

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



Nguyễn Như Thành

**NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ MẢNG THỬA
CHO MẢNG ĂNG-TEN TÍCH CỰC**

ĐỀ ÁN THẠC SĨ KỸ THUẬT

(Theo định hướng ứng dụng)

HÀ NỘI – NĂM 2024

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



Nguyễn Như Thành

**NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ MẢNG THỬA
CHO MẢNG ĂNG-TEN TÍCH CỰC**

CHUYÊN NGÀNH

KỸ THUẬT VIỄN THÔNG

MÃ SỐ:

8.52.02.08

ĐỀ ÁN THẠC SĨ KỸ THUẬT

(Theo định hướng ứng dụng)

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: PGS.TS. NGUYỄN TIẾN BAN

HÀ NỘI – NĂM 2024

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đề án thạc sĩ với đề tài “Nghiên cứu ứng dụng công nghệ mảng thừa cho mảng ăng-ten tích cực” là kết quả của quá trình học tập và nghiên cứu của cá nhân.

Tài liệu và số liệu trong đề án được thu thập từ các nguồn đáng tin cậy để đảm bảo tính chính xác và sự rõ ràng. Quá trình xử lý, phân tích và đánh giá các số liệu đã được thực hiện một cách trung thực và khách quan, đảm bảo tính minh bạch và độ tin cậy của kết quả nghiên cứu.

Tác giả

Nguyễn Như Thành

LỜI CẢM ƠN

Trước hết, tôi muốn gửi lời biết ơn sâu sắc đến PGS.TS. Nguyễn Tiến Ban đã dẫn dắt và cung cấp điều kiện cho tôi hoàn thành đề án này một cách xuất sắc nhất. Tôi cũng muốn gửi lời cảm ơn đặc biệt đến các thầy cô của Khoa Sau Đại học - Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông đã hỗ trợ và định hình cho quá trình học tập của tôi, đặc biệt là trong giai đoạn thực hiện đề án tốt nghiệp.

Trong quá trình thực hiện đề án, do những hạn chế về kiến thức lý thuyết, kinh nghiệm cũng như thời gian nghiên cứu, đề án không thể tránh khỏi những sai sót. Tôi rất mong nhận được sự đóng góp ý kiến và nhận xét từ các thầy cô giáo để có thể hoàn thiện và cải thiện đề án này.

Tôi xin gửi lời cảm ơn và lòng biết ơn chân thành nhất.

Tác giả

Nguyễn Như Thành

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
MỤC LỤC	iii
DANH MỤC HÌNH ẢNH	v
DANH MỤC BẢNG BIỂU	vii
DANH MỤC VIẾT TẮT	viii
MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ ĂNG-TEN MẢNG THỪA	4
1.1 Giới thiệu về ăng-ten mảng	4
1.1.1 Ăng-ten mảng	4
1.1.2 Ứng dụng của ăng-ten mảng	7
1.2 Giới thiệu về công nghệ ăng-ten mảng thừa	9
1.2.1 Cấu trúc và đặc điểm của công nghệ ăng-ten mảng thừa	9
1.2.2 Ứng dụng của công nghệ ăng-ten mảng thừa	11
1.3 Kết luận chương	12
CHƯƠNG 2. VẤN ĐỀ BÚP SÓNG BÊN CAO VÀ GIẢI PHÁP CẢI THIỆN	14
2.1 Các dạng ăng-ten mảng thừa đang được nghiên cứu	14
2.1.1 Minimum redundancy arrays (MRAs)	14
2.1.2 Minimum hole arrays (MHAs)	15
2.1.3 Co-prime arrays	15
2.1.4 Nested arrays, super-nested arrays	16
2.2 Nhược điểm của các nghiên cứu về kiến trúc ăng-ten mảng thừa	17

2.3	Giải pháp đề xuất	18
2.3.1	Ứng dụng sử dụng mẫu bức xạ một chiều	20
2.3.2	Ứng dụng sử dụng mẫu bức xạ hai chiều	22
2.4	Kết quả mô phỏng các giải pháp đề xuất	22
2.4.1	Kịch bản và tham số mô phỏng.....	22
2.4.2	Kết quả mô phỏng	24
2.5	Kết luận chương	31
CHƯƠNG 3. XÂY DỰNG HỆ THỐNG THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ.....		32
3.1	Xây dựng hệ thống thực nghiệm.....	32
3.1.1	Hệ ăng-ten	32
3.1.2	Hệ mô-đun thu phát	33
3.1.3	Hệ tính toán và điều khiển	35
3.2	Phương pháp và quy trình đo kiểm	36
3.2.1	Công cụ sử dụng đo kiểm	36
3.2.2	Các bước thực hiện	38
3.3	Kết quả đo kiểm và đánh giá.....	40
3.3.1	Kết quả đo kiểm búp sóng một chiều	41
3.3.2	Kết quả đo kiểm búp sóng hai chiều.....	42
3.4	Kết luận chương	48
KẾT LUẬN		49
DANH MỤC CÁC TÀI LIỆU THAM KHẢO		51

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1.1. Cấu trúc ăng-ten mảng tuyến tính [7]	5
Hình 1.2. Cấu trúc ăng-ten mảng phẳng $N \times M$ phần tử ăng-ten thành phần [8]...	5
Hình 1.3. a) Cấu trúc ăng-ten mảng quét tần số và b) Hướng truyền sóng [9]	6
Hình 1.4. Mô hình đa búp sóng tạo bởi cấu trúc ăng-ten mảng pha [14]	7
Hình 1.5. Ăng-ten mảng phẳng ra-đa phòng không di động VHF Nebo-M [17]...	8
Hình 1.6. Kiến trúc ăng-ten mảng trong đài ra-đa 3D VRS-MRS [18].....	8
Hình 1.7. a) Ăng-ten mảng mái vòm trắc địa (GEODA); b) Mô hình hoạt động của mảng con trong kiến trúc GEODA; c) Chi tiết mảng phẳng tích cực 45 phần tử	9
Hình 1.8. Một số vị trí đặt phần tử ăng-ten trong kiến trúc mảng thưa [20]	10
Hình 1.9. Kiến trúc ra-đa của đài SBX [23]	12
Hình 2.1. Mảng MRA 4 phần tử tương đương với mảng ULA 7 phần tử [26]	15
Hình 2.2. Biểu diễn 2D của mảng lồng nhau và mảng siêu lồng nhau [4].....	17
Hình 2.3. Mức búp bên và búp sóng chính của một số kiến trúc mảng thưa [20]	18
Hình 2.4. Kiến trúc ăng-ten mảng thưa đề xuất.....	19
Hình 2.5. Mô hình kỹ thuật tạo búp sóng hẹp	19
Hình 2.6. Hình dạng búp sóng với cấu trúc đề xuất tại góc quét 0°	20
Hình 2.7. Búp sóng một chiều tại góc 0° (hình trên) và khi quét búp sóng tại $\{0^\circ, \pm 20^\circ, \pm 45^\circ\}$ khi mô phỏng trên phần mềm MATLAB.....	26
Hình 2.8. Búp sóng một chiều khi quét búp sóng tại $\{0^\circ, \pm 10^\circ, \pm 20^\circ\}$ mô phỏng trên phần mềm Ansys HFSS và CST studio (phần mềm chuyên dụng ăng-ten).....	27
Hình 2.9. Búp sóng hai chiều khi quét búp sóng tại $\{0^\circ, \pm 20^\circ, \pm 45^\circ\}$ khi mô phỏng trên phần mềm MATLAB	30
Hình 2.10. Búp sóng hai chiều khi quét búp sóng tại $\{0, \pm 10^\circ, \pm 20^\circ, \pm 30^\circ\}$ khi mô phỏng trên phần mềm Ansys HFSS và CST studio	30
Hình 3.1. Hệ thống đo kiểm trường gần kiến trúc ăng-ten mảng thưa đề xuất	32

Hình 3.2. Cấu trúc mô phỏng hệ ăng-ten khi được lắp đặt trên gá.....	33
Hình 3.3. Hình ảnh bộ chia	33
Hình 3.4. Hình ảnh mô đun thu phát trên mô phỏng	34
Hình 3.5. Phần mềm điều khiển và giám sát TRM.....	35
Hình 3.6. Phần mềm điều khiển động cơ bước và nhận dữ liệu đo kiểm trường gần	36
Hình 3.7. Máy phân tích mạng và dây nối SMA	38
Hình 3.8. Hình ảnh hệ thống đo kiểm thực tế.....	39
Hình 3.9. Một số thông số giám sát trên phần mềm giám sát TRM.....	39
Hình 3.10. Hình ảnh sai số và biên độ của các kênh sau khi hiệu chỉnh	40
Hình 3.11. Búp sóng một chiều của 24 phần tử theo mô phỏng và theo đo kiểm tại góc 0° (trên) và 10° (dưới).....	42
Hình 3.12. Búp sóng TX tạo bởi 16 phần tử (khoảng cách giữa các phần tử là $\lambda/2$) tại các góc quét $\{0^\circ, \pm 10^\circ, \pm 20^\circ, \pm 30^\circ\}$ theo mô phỏng và thực tế	44
Hình 3.13. Búp sóng RX tạo bởi 11 phần tử (khoảng cách giữa các phần tử: 3λ) tại các góc quét 0° và 30°	45
Hình 3.14. Búp sóng 2 chiều tại các góc quét $\{0^\circ; \pm 10^\circ; \pm 20^\circ\}$	46
Hình 3.15. Tương quan độ rộng xung giữa TX và RX lý thuyết và đo kiểm tại góc 0°	47

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 2.1. Tham chiếu cần đáp ứng với kiến trúc mảng thừa đề xuất.....	24
Bảng 2.2. Kết quả mô phỏng với trường hợp búp sóng một chiều	25
Bảng 2.3. Kết quả mô phỏng với trường hợp búp sóng hai chiều.....	28
Bảng 3.1. Chỉ tiêu kỹ thuật hệ mô-đun thu phát và bộ chia L1.....	34
Bảng 3.2. Danh sách công cụ dụng cụ đo kiểm	37
Bảng 3.3. Kết quả đo kiểm búp sóng một chiều	41
Bảng 3.4. Kết quả đo kiểm búp sóng hai chiều.....	42

DANH MỤC VIẾT TẮT

Kí hiệu	Thuật ngữ Tiếng Anh	Thuật ngữ Tiếng Việt
CPA	Co-Prime Arrays	Mảng đồng dư
DOA	Direction Of Arrival	Hướng góc di chuyển
MIMO	Multiple In, Multiple Out	Nhiều đầu vào, nhiều đầu ra
NA	Nested Array	Mảng lồng nhau
NF2FF	Near-field to Far-field	Biến đổi trường gần – trường xa
NULA	None Uniform Linear Array	Mảng không tuyến tính đồng nhất
MHA	Minimum Hold Arrays	Mảng dự phòng tối thiểu
MRA	Minimum Redundancy Arrays	Mảng dự phòng tối thiểu
PCB	Printed Circuit Board	Bản mạch in
RF	Radio Frequency	Sóng điện từ mang thông tin
SBX	Sea Based X band Radar	Đài ra-đa biển băng tần X
SMA	SubMiniature version A)	Dây cáp dùng để kết nối các thiết bị truyền dẫn tín hiệu RF
SNA	Supper Nested Array	Mảng siêu lồng nhau
SNR	Signal to Noise Ratio	Tỉ lệ tín hiệu trên nhiễu
THAAD	Terminal High Altitude Area Defense	Hệ thống phòng thủ khu vực tầm cao giai đoạn cuối
TRM	Tranmit/Receiver Module	Khối thu/phát
ULA	Uniform Linear Array	Mảng tuyến tính đồng nhất
VNA	Vector network analyzer	Máy phân tích mạng

MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài

Với sự phát triển của thế hệ mạng viễn thông thế hệ thứ 5 (5G) và ra-đa sử dụng công nghệ ăng-ten mảng pha, ăng-ten mảng pha tích cực (active phased array antenna) đóng vai trò quan trọng và quyết định chất lượng cũng như tính năng của các sản phẩm. Theo nhu cầu ngày càng tăng về chất lượng như băng thông của các sản phẩm, yêu cầu về số lượng phần tử trong mảng pha của các ăng-ten cũng tăng lên. Sự gia tăng số lượng phần tử ăng-ten này tương đương với tăng độ rộng mặt mở, từ đó giúp tập trung năng lượng vào một hướng cụ thể, đồng thời nâng cao tỷ số tín trên tạp (SNR - Signal to Noise Ratio) và cải thiện khả năng xác định hướng đến (DOA - Direction Of Arrival).

Trong ăng-ten mảng tuyến tính đồng dạng (ULA – Uniform Linear Array), việc tăng số phần tử ăng-ten tích cực tương đương với việc tăng số lượng các kênh thu phát, làm tăng độ phức tạp của hệ thống gây nên chi phí sản xuất và tổn hao về năng lượng tiêu thụ. Điều này đặt ra một trở ngại lớn trong quá trình cạnh tranh sản phẩm so với các sản phẩm cùng loại và các sản phẩm của thế hệ trước. Thông thường, để giảm số phần tử ăng-ten (bao gồm phần tử thu – phát) mà vẫn giữ được độ rộng mặt mở ăng-ten, khoảng cách giữa hai phần tử ăng-ten liên tiếp có thể được sắp xếp lớn hơn một nửa bước sóng ($> \lambda/2$). Tuy nhiên, khi khoảng cách giữa các ăng-ten lớn sẽ gây ra các hài bướu bên (grating lobe) cao và làm giảm chất lượng của hệ thống.

Kiến trúc ăng-ten mảng thưa (Sparse Antenna Array) được áp dụng kết hợp với các thuật toán lựa chọn vị trí chấn tử, điều chỉnh bộ hệ số pha – biên độ của các chấn tử để giảm thiểu và loại bỏ các nhược điểm đã nêu trên. Ưu điểm của công nghệ này là vừa đảm bảo các thông số chính của hệ thống ăng-ten mảng pha cỡ lớn vừa tối ưu chi phí và độ phức tạp của hệ thống. Tuy nhiên, khi ứng dụng công nghệ mảng thưa cho ăng-ten mảng pha tích cực, các tham số như phạm vi láo tia điện, mức búp bên cần được nghiên cứu cải thiện để có thể ứng dụng cho các sản phẩm như ra-đa, vệ tinh, viễn thông.

Các đặc điểm chính của công nghệ mảng thừa và ăng-ten mảng tích cực cùng với ưu/nhược điểm của các công nghệ này là lý do để học viên lựa chọn đề tài: **“Nghiên cứu ứng dụng công nghệ mảng thừa cho mảng ăng-ten tích cực”**.

2. Tổng quan về vấn đề nghiên cứu

Có nhiều phương pháp tạo dạng kiến trúc ăng-ten mảng thừa đã được đề cập trong các nghiên cứu trước đây. Phương pháp MRA (Minimum Redundancy Arrays) có hiệu quả và tính ứng dụng cao trong truyền thông thiên văn học [1] và cũng được ứng dụng trong truyền thông số. Tương tự, phương pháp MHA (Minimum Hold Arrays) cũng được ứng dụng nhiều trong truyền thông thiên văn học [2]. Hai phương pháp MRA và MHA là các phương pháp đã được phát triển từ khá lâu, một số giải pháp mới được phát triển gần đây bao gồm CPA (Co-Prime Arrays), NA (Nested Array) [3], SNA (Supper Nested Array) [4]. Tuy nhiên, các giải pháp nêu trên chưa đạt yêu cầu cao về mức búp bên và phạm vi quét điện tử khi áp dụng cho ăng-ten mảng pha tích cực. Ví dụ trong ứng dụng ra-đa, búp bên được yêu cầu ở mức tối thiểu là 25 dB và phạm vi quét tối thiểu là 30 độ. Do đó, để nâng cao tính ứng dụng của công nghệ mảng thừa trong ăng-ten mảng tích cực, ngoài việc xem xét các tham số như hệ số chọn lọc không gian và hệ số tối ưu thành phần, các tiêu chí về mức búp bên và phạm vi quét điện tử được bổ sung nghiên cứu trong đề tài này để cải thiện khả năng hoạt động của hệ thống ăng-ten mảng thừa trong nhiều mảng ứng dụng.

3. Mục đích nghiên cứu

Nghiên cứu nhằm đạt được 2 mục đích chính sau đây:

- Nghiên cứu giải pháp tối ưu tham số khi áp dụng công nghệ ăng-ten mảng thừa cho ăng-ten mảng pha tích cực.
- Xây dựng hệ thống thực tế và đánh giá tham số của giải pháp.

4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu: giải pháp tối ưu tham số công nghệ ăng-ten mảng thừa khi áp dụng cho ăng-ten mảng pha tích cực.
- Phạm vi nghiên cứu: Đề án tập trung vào nghiên cứu giải pháp tối ưu tham số công nghệ ăng-ten mảng thừa khi áp dụng cho ăng-ten mảng pha tích cực. Xây dựng hệ thống thực tế, đánh giá tham số trên hệ thống này.

5. Phương pháp nghiên cứu

Trong quá trình nghiên cứu để đạt được mục tiêu, đề án dự kiến sử dụng các phương pháp:

- Tiếp cận bằng lý thuyết: sử dụng các công thức toán học và cơ sở lý thuyết để đặt vấn đề và giải quyết vấn đề.
- Tiếp cận bằng mô phỏng: sử dụng công cụ mô phỏng MATLAB để mô phỏng và kiểm chứng kết quả từ cơ sở lý thuyết. Đánh giá được hiệu quả của giải pháp thông qua kết quả giản đồ hướng trên mô phỏng.
- Tiếp cận bằng thực tiễn: xây dựng hệ thống thực tế để áp dụng, đánh giá kết quả tính toán và mô phỏng.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ ĂNG-TEN MẢNG THỬA

1.1 Giới thiệu về ăng-ten mảng

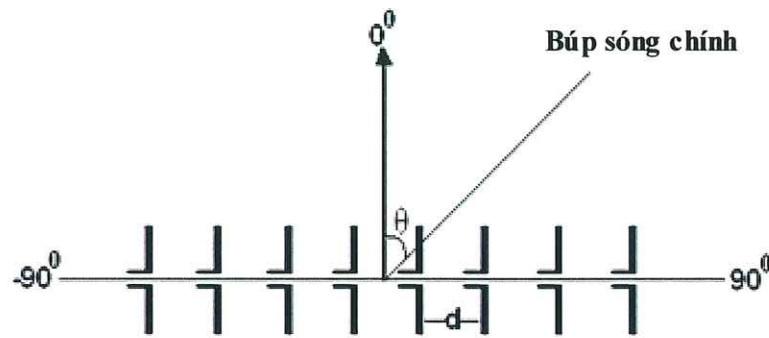
Trong thông tin liên lạc từ xa, việc sử dụng các ăng-ten có độ định hướng cao là cần thiết. Tuy nhiên, mô hình bức xạ của ăng-ten đơn phần tử thông thường có độ định hướng tương đối thấp [5]. Để giải quyết vấn đề này, một phương pháp được áp dụng là mở rộng kích thước của khẩu độ bức xạ, tuy nhiên, nó gây ra một số hạn chế, bao gồm sự xuất hiện của nhiễu bên và khó khăn trong việc chế tạo các ăng-ten có kích thước lớn. Một phương pháp hiệu quả để tăng kích thước điện của ăng-ten là xây dựng một mảng các phần tử bức xạ, trong đó trường bức xạ tổng là tổng hợp của các trường bức xạ riêng lẻ [5]. Để có tính định hướng cao, các thành phần trường bức xạ này tương tác theo hướng mong muốn và triệt tiêu tại các không gian còn lại. Đây chính là cách mà ăng-ten mảng được định nghĩa.

1.1.1 Ăng-ten mảng

Ăng-ten mảng là sự sắp xếp hình học của tập hợp các phần tử cảm biến riêng lẻ có cùng kiểu bức xạ, các phần tử này được kết nối hoạt động cùng nhau như một ăng-ten duy nhất để truyền hoặc nhận sóng vô tuyến [6]. Các ăng-ten thành phần thường được kết nối với một máy thu hoặc máy phát duy nhất, được bố trí theo cấu trúc hình học bất kỳ tại những vị trí khác nhau trong không gian mảng. Một số loại ăng-ten mảng điển hình như:

a. Ăng-ten mảng tuyến tính

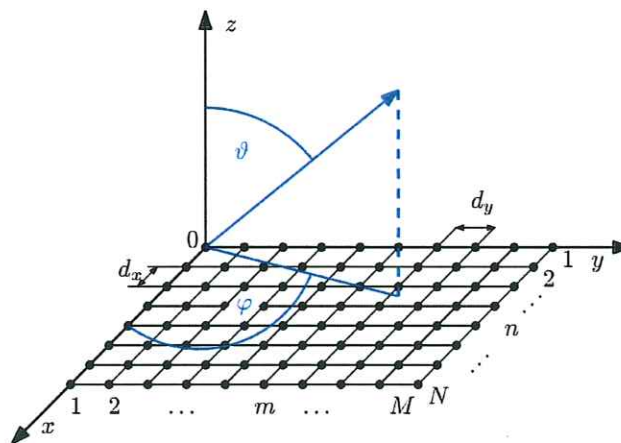
Các phần tử ăng-ten thành phần được sắp xếp dọc theo một trục với một bộ dịch pha. Với cấu trúc này, ăng-ten được bố trí đơn giản nhưng việc điều khiển chùm tia bị giới hạn trong một mặt phẳng.



