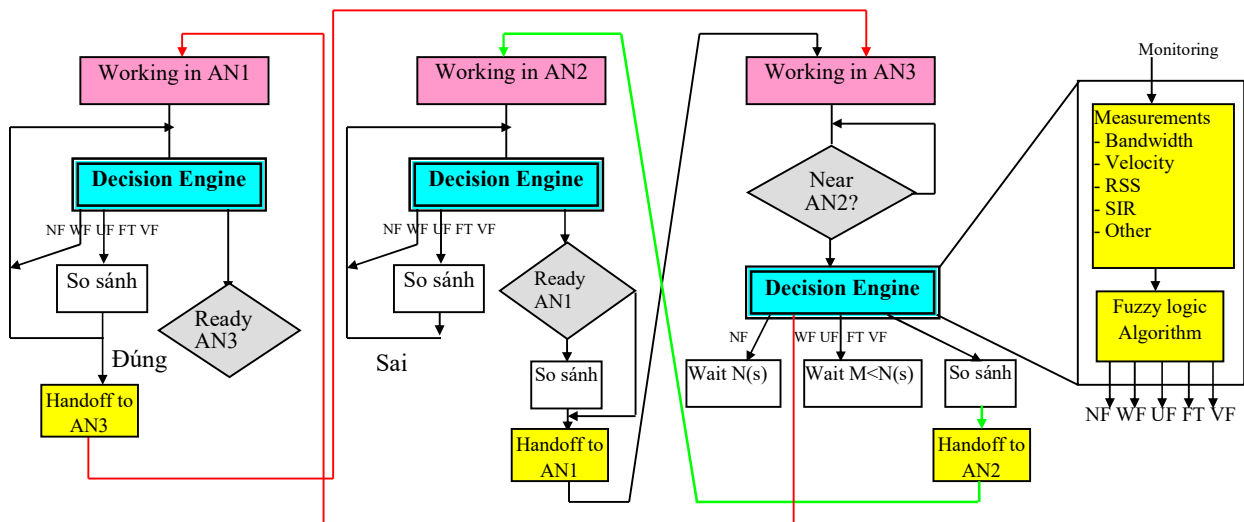
Đối với MSs tốc độ cao, dịch vụ của MS được chuyển sang một ô macro để giảm số lượng chuyển giao, kể từ khi chuyển giao thường xuyên giữa các tế bào nhỏ và giữa một tế bào nhỏ và một tế bào macro, do MSs tốc độ cao, làm giảm chất lượng trải nghiệm của MS. Do đó, MS tạo ra một danh sách ứng cử viên ô macro và tìm một ô macro đích bằng cách giải quyết vấn đề tăng tỷ lệ chuyển giao và hiệu quả năng lượng bằng thuật toán mờ. Đối với MS tốc độ thấp, các tiêu chí khác nhau được áp dụng để chọn một ô đích tùy thuộc vào loại dữ liệu, nếu MSs có lưu lượng dữ liệu tốc độ cao, nó sẽ được chuyển cho một BS nhỏ, nếu có tế bào nhỏ BS để giảm tải lưu lượng truy cập từ một tế bào macro BS. Do đó, MS tạo ra một danh sách ứng cử viên các tế bào nhỏ và tìm thấy một tế bào nhỏ mục tiêu bằng cách giải quyết vấn đề tăng tỷ lệ chuyển giao và hiệu quả năng lượng bằng cách sử dụng thuật toán logic mờ.....



Hình 3.11. Hệ thống vô tuyến đa người dùng cỡ lớn

Bảng 3.1. Các tham số mô phỏng

Số lượng cell: 50
Số lượng MS _s : 250
Bán kính macro cell: 1000 m
Bán kính của micro cell: 50 m
Công suất phát của macro cell: 46 dBm
Công suất phát của micro cell: 25 dBm
RSS _{th} : -13.98 dBm
P _{Macro_static} : 780 W
P _{Small_static} : 21.6 W
P _{Macro_linear} : 540 W
P _{Small_linear} : 5.4W
Dung lượng của macro cel: 500
Dung lượng của micro cell: 25
C _{req_low} : 0.05
C _{req_high} : 1
TH _{HO} : 0.7
Tỷ lệ lưu lượng dữ liệu tốc độ cao: 0.5
v _{threshold} : 50 km/h
v _{max} : 100 km/h
L _{threshold} : 0.1
c ₁ , c ₂ , r ₁ , r ₂ : 0.5

**Hình 3.12. Lưu đồ chuyển giao giữa các RAN**

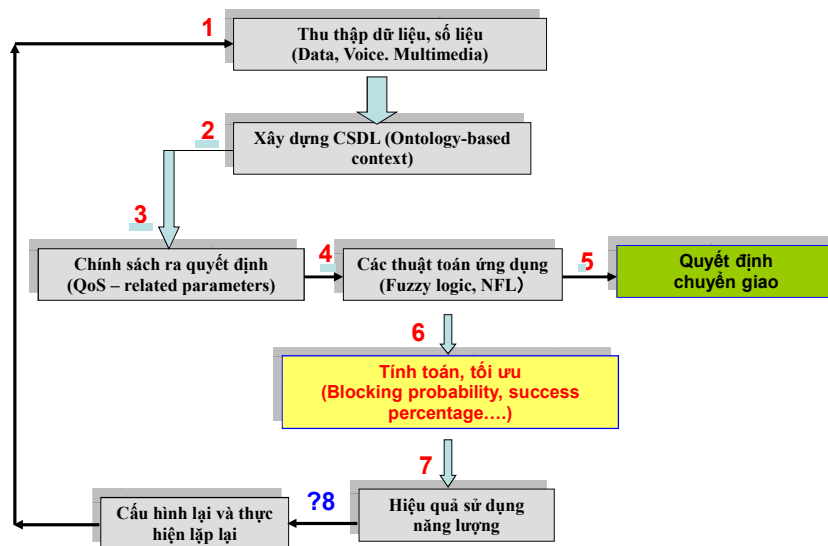
3.4.2. Quy trình thực hiện mô phỏng

Dựa trên lý thuyết nghiên cứu và thực tiễn hoạt động của mạng viễn thông, các quy định quản lý chất lượng mạng và một số nghiên cứu của một số tác giả trước đây, đề xuất quy trình thực hiện như sau:

Bước 1: Thu thập dữ liệu, số liệu: Các dữ liệu về tham số tiêu chuẩn hệ thống thông tin vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten, chất lượng dịch vụ của các mạng cung cấp dịch vụ, định nghĩa và mô tả mờ vào ontology, trong đó có phân biệt khái niệm mờ thành nhiều mức khác nhau như khái niệm mờ cụ thể và khái niệm mờ mô tả. Ngoài ra, tính mờ của mỗi khái niệm trong ontology lần đầu tiên được đề xuất nhằm giải quyết một lớp bài toán dự đoán và ra quyết định.

Chi tiết bước 1 được trình bày trong phụ lục 1 của luận án

Bước 2: Mô hình hóa và xây dựng CSDL (đề xuất bằng ngôn ngữ OWL Protege, trong đó sử dụng CSP (constraint satisfaction problem) để mô hình hóa bài toán tích hợp ontology mờ). Đây là hướng tiếp cận mới trong tích hợp ontology nói chung và tích hợp mờ nói riêng. CSP giúp mô hình hóa ràng buộc giữa các thành phần trong ontology và khả năng lan truyền so khớp giữa các ontology dựa trên tối ưu hóa hàm mục tiêu về mức độ không thỏa mãn.



Hình 3.13. Quy trình thực hiện mô phỏng

Bước 3: Xác định hàm mục tiêu để đặt ra chính sách ra quyết định, tối thiểu hóa các tham số kỹ thuật so khớp, học tập và suy diễn. Các thuật toán liên quan đến tích hợp ontology dựa trên mô hình học tập được đề xuất. Trong mô hình mô phỏng sử dụng các bộ tham số dữ liệu chất lượng thông tin trong hệ thống vô tuyến theo ITU-TE.800 và trong [56] [57] [58].

