**ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN**

**KHOA ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG**

**TRẦN NGUYỄN BÌNH MINH**

**PHẠM PHƯƠNG NAM**

**THIẾT KẾ CHÙM TIA CHO TRUYỀN THÔNG KHÔNG DÂY TRƯỜNG GẦN CÓ HỖ TRỢ BỀ MẶT PHẢN XẠ THÔNG MINH QUY MÔ LỚN**

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP CỬ NHÂN**

**NGÀNH KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ – VIỄN THÔNG**

**CHUYÊN NGÀNH: VIỄN THÔNG – MẠNG**

Thành phố Hồ Chí Minh – Năm 2024

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN**

**KHOA ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG**

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP CỬ NHÂN**

**NGÀNH KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG**

**CHUYÊN NGÀNH: VIỄN THÔNG – MẠNG**

**THIẾT KẾ CHÙM TIA CHO TRUYỀN THÔNG KHÔNG DÂY TRƯỜNG GẦN CÓ HỖ TRỢ BỀ MẶT PHẢN XẠ THÔNG MINH QUY MÔ LỚN**

**Họ và tên sinh viên: TRẦN NGUYỄN BÌNH MINH – 19200382**

**PHẠM PHƯƠNG NAM – 19200390**

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:**

**1. ThS. NGUYỄN THỊ XUÂN UYÊN**

**2. DƯ QUỐC THÀNH**

Thành phố Hồ Chí Minh – Năm 2024

**XÁC NHẬN HOÀN TẤT CHỈNH SỬA BÁO CÁO TỐT NGHIỆP**

**THIẾT KẾ CHÙM TIA CHO TRUYỀN THÔNG KHÔNG DÂY TRƯỜNG GẦN CÓ HỖ TRỢ BỀ MẶT PHẢN XẠ THÔNG MINH QUY MÔ LỚN**

**MULTI-BEAM DESIGN FOR NEAR-FIELD EXTREMELY**

**LARGE-SCALE RIS-AIDED WIRELESS COMMUNICATIONS**

Họ và tên sinh viên: Trần Nguyễn Bình Minh – 19200382

Phạm Phương Nam – 19200390

**Hội đồng đánh giá họp ngày..... tháng ..... năm......**

1. Chủ tịch:

2. Thư ký:

3. Ủy viên:

4. Ủy viên:

5. Ủy viên:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Người hướng dẫn: | ThS. Nguyễn Thị Xuân Uyên – | Dư Quốc Thành |
| Xác nhận của người hướng dẫn: |  |  |

# **LỜI CẢM ƠN**

Lời đầu tiên, em xin chân thành cảm ơn đến tất cả các thầy cô trong khoa Điện tử - Viễn thông đã luôn đồng hành cũng như không ngừng truyền đạt những kiến thức chuyên ngành lẫn kinh nghiệm cá nhân trong cả công việc và cuộc sống một cách hệ thống, có chọn lọc và gần gũi nhất tới với chúng em. Em xin cảm ơn các thầy, các cô trong chuyên ngành Viễn thông Mạng đã đồng hành, dẫn dắt và chỉ dạy chúng em với những kiến thức chuyên sâu về ngành nghề đan xen cùng những kinh nghiệm thực tế đúc rút từ đa dạng môi trường làm việc thông qua những trải nghiệm cá nhân.

Em xin cảm ơn thầy Đặng Lê Khoa – trưởng Bộ môn Viễn thông Mạng đã tạo cho chúng em rất nhiều điều kiện, cơ hội được tiếp xúc và học hỏi từ những công ty, những doanh nghiệp trong ngành, thầy đồng thời cũng tham gia giảng dạy và truyền đạt những kinh nghiệm quý báu, luôn ủng hộ và động viên giúp chúng em có cho bản thân những nền tảng kiến thức cùng định hướng vững chắc cho tương lai.

Đặc biệt, em xin chân thành cảm ơn cô Nguyễn Thị Xuân Uyên và anh Dư Quốc Thành đã luôn tận tình hướng dẫn, chỉ bảo, cùng với sự truyền đạt và phản hồi tỉ mỉ, không chỉ củng cố kiến thức mà còn chia sẻ những kinh nghiệm quý báu nhằm giúp em hoàn thành đồ án tốt nghiệp này một cách hoàn thiện nhất. Một lần nữa em vô cùng biết ơn.