Hình 1.1. Cấu trúc ăng-ten mảng tuyến tính [7]

b. Ăng-ten mảng phẳng

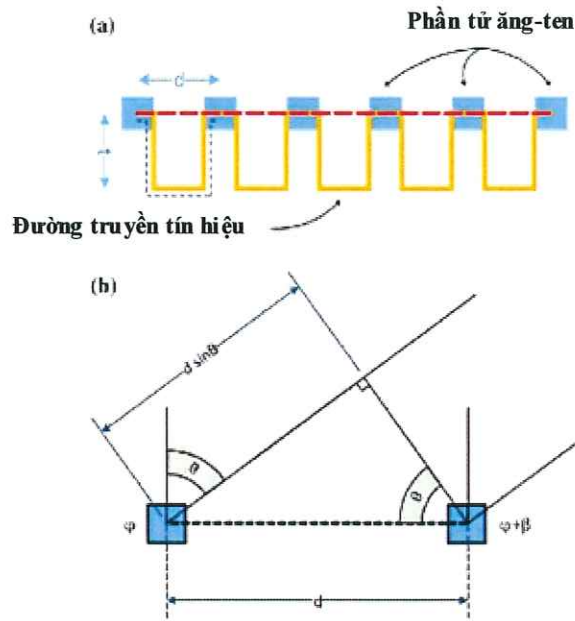
Ăng-ten mảng phẳng bao gồm nhiều ăng-ten riêng lẻ, mỗi ăng-ten được kết nối với một bộ dịch pha riêng. Các ăng-ten được sắp xếp theo cấu trúc ma trận trên một mặt phẳng. Nhờ cấu trúc này, chùm tia tạo ra có thể được lệch trong hai chiều phẳng khác nhau. Tuy nhiên, một nhược điểm của ăng-ten mảng phẳng là cần có số lượng lớn bộ dịch pha.



Hình 1.2. Cấu trúc ăng-ten mảng phẳng $N \times M$ phần tử ăng-ten thành phần [8]

c. Ăng-ten mảng quét tần số

Trong trường hợp việc điều khiển chùm tia phụ thuộc vào tần số của máy phát, ăng-ten mảng pha được gọi là ăng-ten mảng quét tần số. Ăng-ten mảng quét tần số không sử dụng bộ dịch pha và việc điều khiển chùm tia được thực hiện thông qua việc điều chỉnh tần số của máy phát.



Hình 1.3. a) Cấu trúc ăng-ten mảng quét tần số và b) Hướng truyền sóng [9]

d. Ăng-ten mảng pha

Ăng-ten mảng pha là ăng-ten mảng được điều khiển bằng điện tử để tạo ra chùm sóng vô tuyến, trong đó hình dạng và hướng của mẫu bức xạ có thể thay đổi thông qua việc quét điện tử mà không cần di chuyển ăng-ten về mặt vật lý [10]. Điều này đạt được bằng cách truyền tín hiệu có cùng tần số từ tất cả các phần tử riêng lẻ trong mảng nhưng có độ lệch, độ dịch pha nhất định giữa mỗi phần tử ăng-ten. Ăng-ten mảng pha gồm hai loại chính:

Ăng-ten mảng pha thụ động (Passive Phased Array), các phần tử ăng-ten không có khả năng điều chỉnh độ pha và biên độ một cách độc lập, thay vào đó, hình dạng và hướng của mẫu sóng được điều chỉnh thông qua thiết kế vật lý của mảng ăng-ten. Các phần tử ăng-ten thường được kết hợp với các phần tử phản xạ hoặc chất điện từ khác để tạo ra mẫu sóng mong muốn [11].

Ăng-ten mảng pha tích cực (Active Phased Array), mỗi phần tử ăng-ten trong mảng có thể được điều chỉnh độc lập về pha và biên độ sử dụng mạch kích hoạt riêng. Nó cung cấp khả năng kiểm soát linh hoạt về hình dạng và hướng của mẫu sóng phản xạ, cho phép thay đổi hướng quét, phát hiện và theo dõi mục tiêu một cách nhanh chóng [12].

Trong nghiên cứu hiện đại, ăng-ten mảng, đặc biệt là ăng-ten mảng pha tích cực, đang thu hút sự quan tâm rất lớn vì những lợi ích mà nó mang lại.

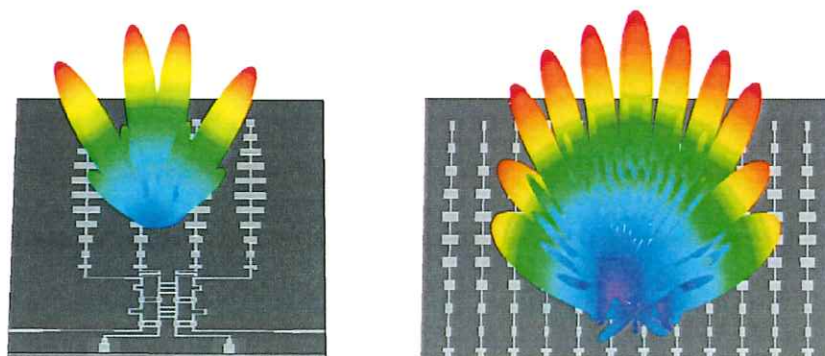
1.1.2 Ứng dụng của ăng-ten mảng

Ăng-ten mảng có nhiều ứng dụng quan trọng trong lĩnh vực truyền thông di động, ra-đa, truyền thông vệ tinh và máy bay không người lái.

a. Truyền thông di động

Trong truyền thông 5G, các công nghệ như MIMO, đa chùm tia, đa truy cập và mạng siêu mật độ được sử dụng để nâng cao hiệu suất hệ thống trên tần số sóng milimet. Mặc dù tần số sóng này không phù hợp cho việc truyền thông di động do tổn thất cao, các kỹ thuật như tạo chùm tia có thể giải quyết vấn đề này bằng cách tập trung bức xạ từ cấu trúc ăng-ten mảng. Điều này quan trọng để đạt được băng thông rộng, vùng phủ sóng rộng, công suất lớn và khả năng tạo ra nhiều chùm tia độc lập trong môi trường 5G [13]. Một số lợi ích khi ứng dụng kiến trúc ăng-ten mảng trong 5G như sau:

- Tối ưu hóa hiệu suất mạng: Bằng cách điều khiển chùm sóng điện tử, tín hiệu được tập trung vào các thiết bị một cách hiệu quả hơn, tạo kết nối đáng tin cậy và giảm nhiễu xung quanh. Khả năng tự động thích ứng với môi trường và nhu cầu người dùng giúp đảm bảo tốc độ và khả năng kết nối.
- Bảo đảm kết nối mạng: Kiến trúc ăng-ten mảng tạo ra nhiều chùm sóng vô tuyến, phục vụ từng thiết bị một cách độc lập. Khả năng đa tia giúp mạng 5G hỗ trợ đa dạng thiết bị mà không giảm hiệu suất.



Hình 1.4. Mô hình đa búp sóng tạo bởi cấu trúc ăng-ten mảng pha [14]

- Thúc đẩy phát triển ứng dụng: Ăng-ten mảng đóng vai trò quan trọng trong việc phát triển các ứng dụng cao cấp như thành phố thông minh, phẫu thuật từ xa và thực tế ảo trên mạng 5G thông qua các thiết kế ăng-ten thông minh.

b. Hệ thống ra-đa

Ăng-ten mảng được sử dụng trong ra-đa để phát hiện, theo dõi và xác định vị trí các đối tượng di động. Các thiết kế ăng-ten truyền thống như feedhorn dần được thay thế bằng ăng-ten mảng pha nhờ vào những ưu điểm như mẫu ăng-ten linh hoạt, dải động lớn, khả năng điều khiển hướng sóng, hiệu suất tốt, độ nhạy cao, khả năng giảm nhiễu, và độ chính xác cao trong việc đo góc [15] [16].



Hình 1.5. Ăng-ten mảng phẳng ra-đa phòng không di động VHF Nebo-M [17]

Một số các sản phẩm ra-đa quân sự thế hệ mới do Viettel sản xuất sử dụng kiến trúc ăng-ten mảng như VRS-SRS, VRS – MRS [18] đã bắt kịp xu hướng với các sản phẩm của các hãng sản xuất ra-đa nổi tiếng trên thế giới như Thales (Pháp), Lockheed Martin (Mỹ), nhận được sự quan tâm lớn của truyền thông trong nước và quốc tế.

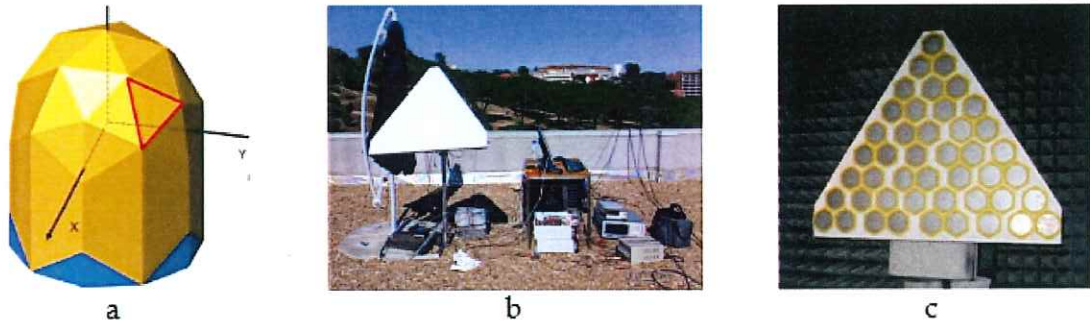


Hình 1.6. Kiến trúc ăng-ten mảng trong đài ra-đa 3D VRS-MRS [18]

c. Truyền thông vệ tinh

Ban đầu, ăng-ten vệ tinh sử dụng ăng-ten đĩa đơn có kích thước lớn và chỉ có thể nhận tín hiệu từ một vệ tinh duy nhất. Tuy nhiên, với sự tiến bộ của công nghệ, ăng-ten mảng pha đã trở thành một lựa chọn phổ biến trong ngành truyền

thông vệ tinh [19]. Ăng-ten mảng pha cho phép điều chỉnh góc phát sóng và tạo mẫu pha, điều này mang lại nhiều lợi ích, bao gồm khả năng quét rộng, tạo mô hình phát sóng đa hướng cho phép phục vụ các khu vực hẹp và mật độ dân số cao, beamforming cho phép tập trung tín hiệu vệ tinh vào các khu vực cụ thể, cải thiện chất lượng tín hiệu và giảm nhiễu. Ngoài ra, ăng-ten mảng cũng có khả năng điều chỉnh để tránh nhiễu từ thời tiết xấu như mưa, tuyết hay mây đen, giúp đảm bảo ổn định liên lạc trong môi trường khắc nghiệt.



Hình 1.7. a) Ăng-ten mảng mái vòm trắc địa (GEODA); b) Mô hình hoạt động của mảng con trong kiến trúc GEODA; c) Chi tiết mảng phẳng tích cực 45 phần tử

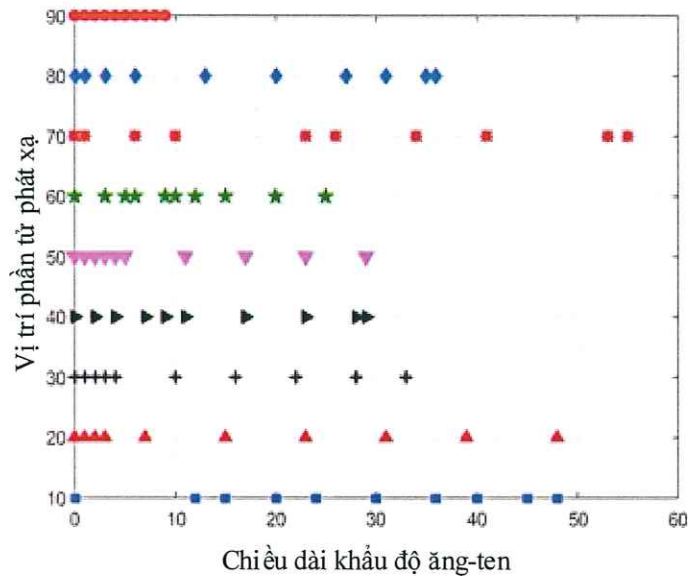
1.2 Giới thiệu về công nghệ ăng-ten mảng thưa

Trong kiến trúc ăng-ten mảng, đặc biệt trong các ứng dụng sử dụng nhiều phần tử thu phát (TRM) như ra-đa (ví dụ như đài ra-đa Sea Based X band (SBX) với 45056 TRM), giá trị của mỗi TRM thường rất cao (một khối TRM có giá trị khoảng 16,000 \$). Để giảm chi phí sản xuất và thời gian lắp đặt, kiến trúc ăng-ten mảng thưa đang là một hướng nghiên cứu đang rất được quan tâm. Việc áp dụng kiến trúc này nhằm bảo toàn những ưu điểm của ăng-ten mảng mà vẫn giảm chi phí của sản phẩm dựa trên việc giảm số lượng TRM và các phần tử ăng-ten. Cấu trúc, đặc điểm và ứng dụng của kiến trúc ăng-ten này được trình bày dưới đây.

1.2.1 Cấu trúc và đặc điểm của công nghệ ăng-ten mảng thưa

Ăng-ten mảng thưa tuyến tính là một dạng của mảng tuyến tính không đồng nhất (NULA), có độ rộng khẩu độ bằng mảng ULA nhưng mật độ các phần tử thưa hơn so với mảng ULA [20]. Các phần tử ăng-ten trong mảng thưa được phân tán rải rác và có khoảng cách không đều. Điều này tạo ra một cấu trúc mảng không đồng nhất, gồm các vị trí ăng-ten được chọn một cách không liên tục và có thể không đối xứng. Cấu trúc mảng thưa cần ít phần tử phát xạ hơn để cung cấp

cùng khẩu độ so với mảng ULA. Tuy nhiên, sự thiếu phần tử phát xạ đầu tiên/cuối cùng hoặc cả hai sẽ làm giảm khẩu độ mảng đi một hoặc hai đơn vị. Do đó, phần tử phát xạ đầu tiên và cuối cùng được giả định rằng luôn hoạt động để bảo toàn khẩu độ mảng [20].



Hình 1.8. Một số vị trí đặt phần tử ăng-ten trong kiến trúc mảng thưa [20]

Kiến trúc ăng-ten mảng thưa có những ưu điểm cũng như nhược điểm riêng, cần cân đối giữa các ưu nhược điểm này để hướng tới cấu hình hiệu quả phục vụ từng yêu cầu riêng. Cấu trúc ăng-ten mảng thưa giảm đáng kể chi phí do giảm số phần tử thu phát và ăng-ten, giảm yêu cầu về nguồn năng lượng và không gian vật lý. Cấu trúc này cũng giúp giảm hiện tượng ghép nối lẫn nhau (mutual coupling) trong mảng ăng-ten, từ đó giảm ảnh hưởng của nhiễu tiêu cực đến tín hiệu phát/thu. Ngoài ra, đối với một số lượng cảm biến nhất định, mảng thưa cung cấp khẩu độ lớn hơn và mức độ tự do cao hơn so với mảng đầy đủ. Tuy nhiên, kiến trúc ăng-ten mảng thưa cũng có một số nhược điểm như khả năng thu thập thông tin từ một hướng cụ thể có thể bị hạn chế do việc khuyết ăng-ten tại một số vị trí. Trong gia công kiến trúc ăng-ten mảng thưa phức tạp hơn so với mảng đầy đủ, đòi hỏi các kỹ thuật xử lý tín hiệu phức tạp để khắc phục các vấn đề liên quan đến mất dữ liệu và nhiễu.

1.2.2 Ứng dụng của công nghệ ăng-ten mảng thưa

Ăng-ten mảng thưa đã được áp dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực tương tự như ăng-ten mảng truyền thống. Những ứng dụng này đã được trình bày trong [21]:

a. Truyền thông di động

Các mảng ăng-ten yêu cầu khả năng quét rộng để phục vụ các yêu cầu phủ sóng không gian hiện đại như trong các ứng dụng 5G MIMO. Thông thường, các mảng ăng-ten dày đặc hoặc đồng nhất thông thường có những hạn chế về hiệu suất do sự ghép nối lẫn nhau [22] giữa các phần tử mảng và sự xuất hiện của các thùy cách tử khi quét chùm tia chính của các mảng này. Những hạn chế về thiết kế này có thể khắc phục bằng cách sử dụng ăng-ten mảng thưa.

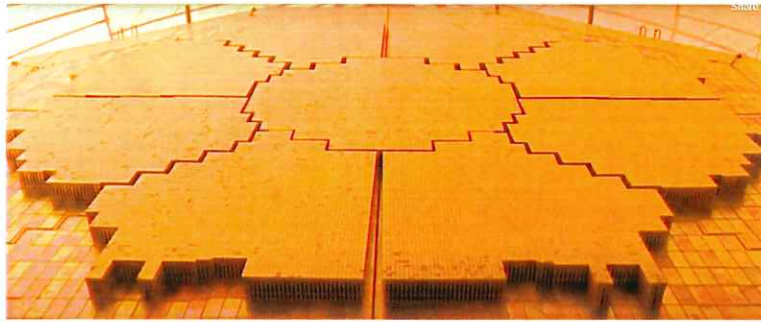
Hệ thống 5G khai thác công nghệ tạo chùm tia để tập trung tín hiệu truyền và thu sóng tới các thiết bị di động cụ thể, thay vì phát và thu sóng rộng rãi. Cụ thể, việc triển khai ăng-ten mảng thưa trên các trạm cơ sở là một trong những giải pháp phổ biến. Thiết kế này không chỉ giúp giảm chi phí và độ phức tạp của hệ thống ăng-ten, mà còn giảm nhu cầu về năng lượng và không gian vật lý. Điều này góp phần giảm chi phí triển khai và vận hành hệ thống 5G một cách đáng kể. Massive MIMO, một trong những kỹ thuật của 5G, sử dụng ăng-ten mảng thưa với hàng trăm cột phát tại các ổ cắm cáp, từ đó cải thiện hiệu suất của hệ thống.

b. Hệ thống ra-đa

Kiến trúc ăng-ten mảng thưa được sử dụng tạo ra MIMO ra-đa. Thiết kế mảng ăng-ten thưa cho phép tạo ra các đường tín hiệu phân cực giao thoa, tạo ra các chùm tia phức tạp và đa hướng. Điều này cho phép ra-đa phát hiện và phân loại mục tiêu trong không gian 3D, cải thiện độ chính xác và độ tin cậy của hệ thống.

Đối với ra-đa sử dụng trong quân sự, kiến trúc mảng thưa được áp dụng đặc biệt trong các đài có kích thước và công suất lớn, điển hình là đài SBX (Sea-based X-band) của Raytheon. Đài ra-đa này được phát triển như một phần của Hệ thống Phòng thủ Tên lửa Dạn đạo của Bộ Quốc phòng Hoa Kỳ. Cấu trúc ăng-ten của ra-đa trên sử dụng cấu trúc mảng thưa thông qua việc ngẫu nhiên hóa vị trí các phần tử để giảm hiện tượng các búp sóng bên lớn. So với ra-đa không sử dụng cấu trúc mảng thưa như ra-đa AN/TPY-2 - một trong những ra-đa chính trong hệ thống tên lửa THAAD (Terminal High Altitude Area Defense), SBX

được thiết kế với vùng hoạt động và khẩu độ rất lớn, xấp xỉ 40 lần so với AN/TPY-2 mặc dù chỉ có số lượng mô-đun TRM gấp đôi [23].



Hình 1.9. Kiến trúc ra-đa của đài SBX [23]

c. Truyền thông vệ tinh

Để cung cấp vùng phủ sóng linh hoạt cho các dịch vụ vệ tinh, một mảng hoạt động với các phần tử kích thích riêng lẻ là một giải pháp thay thế hấp dẫn cho các ăng-ten phản xạ thông thường. Mảng tuần hoàn truyền thống phải chịu hàng trăm phần tử bức xạ và chuỗi tần số vô tuyến (RF) cần thiết, điều này làm tăng chi phí và trọng lượng đáng kể. Một mảng thưa thớt với số lượng bộ bức xạ đẳng điện (biên độ cân bằng) giảm rất được mong muốn. Các ấn phẩm liên quan đến việc tổng hợp các mảng thưa [24] [25] cho thấy sự quan tâm lớn đến việc ứng dụng các mảng thưa. Cũng trong đó, việc tổng hợp mảng đẳng tích thưa tạo ra các chùm bút chì có thể điều khiển để bao phủ toàn bộ trái đất từ quỹ đạo GEO cũng được giải thích kỹ lưỡng.