Chi tiết bước 2 và bước 3 được trình bày trong phụ lục 2 của luận án

Bước 4: Các thuật toán ứng dụng trong phân suy diễn và ra quyết định. Trong phạm vi nghiên cứu bỏ qua cách thức các tập mờ được tạo ra như thế nào, mà quan tâm đến các luật hỗ trợ cho việc suy luận trên các tập mờ và các phép toán sử dụng thao tác trên các tập mờ, đó là phép bù (complement) phép hợp (union), phép giao (intersection). Theo logic truyền thống (traditional logic), một biểu thức logic chỉ nhận một trong hai giá trị: True hoặc False, còn logic mờ có thể nhận một trong vô số giá trị nằm trong khoảng số thực từ 0 đến 1. mức độ đúng của một sự kiện được đánh giá bằng một số thực có giá trị nằm giữa 0 và 1, tùy theo mức độ đúng “nhiều” hay “ít” của nó, giá trị của các biến trong biểu thức logic mờ không phải là các con số mà là các khái niệm, cách giải quyết các bài toán trong logic mờ rất gần với cách tư duy của con người [59].

Bước 5: Phân tích, tính toán và ra quyết định chuyển giao hay không chuyển giao dựa vào thuật toán và suy luận và diễn giải

Bước 6: Tối ưu hóa quyết định và đánh giá kết quả các thông số KPIs (xác suất thành công, tỷ lệ chuyển giao thành công, xác suất lỗi dịch vụ...)

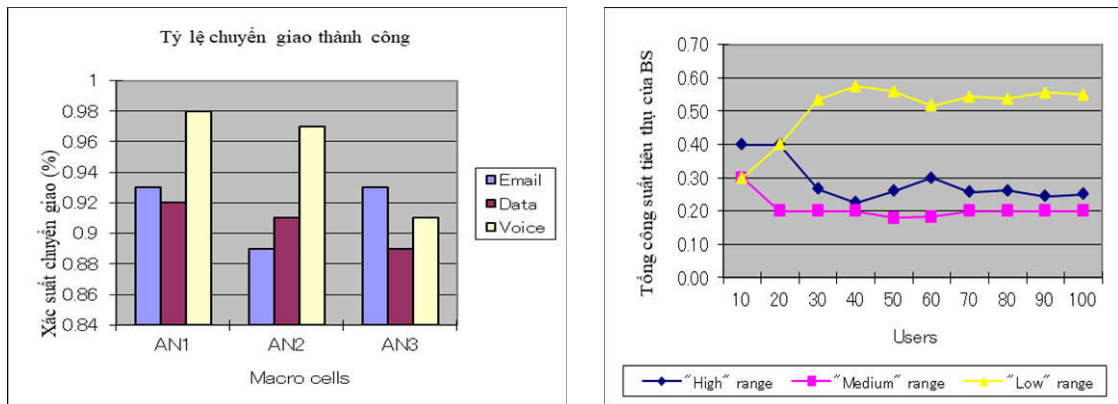
Bước 7: Lựa chọn lại mô hình sử dụng hiệu quả năng lượng trong hệ thống

Bước 8: Thực hiện lặp lại để so sánh và lựa chọn theo mục tiêu tối ưu

3.4.3. Các kết quả tính toán và mô phỏng

Giả định các khu vực điểm nóng có một cách ngẫu nhiên triển khai 50 ô nhỏ, 10 tế bào nhỏ được triển khai ngẫu nhiên bên ngoài khu vực điểm nóng. 80% số MSs là phân bố ngẫu nhiên trong phạm vi 40 ô nhỏ trong vùng nóng và 20% MSs

còn lại là ngẫu nhiên phân bố bên ngoài khu vực điểm nóng. Hình vẽ 3.14 cho thấy số lượng chuyển giao và tổng tiêu thụ năng lượng của BSs để thay đổi số MS trong ô macro, số lượng handovers và tổng năng lượng tiêu thụ các BS trong cả chuyển giao dựa trên đề xuất tăng vì số lượng MSs trong một ô macro tăng lên do nhiều MSs hơn dẫn đến nhiều chuyển đổi hơn và nhiều hơn nữa tiêu thụ năng lượng. Số lượng chuyển giao của đề xuất nhỏ hơn của việc chuyển giao dựa trên phương thức truyền thống trong cả việc giảm thiểu chuyển giao và giảm thiểu năng lượng, vì MSs có lưu lượng dữ liệu tốc độ thấp và tốc độ thấp có thể được quản lý bởi một ô macro và kết quả là giảm lượng chuyển giao. Ngoài ra, tổng mức tiêu thụ năng lượng của ngữ cảnh chuyển giao đề xuất là nhỏ hơn là do MSs có lưu lượng dữ liệu tốc độ thấp và tốc độ thấp có thể được quản lý bởi một ô macro và nhiều tế bào nhỏ hơn có thể được tắt để tiết kiệm năng lượng.



Hình 3.14. Tỷ lệ chuyển giao thành công

Sự phân bố tài nguyên giữa các dịch vụ sau khi chuyển giao giữa các nhà cung cấp dịch vụ được đưa ra cho cả hai phương pháp tiếp cận dựa trên chính sách và lựa chọn mạng ngẫu nhiên, mô hình này có thể áp dụng linh hoạt và không phụ thuộc vào số lượng các dịch vụ lựa chọn và nhà cung cấp dịch vụ. Kết quả mô phỏng cho thấy hầu hết các trường hợp yêu cầu chuyển giao dịch vụ giữa các mạng được phát hiện và thực hiện thành công với một tỷ lệ cao, do đó cho thấy thuật toán hợp lý thỏa đáng sử dụng trong quản lý chất lượng. Đặc biệt, có thể thấy khoảng 90%

chuyển giao thành công trong dịch vụ thoại, 88% trong các dịch vụ data và khoảng 95% trong dịch vụ multimedia, hầu hết các trường hợp ngắt kết nối liên mạng (drop) đã phát hiện và làm giảm hiện tượng hiệu ứng ping-pong trong khi chuyển giao giữa các dịch vụ. Các tham số quản lý chất lượng sử dụng thuật toán mờ suy luận logic từ dựa trên phương thức đối sánh ngôn ngữ ontology là hoàn toàn thích hợp cho việc quản lý chất lượng dịch vụ và tối ưu nguồn tài nguyên các nhà cung cấp dịch vụ viễn thông.

3.5. Kết luận chương 3

Chương này đã trình bày các giới thiệu kỹ thuật đặc trưng của hệ thống FD-MIMO như cấu trúc dàn ăng ten, xử lý tín hiệu, kênh không gian 3 chiều, fading đường truyền, một kỹ thuật truyền dẫn vô tuyến mới được chính thức đưa vào họ tiêu chuẩn của 3GPP cho các mạng thông tin di động 4,5G và 5G, phương thức chuyển giao dựa vào các ngữ cảnh tham số chất lượng thông tin như là công suất tín hiệu thu, tốc độ di chuyển của UE, tải lưu lượng, mức điều khiển cuộc gọi, loại dữ liệu thông tin. Thông qua phân tích các kết quả mô phỏng cho thấy việc tối ưu chuyển giao giữa các dịch vụ hoặc giảm số lần chuyển giao giữa các RAN và giảm tổng năng lượng tiêu thụ của các BSs thể hiện xác suất chuyển giao thành công cao giữa các MSs dựa trên ngữ cảnh thông tin.

Với cơ sở ứng dụng là các ontology, các dữ liệu đã được ngữ nghĩa hóa để có thể “hiểu được” bởi máy tính, điều này đã giúp ích rất nhiều trong các lĩnh vực cần sự truy xuất, trao đổi thông tin một cách chính xác và tự động, tuy vậy, mô hình này không tự động hóa hoàn toàn mà cần phải có sự can thiệp của con người trong việc xây dựng các metadata và các tập luật. Trong tương lai nghiên cứu cần tập trung vào việc mô tả nhiều tham số chất lượng thông tin hơn đối với các ontology đầu vào nhằm tìm ra phương pháp OM thích hợp qua sự kết hợp với nhiều tập luật phức tạp và thông minh hơn. Có thể tập trung vào các giải thuật để thiết kế búp sóng số không gian, lập lịch chuyển giao trước cho UE dựa trên thông tin kênh 3 chiều và danh sách quản lý cấp phát tài nguyên vô tuyến.

KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Với các hệ thống thông tin nói chung và hệ thống MIMO nói riêng thì hiệu quả năng lượng là vấn đề rất quan trọng. Trong một thế giới công nghệ, với sự phát triển mạnh mẽ của công nghiệp nhu cầu về năng lượng rất lớn nên phải luôn tìm giải pháp sao cho hệ thống phát triển bền vững, sử dụng năng lượng hiệu quả nhất góp phần tiết kiệm chi phí, tăng khả năng tái đầu tư, nâng cao chất lượng phục vụ khách hàng, đảm bảo sự phát triển bền vững cho các doanh nghiệp cung cấp dịch vụ viễn thông.

Luận án đã tập trung nghiên cứu đề xuất được một số giải pháp sử dụng hiệu quả năng lượng trong hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten như:

(1) Nghiên cứu nâng cao hiệu quả năng lượng trong hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten phân chia theo thời gian TDD. Tối ưu hóa số lượng ăng ten cần thiết tại mỗi trạm gốc khi tăng số thuê bao trong một cell sao cho số thuê bao cung cấp dịch vụ đồng thời trong một cell luôn nhiều hơn số ăng ten cho phép tại trạm gốc nhằm giảm công suất tiêu thụ của trạm gốc và tăng hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống. phân tích những yếu tố tác động đến hiệu quả năng lượng của hệ thống từ đó đưa ra những công thức toán học sử dụng mô phỏng đánh giá hiệu quả năng lượng của hệ thống MIMO để chứng minh hiệu quả năng lượng phụ thuộc vào số lượng ăngten của trạm gốc. Nếu tăng số ăngten lên càng lớn thì hiệu quả sử dụng năng lượng càng tăng. Tuy nhiên, việc tăng số lượng ăngten cũng có giới hạn, một phần do công nghệ sản xuất ăngten và trước đây để phát triển những ăngten như vậy thường rất khó khăn, với công nghệ và kỹ thuật ngày càng hiện đại việc phát triển hệ thống ăngten lên đến hàng trăm, thậm trí là nhiều hơn nữa đều có thể thực hiện được. Chỉ cần tăng số lượng ăngten ở trạm gốc cũng làm tăng hiệu suất sử dụng năng lượng, và khi trạm gốc sử dụng ăngten lên đến hàng trăm thì thiết bị MS người dùng chỉ cần đơn ăngten vẫn đem lại hiệu năng tốt, điều đó góp phần làm giảm giá thành sản phẩm cho người dùng.

(2) Nghiên cứu cải thiện sử dụng hiệu quả năng lượng trong hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten kích thước đầy đủ FD (không gian - thời gian) không đồng nhất Hetnet, sử dụng thuật toán thông minh để chuyển giao dịch vụ trong mạng không đồng nhất bằng các thuật toán thông minh trong quyết định logic mà chuyển giao giữa các dịch vụ khác nhau dựa vào ngữ cảnh thông tin để tăng xác suất thành công khi chuyển giao và giảm tối đa công suất tiêu thụ trong các trạm cơ sở mà vẫn đảm bảo chất lượng thông tin theo tiêu chuẩn cho phép nhằm quản lý hiệu quả nguồn tài nguyên, hệ thống còn giúp giảm công suất phát của ăngten ở trạm gốc và đầu cuối, điều này có ý nghĩa về mặt kinh tế, thân thiện với môi trường và giảm ảnh hưởng của bức xạ điện từ đối với sức khỏe người sử dụng.

Tuy nhiên, trong phạm vi luận án mới chỉ đề cập đến vấn đề hiệu quả năng lượng trong hệ thống MIMO nhiều ăng ten đa người dùng với kênh truyền đơn giản. Trên cơ sở nội dung đã thực hiện của luận án, xin đề xuất một số hướng nghiên cứu tiếp theo như sau:

- Nghiên cứu hiệu quả năng lượng trong hệ thống MIMO cỡ rất lớn đa người dùng đa cell với mô hình kênh phức tạp hơn.
- Nghiên cứu hiệu quả sử dụng năng lượng trong hệ thống MIMO cỡ rất lớn với quá trình xử lý tín hiệu khác như MMSE...
- Nghiên cứu về MIMO cỡ rất lớn để nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trong quá trình xử lý tín hiệu, vi điện tử, tổ chức kiến trúc mạng, vv..với mô hình kênh xử lý phức tạp, thông minh hơn để quản lý nguồn tài nguyên và sử dụng năng lượng hiệu quả nhất trong hệ thống.

Hiện nay trên thế giới, MIMO cỡ rất lớn (massive MIMO) là một hướng nghiên cứu đang rất được quan tâm, và có thể được xem là “mảnh đất hấp dẫn” dành cho các nhà nghiên cứu, hệ thống massive MIMO là một triển vọng rất lớn trong tương lai, hứa hẹn sẽ là công nghệ cho thông tin di động tương lai với tốc độ dữ liệu lớn và hiệu quả năng lượng rất tốt.

PHỤ LỤC

Phần này trình bày về các phụ lục xây dựng hệ thống mô phỏng kết quả của nghiên cứu, có các phụ lục như sau: phụ lục 1: Quá trình khai báo, thu thập và xây dựng CSDL trên Protegé; phụ lục 2: phân tích, truy xuất và ra quyết định chuyển giao các dịch vụ dựa vào ngữ cảnh thông tin và phụ lục 3: Trích dẫn nguồn coding chạy trên nền Java.

Phụ lục 1: Quá trình khai báo, thu thập và xây dựng CSDL trên Protegé

Quá trình khai báo, thu thập các dữ liệu mẫu (các thông số kỹ thuật từ tiêu chuẩn chất lượng của mạng vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten), các dữ liệu khai báo và thu thập phải thỏa mãn các điều kiện

Mỗi chức năng là một nhà cung cấp dịch vụ hoặc là một mạng vô tuyến cung cấp dịch vụ khác nhau với hệ thống ăng ten khác nhau và được xem là một trình ứng dụng được gắn vào, yêu cầu của ontology là phải biểu diễn được tri thức cần thiết cho các ứng dụng. Ngoài các khái niệm tri thức chung của hệ thống viễn thông nói chung, mỗi ứng dụng lại có đặc thù riêng đối với từng nhà cung cấp theo các tiêu chuẩn quy định của thế giới và trong nước. Do đó, yêu cầu thiết kế đối với ontology là: (1) phong phú và đúng đắn về tri thức; (2) khả năng sẵn sàng và dễ dàng áp dụng; (3) khả năng mở rộng và cải tiến; (4) khả năng chia sẻ tri thức giữa nhiều ứng dụng. Từ yêu cầu thiết kế trên, ontology được thiết kế phân tầng với các khái niệm phân làm ba khối chính, một là các khái niệm mô tả tri thức về lĩnh vực dưới dạng các chủ đề và phân nhóm của chúng, Ví dụ các chủ đề về Windows XP, Linux thuộc về nhóm chủ đề Hệ điều hành, Oracle, MySQL thuộc về cơ sở dữ liệu. Trong đó Hệ điều hành và Cơ sở dữ liệu là các nhóm con của Công nghệ thông tin, các chủ đề được coi là một lớp các đối tượng tri thức trong chủ đề đó. Với mỗi nhóm chủ đề, có thể thêm các thuộc tính phân loại khác kèm theo chủ đề. Hai là các lớp mô tả nhóm các loại tài nguyên được chia sẻ trong hệ thống, ví dụ đối với các loại tham số quản lý chất lượng hệ thống như: băng thông, vận tốc di chuyển, tỷ lệ lỗi bit BER, công suất phát, có thể có các lớp con là các giá trị thông số theo quy

định như: 24dB đến 30dB, 60m/s đến 100m/s, từ 10^{-3} đến $10^{-4} \cdot 0.8$ đến 1W, 0dB... với mỗi nhóm tài nguyên, các thuộc tính siêu dữ liệu (meta-data) được lựa chọn sử dụng để mô tả. Ba là các nhóm dịch vụ người sử dụng của hệ thống (dịch vụ voice, data, multimedia...). Cũng giống như tài nguyên, các thuộc tính cũng được gắn với từng nhóm nhóm dịch vụ người sử dụng để mô tả các cá nhân và các thông tin liên quan khác, mối quan hệ giữa người sử dụng với các khối còn lại trong ontology thông qua các liên kết “là các ngưỡng giá trị đảm bảo chất lượng dịch vụ”.