1.3 Kết luận chương

Chương 1 đã giới thiệu các kiến thức cơ bản về định nghĩa và cấu trúc của công nghệ ăng-ten mảng và ăng-ten mảng thưa. Cụ thể, phần 1 định nghĩa ăng-ten mảng và trình bày các ưu điểm so với ăng-ten đơn phần tử để tăng khả năng định hướng. Phần 2 giới thiệu công nghệ ăng-ten mảng thưa, một hướng nghiên cứu nhằm giảm chi phí nhưng vẫn giữ được các ưu điểm của ăng-ten mảng bằng cách giảm số lượng phần tử. Bên cạnh đó, ứng dụng của các kiến trúc ăng-ten này trong thiết kế truyền thông di động, hệ thống ra-đa và truyền thông vệ tinh cũng được đề cập. Đây là các cơ sở nền tảng của các nghiên cứu tiếp theo về lĩnh vực này. Việc giảm số lượng phần tử ăng-ten để tiết kiệm chi phí thiết kế khiến cho kiến trúc mảng thưa phải đánh đổi một số thông số bức xạ ăng-ten, đặc

biệt là mức búp bên tương đối cao. Điều này làm tăng khối lượng xử lý nhiều cho hệ thống do các mức búp bên này gây ra. Vì vậy, Chương 2 sẽ trình bày chi tiết về số liệu mức búp bên cao được đề cập trong một số nghiên cứu gần đây và các phương pháp giải quyết vấn đề này của các tác giả.

CHƯƠNG 2. VẤN ĐỀ BÚP SÓNG BÊN CAO VÀ GIẢI PHÁP CẢI THIỆN

Khoảng cách giữa các phần tử ăng-ten có tác động quan trọng đến hình dạng búp sóng do liên quan trực tiếp đến sự xuất hiện của các thùy cách tử. Các thùy cách tử này tương đương về năng lượng với búp chính, nhưng xuất hiện ở các hướng khác với mong muốn, gây nhiễu tín hiệu lớn và giảm năng lượng của búp sóng chính. Mức khoảng cách lý tưởng nhất là bằng một nửa bước sóng để ngăn ngừa sự hình thành các thùy cách tử này. Tuy nhiên, trong cấu trúc mảng thưa, khoảng cách giữa các phần tử thường lớn hơn nhiều so với mức này. Do đó, các nghiên cứu về cách sắp xếp vị trí các phần tử để hạn chế các thùy cách tử là vấn đề cần được quan tâm.

2.1 Các dạng ăng-ten mảng thưa đang được nghiên cứu

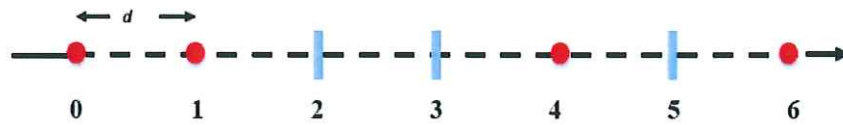
Tổng quan, các kiến trúc ăng-ten mảng thưa có thể được tùy chỉnh và sử dụng cho các ứng dụng cụ thể, nhằm cải thiện hiệu suất, tối ưu hoá không gian vật lý và đáp ứng yêu cầu của hệ thống truyền thông và ra-đa. Một số kiến trúc ăng-ten mảng thưa phổ biến được sử dụng như sau:

2.1.1 Minimum redundancy arrays (MRAs)

Mảng dự phòng tối thiểu (MRA) được tổng hợp từ ULA bằng cách loại bỏ các phần tử phát xạ có cùng khoảng cách không gian sao cho các phần tử được giữ lại có khả năng tạo tất cả các khoảng cách có thể có giữa 0 và khẩu độ được chỉ định [20]. Trường hợp không có cặp phần tử phát xạ dư thừa và mỗi khoảng cách không gian được tạo chính xác một lần chỉ xuất hiện với số phần tử phát xạ < 4 . Với các trường hợp còn lại, cấu trúc MRA được tìm kiếm vết cạn để tạo cấu hình mong muốn. Hàm tối ưu trong cấu hình MRA ưu tiên sự xuất hiện của tất cả khoảng cách giữa khẩu độ ăng-ten nhất định (một khoảng cách không gian có thể xuất hiện nhiều lần).

Ưu điểm của cấu trúc MRA là tăng hiệu quả không gian do chỉ giữ lại các phần tử ăng-ten cần thiết để đạt được hiệu suất mong muốn và giảm hiệu ứng nhiễu không mong muốn, hiện tượng ghép nối lẫn nhau, ... Tuy nhiên, cách sắp xếp phần tử trong kiến trúc này không được tính toán qua biểu thức mà mất thời

gian và công sức do cần tìm kiếm lựa chọn kiến trúc tối ưu. Bên cạnh đó, hiệu suất phát xạ của cấu trúc này bị suy giảm so với cấu trúc ăng-ten mảng ULA.



Hình 2.1. Mảng MRA 4 phần tử tương đương với mảng ULA 7 phần tử [26]

2.1.2 Minimum hole arrays (MHAs)

Cấu trúc MHA được xây dựng bằng cách tối ưu hóa các vị trí phần tử phát xạ để các khoảng cách không gian giữa các ăng-ten thành phần chỉ xuất hiện một lần, không có hai cặp phần tử phát xạ nào mà khoảng cách giữa chúng là bằng nhau [20]. Các cấu trúc MHA lý tưởng không tồn tại cho các mảng có nhiều hơn 4 phần tử phát xạ. Giống như MRA, không có công thức để xác định vị trí tối ưu của phần tử phát xạ trong MHA. Hàm mục tiêu để lựa chọn khoảng cách giữa các phần tử ăng-ten thành phần theo phương pháp MHA như sau: giả sử mảng chứa khoảng cách giữa các phần tử ăng-ten thành phần là một tập hợp các số nguyên $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ được sắp xếp theo thứ tự tăng dần. Đối với số nguyên dương khác 0 duy nhất, có nhiều nhất một nghiệm của phương trình $x = a_j - a_i$ với $a_i, a_j \in A$. Vị trí khoảng cách tối ưu nhất sử dụng phương pháp MHA có $a_1 = 0$; $a_n = 27$ và có thể cung cấp khẩu độ tương đương ULA có 553 phần tử [27].

Ưu điểm và nhược điểm của cấu trúc MHA tương tự cấu trúc MRA.

2.1.3 Co-prime arrays

Cấu trúc mảng co-prime đặt các phần tử ăng-ten thành phần sao cho khoảng cách giữa chúng là tỉ lệ của hai số đồng nguyên tố [20]. Cấu trúc mảng co-prime được xây dựng dựa trên hai mảng ULA. Một ULA có $2P$ phần tử và khoảng cách giữa từng phần tử là Q ; tương tự, ULA còn lại có Q phần tử và khoảng cách giữa từng phần tử là P . Trong đó P, Q là hai số nguyên tố cùng nhau với điều kiện $P < Q$ [28]. Vị trí khoảng cách của ULA đầu tiên được cho bởi $S_1 = \{q \times P | q = 0, 1, 2, \dots, Q-1\}$; tương tự, ULA thứ hai được cho bởi $S_2 = \{p \times Q | p = 0, 1, 2, \dots, 2 \times P - 1\}$. Khoảng cách của mảng co-prime là $S_{cp} = S_1 \cup S_2$.

Cấu hình mảng co-prime được tính toán tức thời với thông tin số hai số đồng nguyên tố được cung cấp. Bằng cách thay đổi các số nguyên cùng nhau, khoảng

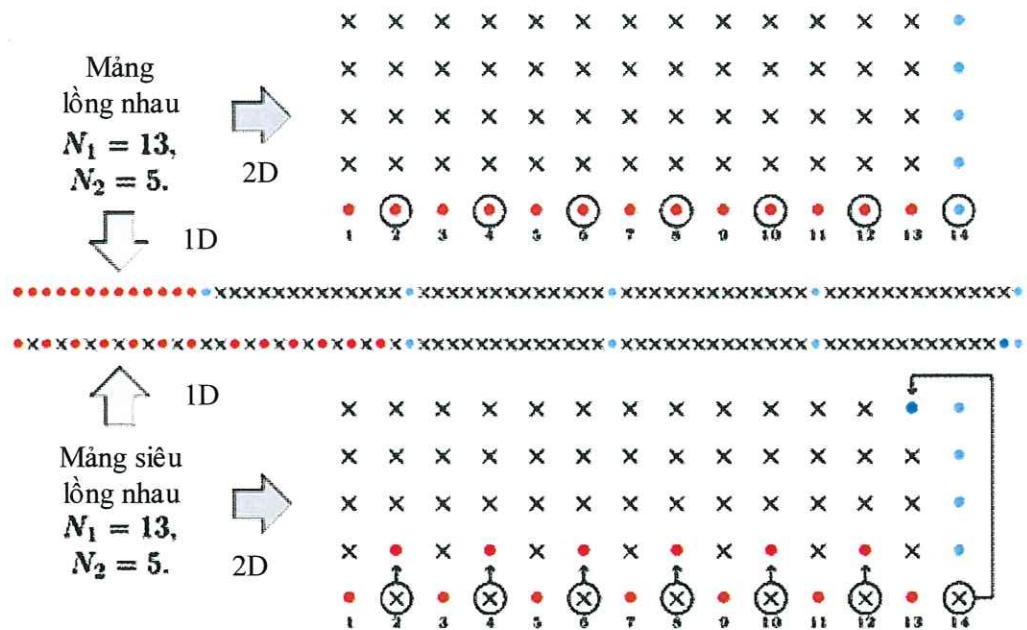
cách giữa các phần tử ăng-ten có thể được điều chỉnh. Tuy nhiên, mảng co-prime giới hạn hiệu suất phát xạ so với cấu trúc ăng-ten mảng ULA.

2.1.4 Nested arrays, super-nested arrays

Cấu trúc mảng lồng nhau (nested arrays - NA) cung cấp các mảng chứa đầy đủ khoảng cách giữa các khẩu độ ăng-ten. Mảng lồng nhau tốt hơn mảng đồng nguyên tố vì chúng cung cấp các mảng không có lỗ hổng (không khuyết khoảng cách giữa các khẩu độ ăng-ten). Cần có hai ULA để có được một mảng lồng nhau. ULA_1 có số phần tử phản xạ là N_1 với khoảng cách giữa các phần tử theo đơn vị (khoảng cách ULA), tương tự, ULA_2 có số phần tử phản xạ N_2 với khoảng cách giữa các phần tử là N_1+1 . Mảng lồng nhau tổng thể được đưa ra bởi sự kết hợp của hai ULA này.

Cấu trúc mảng siêu lồng nhau (super-nested arrays - SNA): Mặc dù mảng lồng nhau tốt hơn mảng đồng nguyên tố về khả năng cung cấp các đầy đủ khoảng cách không gian giữa các phần tử phát xạ, nhưng chúng bị ảnh hưởng nghiêm trọng bởi sự ghép nối lẫn nhau giữa các phần tử liền kề do kích thước ULA dày đặc ở đầu (cấp 1). Mảng siêu lồng nhau được sử dụng để khắc phục nhược điểm này [29]. Các phần tử cấp 1 của mảng lồng nhau được sắp xếp xen kẽ đến các vị trí khác nhau trong phạm vi của mảng để giảm số lượng phát xạ có khoảng cách đơn vị. Sự khác biệt giữa kiến trúc của NA và SNA thể hiện trong Hình 2.2, với $N_1 = 13$ tương ứng với các phần tử cách nhau khoảng cách đơn vị (màu đỏ); $N_2 = 5$ là các phần tử mảng thưa (màu xanh). Có thể thấy các phần tử màu đỏ trong cấu trúc SNA thưa hơn 1 đơn vị so với các phần tử trong cấu trúc NA.

Ưu điểm của cấu trúc NA và SNA là cấu hình mảng được tính toán tức thời theo thông tin số hai số đồng nguyên tố được cung cấp và mức độ thưa hơn của mảng super-nested giúp giảm nhiễu từ các nguồn tín hiệu khác nhau và cải thiện chất lượng tín hiệu thu. Tuy nhiên, cấu trúc mảng này không xuất hiện đầy đủ khoảng cách giữa các khẩu độ ăng-ten nên giới hạn hiệu suất phát xạ so với cấu trúc ăng-ten mảng ULA.

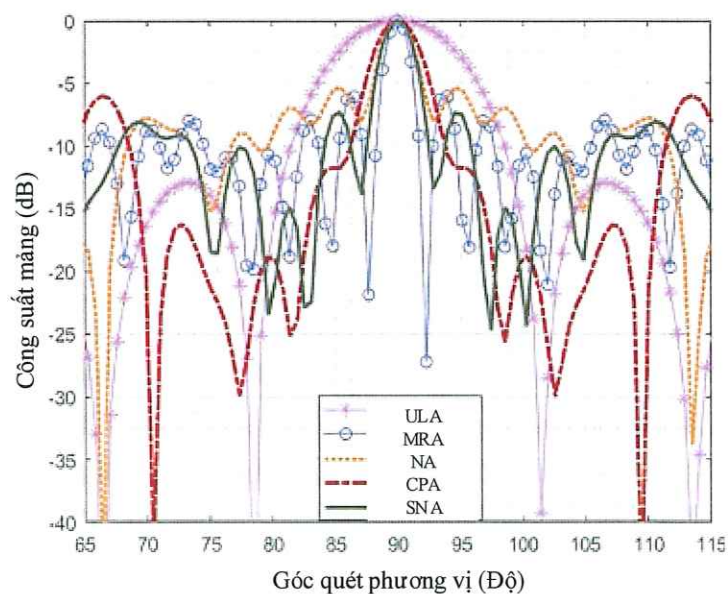


Hình 2.2. Biểu diễn 2D của mảng lồng nhau và mảng siêu lồng nhau [4]

2.2 Nhược điểm của các nghiên cứu về kiến trúc ăng-ten mảng thưa

Dựa trên kết quả mô phỏng được công bố trong các công trình [20] [21] của các dạng ăng-ten mảng thưa, một số hạn chế của cấu trúc trên như sau:

- Cấu trúc ăng-ten trên có mức búp sóng bên cao (mức độ rò rỉ năng lượng ra ngoài vùng chính) do các phần tử ăng-ten được đặt cách xa nhau, từ đó khiến công suất búp sóng chính bị suy giảm và tăng nguy cơ thu tín hiệu không mong muốn hoặc phát xạ ngoài búp sóng chính (được thể hiện trong Hình 2.3).



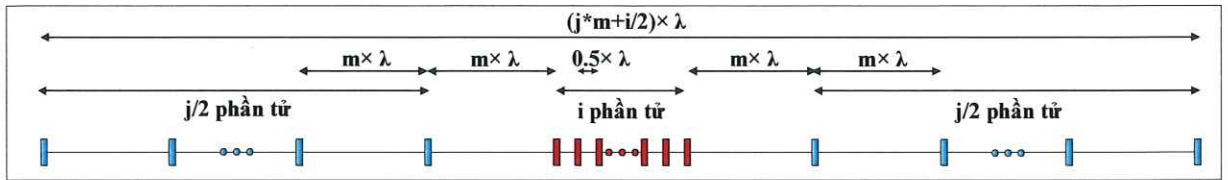
Hình 2.3. Mức búp bên và búp sóng chính của một số kiến trúc mảng thưa [20]

- Thiết kế của cấu trúc ăng-ten mảng thưa phức tạp hơn so với ăng-ten ULA truyền thống do khoảng cách giữa các phần tử không đồng đều, cần sự chính xác hơn trong gia công thiết kế.
- Đặc biệt, trong thiết kế ăng-ten, việc không đồng đều khoảng cách giữa các phần tử thường chỉ áp dụng cho các thiết kế nhỏ. Tuy nhiên, trong trường hợp của các mảng ăng-ten lớn chứa nhiều phần tử, việc chia thiết kế thành các khối có khả năng sản xuất hàng loạt là một thách thức. Điều này đặc biệt ảnh hưởng trong lĩnh vực ra-đa với các đài sử dụng mảng ăng-ten lớn, ví dụ như đài AN/TPY-2 với 25,344 phần tử ăng-ten, được tổ chức thành một ma trận ăng-ten 72x72 (2 chiều) [30]. Trong trường hợp này, nếu áp dụng kiến trúc mảng thưa, quá trình sản xuất hàng loạt sẽ trở nên phức tạp và tăng thời gian cũng như chi phí.

Với các ứng dụng yêu cầu mức búp bên thấp đảm bảo cả trong trường hợp quét búp sóng và có khả năng block hóa phục vụ sản xuất loạt như ăng-ten trên các đài ra-đa, các dạng ăng-ten mảng thưa đã trình bày không đáp ứng các yêu cầu thiết kế. Do đó, các phương pháp để đảm bảo các yêu cầu áp dụng trên kiến trúc mảng thưa được tác giả tập trung nghiên cứu.

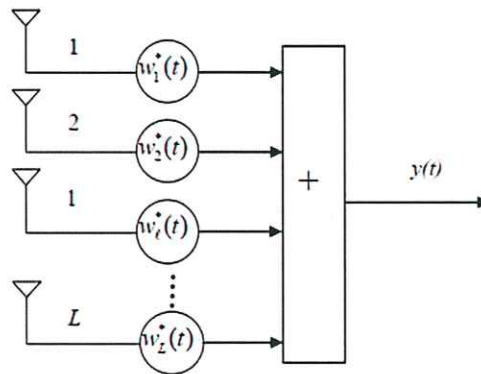
2.3 Giải pháp đề xuất

Dựa trên quá trình phân tích các kiến trúc ăng-ten mảng thưa, phương pháp mảng lồng nhau và các biến thể của nó được nghiên cứu sâu hơn để giải quyết các bất cập còn tồn đọng. Đề án này đề xuất giải pháp điều chỉnh kiến trúc mảng lồng nhau để giải quyết vấn đề mức búp bên cao khi quét búp sóng dưới dạng có thể block hóa kiến trúc ăng-ten tổng thể. Mô hình ăng-ten mảng phẳng đề xuất được chia thành 2 phần: Các ăng-ten bên trong (inner) gồm i phần tử được sắp xếp với cấu trúc mảng ULA (khoảng cách giữa các phần tử $d_{\text{inner}} \leq \lambda/2$); các ăng-ten bên ngoài (outer) gồm j phần tử được xếp với cấu trúc mảng thưa ($d_{\text{outer}} = m \times \lambda$; $m = 1, 2, 3, \dots$), được tách thành hai phần bao bên ngoài và đặt cách đều cấu trúc bên trong một khoảng $d_1 = m \times \lambda$.



Hình 2.4. Kiến trúc ăng-ten mảng thưa đề xuất

Búp sóng trong toán học được xây dựng dựa trên lý thuyết về ăng-ten mảng pha. Mảng ăng-ten có $L = (i + j)$ phần tử, mô hình tạo búp sóng hẹp của mảng ăng-ten được thể hiện trong Hình 2.5.



Hình 2.5. Mô hình kỹ thuật tạo búp sóng hẹp

Tín hiệu ngõ ra của dãy $y(t)$ được tính toán theo toán học như sau:

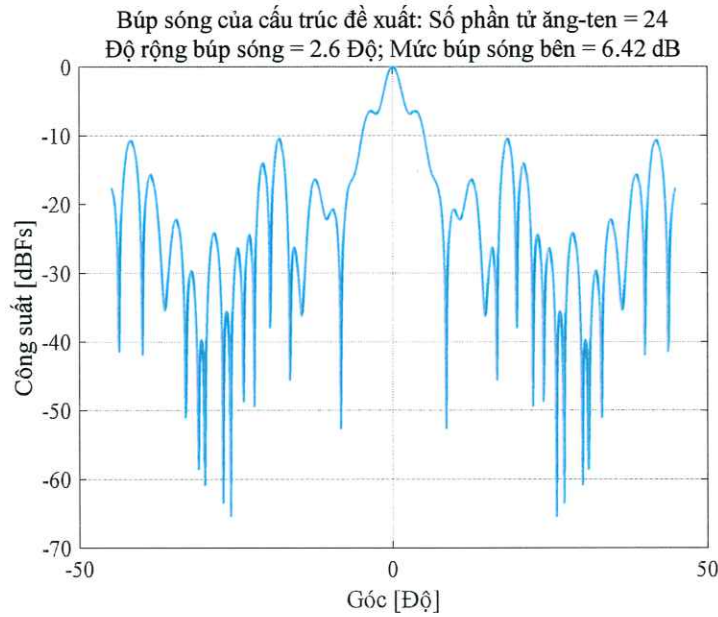
$$y(t) = \sum_{l=1}^L w_l^* x_l(t) = w^H x(t) \quad \#(2.1)$$

$$x(t)_l = \frac{2\pi d_l}{\lambda} \sin(\theta) \quad \#(2.2)$$

Trong đó:

- $w = [w_1, w_2, \dots, w_L]^T$ biểu thị bộ trọng số phức ở từng phần tử,
- $x(t) = [x_1, x_2, \dots, x_L]^T$ biểu thị tín hiệu nhận được từ từng phần tử,
- d_l : khoảng cách từ phần tử thứ 1 đến phần tử tham chiếu (phần tử đầu tiên),
- θ : góc quét ăng-ten,
- $(*)$ là phép tính liên hợp phức, H là chuyển vị liên hợp phức.