Để xây dựng ontology quản lý chất lượng thông tin theo nguyên tắc thiết kế ở trên, nghiên cứu sử dụng mô hình biểu diễn ontology được phát triển dựa trên OWL Full với 3 mức: (1) Mức siêu lược đồ (meta-schema): gồm các lớp TopicCls, DocumentationCls và PersonCls ứng với các siêu lớp dùng để tạo ra các lớp mô tả trong các khối tri thức lĩnh vực, tài nguyên và cộng đồng người sử dụng. TopicCls, DocumentationCls và PersonCls là các lớp con của owl: Class. (2) Mức lược đồ (schema): gồm các lớp được tạo từ các lớp ở mức meta-schema, trong đó Topic, Documentation và Person là các lớp có kiểu tương ứng là TopicCls, DocumentationCls và PersonCls, tùy thuộc vào mỗi loại hình ứng dụng khác nhau, mà các lớp này có thể được mở rộng với các lớp con khác nhau. Ví dụ trong ứng dụng chia sẻ tài liệu học tập về CNTT ta có ICT, Database, OS là các lớp chủ đề con của Topic. Parameters... là các lớp con của Documentation. Chú ý Topic, Documentation, Person luôn là lớp gốc cho các lĩnh vực chủ đề, tài nguyên và dịch vụ sử dụng, (3) Mức thể hiện (Instance): bao gồm các đối tượng được tạo với các lớp định nghĩa trong mức lược đồ. Các đối tượng thể hiện chính là nguồn thông tin tri thức được chia sẻ và do cộng đồng người sử dụng cập nhật trong quá trình sử dụng, số lượng các thể hiện trong ontology thường là rất lớn và không có sự hạn chế. Các dữ liệu thu thập được sau đó được lưu trữ trong cơ sở dữ liệu để sử dụng cho các bước tiếp theo.

The screenshot shows the Protégé 3.2.1 interface. The main window is titled 'Research Protégé 3.2.1'. The 'CLASS EDITOR' is active for the class 'GData'. The 'SUBCLASS EXPLORER' on the left shows a hierarchy of classes under 'owl:Thing', including 'GPRS', 'Radio_Resource_maneg', 'GPRService', 'GData', 'GEmail', 'GVoice', 'UMTS', and 'UMTSService'. The 'CLASS EDITOR' shows the class 'GData' with its URI 'http://www.owl-ontologies.com/Ontology1169197260.owl#GData' and location 'main ontology [Research]'. The 'All Classes' table at the bottom lists various classes with their prefixes and conditions.

Name	Prefix	Conditions
Balance		SIR
Call_blocking		Performance_mesurement
Call_dropping		Performance_mesurement
GDBandwidth		GDHandover_parameter
GDEast_velocity		GDVelocity

```

<rdf:RDF xmlns="http://www.owl-ontologies.com/Ontology1169197260.owl#"
  xml:base="http://www.owl-ontologies.com/Ontology1169197260.owl"
  xmlns:p1="http://www.owl-ontologies.com/assert.owl#"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#">
  <owl:Ontology rdf:about=""/>
  <owl:Class rdf:ID="Balance">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#SIR"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Strong"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Weak"/>
  </owl:Class>
  .....
```

```

<?xml version="1.0" ?>
- <User>
  <ID>31566887510</ID>
  <Registration>
    <Date>31-02-2018</Date>
    <Network>3G</Network>
  </Registration>
  <Service>Voice</Service>
- <Parameters>
  <Bandwidth>1655</B>
  <Velocity>16</V>
  <RSS>-87</RSS>
</Para>
</User>
.....
```

```

119,31-02-2007,3G,Voice,2605,38,-67
57 0 16 0 0 0 0 0 0 46 0 0 103 0 16
120,31-02-2007,3G,Voice,2126,6,-22
57 0 17 0 0 0 0 0 0 46 0 0 103 0 17
121,31-02-2007,3G,Voice,2759,24,-85
57 0 17 0 0 0 0 0 0 47 0 0 104 0 17
122,31-02-2007,3GVoice,876,35,-112
57 0 17 0 0 0 0 0 0 48 0 0 105 0 17
123,31-02-2007,3G,Voice,990,17,-91
57 0 17 0 0 0 0 0 0 49 0 0 106 0 17
124,31-02-2007,3G,Voice,97,14,-26
.....
```

Phụ lục 2: Phân tích, truy xuất suy diễn và ra quyết định chuyển giao dịch vụ dựa vào ngữ cảnh thông tin

Sau khi dữ liệu được khai báo, thu thập và xây dựng CSDL, bước tiếp theo sẽ phân tích truy xuất và ra quyết định theo các luật kết hợp và thuật toán logic mờ (fuzzy logic) dựa trên CSDL ngữ cảnh thông tin đã xây dựng. Logic mờ mô tả biểu diễn tri thức có cấu trúc dựa trên các khái niệm và quan hệ giữa các khái niệm, trong đó quan trọng nhất là quan hệ bao hàm, quy trình của mô hình được trình bày theo các bước sau:

Bước 1: Xác định bộ tham số tiêu chuẩn để đánh giá chất lượng dịch vụ và phân nhóm các nhà cung cấp và các dịch vụ. Trong nghiên cứu, các tiêu chí dùng để đánh giá và phân nhóm thành các dịch vụ, voice, data và multimedia

Bước 2: Xác định khoảng giá trị cho từng tham số và xác định thứ tự ưu tiên (trọng số) của các tham số tiêu chuẩn đánh giá chất lượng dịch vụ, sử dụng biến ngôn ngữ để biểu diễn các giá trị và quá trình học máy sẽ lặp lại và suy diễn để so sánh các mức ngưỡng tối ưu và đưa ra quyết định.

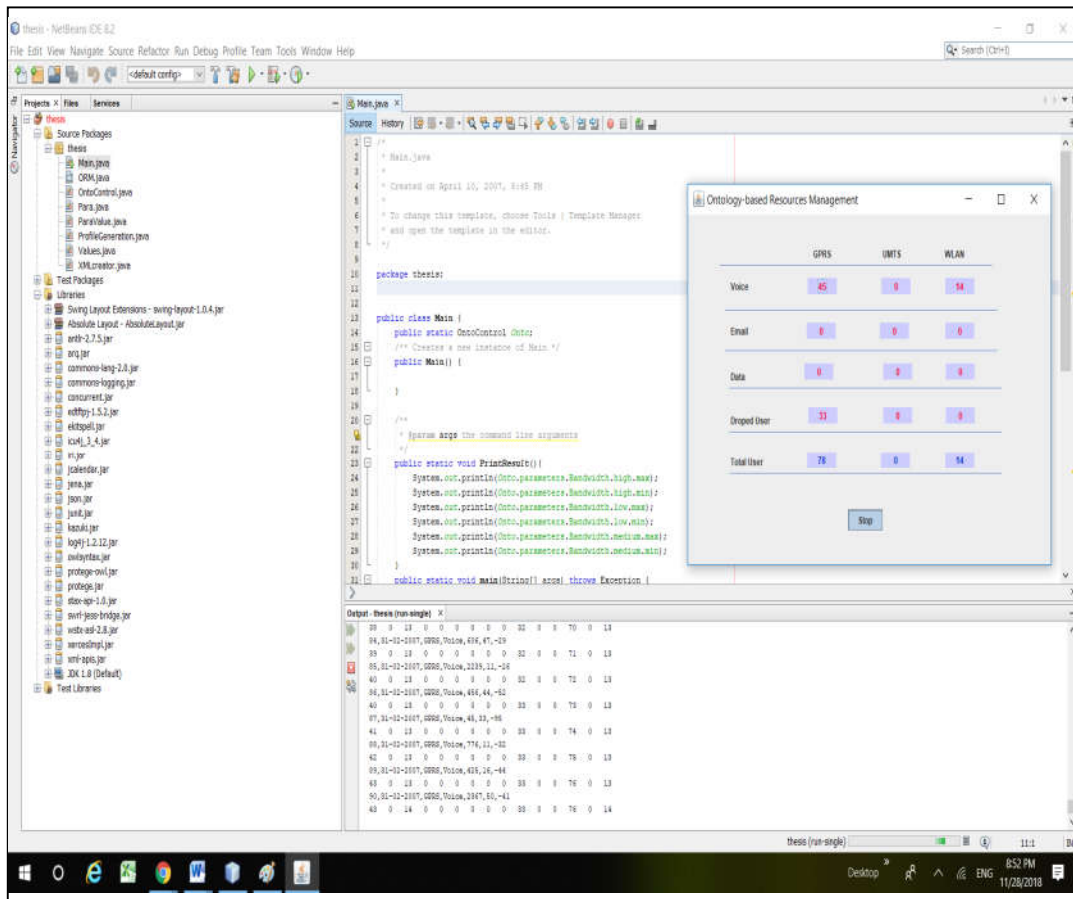
Bước 3: Tiêu chuẩn mờ hóa cách biểu thị của các sự lựa chọn với các tiêu chuẩn chất lượng dịch vụ, các tiêu chuẩn thường được phân chia thành đảm bảo chất lượng và tối ưu năng lượng, theo tiêu chí là chất lượng dịch vụ “càng cao càng tốt”, tuy nhiên tiêu hao năng lượng “càng thấp càng tốt”. Vậy để đảm bảo tính tương hợp giữa định mức trung bình và độ quan trọng trung bình, định mức trung bình phải được tiêu chuẩn hóa thành phạm vi có thể so sánh được và đảm bảo hệ số chặt chẽ và mức chính xác tương đối của mỗi quyết định.