Giả sử $i = 16$, $j = 8$, $d_{\text{outer}} = 3 \times \lambda$ ($m=3$), $d_{\text{inner}} = \lambda/2$, hình dạng búp sóng được mô phỏng bằng MATLAB như trên Hình 2.6.



Hình 2.6. Hình dạng búp sóng với cấu trúc đề xuất tại góc quét 0°

Hình 2.6 cho thấy có nhiều điểm mức búp bên xuất hiện với giá trị công suất lớn, tăng nguy cơ nhiễu tín hiệu. Do đó, các giải pháp làm suy giảm các vị trí búp bên cần được nghiên cứu và thực hiện. Các giải pháp được tìm kiếm dựa trên yêu cầu của từng ứng dụng cụ thể bao gồm mẫu bức xạ một chiều và mẫu bức xạ hai chiều.

2.3.1 Ứng dụng sử dụng mẫu bức xạ một chiều

Trong các hệ thống sử dụng mẫu bức xạ một chiều như hệ thống 4G, 5G, việc suy giảm các mức búp bên được thực hiện dựa trên việc tìm bộ hệ số phức w trong công thức (2.1) sao cho công suất tại các vị trí có mức búp bên lớn được giảm đến mức mong muốn. Trong đề án này, phương pháp trọng số thích nghi được nghiên cứu để tìm bộ hệ số phức w với mục đích tập trung công suất búp sóng chính đến một vị trí mong muốn và hạn chế công suất tại vị trí bên cụ thể, trong trường hợp này là các vị trí góc xuất hiện mức búp bên cao. Các bước thực hiện cụ thể như sau:

Bước 1: Xây dựng hàm mục tiêu F với đầu vào các hệ số w , đầu ra là giá trị thể hiện mối quan hệ giữa các đại lượng cần quan tâm như hướng búp sóng chính (X_{main}), hướng góc cần vô hiệu hóa (X_{null}). Nghiệm w cần được tìm để hàm cực tiểu hóa hàm F .

$$F = \min \|w^T X_{\text{null}}\|^2 - \alpha \|w^T X_{\text{main}}\|^2 \quad (2.3)$$

Trong đó:

- w là vector trọng số định dạng tia – các hệ số cần tìm,
- $X_{null} = \{X_{n_1}, X_{n_1}, \dots, X_{n_{N-1}}, X_{n_N}\}$ và $X_{main} = X_{main} = \{X_{m_1}, X_{m_1}, \dots, X_{m_{M-1}}, X_{m_M}\}$ lần lượt là vector tín hiệu thu bởi các phần tử ăng-ten ứng với N vị trí góc vô hiệu hóa (θ_{null}) và M vị trí góc muốn hướng tới (θ_{main}),
- Giá trị của các đại lượng vector thuộc X_{null} và X_{main} là tổng hợp tín hiệu của n phần tử ăng-ten, tính toán theo công thức (2.1), (2.2).

Bước 2: Tìm nghiệm tối ưu w thông qua các thuật toán tối ưu. Trong đề án này, thuật toán thay đổi độ dốc của hàm (Gradient descent) được ưu tiên sử dụng, giá trị bộ trọng số w sau mỗi lần lặp được cập nhật như sau:

$$w_{k+1} = w_k - \mu \frac{\partial F}{\partial w} \quad (2.4)$$

Một số điều kiện dừng trong quá trình tìm nghiệm w là:

- Giá trị của phương trình mục tiêu đạt được độ chính xác mong muốn,
- Số lần lặp để tìm nghiệm đạt đủ số lần lặp ban đầu,
- Giá trị của phương trình tối ưu không thay đổi đáng kể so với giá trị lần lặp trước.

Việc sử dụng đề xuất trên có thể tìm ra nghiệm w để đạt hiệu suất lớn nhất trong không gian tìm kiếm, tuy nhiên phương pháp này cũng gặp một số khó khăn khi thực hiện liên quan đến việc xây dựng hàm mục tiêu, lựa chọn thuật toán tối ưu và thông tin đầu vào. Đầu tiên, hàm mục tiêu được xây dựng có thể có nhiều điểm cực tiểu cục bộ, thuật toán tối ưu sử dụng không đạt được nghiệm để hàm đạt được giá trị nhỏ nhất mà bị giữ tại giá trị cực tiểu cục bộ, do đó thuật toán không thể hội tụ đến vị trí mà hàm F có giá trị mong muốn. Tiếp theo, các thông tin đầu vào cũng ảnh hưởng lớn đến khả năng và tốc độ hội tụ của thuật toán. Bên cạnh đó, các thuật toán tối ưu có thể đòi hỏi độ phức tạp tính toán cao, đặc biệt khi áp dụng cho các bài toán lớn và phức tạp. Điều này có thể yêu cầu nguồn tài nguyên tính toán mạnh mẽ và thời gian xử lý kéo dài.

2.3.2 Ứng dụng sử dụng mẫu bức xạ hai chiều

Đối với các ứng dụng sử dụng mẫu bức xạ hai chiều như trong các hệ thống ra-đa, theo nguyên tắc nhân mẫu phát xạ, các mức búp bên cao có thể được loại bỏ bằng cách đặt các giá trị vô hiệu hóa (null) của búp sóng phát (TX) trùng với thùy cách tử của búp sóng thu (RX) tạo ra bằng ăng-ten mảng thưa. Việc tổng hợp búp sóng hai chiều cho phép tự do hơn trong việc sử dụng các giá trị null của búp sóng TX. Búp sóng hai chiều được định nghĩa như sau:

$$AF_{2way} = AF_{TX} \times AF_{RX} \quad \#(2.5)$$

Với cấu trúc biểu diễn trên Hình 2.4, phương án này được minh họa cụ thể như sau: các ăng-ten nằm ở vị trí inner đóng vai trò là thành phần phát, trong khi các ăng-ten ở vị trí outer và một số ăng-ten ở phần inner là thành phần thu được xếp thành một mảng thưa có khoảng cách giữa các phần tử là đều nhau.

Phương pháp trên cho phép loại bỏ nhanh chóng các mức búp bên theo từng mức mong muốn. Tuy nhiên, điều này dẫn đến sự suy giảm đáng kể trong công suất của búp sóng chính do sử dụng các bộ suy hao công suất cho các phần tử phát/thu. Sự chênh lệch lớn trong công suất giữa các kênh yêu cầu việc nghiên cứu cẩn thận về kỹ thuật thiết kế phần tử phát/thu, để đảm bảo sự chuyển đổi mượt mà qua nhiều mức công suất trong toàn dải.

2.4 Kết quả mô phỏng các giải pháp đề xuất

Trước khi thực hiện xây dựng hệ thống đo kiểm thực tế, các giải pháp đề xuất được mô phỏng một cách chi tiết trên phần mềm MATLAB để đảm bảo tính khả thi và hiệu quả.

2.4.1 Kịch bản và tham số mô phỏng

Nhằm cụ thể hóa hiệu quả của giải pháp đề xuất, một số tham số được thiết lập để sử dụng làm tham chiếu trong việc đánh giá kết quả khi thực hiện mô phỏng và kiểm tra thực tế. Các tham số này được xây dựng dựa trên chỉ tiêu ăng-ten của các thiết bị viễn thông (4G, 5G) và các đài ra-đa. Một số tham chiếu được thể hiện trong

Bảng 2.1.

Bảng 2.1. Tham chiếu cần đáp ứng với kiến trúc mảng thưa đề xuất

STT	Tham số	Tham chiếu	Ghi chú
1	Mức búp bên	$\geq 15 \text{ dB}$	
2	Độ lợi về số lượng phần tử ăng-ten G_E	$\geq 60 \%$	$G_E = (1 - \frac{N_u}{N_v}) * 100\%$ N_u : số phần tử ăng-ten thực tế, N_v : số phần tử ăng-ten sử dụng dạng uniform tương đương với mặt mở theo yêu cầu.
3	Khả năng quét búp sóng	$-30^\circ \rightarrow 30^\circ$	Góc quét búp sóng vẫn đảm bảo sidelobe theo yêu cầu và hình dạng búp sóng tương quan với búp sóng tại vị trí 0° .

2.4.2 Kết quả mô phỏng

Để trực quan hóa việc mô phỏng và đo kiểm giải pháp đề xuất, các thông số trên Hình 2.4 được lựa chọn như sau: $i = 16$, $j = 8$, $d_{\text{outer}} = 3 \times \lambda$ ($m=3$), $d_{\text{inner}} = \lambda/2$. Khi đó, kiến trúc đề xuất gồm 24 phần tử, tương đương hiệu suất tạo bởi 64 phần tử ăng-ten mảng phẳng với khoảng cách giữa các phần tử là $\lambda/2$. Đây là cơ sở quan trọng để đánh giá chất lượng hệ thống đo kiểm.

a. Ứng dụng sử dụng mẫu bức xạ một chiều

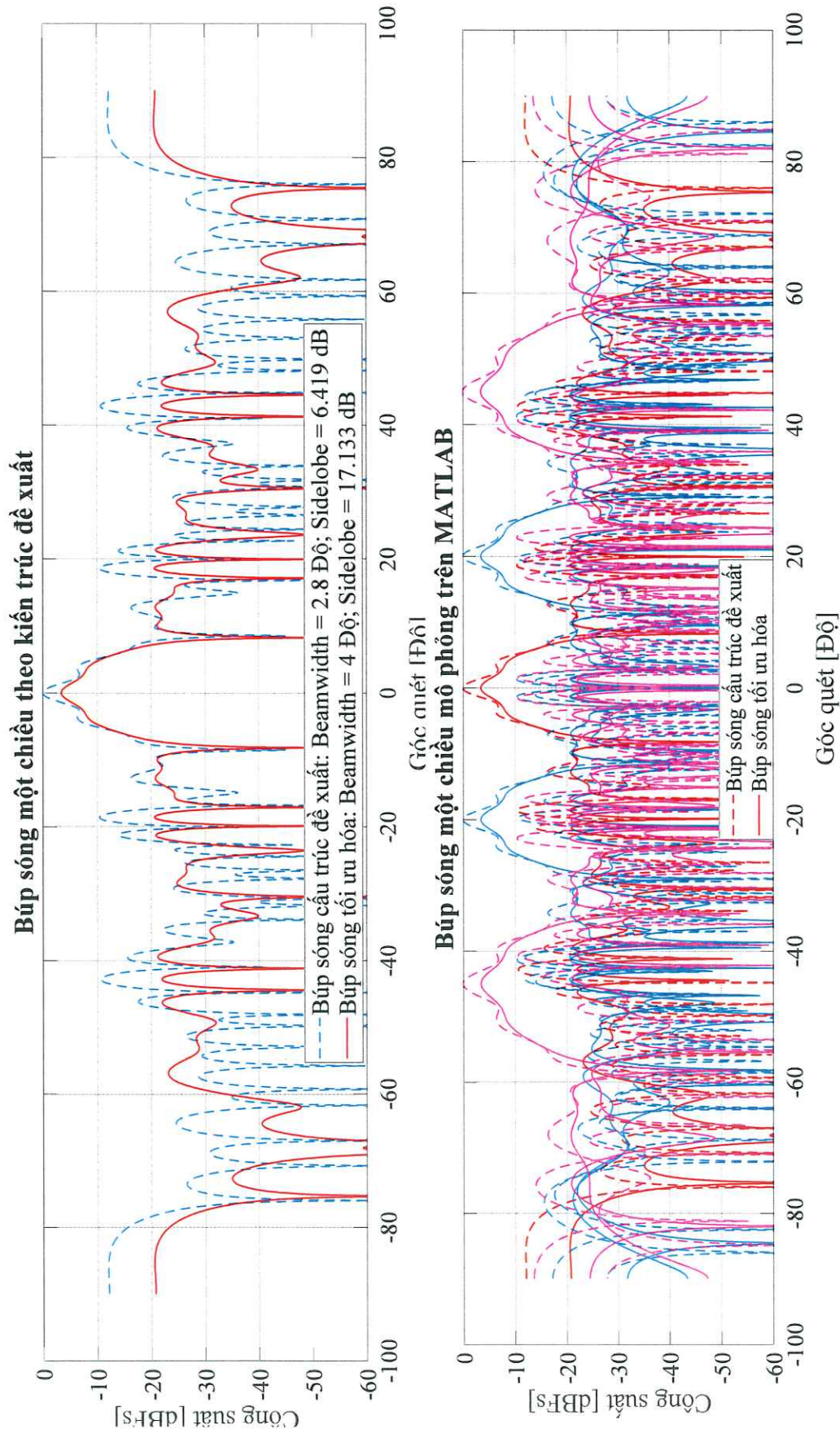
Với các thông số và phương pháp đã lựa chọn, tác giả thực hiện tìm kiếm và áp dụng bộ hệ số phức tương ứng với từng phần tử ăng-ten để đảm bảo các thông số tham chiếu trên

Bảng 2.1. Kết quả cụ thể được thể hiện trong Bảng 2.2, hình ảnh minh họa kết quả được thể hiện trong Hình 2.7, Hình 2.8. Cụ thể, Hình 2.7 (bên trên) thể hiện búp sóng ăng-ten mảng thừa với các thông số đã lựa chọn trong trường hợp tất cả các phần tử đều thu/phát. Đường nét đứt màu xanh dương thể hiện búp sóng tạo bởi các hệ số biên độ đồng pha ($=1$) và pha tính toán theo phương pháp ULA, đường nét liền màu đỏ thể hiện búp sóng đã tối ưu hóa khi sử dụng bộ hệ số tối ưu về biên độ và pha xây dựng bằng phương pháp trong trọng số thích nghi. Các đường nét đứt và nét liền trong Hình 2.7 (bên dưới) lần lượt thể hiện búp sóng tính theo phương pháp ULA và tối ưu hóa, màu sắc tại các góc quét được sử dụng khác nhau để dễ dàng quan sát (màu đỏ tại góc quét 0° , màu xanh dương tại góc quét $\pm 20^\circ$, màu tím tại góc quét $\pm 45^\circ$). Tương tự, Hình 2.8 thể hiện búp sóng tối ưu tại các góc quét khác nhau (màu sắc khác nhau) khi mô phỏng bằng phần Ansys HFSS và CST studio.

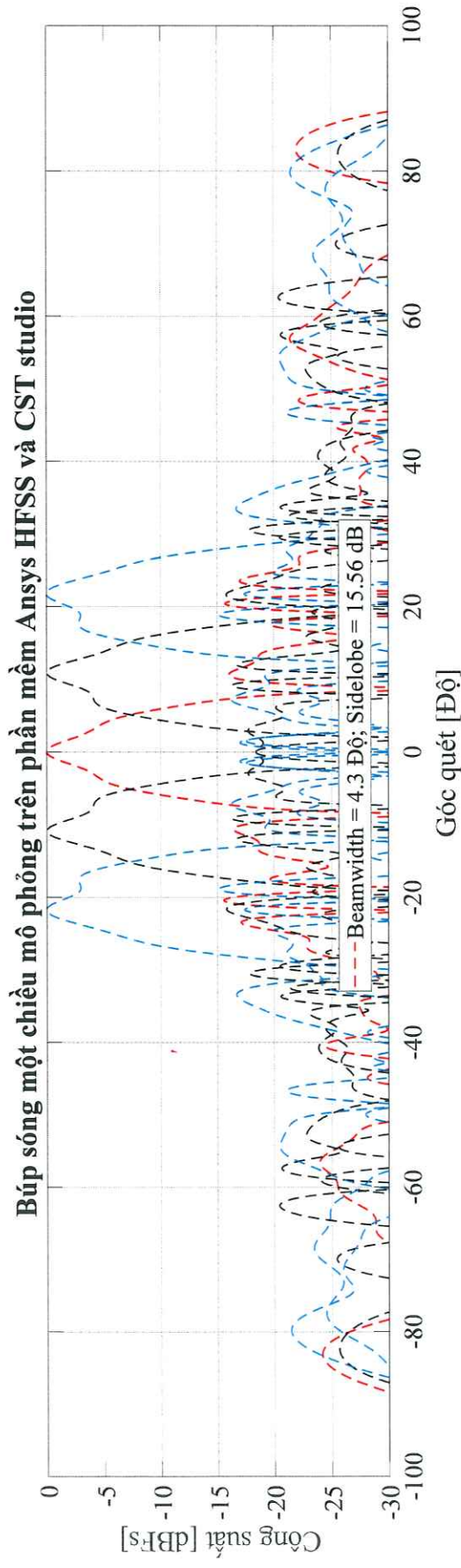
Bảng 2.2. Kết quả mô phỏng với trường hợp búp sóng một chiều

STT	Thông số	Tham số tham chiếu	Kết quả mô phỏng	
			MATLAB	Ansys HFSS và CST studio
1	Mức búp bên	$\geq 15 \text{ dB}$	17.1 dB	15.56 (Tại góc 0°)
2	Độ lợi về số lượng phần tử ăng-ten G_E	$\geq 50 \%$	62.5 %	62.5 %
3	Khả năng quét búp sóng	$-30^\circ \rightarrow 30^\circ$	$-45^\circ \rightarrow 45^\circ$	$-20^\circ \rightarrow 20^\circ$

Khi mô phỏng bằng phần mềm chuyên dụng của ăng-ten (Ansys HFSS và CST studio), ngoài góc quét $\pm 20^\circ$, hình dạng búp sóng bị lệch lớn so với vị trí không quét góc và không đạt chỉ tiêu về mức búp bên.



Hình 2.7. Búp sóng một chiều tại góc 0 độ (hình trên) và khi quét búp sóng tại $\{0^\circ, \pm 20^\circ, \pm 45^\circ\}$ khi mô phỏng trên phần mềm MATLAB



Hình 2.8. Búp sóng một chiều khi quét búp sóng tại $\{0^\circ, \pm 10^\circ, \pm 20^\circ\}$ mô phỏng trên phần mềm Ansys HFSS và CST studio (phần mềm chuyên dụng ăng-ten)

b. Ứng dụng sử dụng mẫu bức xạ hai chiều

Sau khi lựa chọn kích bản và tham số mô phỏng, tác giả đã tiến hành mô phỏng và tính toán bức sóng 2 chiều của mảng bằng phần mềm mô phỏng MATLAB, Ansys HFSS và CST Studio. Cụ thể, bức sóng TX và RX đều áp dụng cửa sổ Chebyshev với biên độ của mức bức bên là 25 dB. Kết quả mô phỏng về đặc tính hướng và công suất bức sóng đã được tổng kết trong Bảng 2.3. Hình ảnh biểu diễn hình dạng bức sóng cũng được thể hiện trong Hình 2.9, Hình 2.10. Cụ thể, Hình 2.9, đường màu đỏ nét liền thể hiện bức sóng của mẫu bức xạ 2 chiều mô phỏng bằng MATLAB khi không quét góc, các đường nét đứt với màu sắc còn lại thể hiện mẫu bức xạ tại các góc quét khác nhau (màu đen tại góc quét $\pm 20^\circ$, màu xanh dương tại góc quét $\pm 45^\circ$). Tương tự, Hình 2.10 cũng là bức sóng của mẫu bức xạ 2 chiều tại các góc quét khác nhau nhưng mô phỏng bằng phần mềm Ansys HFSS và CST Studio.