Ví dụ một số quy tắc thuật toán trong chuyển giao dịch vụ thông tin

TT	Các tham số chất lượng QoS			Quyết định chuyển giao (Handover) giữa các ngữ cảnh dịch vụ dựa vào thuật toán logic mờ					
	Band width	Velocity	RSS	G→W	W→G	G→U	U→G	U→W	W→U
1	HI	FA	MO	NF	NF	NF	NF	NF	NF
2	HI	FA	ME	WF	NF	WF	NF	WF	NF
3	HI	FA	FE	FI	WF	FI	WF	FI	WF

4	HI	ME	MO	WF	NF	WF	NF	WF	NF
5	HI	ME	ME	FI	NF	FI	NF	FI	NF
6	HI	ME	FE	VF	WF	VF	WF	VF	WF
7	HI	SL	MO	WF	NF	WF	NF	WF	NF
8	HI	SL	ME	VF	NF	VF	NF	VF	NF
9	HI	SL	FE	VF	WF	VF	WF	VF	WF
10	ME	FA	MO	NF	NF	NF	NF	NF	NF
11	ME	FA	ME	WF	WF	WF	WF	WF	WF
12	ME	FA	FE	FI	FT	FI	FT	FI	FT
13	ME	ME	MO	WF	NF	WF	NF	WF	NF
14	ME	ME	ME	FT	FT	FT	FT	FT	FT
15	ME	ME	FE	VF	FT	VF	FT	VF	FT
16	ME	SL	MO	WF	NF	WF	NF	WF	NF
17	ME	SL	ME	VF	NF	VF	NF	VF	NF
18	ME	SL	FE	VF	FT	VF	FT	VF	FT
19	LO	FA	MO	NF	WF	NF	WF	NF	WF
...									

NF(non fit): Không phù hợp; FT(fit): Phù hợp, WF(weak fit): Phù hợp yếu:



Phụ lục 3: Trích dẫn nguồn coding chạy trên nền Java

```
package com.edu.pippi;
import org.apache.poi.ss.usermodel.*;
import org.apache.poi.xssf.usermodel.XSSFWorkbook;
import java.io.File;
import java.io.FileInputStream;
import java.io.IOException;
import java.util.Iterator;
import java.util.Scanner;
public class ReadConfig {
    public static int K1;
    public static int K2;
    //PpsBased
    public static float p;
    public static float Prf;
    public static float Pbb;
    public static float Pps;
    public static float Psw;
    public static float Pin;
    public static float N;
    //PswBased
    public static float p2;
    public static float Prf2;
    public static float Pbb2;
    public static float Pps2;
    public static float Psw2;
    public static float Pin2;
    public static float N2;
    //PsiBased
    public static float p3;
    public static float Prf3;
    public static float Pbb3;
    public static float Pps3;
    public static float Psw3;
```

```

public static float Pin3;
public static float N3;
public static final String pathFileConfig = "D:\\PROGRAMMING\\SourceCode\\draw-
chart\\src\\main\\resources\\data.in";
//public static final String pathFileConfigs = "D:\\PROGRAMMING\\SourceCode\\draw-
chart\\src\\main\\resources\\configs.xlsx";
//public static final String pathFileConfig = "data.in";
public static final String pathFileConfigs = "configs.xlsx";
public static void readConfig(){
File file = new File(pathFileConfig);
try{
Scanner scanner = new Scanner(file);
//read K1, K2
String readK = scanner.nextLine();
String[] tmp_arr = readK.split(":");
String tmp = tmp_arr[1];
tmp_arr = tmp.split("->");
K1 = Integer.parseInt(tmp_arr[0]);
K2 = Integer.parseInt(tmp_arr[1]);
//read N
String readN = scanner.nextLine();
tmp_arr = readN.split(":");
N = Float.parseFloat(tmp_arr[1]);
//read p
String readP = scanner.nextLine();
tmp_arr = readP.split(":");
p = Float.parseFloat(tmp_arr[1]);
//read Prf
String readPrf = scanner.nextLine();
tmp_arr = readPrf.split(":");
Prf = Float.parseFloat(tmp_arr[1]);
//read Pbb
String readPbb = scanner.nextLine();
tmp_arr = readPbb.split(":");

```

```
Pbb = Float.parseFloat(tmp_arr[1]);
//read Pps
String readPps = scanner.nextLine();
tmp_arr = readPps.split(":");
Pps = Float.parseFloat(tmp_arr[1]);
//read Psw
String readPsw = scanner.nextLine();
tmp_arr = readPsw.split(":");
Psw = Float.parseFloat(tmp_arr[1]);
//read Pin
String readPin = scanner.nextLine();
tmp_arr = readPin.split(":");
Pin = Float.parseFloat(tmp_arr[1]);
scanner.close();
} catch (IOException e) {
e.printStackTrace();
}
}
}
public static void readConfigs(){
try{
FileInputStream excelFile = new FileInputStream(new File(pathFileConfigs));
```

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Muhammad Usama and Melike Erol-Kantarci, A Survey on Recent Trends and Open Issues in Energy Efficiency of 5G, 19(14): 3126. Jul 2019
- [2]. T. L. Marzetta, "Noncooperative cellular wireless with unlimited numbers of base station antennas," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 9, no. 11, pp. 3590–3600, Nov. 2010.
- [3]. T. L. Marzetta, "Massive MIMO: An introduction," *Bell Labs Tech. J.*, vol. 20, pp. 11–22, Mar. 2015.
- [4]. F. Rusek, D. Persson, B. K. Lau, E. G. Larsson, T. L. Marzetta, O. Edfors, and F. Tufvesson, "Scaling up MIMO: Opportunities and challenges with very large arrays," *IEEE Signal Processing Mag.*, vol. 30, no. 1, pp. 40–60, Jan. 2013.
- [5]. L. Lu, G. Y. Li, A. L. Swindlehurst, A. Ashikhmin, and R. Zhang, "An overview of massive MIMO: Benefits and challenges," *IEEE J. Sel. Topics Signal Processing*, vol. 8, no. 5, pp. 742–758, Oct. 2014.
- [6]. E. Larsson, O. Edfors, F. Tufvesson, and T. Marzetta, "Massive MIMO for next generation wireless systems," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, pp. 186–195, Feb. 2014.
- [7]. F. Boccardi, R.W. Heath, Jr., A. Lozano, T. L. Marzetta, and P. Popovski, "Five disruptive technology directions for 5G," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, pp. 74–80, Feb. 2014.
- [8]. J. G. Andrews, S. Buzzi, W. Choi, S. V. Hanly, A. Lozano, A. C. K. Soong, and J. C. Zhang, "What will 5G be?" *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 32, no. 6, pp. 1065–1082, Jun. 2014.
- [9]. Ta-Sung Lee, Department of Communication Engineering National Chiao Tung University, bài giảng "MIMO Techniques for Wireless Communications", 2006
- [10]. G. Y. Li, A. L. Swindlehurst, A. Ashikhmin, R. Zhang, L. Lu, "An Overview of Massive MIMO: Benefits and Challenges" *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, pp. 742 – 758, 2014.
- [11]. D. Persson, B. K. Lau, Erik G. Larsson, T. L. Marzetta, O. Edfors, and F. Rusek (2013), "Scaling up MIMO: Opportunities and challenges with very large arrays" *IEEE Signal Processing Magazine*, p. 40-60.
- [12]. Hien Quoc Ngo and Erik G. Larsson, EVD-based Channel Estimations for Multicell Multiuser MIMO with Very Large AntennaArrays, 2012, Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speed and Signal Processing (ICASSP), 2012
- [13]. O. Edfors, F. Tufvesson, T. L. Marzetta, E. G. Larsson (2014), "Massive MIMO for next generation wireless systems" *IEEE Communications Magazine*, pp. 186-195.

- [14]. Vo Nguyen Quoc Bao, Nguyen Linh Trung, and M erouane Debbah, "Relay Selection Scheme for Dual-hop Networks under Security Constraints with Multiple Eavesdroppers", *IEEE Transaction on Wireless Communications*, vol. 12, No. 12, pp. 6076 – 6085, Oct. 2013.
- [15]. Vo Nguyen Quoc Bao and Nguyen Toan Van, Incremental Relaying Networks with Energy Harvesting Relay Selection, *Transaction on Emerging Telecommunications Technologies*, vol. 19, no. 12, Dec. 2018,
- [16]. K. T. Truong and R. W. Heath, Jr., "Effects of Channel Aging in Massive MIMO Systems," *IEEE/KICS Journal of Communications and Networks (JCN), Special Issue on Massive MIMO*, vol. 15, no. 4, pp. 338-351, Aug. 2013.
- [17]. K. T. Truong, H. Nokopour, and R. W. Heath Jr., "CoMP vs. Massive MIMO: A System Perspective," *submitted to IEEE Systems Journal, Special Issue on 5G Wireless Systems with Massive MIMO* (<http://www.ieeesystemsjournal.org/call-for-papers/special-issue-5gws/>), *under revision*.
- [18]. K. T. Truong, A. Lozano, and R. W. Heath Jr., "Optimal training in continuous flat-fading massive MIMO systems," in *Proceedings of European Wireless Conference*, pp. 219-224, May 2014, Barcelona, Spain, (invited paper).
- [19]. K. T. Truong and R. W. Heath Jr., "The viability of distributed antennas for massive MIMO systems," in *Proceedings of the IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers*, pp. 1318-1323, Nov. 2013, Pacific Grove, CA, USA, (invited paper).
- [20]. Minh-Tuan Le, Vu-Duc Ngo, Hong-Anh Mai, Xuan-Nam Tran, Marco Di Renzo, "Spatially Modulated Orthogonal Space-Time Block Codes with Non-Vanishing Determinants", *IEEE Transactions on Communications*, vol 62, no. 1, pp. 85-89, 2014.
- [21]. Haixia Zhang, Dongfeng Yuan, Matthias Paetzold, Yi Wu, Van Duc Nguyen: A Novel Wideband Space-Time Channel Simulator Based on the Geometrical One-Ring Model with Applications in MIMO-OFDM Systems, *Wireless Communications and Mobile Computing*, Published Online: March 30, 2009, DOI: 10.1002/wcm.787, John Wiley Publisher.
- [22]. Tran Duc Tan, Ta Duc Tuyen, Trinh Anh Vu, and Huynh Huu Tue, "Simple Channel Estimation Techniques Based on Pilot-Assistance for STBC-Based MIMO-OFDM Systems", *Research-Development and Application on Electronics, Telecommunications and Information Technology*, Vol. E-1, No. 2 (6), Posts, Telematics & Information Technology Journal, pp. 35 - 39, 2009.

- [23]. Do Nguyen Dung, Vo Nguyen Quoc Bao, Qingchun Chen, "On the Secrecy Performance of Massive MIMO Relay-Aided Downlink with Multiuser Transmission" *IET Communications*, vol. 13, no. 9, pp. 1207-1217, Jun. 2019
- [24]. Ha X. Nguyen, Nguyen N. Tran and Hai T. Nguyen, "Performance Analysis of Adaptive Decode-and-Forward Relaying in Noncoherent Cooperative Networks", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking* 2013, 2013:281 doi:10.1186/1687-1499-2013
- [25]. Ho Van Khuong, Le-Ngoc, Tho, A bandwidth-efficient cooperative relaying scheme with hard interference cancellation and iterative decoding Research, Innovation and Vision for the Future, 2008. RIVF 2008. IEEE International Conference on DOI: 10.1109/RIVF.2008.4586351 Publication Year: 2008, Page(s): 172 – 178.
- [26]. H. H. Kha, H. D. Tuan and H. H Nguyen, "Joint Optimization of Source Power Allocation and Cooperative Beamforming for SC-FDMA Multi-User Multi-Relay Networks" *IEEE Trans. Communications*, submitted, Jul. 2012
- [27]. EARTH, "Energy aware radio and network technologies project" <https://www.ict-earth.eu/default.html>.
- [28]. EARTH, "Most promising tracks of green network technologies," INFSO-ICT-247733 EARTH Deliverable D3.1, Earth, WP3-Green Networks, 2010, [https://bscw.ict-earth.eu/pub/bscw.cgi/d31509/EARTH WP3 D3.1.pdf](https://bscw.ict-earth.eu/pub/bscw.cgi/d31509/EARTH_WP3_D3.1.pdf).
- [29]. OPERA-Net, "Optimising power efficiency in mobile radio networks project" <http://opera-net.org/default.aspx>.
- [30]. OPERA-Net, "Optimising power efficiency in mobile radio networks" OPERA-Net PROJECT STAND # 42, 2010 NEM Summit Towards Future Media Internet, Barcelona, Spain, Oct 2010
- [31]. eWIN, Wireless@KTH, "ewin: Energy-efficient wireless networking," <http://www.wireless.kth.se/research/projects/19-ewin>.
- [32]. eWIN, "Energy efficiency enhancements in radio access networks" Wireless@KTH Research Strategy Document 2008-2010, Wireless@KTH, 2008
- [33]. D. Ha, K. Lee, and J. Kang, "Energy Efficiency Analysis with Circuit Power Consumption in Massive MIMO Systems", *International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications: Fundamentals and PHY Track*, pp. 938-942, 2013.
- [34]. E. Bjornson, L. Sanguinetti, J. Hoydis and M. Debbah, "Optimal Design of Energy-Efficient Multi-User MIMO Systems: Is Massive MIMO the Answer", *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 2014.

- [35]. E. Bjornson, L. Sanguinetti, J. Hoydis and M. Debbah, “Designing Multi-User MIMO for Energy Efficiency: When is Massive MIMO the Answer?”, *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pp. 242-247, 2014.
- [36]. F. Rusek et al., "Scaling Up MIMO: Opportunities and Challenges with Very Large Arrays," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 30, no. 1, pp. 40-60, Jan. 2013
- [37]. J. Hoydis, S. ten Brink, and M. Debbah, "Massive MIMO in the UL/DL of Cellular Networks: How Many Antennas Do We Need?" *IEEE J. Sel. Area Commun.*, vol. 31, no. 2, pp.160-170, Feb. 2013
- [38]. Chunxiao, Haijun Zhang, Yong Ren, Zhu Han, Kwang-Cheng Chen, and Lajos Hanzo, “Machine Learning paradigms for next generation network”, *IEEE Wireless Communications*, April 2017
- [39]. S. Maghsudi and S. Stanczak, “Channel Selection for Network-Assisted D2D Communication via No-Regret Bandit Learning with Calibrated Forecasting,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 14, no. 3, Mar. 2015, pp. 1309–22.
- [40]. Quynh Trang Pham, Trinh Anh Vu: “Downlink Control for Uniform User Capacity in A Single-cell Massive MIMO System, submitted tại Hội thảo quốc gia 11/2017.
- [41]. Muaayed AL-Rawi, “Massive MIMO System: An Overview”, *International Journal of Open Information Technologies* ISSN: 2307-8162 vol. 5, no. 2, 2017.
- [42]. Webb, M. GeSI (Global e-Sustainability Initiative). In *SMART 2020: Enabling the Low Carbon Economy in the Information Age*; The Climate Group: Lambeth, London, 2017.
- [43]. Fehske, A.; Fettweis, G.; Malmodin, J.; Biczok, G. The global footprint of mobile communications: The ecological and economic perspective. *IEEE Commun. Mag.* 2011, 49, 55–62. [CrossRef]
- [44]. 3. Hasan, Z.; Boostanimehr, H.; Bhargava, V.K. Green cellular networks: A survey, some research issues and challenges. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 2011, 13, 524–540. [CrossRef]
- [45]. Antonopoulos, A.; Kartsakli, E.; Bousia, A.; Alonso, L.; Verikoukis, C. Energy-efficient infrastructure sharing in multi-operator mobile networks. *IEEE Commun. Mag.* 2015, 53, 242–249.
- [46]. Oikonomakou, M.; Antonopoulos, A.; Alonso, L.; Verikoukis, C. Cooperative base station switching off in multi-operator shared heterogeneous network. In *Proceedings of the IEEE Global Communications Conference 2015 (GLOBECOM)*, San Diego, CA, USA, 6–10 December 2015; pp. 1–6.
- [47]. 26. Lee, S.; Moon, S.; Yi, Y. On greening cellular networks by sharing base stations: A game-theoretic approach. In *Proceedings of the 9th EAI International*

- Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools (VALUETOOLS), Berlin, Germany, 14–16 December 2015; pp. 87–94.
- [48]. Bousia, A.; Kartsakli, E.; Antonopoulos, A.; Alonso, L.; Verikoukis, C. Multiobjective auction-based switching-off scheme in heterogeneous networks: To bid or not to bid? *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2016, 65, 9168–9180.
- [49]. Bousia, A.; Kartsakli, E.; Antonopoulos, A.; Alonso, L.; Verikoukis, C. Game-theoretic infrastructure sharing in multioperator cellular networks. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2016, 65, 3326–3341.
- [50]. Roessler, A.; Schlien, J.; Merkel, S.; Kottkamp, M. LTE-Advanced (3GPP Rel.12) Technology Introduction; White Paper; Rohde and Schwarz: Munich, Germany, 2014;
- [51]. P. Zhou, Y. Chang, and J. A. Copeland, “Determination of Wireless Networks Parameters through Parallel Hierarchical Support Vector Machines,” *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 23, no. 3, Mar. 2012, pp. 505–12
- [52]. B. K. Donohoo et al., “Context-Aware Energy Enhancements for Smart Mobile Devices,” *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 13, no. 8, Aug. 2014, pp. 1720–32
- [53]. C.-K. Wen et al., “Channel Estimation for Massive MIMO Using Gaussian-Mixture Bayesian Learning,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 14, no. 3, Mar. 2015, pp. 1356–68.
- [54]. OFCOM: Consumer experiences of mobile phone calls, Report 2015
- [55]. OFCOM: Measuring mobile voice and data quality of experience, Report 2015.
- [56]. Qualinet, “Definitions of quality of experience,” White Paper, Version 1.2, COST Action IC 1003, Mar. 2013.
- [57]. Willy: QoS and QoE Management in UMTS Cellular Systems, Report 2015
- [58]. Regulatory use of QoS-QoE standardization work. The Swiss case and views on future developments. Report 2015
- [59]. Heikki K. Soft computing in dynamical systems. AS-74.115.2015
- [60]. T. L. Marzetta, “Noncooperative cellular wireless with unlimited numbers of base station antennas,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 9, no. 11, pp. 3590–3600, Nov. 2010.
- [61]. T. L. Marzetta, “Massive MIMO: An Introduction” *Bell Labs Tech. J.*, vol. 20, pp. 11–22, 2015.

- [62]. K. T. Truong, H. Nikopour, and R. W. Heath Jr., "FDD massive MIMO with analog CSI feedback," in Proc. of the IEEE Asilomar Conf. Signals, Systems, and Computers, Nov. 2015, Pacific Grove, CA, USA.
- [63]. 3GPP Technical Report, "Study on elevation beamforming/Full-Dimension (FD) Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) for LTE (Release 13)," 3GPP TR 36.897, v13.0.0, available online at <http://www.3gpp.org/dynareport/36897.htm>, 2015.
- [64]. G. Xu, "FD-MIMO and 3D beamforming for 5G", Samsung Research America, Dallas, 2015.
- [65]. P.-H. Kuo, "A glance at FD-MIMO technologies for LTE," IEEE Wireless Commun., vol. 23, no. 1, pp. 2-5, Feb. 2016.
- [66]. H. Ji, Y. Kim, J. Lee, E. Onggosanusi, Y. Nam, J. Zhang, B. Lee and B. Shim, "Overview of full-dimension MIMO in LTE-Advanced Pro," available on Arxiv at <http://arxiv.org/abs/1601.00019>.
- [67]. Qualcomm Technologies, Inc., "Leading the path towards 5G with LTE Advanced Pro", Jan. 2016.
- [68]. Y. Kim, H. Ji, J. Lee, Y.-H. Nam, B. L. Ng, I. Tzanidis, Y. Li, J. Zhang, "Full dimension MIMO (FD-MIMO): The next evolution of MIMO in LTE systems," IEEE Wireless Commun., vol. 21, no. 3, pp. 92-100, Jun. 2014.
- [69]. P.-H. Kuo, "A glance at FD-MIMO technologies for LTE," IEEE Wireless Commun., vol. 23, no. 1, pp. 2-5, Feb. 2016.
- [70]. Y.-H. Nam, M. S. Rahman, Y. Li, G. Xu, E. Onggosanusi, J. Zhang, J.-Y. Seol, "Full dimension MIMO for LTE-Advanced and 5G," in Proc. of Info. Theory & Applications (ITA) Workshop, pp. 143-148, 2015.
- [71]. 3GPP Technical Report, "Study on 3D channel model for LTE," 3GPP TR 36.73, v12.2.0, available online at <http://www.3gpp.org/dynareport/36873.htm>, 2015.
- [72]. Y.-H. Nam, B. L. Ng, K. Sayana, Y. Li, J. Zhang, Y. Kim and J. Lee, "Full-dimension MIMO (FD-MIMO) for next generation cellular technology," IEEE Commun. Mag., vol. 51, no. 6, pp. 172-279, Jun. 2013.
- [73]. Y. Kim, H. Ji, H. Lee, J. Lee, B. L. Ng. and J. Zhang, "Evolution beyond LTE-Advanced with full dimension MIMO," in Proceedings of IEEE Int. Conf. on Commun. (ICC) Workshop, pp. 111-115, 2013.

- [74]. 3GPP R1-134221, "Proposals for Fast Fading Channel Modelling for 3D UMa", Alcatel-Lucent Shanghai Bell, Alcatel-Lucent, China Unicom, RAN1#74bis, Oct. 2013.
- [75]. 3GPP TR 36.873 V2.0.0, "Study on 3D channel model for LTE", *Mar. 2014*
- [76]. 3D Channel Model in 3GPP, Bishwarup Mondal, Timothy A. Thomas, Eugene Visotsky, Frederick W. Vook, Amitava Ghosh, Nokia Networks, USA Young-Han Nam, Yang Li, Charlie Zhang, Samsung Research America Min Zhang, Qinglin Luo, Alcatel-Lucent, Alcatel-Lucent Shanghai Bell Yuichi Kakishima, Koshiro Kitao, NTT DOCOMO, INC.
- [77]. A. Alkhateeb, G. Leus, and R. W. Heath, "Limited feedback hybrid precoding for multi-user millimeter wave systems," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 14, no. 11, pp. 6481–6494, Nov. 2015.
- [78]. R. W. Heath, N. Gonzalez-Prelcic, S. Rangan, W. Roh, and A. Sayeed, "An overview of signal processing techniques for millimeter wave MIMO systems," *IEEE J. Sel. Top. Signal Process*, vol. 10, no. 3, pp. 436–453, Apr. 2016.
- [79]. R. Mendez-Rial, C. Rusu, A. Alkhateeb, N. Gonzalez-Prelcic, and R. W. Heath, "Channel estimation and hybrid combining for mmWave: Phase shifters or switches?" in *Proc. ITA Workshops*, Feb. 2015, pp. 90–97.
- [80]. R. Mendez-Rial, C. Rusu, N. Gonzalez-Prelcic, A. Alkhateeb, and R. W. Heath, "Hybrid MIMO architectures for millimeter wave communications: Phase shifters or switches?" *IEEE Access*, vol. 4, pp. 247–267, Jan. 2016.
- [81]. X. Gao, L. Dai, S. Han, C.-L. I, and R. W. Heath, "Energy-efficient hybrid analog and digital precoding for mmWave MIMO systems with large antenna arrays," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 34, no. 4, pp. 998–1009, Apr. 2016.
- [82]. HetNet Forecast". Mobile Experts. Retrieved 24 June 2011.
- [83]. HetNet Market Summary & Forecasts: Macro Cells, Small Cells & Wi-Fi Offload". ARCchart. Retrieved 17 November 2012.
- [84]. Qurrat-Ul-Ain Nadeem, Student Member, IEEE, Abla Kammoun, Member, IEEE, and Mohamed-Slim Alouini, Fellow, IEEE, Elevation Beamforming with Full Dimension MIMO Architectures in 5G Systems, arXiv:1805.00225v4 [cs.IT] 5 Jun 2019
- [85]. Small Cell Forum (2016). Integrated HetNet architecture framework. <http://scf.io/doc/172>: Small Cell Forum.