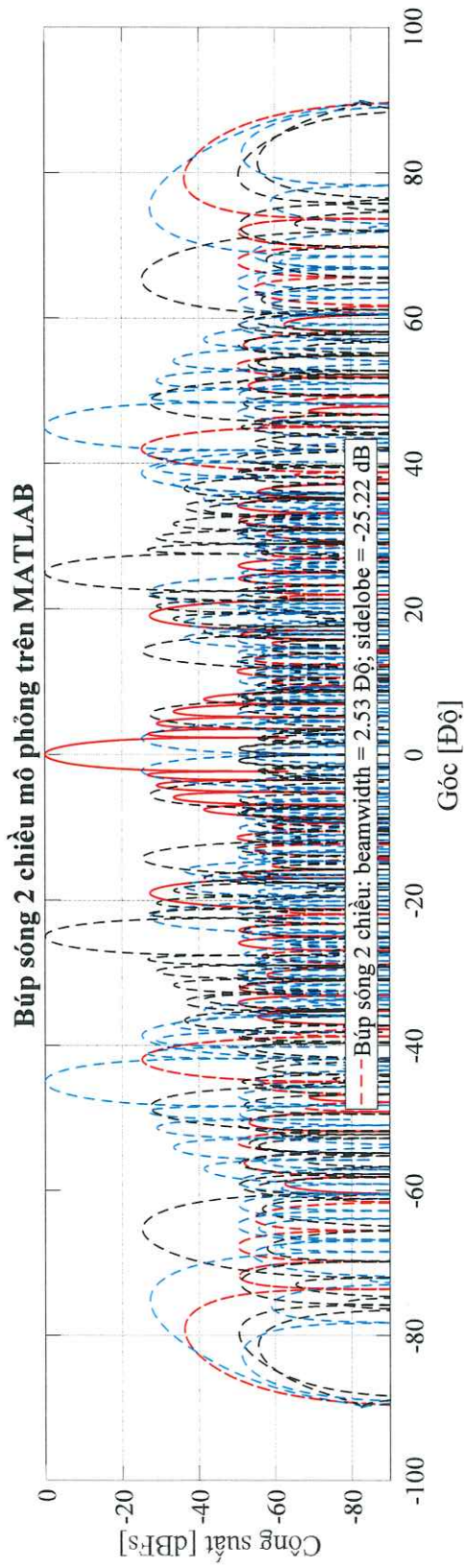
Bảng 2.3. Kết quả mô phỏng với trường hợp bức sóng hai chiều

STT	Thông số	Tham số tham chiếu	Kết quả mô phỏng	
			MATLAB	Ansys HFSS và CST studio
1	Mức bức bên	≥ 15 dB	25 dB	24 (Tại góc 0°)
2	Độ lợi về số lượng phần tử ăng-ten G_E	≥ 50 %	62.5 %	62.5 %
3	Khả năng quét bức sóng	$-30^\circ \rightarrow 30^\circ$	$-45^\circ \rightarrow 45^\circ$	$-30^\circ \rightarrow 30^\circ$

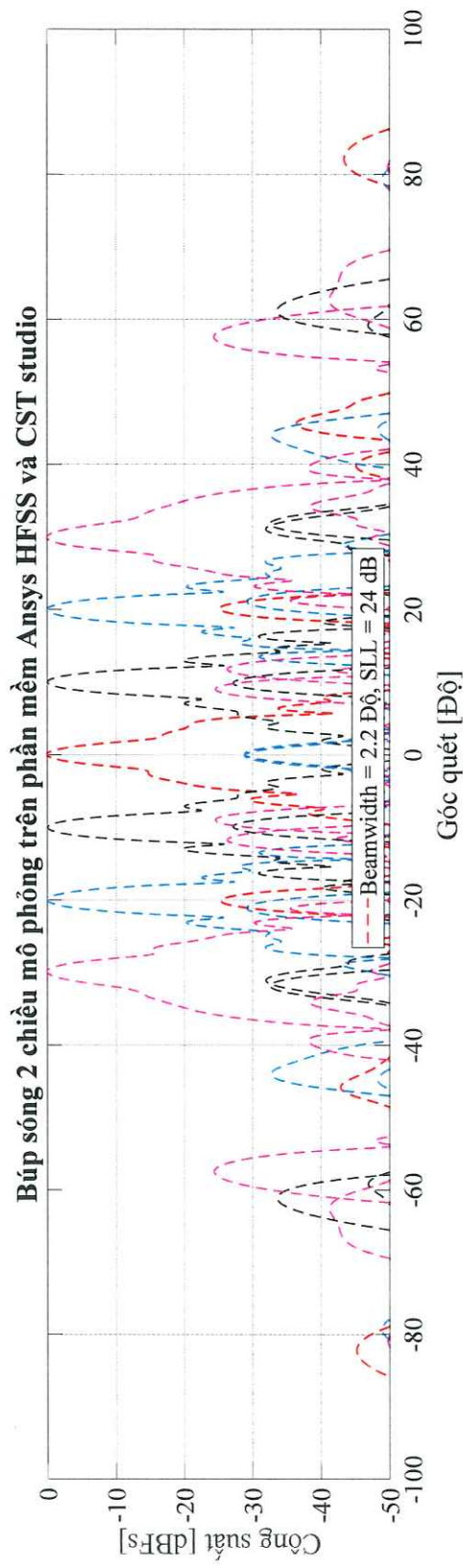
Khi mô phỏng bằng phần mềm chuyên dụng của ăng-ten, ngoài góc quét $\pm 20^\circ$, hình dạng bức sóng bị lệch lớn so với vị trí không quét góc.

Trong khía cạnh mô phỏng, phương pháp đề xuất trong các trường hợp sử dụng mẫu bức xạ một chiều và hai chiều đều đạt so với các tham số mô phỏng về mức bức bên và khả năng quét bức sóng. Tuy nhiên, trong ứng dụng trường hợp sử dụng bức sóng một chiều, độ rộng bức sóng của bức sóng tối ưu bị mở rộng

hơn so với búp sóng của kiến trúc đề xuất, ảnh hưởng đến công suất đầu ra của tín hiệu.



Hình 2.9. Búp sóng hai chiều khi quét búp sóng tại $\{0^\circ, \pm 20^\circ, \pm 45^\circ\}$ khi mô phỏng trên phần mềm MATLAB



Hình 2.10. Búp sóng hai chiều khi quét búp sóng tại $\{0^\circ, \pm 10^\circ, \pm 20^\circ, \pm 30^\circ\}$ khi mô phỏng trên phần mềm Ansys HFSS và CST studio

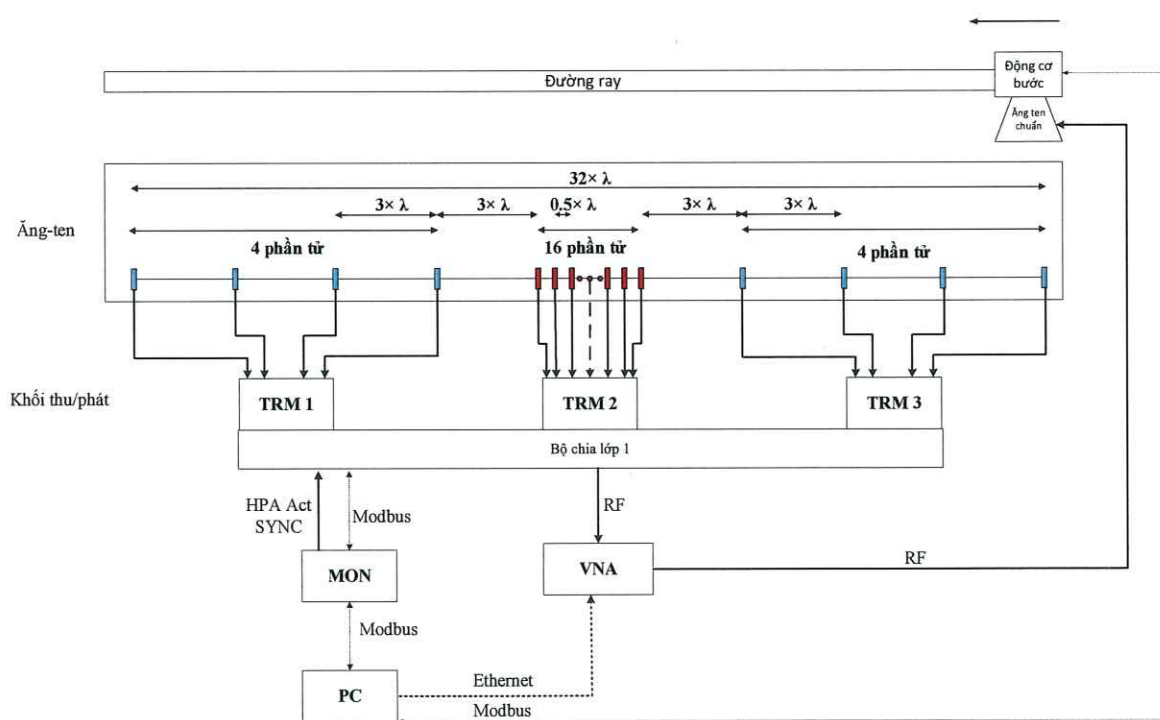
2.5 Kết luận chương

Chương 2 đã trình bày các cấu hình và đặc điểm cơ bản của các loại ăng-ten mảng thừa được sử dụng phổ biến trong các nghiên cứu gần đây. Dựa trên kết quả mô phỏng được công bố trong các công trình trước đó, tác giả nhận thấy mức độ búp bên của các loại ăng-ten khi áp dụng cho ăng-ten mảng tích cực chưa đáp ứng được yêu cầu về mức búp bên. Bên cạnh đó, việc gia công khó khăn do không thể mô-đun hóa cũng là vấn đề đáng chú ý. Để cải thiện những nhược điểm trên, cấu trúc ăng-ten mảng thừa có thể mô-đun hóa đã được tác giả đề xuất. Các giải pháp để giảm mức búp bên cho từng ứng dụng sử dụng mẫu bức xạ một chiều và hai chiều được trình bày cụ thể. Kết quả mô phỏng, ưu - nhược điểm của từng phương án cũng được phân tích rõ ràng. Các kết quả này sẽ được sử dụng để so sánh với kết quả đo thực nghiệm trên hệ thống.

CHƯƠNG 3. XÂY DỰNG HỆ THỐNG THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

3.1 Xây dựng hệ thống thực nghiệm

Các phương pháp đề xuất đã đạt kết quả tốt trong lý thuyết và mô phỏng, tuy nhiên, nó vẫn cần được kiểm tra tính khả thi khi ứng dụng trong thực tế. Vì đo kiểm hệ ăng-ten đảm bảo khoảng cách trường xa gây khó khăn trong việc triển khai và đo kiểm vì nó yêu cầu không gian lớn và đảm bảo không có vật cản nào ở gần ăng-ten, điều này là một rào cản cho việc triển khai trong các môi trường hạn chế. Vì vậy, tác giả lựa chọn thực hiện đo kiểm trường gần và sử dụng phép biến đổi tín hiệu trường gần – trường xa (Near-Field to Far-Field - NF2FF) để thu nhận bức sóng ăng-ten. Một thiết kế ăng-ten như đề xuất được chế tạo, kết hợp với hệ thống đo kiểm trường gần đã được xây dựng, kết nối giữa các thành phần được mô tả trên Hình 3.1.

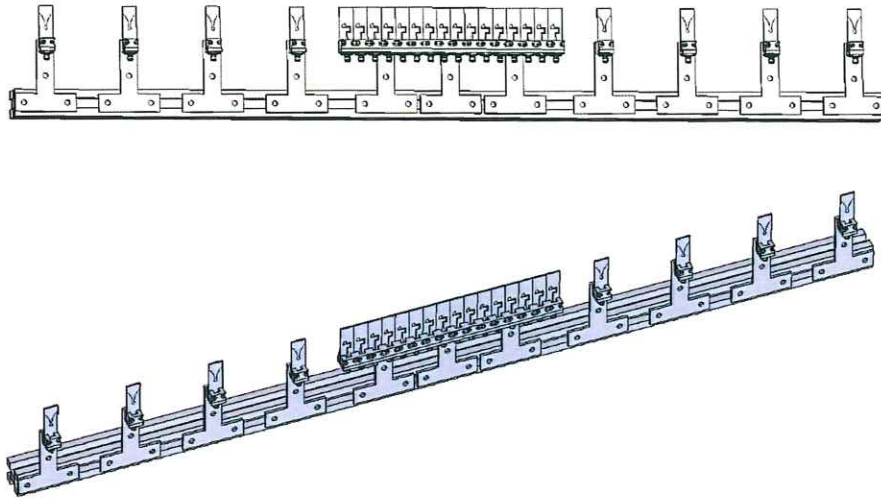


Hình 3.1. Hệ thống đo kiểm trường gần kiến trúc ăng-ten mảng thưa đề xuất

3.1.1 Hệ ăng-ten

Hệ thống ăng-ten mảng thưa thử nghiệm gồm một hàng ăng-ten Vivaldi 24 phần tử trên công nghệ PCB. Trong đó, 16 phần tử ăng-ten phía trong được sắp xếp thành một khối với khoảng cách giữa mỗi phần tử là $\lambda/2$, 8 phần tử ăng-ten

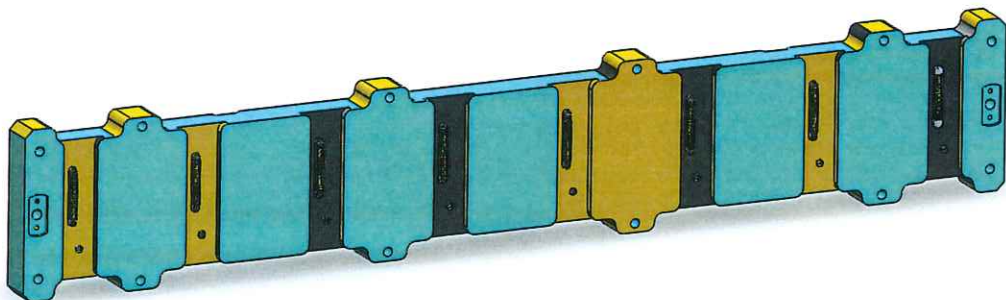
phía ngoài được lắp đặt riêng, có khả năng thay đổi khoảng cách trên thanh trượt, đang cố định khoảng cách là 3λ . Các phần tử ăng-ten kết nối tới khối TRM qua các dây cáp kết nối có cùng độ suy hao và pha. Mỗi phần tử được cấp pha và biên độ độc lập để đảm bảo điều khiển búp sóng theo yêu cầu kỹ thuật.



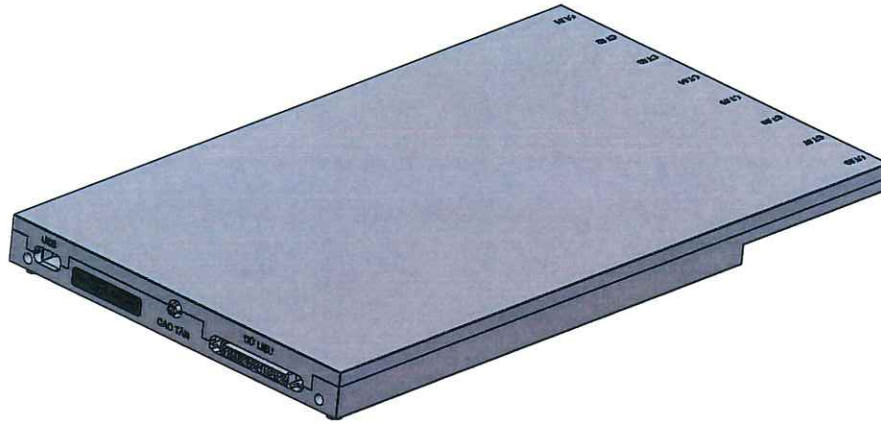
Hình 3.2. Cấu trúc mô phỏng hệ ăng-ten khi được lắp đặt trên giá

3.1.2 Hệ mô-đun thu phát

Hệ mô-đun thu phát (Transmitter and Receiver Module - TRM) bao gồm ba mô-đun, mỗi mô-đun TRM có 8 kênh thu/phát được kết nối trực tiếp với 8 chân tử ăng-ten. Mỗi mô-đun có khả năng điều chỉnh pha và biên độ cho mỗi kênh TRM với độ chính xác cao và thời gian đáp ứng nhanh. Các mô-đun được cấp nguồn và ghép nối thông qua bộ chia bao gồm chia nguồn, chia tín hiệu điều khiển và chia tín hiệu cao tần.



Hình 3.3. Hình ảnh bộ chia



Hình 3.4. Hình ảnh mô đun thu phát trên mô phỏng

Theo chiều phát, mô đun nhận tín hiệu cao tần đầu vào từ bộ chia, tín hiệu sau đó được chia cho 8 kênh thu phát trên TRM. Mỗi kênh có khả năng điều khiển pha và biên độ thông qua các IC với giao tiếp SPI tốc độ cao để phục vụ tính năng cấu hình búp sóng cho ăng-ten.

Theo chiều thu, mô đun nhận tín hiệu đầu vào từ 8 chấn tử ăng-ten. Tín hiệu sau đó được khuếch đại với hệ số khuếch đại lớn và hệ số tạp âm nhỏ. Tiếp theo tín hiệu được cộng công suất của 8 kênh trên TRM thành 1 đầu ra để đưa về khối bộ chia. Giống như tuyến phát, mỗi kênh thu có khả năng điều khiển pha và biên độ với độ phân giải cao.

Hệ mô-đun thu phát được xây dựng cần đảm bảo các chỉ tiêu sau:

Bảng 3.1. Chỉ tiêu kỹ thuật hệ mô-đun thu phát và bộ chia L1

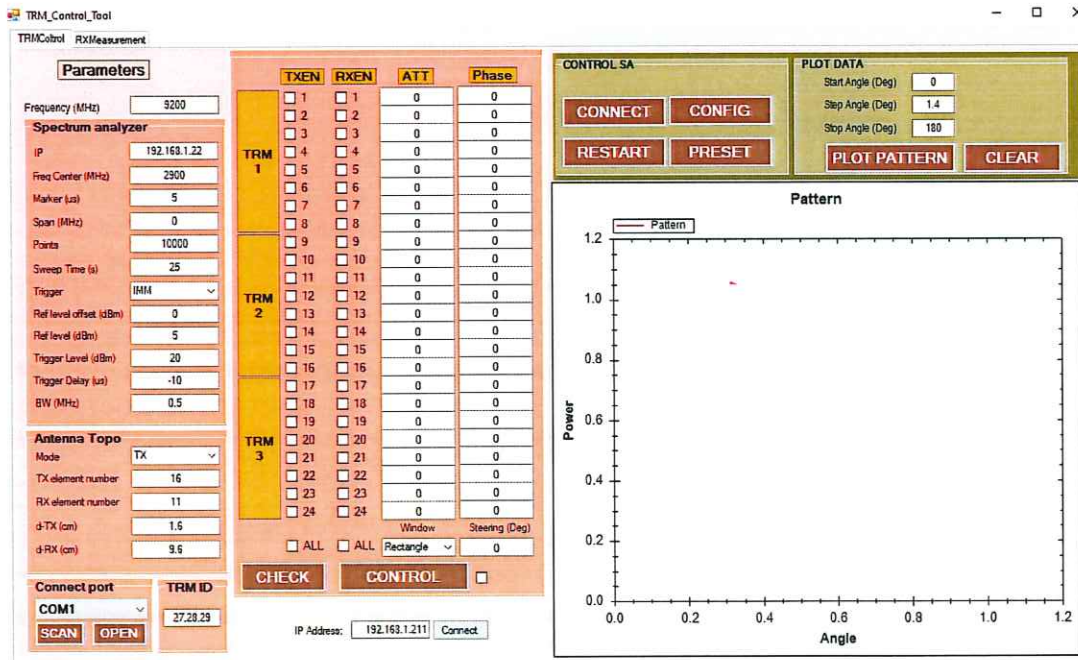
STT	Tham số	Đơn vị	Chỉ tiêu	Ghi chú
1. Mô-đun thu phát				
1.1	Tần số làm việc		Băng X	
1.2	Số kênh	kênh	08	
1.3	Độ phân giải pha	Độ	≤ 3.5	
1.4	Độ phân giải biên độ	dB	≤ 0.35	
2. Bộ chia				
2.1	Tần số làm việc RF		Băng X	
2.2	Hệ số cộng/chia	-	1: 8	

STT	Tham số	Đơn vị	Chỉ tiêu	Ghi chú
2.3	Độ đồng đều pha giữa các kênh	độ	≤ 10	
2.4	Độ đồng đều biên độ giữa các kênh	dB	≤ 1	

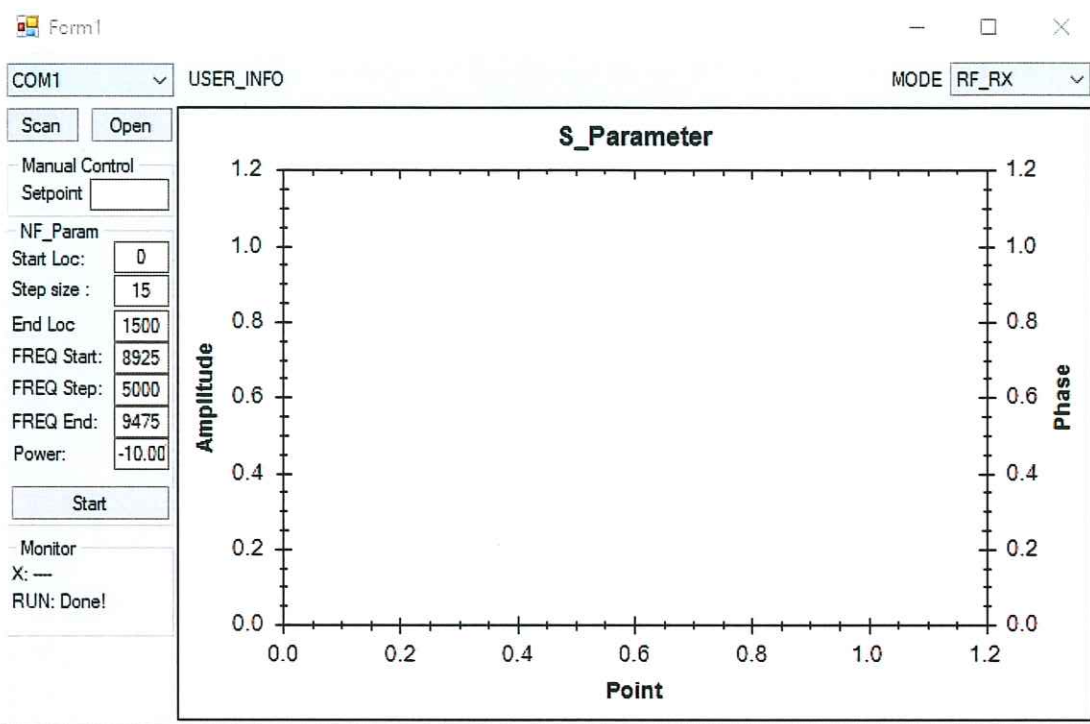
3.1.3 Hệ tính toán và điều khiển

Hệ tính toán và điều khiển bao gồm một hệ thống máy tính cùng hai phần mềm chính được triển khai trên nền tảng máy tính, với những nhiệm vụ chủ yếu sau đây:

Đầu tiên, phần mềm đo kiểm trường gần (Near-Field) được phát triển trên nền tảng C#, hoạt động như một công cụ tính toán và điều khiển chính xác các thông số về pha và biên độ của từng kênh thu phát TRM, nhằm thay đổi biểu đồ sóng của hệ thống ăng-ten được đo kiểm. Bên cạnh đó, nó còn có khả năng điều khiển động cơ để thay đổi vị trí của ăng-ten chuẩn trên đường ray và thu thập các giá trị trường gần tại từng điểm đo bằng cách sử dụng máy phân tích mạng (VNA).