- [86]. Small Cell Forum (2016). Role of SON in the HetNet deployment process. <http://scf.io/doc/173>: Small Cell Forum.
- [87]. Melhem El Helou; Samer Lahoud; Marc Ibrahim; Kinda Khawam (April 2013). "A Hybrid Approach for Radio Access Technology Selection in Heterogeneous Wireless Networks". 19th European Wireless Conference -Proceedings. Archived from the original (PDF) on 7 October 2003. Retrieved 2013-10-07.
- [88]. Pan Li; Yuguang Fang (March 2010). "The Capacity of Heterogeneous Wireless Networks". INFOCOM -Proceedings. Archived from the original(PDF) on 7 October 2003. Retrieved 2013-10-07.
- [89]. O.-E. Barbu; O. Fratu (March 2011). "An enabler of interoperability in heterogeneous wireless networks". Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology -Proceedings. Archived from the original (PDF) on 7 October 2003. Retrieved 2013-10-07.
- [90]. Shih Jung Wu (August 2010). "An intelligent handover decision mechanism for heterogeneous wireless networks". Int. Conf. on Networked Computing and Advanced Information Management - Proceedings. Archived from the original(PDF) on 7 October 2013. Retrieved 2013-10-07.
- [91]. ^ J.B. Ernst; N. Nasser; J. Rodrigues (June 2012). "Co-channel interference modelling between RATs in heterogeneous wireless networks". IEEE Int. Conf. on Communications - Proceedings. Archived from the original (PDF) on 7 October 2033. Retrieved 2013-10-07.
- [92]. Wang, Z.; Zhang,W. A separation architecture for achieving energy-efficient cellular networking. IEEE Trans Wirel. Commun. 2014, 13, 3113–3123. [CrossRef]
- [93]. Badri, T.F.Z.; Saadane, R.; Wahbi, M.; Mbarki, S. Call admission control scheme for LTE femtocell-macrocell integrated system. In Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS), Marrakech, Morocco, 14–16 April 2014.
- [94]. Boujelben, M.; Rejeb, S.B.; Tabbane, S. A novel green handover self-optimization algorithm for LTE-A/5G HetNets. In Proceedings of the 2015 International IEEE Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), Dubrovnik, Croatia, 24–28 August 2015.

- [95]. Thomas L. Marzetta, Erik G. Larsson, Hong Yang, Hien Quoc Ngo, "Fundamentals of Massive MIMO", Cambridge University Press, 2010, 9(11):3590-3600.
- [96]. Erik G. Larsson, "Very Large MIMO System: Opportunities and Challenges", Linköping University, Report 2016
- [97]. Muaayed AL-Rawi, "Massive MIMO System: An Overview", International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 5, no. 2, 2017.
- [98]. Thomas L. Marzetta, Erik G. Larsson, Hong Yang, Hien Quoc Ngo, "Fundamentals of Massive MIMO," Cambridge University Press 2016.
- [99]. S. Ten Brink, M. Debbah, J. Hoydis, "Massive MIMO in the UL/DL of cellular networks: How many antennas do we need?" IEEE J. Sel.Areas Communications, pp. 160 - 171, 2013
- [100]. Sami Akın, M. Cenk Gursoy, "On the Energy and Data Storage Management in Energy Harvesting Wireless Communications", IEEE Transactions on Communications, vol.67, no.11, pp.8056-8071, 2019.
- [101]. D. Ha, K. Lee, J. Kang (2013), "Energy Efficiency Analysis with Circuit Power Consumption in Massive MIMO Systems" *International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications: Fundamentals and PHY Track*, pp. 938-942
- [102]. E. Bjornson, L. Sanguinetti, J. Hoydis, M. Debbah (2014), "Optimal Design of Energy-Efficient Multi-User MIMO Systems: Is Massive MIMO the Answer" *Part of the material in this paper will be presented at the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*
- [103]. E. Bjornson, L. Sanguinetti, J. Hoydis, M. Debbah (2014), "Designing Multi-User MIMO for Energy Efficiency: When is Massive MIMO the Answer?" *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pp. 242-247
- [104]. O. Blume, V. Ginnini, I. Godor, M. Imran, Y. Jading, E. Katranaras, M. Olsson, D. Sabella, P. Skillermark, W. Wajda, G. Auer (2012), "D2.3: Energy efficiency analysis of the reference systems, areas of improvements and target breakdown" *INFISO-ICT-247733 EARTH*
- [105]. K. T. Truong and A. Lozano, R. Heath Jr., K. T. Truong "Optimal Training in Continuous Flat-Pha-dinh Massive MIMO Systems" *Proceedings of IEEE European Wireless Conference*, pp. 1-6, 2014

- [106]. P. Grant, MCVE Core 5 Programme, "Green radio -the case for more efficient cellular basestations," presented at the Globecom'10, 2010.
- [107]. Jian-Sing Wang, 2 Jeng-Shin Sheu, Study of Handover Techniques for 4G Network MIMO Systems, Proceedings of the 2013 International Conference on Electronics, Signal Processing and Communication Systems.
- [108]. A. Lozano & N. Jindal (2011). "Transmit diversity vs. spatial multiplexing in modern MIMO systems" (PDF). IEEE Trans. Wireless Commun. 9 (1): 186–197.
- [109]. K. Hosseini, J. Hoydis, S. ten Brink, M. Debbah, "Massive MIMO and Small Cells: How to Densify Heterogeneous Networks", IEEE ICC'13, Budapest, Hungary, Jun. 2013.
- [110]. T. L. Marzetta, "Noncooperative cellular wireless with unlimited numbers of base station antennas", IEEE Trans. Wirel. Commun, vol. 9, no. 11, pp. 3590-3600, Nov. 2017.

CÁC KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

- [J1]. “Massive MIMO - Công nghệ truyền dẫn vô tuyến tốc độ cao cho mạng thế hệ 5G”, Kỹ yếu Hội nghị khoa học nghiên cứu sinh - năm 2016 (PTIT), trang 94-105.
- [J2]. “Hiệu quả sử dụng năng lượng của đường xuống trong hệ thống thông tin MIMO với rất nhiều ăng ten ở trạm gốc”. Kỹ yếu Hội thảo Quốc Gia 2015 về Điện Tử, Truyền Thông và Công nghệ Thông Tin (ECIT2015), ISBN: 978-604-67-0635-9, trang 1-6, 2015. *(Đạt giải: Bài báo xuất sắc nhất)*
- [J3]. workshop “Mobile devices in Revolution 4.0 for Vietnam’SMEs” in Victoria university, Australia, July 2018
- [J4]. “Hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống FD-MIMO trong mạng 5G”. Tạp chí Khoa học Công nghệ Thông tin và Truyền thông, Số 3-4 (CS01), trang 58-65, 2016
- [J5]. “Machine learning inspired energy efficient in next generation wireless network resource management”, Journal of Military Science and Technology, JMT ISSN 1859-043, Special Issue, No.57A, P 48 - 58, Nov 2018
- [J6]. “Chuyển giao dịch vụ dựa vào ngữ cảnh thông tin để cải thiện hiệu quả năng lượng trong hệ thống vô tuyến sử dụng nhiều ăng ten”. Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật của Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh (Journal of Technical Education Science), Aug,2020