Hình 3.5. Phần mềm điều khiển và giám sát TRM



Hình 3.6. Phần mềm điều khiển động cơ bước và nhận dữ liệu đo kiểm trường gần

Tiếp theo, phần mềm tính toán chuyển đổi tín hiệu trường gần – trường xa (Near-Field to Far-Field - NF2FF) được xây dựng bằng MATLAB, được sử dụng để xử lý dữ liệu trường gần thu được khi đo kiểm. NF2FF chuyển đổi thông tin phân bố sóng gần trường thu thập được từ một hoặc một hệ ăng-ten sang thông tin phân bố sóng xa, tức là búp sóng của ăng-ten thông qua các phương trình toán học như Fourier và Hankel. Cuối cùng, kết quả búp sóng trường xa sau biến đổi sẽ được so sánh với kết quả mô phỏng bằng phần mềm ăng-ten.

3.2 Phương pháp và quy trình đo kiểm

Trong phần này, quy trình và các phương pháp thực hiện đo kiểm hệ thống ăng-ten được mô tả chi tiết. Cụ thể, dụng cụ và thiết bị sử dụng, các bước tiến hành đo kiểm sẽ được trình bày chi tiết nhằm xác định chính xác các thông số kỹ thuật của hệ thống.

3.2.1 Công cụ sử dụng đo kiểm

Để thực hiện đo kiểm, ngoài các thành phần chính đã trình bày, một số công cụ và thiết bị cần thiết được chuẩn bị, tổng thể các công cụ được trình bày trong

Bảng 3.2:

Bảng 3.2. Danh sách công cụ dụng cụ đo kiểm

STT	Tên công cụ	Số lượng	Yêu cầu tính năng
1	Hệ ăng-ten mảng thừa	1	Thiết bị được kiểm tra
2	Module thu phát	3	Hoạt động ở băng X. 8 kênh thu-phát có thể điều khiển pha, biên độ độc lập.
3	Bộ chia lớp 1	1	Cấp nguồn cho TRM. Chia tín hiệu điều khiển từ khối MON đến các TRM. Cộng/ chia tín hiệu cao tần ra/ vào khối TRM.
4	Module giám sát điều khiển	1	Gom thông tin từ TRM gửi lên PC và trung chuyển tín hiệu điều khiển từ PC đến TRM.
5	Máy tính điều khiển	1	Cài đặt phần mềm đo kiểm
6	Máy phân tích mạng	1	Hoạt động ở băng X
7	Ăng-ten chuẩn	1	Hoạt động ở băng X Sử dụng ăng-ten loa
8	Động cơ bước	1	Bước < 1 độ
9	Đường ray	1	Chiều dài không nhỏ hơn kích thước ăng- ten
10	Dây cáp cao tần đồng pha	24	(Kết nối TRM đến các chân tử ăng-ten). Hoạt động tốt ở băng X.
11	Dây cáp cao tần thường	2	(Kết nối đến máy đo). Độ dài đảm bảo ăng-ten chuẩn di chuyển được hết hành trình.

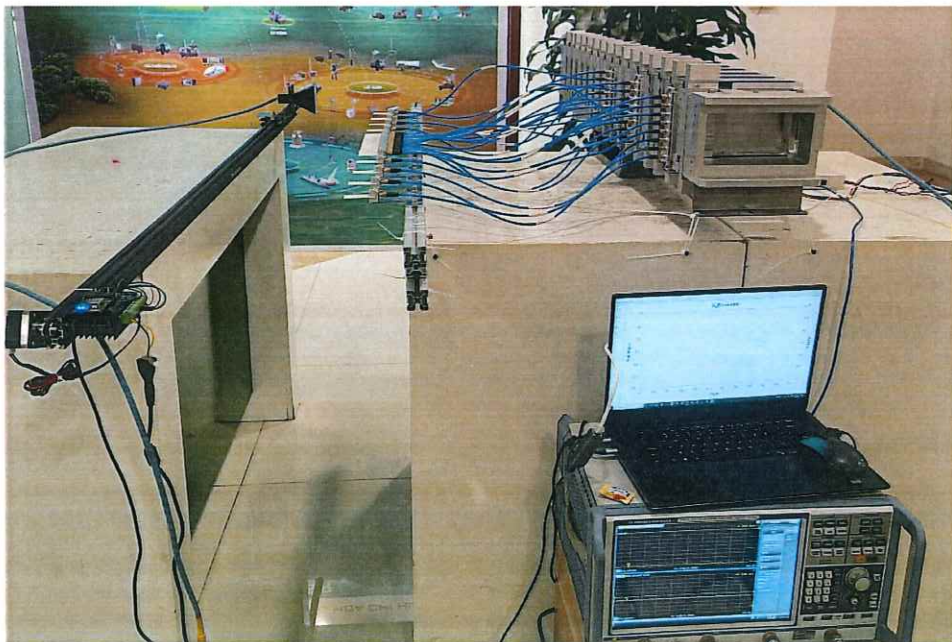
STT	Tên công cụ	Số lượng	Yêu cầu tính năng
12	Cáp tín hiệu	3	01 cáp từ MON đến Bộ chia. 01 cáp từ PC đến MON. 01 cáp từ PC đến động cơ. Đảm bảo tốc độ Modbus 3 Mbps.

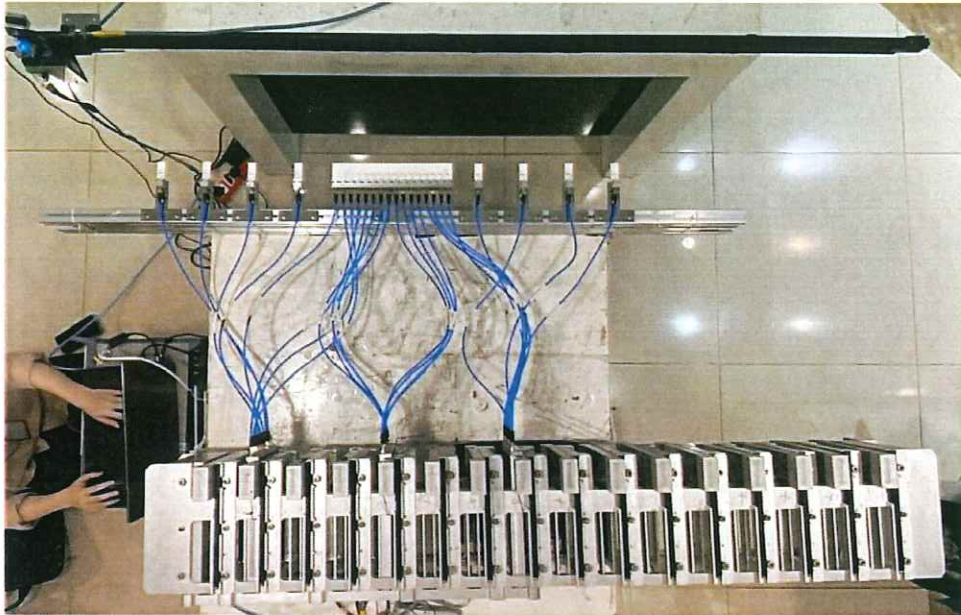


Hình 3.7. Máy phân tích mạng và dây nối SMA

3.2.2 Các bước thực hiện

Đầu tiên, thiết lập hệ thống theo cấu hình như được minh họa trong Hình 3.1.





Hình 3.8. Hình ảnh hệ thống đo kiểm thực tế

Tiếp theo, thực hiện kiểm tra kết nối từ máy tính đến máy phân tích mạng (VNA), động cơ, và theo dõi các thông số của các khối chức năng trên thiết bị TRM bằng cách truy cập vào thẻ Monitor trên giao diện phần mềm đo kiểm.

TRM_Control_Tool

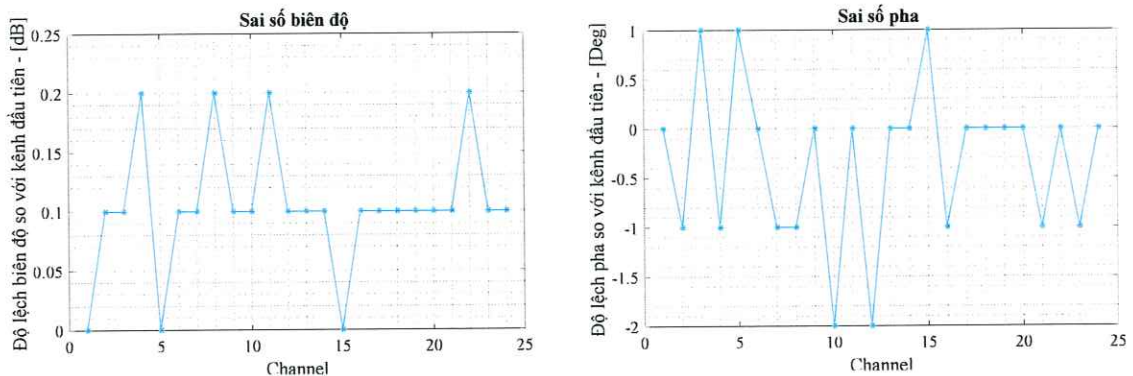
TRMControl RXMeasurement

Reg	Name	TRM1	TRM2	TRM3
0	PA_VOLTAGE_G0	--	--	--
1	PA_VOLTAGE_G1	--	--	--
2	PA_CURRENT_...	--	--	--
3	PA_CURRENT_...	--	--	--
4	PA_TEMP_G0	--	--	--
5	PA_TEMP_G1	--	--	--
6	PA_HUMIDITY_...	--	--	--
7	PA_HUMIDITY_...	--	--	--
8	ADAR_0_TEMP	--	--	--
9	ADAR_1_TEMP	--	--	--
10	NONE	--	--	--
11	NONE	--	--	--
12	CTRL_FLAGS	--	--	--
13	CTRL_MODE	--	--	--
14	TX_EN	--	--	--
15	RX_EN	--	--	--

Hình 3.9. Một số thông số giám sát trên phần mềm giám sát TRM

Sau đó, kiểm tra hệ thống điều khiển và khả năng đáp ứng của hệ thống thu thông qua việc sử dụng bộ chia để loopback tín hiệu, đo kiểm búp sóng tại 0 độ. Tiếp theo, thực hiện hiệu chỉnh biên độ và pha của đầu ra TRM (và dây SMA)

trước khi kết nối vào hệ ăng-ten, kết quả hiệu chỉnh cần đạt được sai số biên độ giữa các kênh $< \pm 0.5$ dB, sai số pha giữa các kênh $< \pm 5^\circ$ để đảm bảo độ chính xác khi đo kiểm.



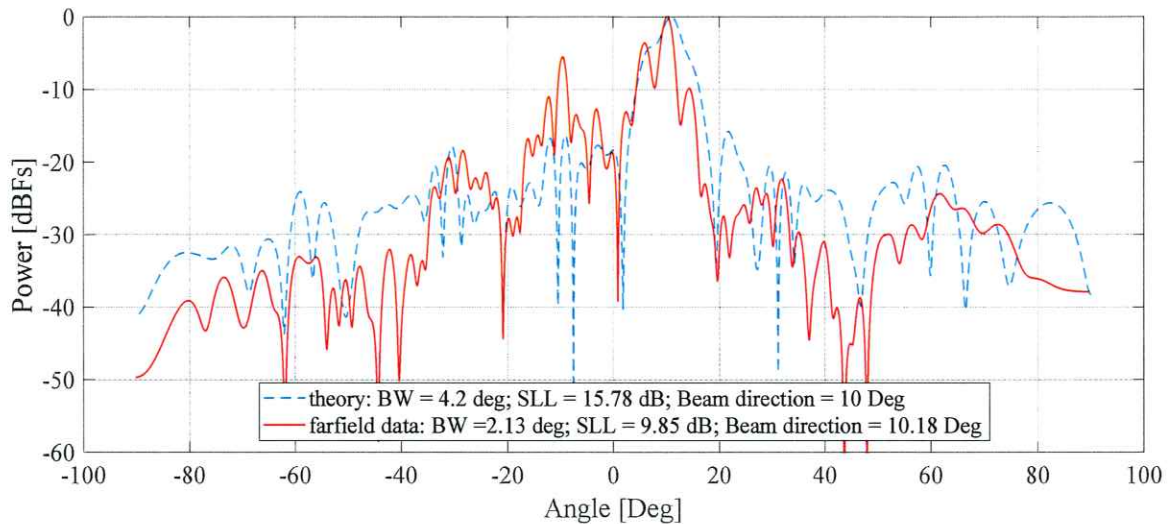
Hình 3.10. Hình ảnh sai số và biên độ của các kênh sau khi hiệu chỉnh

Tiếp theo, nhấn nút “Start” trên giao diện phần mềm điều khiển động cơ bước và nhận dữ liệu đo kiểm trường gần (Hình 3.6) để đo kiểm và thu dữ liệu trường gần. Khi bài đo hoàn tất, dữ liệu trường gần sẽ được tự động lưu dưới định dạng file “.slp” để dùng cho các bước tính toán tiếp theo. Các bài đo được thực hiện nhiều lần đảm bảo thực hiện quét các góc từ -45° : 45° với khoảng cách góc đo là 10° .

Cuối cùng, để xử lý dữ liệu thu trường gần, chương trình tính toán biến đổi trường gần sang trường xa (Nearfield-to-Farfield - NF2FF) được sử dụng. Đầu vào của chương trình này là các file “.slp” thu được trước đó, kết quả đầu ra sẽ là hình ảnh bức xạ ăng-ten đính kèm các thông số chi tiết như mức búp bên, độ rộng búp sóng, góc quét và những thông số liên quan khác.

3.3 Kết quả đo kiểm và đánh giá

So sánh hai phần mềm mô phỏng, kết quả trên phần mềm Ansys HFSS và CST studio đạt độ tin cậy cao hơn do nó cung cấp mô phỏng 3D tiên tiến của các thành phần điện tử phổ biến và ăng-ten; mô phỏng chính xác các hiện tượng điện từ phức tạp như phản xạ, giao thoa, suy giảm, ... Trong khi đó, kết quả thu được từ MATLAB dựa trên các công thức tính toán điển hình của lý thuyết truyền sóng. Do đó, kết quả trên phần mềm Ansys HFSS và CST studio được sử dụng làm tham chiếu để đánh giá kết quả đo kiểm thực tế.



Hình 3.11. Búp sóng một chiều của 24 phần tử theo mô phỏng và theo đo kiểm tại góc 0° (trên) và 10° (dưới)

Kết quả đo kiểm tương tự với kết quả mô phỏng tại góc 0° , tuy nhiên, khi thực hiện quét búp sóng, mức búp bên có xu hướng tăng và hình dạng búp chính không được đảm bảo so với mô phỏng.

3.3.2 Kết quả đo kiểm búp sóng hai chiều

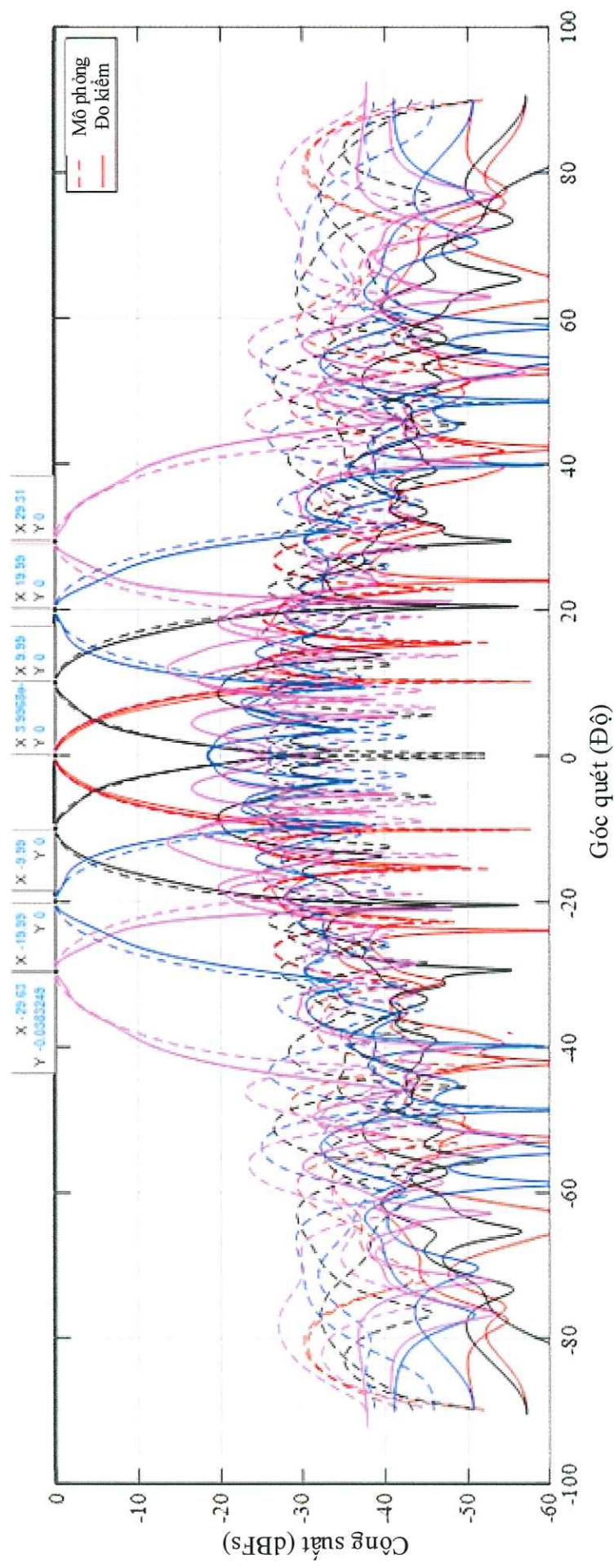
Búp sóng hai chiều được trích xuất bằng cách là tổng của búp sóng phát 16 phần tử (khoảng cách giữa các phần tử là $\lambda/2$) và búp sóng thu 11 phần tử (khoảng cách giữa các phần tử là 3λ). Kết quả ghi lại trong Bảng 3.4:

Bảng 3.4. Kết quả đo kiểm búp sóng hai chiều

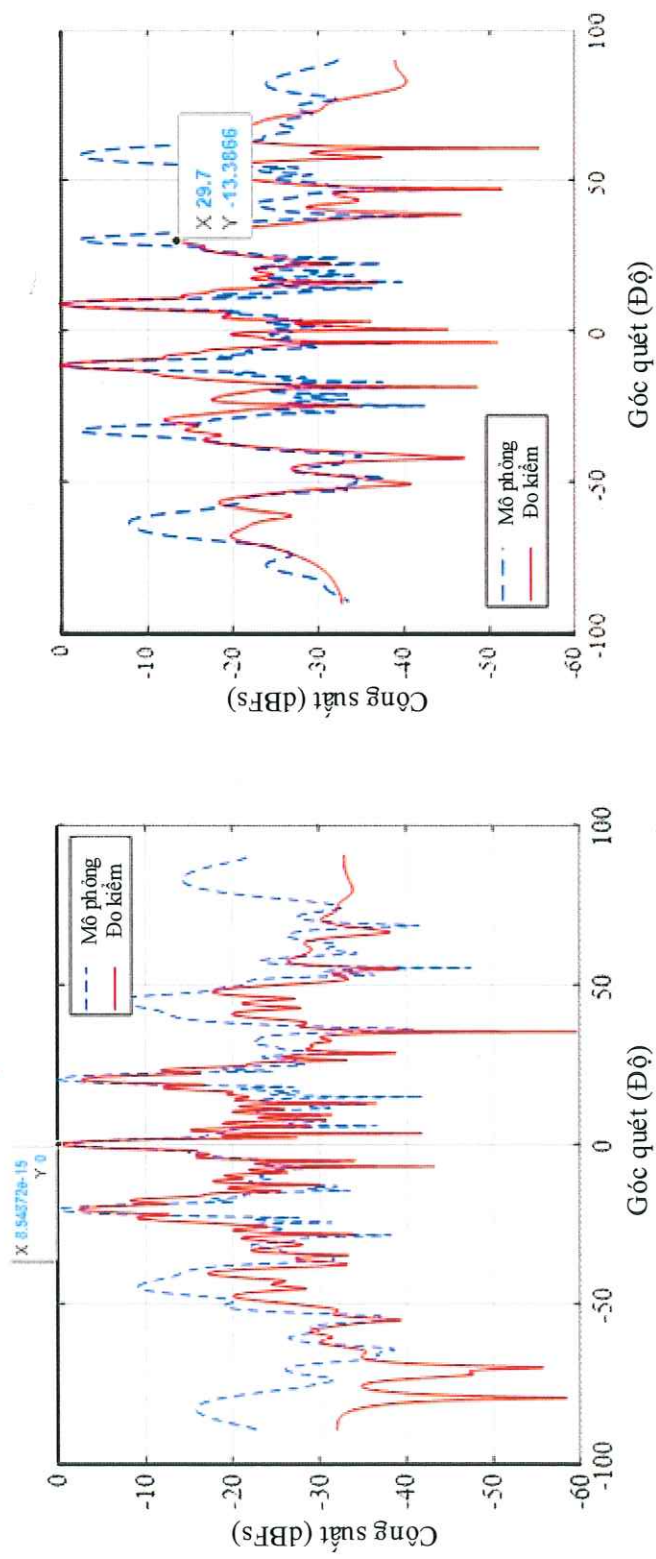
STT	Thông số	Tham số tham chiều	Kết quả		Đánh giá	Ghi chú
			Mô phỏng	Đo kiểm		
1	Mặt mở	Tương đương 64 phần tử ULA	64	64	Đạt	
2	Sidelobe	≥ 20 dB	25 dB	20 dB	Đạt	
3	Độ lợi về số lượng	≥ 50 %	62.5 %	62.5 %	Đạt	

	phần tử ăng-ten					
4	Khả năng quét búp sóng	$-30^\circ \rightarrow$ 30°	$-30^\circ \rightarrow$ 30°	$-20^\circ \rightarrow$ 20°	Không đạt	Sidelobe khi quét búp sóng tăng

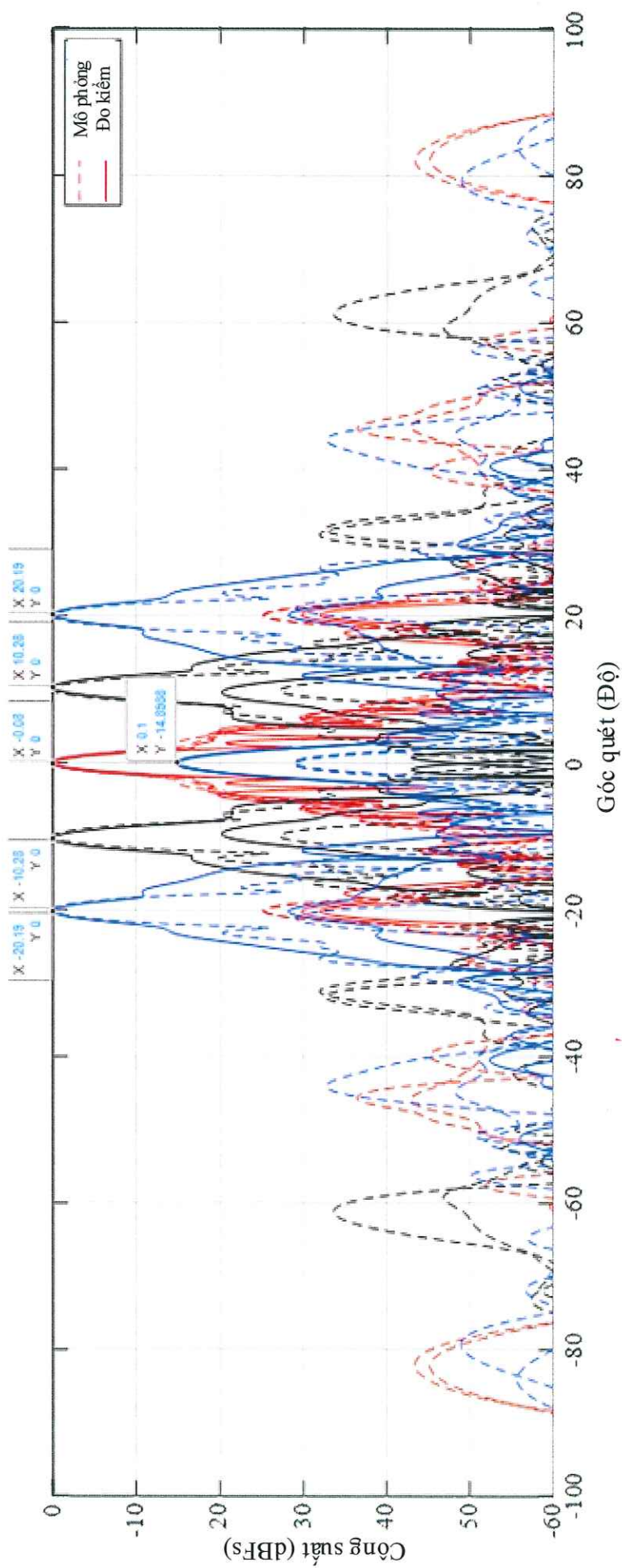
Hình 3.12 thể hiện búp sóng phát tạo bởi 16 phần tử, khoảng cách giữa các phần tử là $\lambda/2$, tại các góc quét $0^\circ, \pm 10^\circ, \pm 20^\circ, \pm 30^\circ$. Tương tự, Hình 3.13 thể hiện búp sóng phát tạo bởi 11 phần tử, khoảng cách giữa các phần tử là 3λ , tại các góc quét $0^\circ, 30^\circ$. Đường nét liền và nét đứt trong hình vẽ lần lượt thể hiện hình ảnh búp sóng đo kiểm thực tế và lý thuyết. Mỗi màu thể hiện với một góc quét (không phân biệt góc quét đối xứng qua gốc tọa độ). Có thể thấy rằng kết quả thực tế và lý thuyết tương đồng với độ chính xác cao nhất tại góc 0° , góc quét càng lớn thì hình dạng và hướng búp sóng sai khác càng lớn do sai số khi lắp đặt ăng-ten, ảnh hưởng của hiện tượng tương hợp, ... Đặc biệt trong trường hợp số phần tử ít như búp sóng thu, khi hướng búp sóng đến góc 30° , công suất của búp chính giảm rõ rệt (~ 13.5 dB) so với các búp sóng hài (harmonic) liền kề. Hình 3.14 mô tả búp sóng 2 chiều nhận được từ tổng hợp công suất của búp sóng phát (Hình 3.12) và búp sóng thu (Hình 3.13). Kết quả cho thấy mức búp bên đều đạt chỉ tiêu đặt ra ≥ 20 dB. Theo kết quả đo được có sự sai khác nhỏ về các tham số như độ rộng búp sóng chính khoảng 10% giá trị, đây có thể đến từ sự sai khác về quá trình lắp đặt và sai số trong quá trình lấy dữ liệu và biến đổi.



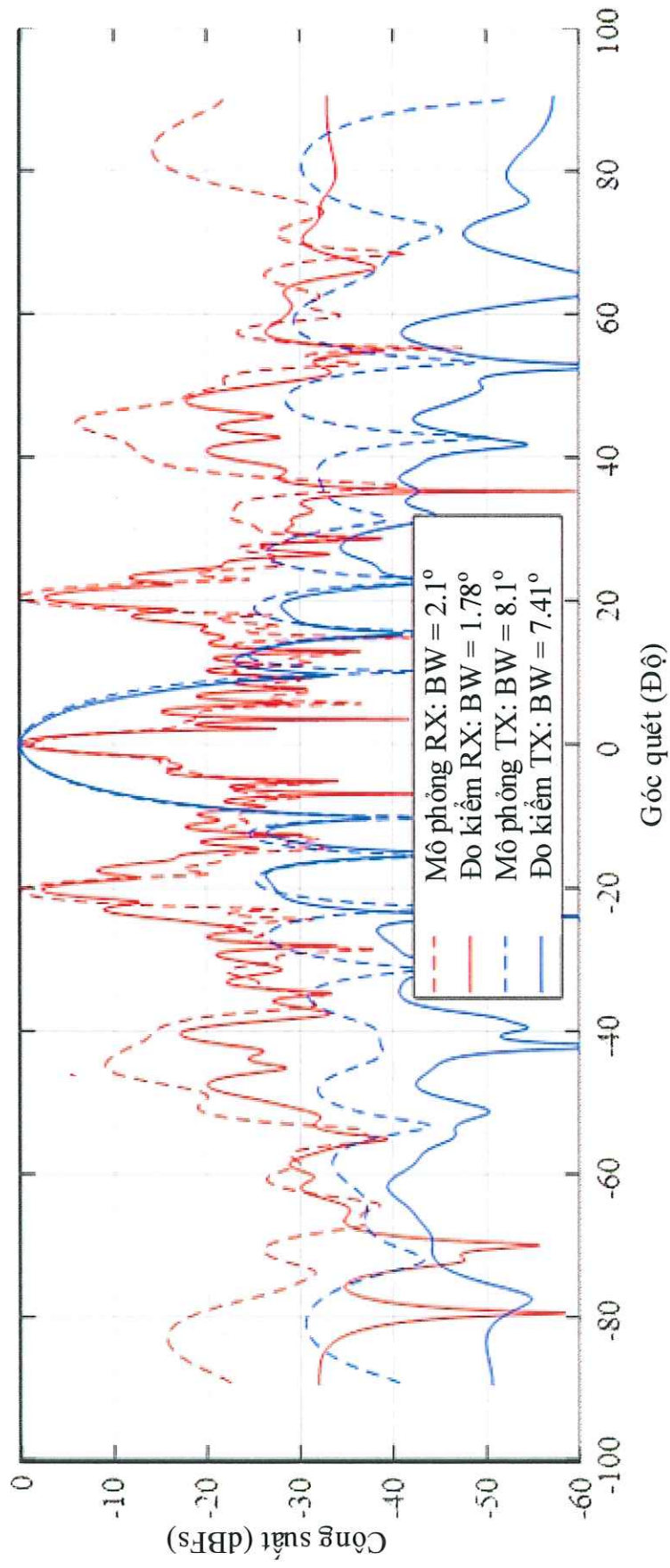
Hình 3.12. Búp sóng TX tạo bởi 16 phần tử (khoảng cách giữa các phần tử là $\lambda/2$) tại các góc quét $\{0^\circ, \pm 10^\circ, \pm 20^\circ, \pm 30^\circ\}$ theo mô phỏng và thực tế



Hình 3.13. Búp sóng RX tạo bởi 11 phần tử (khoảng cách giữa các phần tử: 3λ) tại các góc quét 0° và 30°



Hình 3.14. Búp sóng 2 chiều tại các góc quét $\{0^\circ; \pm 10^\circ; \pm 20^\circ\}$



Hình 3.15. Tương quan độ rộng xung giữa TX và RX lý thuyết và đo kiểm tại góc 0°

3.4 Kết luận chương

Trong chương 3, tác giả đã trình bày chi tiết hệ ăng-ten mảng thừa thực tế đã đề xuất trong chương 2, bên cạnh đó là hệ thống thực nghiệm để đảm bảo đo kiểm các thông số búp sóng ăng-ten và kết quả đo kiểm búp sóng thực tế. Đánh giá chung, kết quả cho thấy sự tương đồng cao giữa thực nghiệm và lý thuyết đối với trường hợp góc quét 0 độ, tỉ lệ tương đồng giảm dần theo góc quét tăng. Cụ thể, khi quét góc búp sóng thực tế, mức búp bên có xu hướng mở rộng và hình dạng búp bị méo. Hướng góc quét cũng có sai lệch nhỏ hơn 4% so với hướng góc quét mong muốn (dựa trên giá trị lệch góc quét lớn nhất trong các trường hợp quét góc). Các sai số này có thể được giải thích bởi những yếu tố sau: môi trường đo kiểm không lý tưởng, sai số trong quá trình lắp đặt hệ thống đo kiểm, lấy dữ liệu và biến đổi.

KẾT LUẬN

Trong khuôn khổ đề án với mục tiêu "Nghiên cứu ứng dụng công nghệ mảng thừa cho mảng ăng-ten tích cực", đề án đã tiến hành xây dựng tổng quan về công nghệ ăng-ten mảng thừa, phân tích các nhược điểm và định hướng giải quyết của dạng ăng-ten này, đồng thời trình bày kết quả mô phỏng và đo kiểm đánh giá các giải pháp cải thiện. Các nội dung đạt được của đề án được bố cục trong các chương với nội dung như sau:

- Chương 1 cung cấp tổng quan về công nghệ ăng-ten mảng thừa. Chương này trình bày định nghĩa và cấu trúc cơ bản của công nghệ ăng-ten mảng và ăng-ten mảng thừa. Ngoài ra, chương cũng đề cập đến các ứng dụng của các kiến trúc ăng-ten này trong thiết kế truyền thông di động, hệ thống ra-đa và truyền thông vệ tinh. Nội dung của chương này cung cấp nền tảng kiến thức cơ bản về công nghệ ăng-ten mảng thừa và các lĩnh vực ứng dụng tiêu biểu.
- Chương 2 tập trung vào vấn đề búp sóng bên cao trong kiến trúc ăng-ten mảng thừa và các giải pháp cải thiện. Dựa trên kết quả của các nghiên cứu trước, tác giả nhận thấy mức độ búp bên của các loại ăng-ten này chưa đáp ứng yêu cầu của một số hệ thống, đặc biệt trong lĩnh vực ra-đa. Do đó, chương đề xuất cấu trúc ăng-ten mảng thừa để cải thiện các nhược điểm này. Chương trình bày các giải pháp cụ thể nhằm giảm mức độ búp bên cho từng ứng dụng, sử dụng mẫu bức xạ một chiều (5G, 6G) và hai chiều (ra-đa). Kết quả mô phỏng và phân tích ưu, nhược điểm của từng phương án được trình bày rõ ràng. Các kết quả này sẽ được so sánh với kết quả đo thực nghiệm trên hệ thống.
- Chương 3 mô tả chi tiết về hệ ăng-ten mảng thừa thực tế đã đề xuất trong chương 2, cùng với hệ thống thực nghiệm được sử dụng để đo kiểm các thông số búp sóng của ăng-ten. Kết quả đo kiểm đã được ghi nhận và đạt được những kết quả tương tự với kết quả mô phỏng trên phần mềm đo kiểm tự xây dựng. Tuy nhiên, kết quả thông số búp sóng ăng-ten có sai lệch so với kết quả mô phỏng vì một số các lý do khách quan như môi trường đo kiểm phức tạp và sai số trong quá trình lắp đặt hệ thống đo kiểm.

Dựa trên những kết quả đạt được trong đề án, có thể thấy công nghệ ăng-ten mảng thưa là hướng nghiên cứu có tiềm năng được ứng dụng rộng rãi trên các sản phẩm cụ thể và mang lại nhiều lợi ích trong thực tế. Để ứng dụng được hệ ăng-ten này, các đối tượng có thể ứng dụng dạng ăng-ten này cần được cân nhắc để lựa chọn. Bên cạnh đó, các thông số cần tính toán chi tiết như độ lợi ăng-ten, vùng phủ sóng phát xạ, ... cũng cần được tính toán chi tiết. Ngoài ra, công nghệ này kết hợp với các yếu tố khác như dạng chấn tử ăng-ten, phân tập tần số để cải thiện tốt hơn hiệu suất của hệ thống ăng-ten mảng thưa tích cực. Nhờ những cải tiến này, độ chính xác và hiệu quả của hệ ăng-ten có thể được nâng cao, mở ra nhiều ứng dụng thực tế tiềm năng. Hiện tại các tính toán tối ưu đang được đưa vào đề án là sử dụng mô hình chấn tử ăng-ten đẳng hướng. Hướng phát triển tiếp theo của đề án là tính toán tối ưu có quan tâm đến các tham số của từng chấn tử ăng-ten để tăng hiệu quả và tính tương đồng trong toàn bộ phạm vi quét của ăng-ten mảng tích cực.

DANH MỤC CÁC TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. Ishiguro, "Minimum redundancy linear arrays for a large number of antennas," *Radio Science*, vol. 15, no. 06, pp. 1163-1170.
- [2] P. Pal and P. P. Vaidyanathan, "Coprime sampling and the music algorithm," in *Digital Signal Processing and Signal Processing Education Meeting*, Sedona, AZ, USA, 2011.
- [3] P. Pal and P. P. Vaidyanathan, "Nested arrays: A novel approach to array processing with enhanced degrees of freedom," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 58, no. 8, 2010.
- [4] C.-L. Liu and P. P. Vaidyanathan, "Super Nested Arrays: Linear Sparse Arrays with Reduced Mutual Coupling – Part I: Fundamentals," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 64, no. 15, 2016.
- [5] Linear array theory, McMaster University, 2023.
- [6] C. A. Balanis and P. I. Ioannides, "Introduction to Smart Antennas," *Springer*, 2007.
- [7] A. Senapati and J. S. Roy, "Performances of Some Combined Algorithms for Adaptive Beamforming in Smart Antenna Using Linear Array," *Asian Journal of Applied Sciences*, vol. 04, no. 03, June 2016.
- [8] D. Pánek, T. Orosz, P. Karban, C. D. Gnawa and H. K. Neghab, "Performance Comparison of Quantized Control Synthesis Methods of Antenna Arrays," *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 2022.
- [9] "Phased Array Antennas: Principles, Advantages, and Types," Cadence System Analysis.
- [10] A. D. Brown, "Active Electronically Scanned Arrays: Fundamentals and Applications," *Wiley-IEEE*, 2021.
- [11] "Passive electronically scanned array," Wikipedia.
- [12] A. K. Agrawal, B. A. Kopp, M. H. Luesse and K. W. O'Haver, "Active

- Phased Array Antenna Development for Modern Shipboard Radar Systems," *The Johns Hopkins APL Technical Digest*, vol. 22, 2001.
- [13] Z. Peterson, "Phased Array Antenna Design for 5G Applications," 2023 (updated).
- [14] S. Jiang, R. Song, Z. Hu and G.-L. H. D. H. Yitong Xin, "Millimeter wave phased array antenna based on highly conductive graphene-assembled film for 5G applications," *Elsevier*, vol. 196, pp. 493-498, 2022.
- [15] "Common Applications of Phased Array Antennas," Cadence System Analysis.
- [16] A. Kedar, Phased Array Antenna for Radar Application, Springer Link, 2023.
- [17] "Antenna array," Wikipedia.
- [18] T. M. (. C. n. c. n. c. Viettel), "Vĩ nền công nghiệp quốc phòng hiện đại: Chặng đường chưa bao giờ dừng ở VHT," Viettel Family, 2023.
- [19] M. A. S. Natera, A. G. Aguilar and J. M. Cueva, *Advances in Satellite Communications*, IntechOpen, 2011.
- [20] A. Patwari, *Sparse Linear Antenna Arrays: A Review*, 2021.
- [21] A. Kedar, *Sparse Phased Array Antennas: Theory and Applications*, Artech House, 2022.
- [22] C. A. Balanis, "Antenna Theory: Analysis and Design," *John Wiley & Sons*, 1997.
- [23] J. S. Williams, "Electronic Scanned Array Design," *The Institution of Engineering and Technology*, pp. 11-12, 2020.
- [24] A. Ishimaru, "Theory of unequally-spaced arrays," *IRE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 10, pp. 691-702, 1962.
- [25] A. Maffett, "Array factors with nonuniform spacing parameter," *IRE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 10, no. 2, pp. 131-136, 1962.

- [26] S. Singh, "Minimal Redundancy Linear Array and Uniform Linear Arrays Beamforming Applications in 5G Smart Devices," *Emerging Science Journal*, vol. 4, 2021.
- [27] G. Gong, T. Helleseeth and P. V. Kumar, "Solomon W. Golomb—Mathematician, Engineer, and Pioneer," *IEEE Transactions on Information Theory*, April 2018.
- [28] C.-L. Liu and P. Vaidyanathan, "Cramér–Rao bounds for coprime and other sparse arrays, which find more sources than sensors," *Elsevier*, vol. 61, pp. 43-61, 2017.
- [29] C. Liu and P. Vaidyanathan, "Super nested arrays: Linear sparse arrays with reduced mutual coupling—Part I: Fundamentals," *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2016.
- [30] J. S. Williams, *Electronic Scanned Array Design-Institution of Engineering and Technology*, IET Digital Library, 2021.

BÁO CÁO GIẢI TRÌNH
SỬA CHỮA, HOÀN THIỆN ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ

Họ và tên học viên: Nguyễn Như Thành

Chuyên ngành: Kỹ thuật Viễn thông

Khóa: 2022 đợt 2

Tên đề tài: Nghiên cứu ứng dụng công nghệ mảng thừa cho mảng ăng-ten tích cực

Người hướng dẫn khoa học: PGS.TS. Nguyễn Tiến Ban

Ngày bảo vệ: 13/06/2024

Các nội dung học viên đã sửa chữa, bổ sung trong đề án tốt nghiệp theo ý kiến đóng góp của Hội đồng chấm đề án tốt nghiệp:

TT	Ý kiến hội đồng	Sửa chữa của học viên
1	Rà soát, viết hóa nội dung, hình vẽ, bảng biểu và bổ sung các thuật ngữ trong danh mục từ viết tắt, sắp xếp theo đúng thứ tự Alphabet.	<ul style="list-style-type: none">- Đã viết hóa một số hình ảnh và chú thích trong đề án, cụ thể: Hình 1.1 trang 5; Hình 1.3a trang 6; Hình 1.8 trang 10; Hình 2.2 trang 17; Hình 2.3 trang 18; Hình 2.4 trang 19; Hình 3.1 trang 32; các Hình 3.12 – 3.15 từ trang 44 – 47.- Đã bổ sung một số thuật ngữ trong danh mục từ viết tắt như: MIMO, NULA, RF, PCB, SMA, THAAD, ... và sắp xếp theo thứ tự Alphabet.
2	Bổ sung nội dung tạo liên kết logic giữa Chương 1 và Chương 2.	Đã bổ sung nội dung tạo liên kết từ dòng 8 - 14 của Mục 1.3, trang 12,13.
3	Bổ sung thông tin giải thích cho các hình vẽ, lý giải các màu.	<ul style="list-style-type: none">- Giải thích giá trị N_1, N_2 cho Hình 2.2 tại Mục 2.1.4, đoạn 2, dòng 7 – 11, trang 16.- Giải thích hình vẽ và lý giải các màu trên Hình 2.7, 2.8 tại Mục 2.4.2.a dòng 4 – 15, trang 25.- Giải thích hình vẽ và lý giải các màu trên Hình 2.9, 2.10 tại Mục 2.4.2.b dòng 6 – 12, trang 28.

4	Rà soát lại quyền tóm tắt đề án để đạt được tính độc lập	Đã thực hiện sửa quyền tóm tắt đề án để đảm bảo tính độc lập với quyền báo cáo đề án.
---	----------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------

Hà Nội, ngày..... tháng năm 2024

Ký xác nhận của

CHỦ TỊCH HỘI ĐỒNG
CHẤM LUẬN VĂN



PGS.TS. Vũ Văn San

THƯ KÝ HỘI ĐỒNG



TS. Nguyễn Thị Thu Hiền

NGƯỜI HƯỚNG DẪN
KHOA HỌC



PGS.TS. Nguyễn Tiến Ban

HỌC VIÊN



Nguyễn Như Thành

BIÊN BẢN
HỌP HỘI ĐỒNG CHẤM ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ

Căn cứ quyết định số Quyết định số 871/QĐ-HV ngày 30 tháng 05 năm 2024 của Giám đốc Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông về việc thành lập Hội đồng chấm đề án tốt nghiệp thạc sĩ. Hội đồng đã họp vào hồi ...09... giờ ...15... phút, ngày 13 tháng 6 năm 2024 tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông để chấm đề án tốt nghiệp thạc sĩ cho:

Học viên: **Nguyễn Như Thành**

Tên đề án tốt nghiệp: **Nghiên cứu ứng dụng công nghệ mạng thừa cho mạng ăng ten tích cực**

Chuyên ngành: **Kỹ thuật viễn thông** Mã số: **8.52.02.08**

Các thành viên của Hội đồng chấm đề án tốt nghiệp có mặt: 05...../ 05

TT	HỌ VÀ TÊN	TRÁCH NHIỆM TRONG HĐ	GHI CHÚ
1	PGS.TS. Vũ Văn San	Chủ tịch	
2	TS. Nguyễn Thị Thu Hiền	Thư ký	
3	PGS.TS. Lê Hải Châu	Phản biện 1	
4	PGS.TS. Hà Duyên Trung	Phản biện 2	
5	TS. Dư Đình Viên	Ủy viên	

Các nội dung thực hiện:

- Chủ tịch Hội đồng điều khiển buổi họp. Công bố quyết định của Giám đốc Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông về việc thành lập Hội đồng chấm đề án tốt nghiệp thạc sĩ.
- Người hướng dẫn khoa học hoặc thư ký đọc lý lịch khoa học và các điều kiện bảo vệ đề án tốt nghiệp của học viên (Có bản lý lịch khoa học và kết quả các môn học cao học của học viên kèm theo).
- Học viên trình bày tóm tắt đề án tốt nghiệp.
- Phản biện 1 đọc nhận xét (có văn bản kèm theo)
- Phản biện 2 đọc nhận xét (có văn bản kèm theo)
- Các câu hỏi của thành viên Hội đồng:

① làm rõ sự giống nhau & khác nhau của kiểu thức nested array?
Nếu rõ thì cứ?

② Lý giải vấn đề bước nhảy lên cao?

③ khi dùng antes biết tổ để đo tiền & tiền chuyển > & đánh giá
và các hệ thống tự nhiên thì sao?

④ Tại sao lại nói? Đánh giá theo thang có antes?

7. Trả lời của học viên:

- Nested logit: có phân tử, khác: có phân bố, KIC ~ ccc
- anten, phụ biến đó.
- Các phụ biến và hệ số li' được của đề án 8 và 15
- Bài báo, hệ số mới phải đưa vào được 15 dB
- Các số được liên hệ từ đề án 3.6 (hệ số 19 đã đưa vào
khi), các tham số từ hệ số 10.2, backloop có sẵn cho?

8. Thư ký đọc nhận xét về quá trình thực hiện đề án tốt nghiệp của học viên (có văn bản kèm theo).

9. Hội đồng họp riêng:

- Bầu Ban kiểm phiếu:

1. Trưởng Ban kiểm phiếu: TS. Đỗ Đình Viên
2. Ủy viên Ban kiểm phiếu: TS. Nguyễn Thị Thu Hiền
3. Ủy viên Ban kiểm phiếu: PGS.TS. Lê Duy Trung

- Hội đồng chấm đề án tốt nghiệp bằng bỏ phiếu kín.

- Ban kiểm phiếu làm việc:

- Trưởng Ban kiểm phiếu báo cáo kết quả kiểm phiếu (có Biên bản họp Ban kiểm phiếu kèm theo)

- Điểm trung bình của đề án tốt nghiệp: 8,6

Kết luận:

1. Các nội dung cần chỉnh sửa, hoàn thiện sau bảo vệ đề án tốt nghiệp:

- Rõ một lại thuật ngữ, hình vẽ, báo biểu
- Bớt suy nghĩ dựa vào liên hệ logic mà quên đi
1 x chương 2
- Bớt suy nghĩ dựa vào các hình vẽ, lý giải các mẫu
- Rõ một lại quyết tâm đạt được tài liệu
đầy đủ.

2. Đề nghị Học viện công nhận (hoặc không) và cấp bằng (hoặc không) thạc sĩ cho học viên:

3. Đề án tốt nghiệp có thể phát triển thành đề tài nghiên cứu cho

NCS. 1

Buổi làm việc kết thúc vào 10h00..... cùng ngày.

Chủ tịch

PGS.TS. Vũ Văn San

Thư ký

TS. Nguyễn Thị Thu Hiền

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

Độc lập – Tự do – Hạnh phúc

BẢN NHẬN XÉT ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ
(Dùng cho người phản biện)

Tên đề tài đề án tốt nghiệp: Nghiên cứu ứng dụng công nghệ mảng thừa cho mảng ăng-ten tích cực

Chuyên ngành: Kỹ thuật Viễn thông

Mã chuyên ngành: 8.52.02.08

Họ và tên học viên: Nguyễn Như Thành

Họ và tên người nhận xét: Hà Duyên Trung

Học hàm, học vị: PGS. TS

Chuyên ngành: Điện tử - Viễn thông

Cơ quan công tác: Trường Điện – Điện tử, Đại học Bách khoa Hà Nội

Số điện thoại: 0903459480 E-mail: trung.hadyen@hust.edu.vn

NỘI DUNG NHẬN XÉT

I/ Cơ sở khoa học và thực tiễn, tính cấp thiết của đề tài:

Hiện nay để nâng cao khả năng ứng dụng công nghệ thiết kế chế tạo mảng thừa trong ăng-ten mảng tích cực đang là vấn đề được quan tâm nhằm cải thiện khả năng hoạt động cho hệ thống thông tin thế hệ mới như trong radar, vệ tinh, viễn thông.

Đề tài “Nghiên cứu ứng dụng công nghệ mảng thừa cho mảng ăng-ten tích cực” có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

II/ Nội dung của đề án tốt nghiệp, các kết quả đã đạt được:

Luận văn được chia thành 3 chương: tổng quan về công nghệ ăng-ten mảng thừa, vấn đề bức xạ sóng bên cao và giải pháp cải thiện, xây dựng hệ thống thực nghiệm và đánh giá kết quả đạt được.

Tác giả đã sử dụng nghiên cứu bằng lý thuyết, xây dựng cơ sở toán học, thực hiện mô phỏng Matlab kiểm chứng lý thuyết, cuối cùng là xây dựng đo kiểm hệ thống ăng-ten thiết kế để xác định các thông số kỹ thuật.

Luận văn trình bày rõ ràng, mạch lạc, văn phong khoa học.

III/ Những vấn đề cần giải thích thêm:

Hệ thống ăng-ten mảng thừa thiết kế đo kiểm có được so sánh đánh giá với các hệ thống tương tự đã có về các thông số kỹ thuật không?

IV/ Kết luận:

Đồng ý cho phép học viên bảo vệ đề án tốt nghiệp.

Ngày..12..tháng..6.....năm ..2024

NGƯỜI NHẬN XÉT



Hà Duyên Trung

BẢN NHẬN XÉT ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ

(Dùng cho người phản biện)

Tên đề tài đề án tốt nghiệp: **Nghiên cứu ứng dụng công nghệ mảng thừa cho mảng ăng-ten tích cực**

Chuyên ngành: Kỹ thuật Viễn thông

Mã chuyên ngành: 8.52.02.08

Họ và tên học viên: **Nguyễn Như Thành**

Họ và tên người nhận xét: **Lê Hải Châu**

Học hàm, học vị: PGS.TS.

Chuyên ngành: Kỹ thuật điện và Khoa học máy tính

Cơ quan công tác: Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

Số điện thoại: 0911465080; E-mail: chaulh@ptit.edu.vn

NỘI DUNG NHẬN XÉT

I/ Cơ sở khoa học và thực tiễn, tính cấp thiết của đề tài

Trong kỷ nguyên phát triển mạnh mẽ của các công nghệ truyền thông không dây, radar và viễn thám, công nghệ ăng-ten đóng vai trò quan trọng và cũng đạt được những bước tiến vượt bậc. Nhiều giải pháp ăng-ten được đề xuất nhằm đáp ứng các yêu cầu đa dạng và ngày càng khắt khe hơn trong các hệ thống mới. Công nghệ mảng ăng-ten tích cực trang bị bộ khuếch đại tín hiệu riêng cho mỗi phần tử ăng-ten giúp điều khiển pha và biên độ tín hiệu một cách độc lập nhằm mục tiêu điều chỉnh chùm sóng và cải thiện hiệu suất thu phát tín hiệu. Việc kết hợp mảng ăng-ten tích cực với công nghệ mảng thừa, một phương pháp kỹ thuật sử dụng các phần tử ăng-ten được bố trí với khoảng cách lớn hơn so với các mảng ăng-ten thông thường, giúp giảm thiểu số lượng phần tử ăng-ten cần thiết, cải thiện chất lượng tín hiệu, tăng cường phạm vi và hiệu suất truyền thông. Do vậy, với chủ đề nghiên cứu ứng dụng công nghệ mảng thừa cho mảng ăng-ten tích cực, đề án tốt nghiệp không chỉ có cơ sở khoa học rõ ràng mà còn đáp ứng được nhu cầu thực tiễn trong các lĩnh vực truyền thông, radar và các ứng dụng công nghệ cao khác.

II/ Nội dung của đề án tốt nghiệp, các kết quả đã đạt được

Nội dung của đề án cơ bản bám sát nội dung đề cương được duyệt. Nội dung của đề án được trình bày tương đối logic và khoa học trong tổng số 58 trang với 44 trang nội dung chính. Nhìn chung, đề án có bố cục chương mục logic, khối lượng nội dung phân bổ giữa các chương, mục là hợp lý. Đề án được bố cục theo 03 chương, phân bổ các chương mục tương đối hợp lý, cụ thể:

- Chương 1-Tổng quan về công nghệ ăng-ten mảng thừa (09 trang): trình bày một số khái niệm cơ bản về ăng-ten mảng và ăng-ten mảng thừa cũng như ứng dụng của chúng.
- Chương 2-Vấn đề bức sóng bên cao và giải pháp cải thiện (16 trang): giới thiệu về các

dạng ăng ten mảng thưa và nhược điểm của các kiến trúc này, trên cơ sở đó, đề xuất một mô hình kiến trúc ăng ten mảng phẳng và mô phỏng, đánh giá hiệu năng sử dụng Matlab.

- Chương 3-Xây dựng hệ thống thực nghiệm và đánh giá kết quả (17 trang): xây dựng thử nghiệm hệ thống ăng ten theo kiến trúc đề xuất và đo kiểm, đánh giá hiệu năng của hệ thống.

III/ Những vấn đề cần giải thích thêm

Đề án tốt nghiệp còn có một số vấn đề cần lưu ý như sau:

- Một số đề mục không bám theo đề cương được duyệt.
 - Sắp xếp lại bảng danh mục viết tắt theo thứ tự alphabet và bổ sung thêm các thuật ngữ viết tắt cho đầy đủ hơn. Còn khá nhiều các thuật ngữ chưa có trong bảng Danh mục viết tắt, ví dụ: 5G (trang 1), MIMO (trang 7), ...
 - Chương 1 có nội dung còn khá sơ sài, thiếu tính gắn kết và chưa thể hiện mối liên hệ với các nội dung Chương 2 và 3.
 - Trong Chương 2, làm rõ hơn kiến trúc đề xuất so với các kiến trúc thông thường khác. Nếu được, bổ sung các phân tích kết quả so sánh giữa kiến trúc đề xuất với kiến trúc tham chiếu để nêu bật ý nghĩa khoa học và đóng góp của đề xuất.
 - Nhiều thuật ngữ chưa được dịch, ví dụ: beamwidth, beamforming, ... hoặc dịch chưa đáp ứng yêu cầu, ví dụ: thuật toán gradient descent (thuật toán gốc gradient), adaptive beamforming (phương pháp trọng số thích nghi), ...
 - Bổ sung các diễn giải về thông tin trình bày trong các bảng.
 - Một số thông tin trên hình vẽ chưa được giải thích, ví dụ: Hình 2.2 (tham số N_1 , N_2), Hình 2.7, 2.8, 2.9, 2.10 (các đồ thị màu khác), ...
 - Việ t hóa tối đa các hình vẽ.
 - Nội dung trình bày còn lỗi chính tả, lỗi viết hoa...
- Quyển tóm tắt đề án cũng nên được xem xét rà soát và hiệu chỉnh để đảm bảo có chất lượng nội dung như một tài liệu khoa học độc lập.

IV/ Kết luận

Đề án đáp ứng các yêu cầu cơ bản về nội dung và hình thức của đề án tốt nghiệp thạc sĩ chuyên ngành Kỹ thuật viễn thông của Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông. Tuy nhiên, học viên cần hoàn thiện đề án theo các vấn đề người phản biện đã nêu ở mục III và theo kết luận của Hội đồng.

Đồng ý cho phép học viên bảo vệ đề án tốt nghiệp.

Hà Nội, ngày 07 tháng 06 năm 2024

NGƯỜI NHẬN XÉT



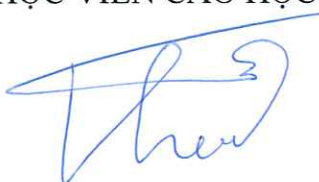
Lê Hải Châu

BẢN CAM ĐOAN

Tôi cam đoan đã thực hiện việc kiểm tra mức độ tương đồng, nội dung đề án qua phần mềm KiểmTraTàiLiệu (<https://kiemtratailieu.vn/>) một cách trung thực và đạt kết quả mức độ tương đồng 2% toàn bộ nội dung đề án. Bản đề án kiểm tra qua phần mềm là bản cứng đề án đã nộp để bảo vệ trước hội đồng. Nếu sai, tôi xin chịu các hình thức kỷ luật theo quy định hiện hành của Học viện.

Hà Nội, ngàytháng.....năm.....

HỌC VIÊN CAO HỌC



Nguyễn Như Thành



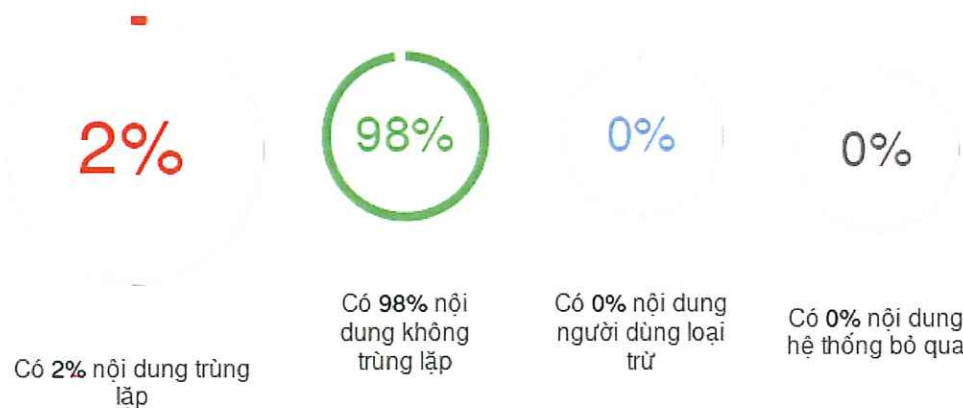
BÁO CÁO KIỂM TRA TRÙNG LẬP

Thông tin tài liệu

Tên tài liệu: Đề án tốt nghiệp_ Nguyễn Như Thành
Tác giả: Nguyễn Như Thành
Điểm trùng lặp: 2
Thời gian tải lên: 08:23 19/05/2024
Thời gian sinh báo cáo: 08:28 19/05/2024
Các trang kiểm tra: 60/60 trang



Kết quả kiểm tra trùng lặp



Nguồn trùng lặp tiêu biểu

123docz.net luanvan.moet.gov.vn jte.hcmute.edu.vn

Học viên

Nguyễn Như Thành

Người hướng dẫn

Nguyễn Đình Sơn

Báo cáo tạo lúc 08:28 19/05/2024 tại <https://app.kiemtrataillieu.vn>