Cuối cùng, em xin chúc khoa Điện tử - Viễn thông phát triển vững mạnh, ngày càng đào tạo được nhiều những cử nhân tài năng. Đồ án tốt nghiệp của nhóm em vẫn còn những hạn chế về mặt năng lực cùng những thiếu sót trong quá trình nghiên cứu, vì vậy em xin được lắng nghe và tiếp thu những nhận xét từ hội đồng cũng như giảng viên phản biện nhằm củng cố và bổ sung thêm kiến thức. Những ý kiến đóng góp từ quý thầy cô sẽ giúp em khắc phục những sai sót còn tồn tại để có thể hoàn thiện đề tài nghiên cứu tốt hơn. Em xin cảm ơn quý thầy cô và kính chúc thầy cô thật nhiều sức khỏe.

Tôi xin cam đoan những số liệu và kết quả nghiên cứu được trình bày trong đồ án tốt nghiệp là trung thực. Tôi cam kết không sao chép nội dung hay kết quả của các nghiên cứu khác đã được công bố. Những tài liệu tham khảo được tôi sử dụng trong báo cáo đã được trích dẫn một cách đầy đủ, rõ ràng về nguồn gốc theo quy định.

Tôi xin chịu trách nhiệm nếu vi phạm các cam kết trên.

Tp. Hồ Chí Minh, ngày… tháng… năm…

Sinh viên thực hiện

# **TÓM TẮT**

Như một mảng tiết kiệm năng lượng chứa các phân tử thụ động, bề mặt phản xạ thông minh có thể cấu hình lại (RIS) sẽ phát triển thành bề mặt phản xạ thông minh quy mô lớn (XL-RIS) để khắc phục suy hao đường truyền. Tuy nhiên, do ràng buộc module hằng số cho XL-RIS, hầu hết các nghiên cứu trong khu vực cận trường sẽ tập trung vào thiết kế tia đơn, vì vậy sẽ gây thất thoát hiệu năng và giảm tốc độ truyền tải trong tình huống đa truy cập. Để giải quyết vấn đề này, bài báo này đề xuất phương pháp dựa trên Block Coordinate Descent (BCD) với thuật toán Majorization-Minimization (MM) cho thiết kế đa tia, nhằm xử lý ràng buộc module hằng số từ hai khía cạnh: 1) Thiết kế đa tia là một bài toán lập trình bậc hai không lồi không thể giải quyết được, sử dụng thuật toán MM để xử lý vấn đề này dưới dạng những bài toán con có thể giải được; 2) Không gian giải pháp cho tối ưu hóa đa tia bị giới hạn, vì vậy phương pháp này bổ sung thêm các yếu tố pha cho độ lợi đa tia như một biến tối ưu bổ sung để làm tăng số biến tự do cho việc tối ưu hóa.

**Abstract**

As the energy-saving array composed of passive elements, reconfigurable intelligent surface (RIS) will evolve to the extremely large-scale RIS (XL-RIS) to overcome serious path loss. There are some works to explore the near-field beam design via beam training. Unfortunately, due to the constant modulus constraint for XL-RIS, most of works in the near-field scenario focus on single-beam design will face a serious loss of beam gains and decrease in transmission rate.To solve this problem, we propose a Block Coordinate Descent based scheme with majorization-minimization (MM) algorithm for multi-beam design. This solution handles constant modulus constraint from two aspects: 1) The multi-beam design is an intractable non-convex quadratic programming problem. We utilize MM algorithm to solve this problem as several iterative sub-problems which are easily to be solved; 2) The solution space for multi-beam optimization is limited, so we introduce the phases for beam gains as an extra optimizable variable to enrich the degree of freedom for optimization.

**MỤC LỤC**

[**LỜI CẢM ƠN** 4](#_Toc165635421)

[**TÓM TẮT** 6](#_Toc165635422)

[**MỤC LỤC** 7](#_Toc165635423)

[**CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ BỀ MẶT PHẢN XẠ THÔNG MINH (RIS)** 8](#_Toc165635424)

[**1.** **GIỚI THIỆU** 8](#_Toc165635425)

[**1.1** **CÔNG TRÌNH TIỀN NHIỆM** 8](#_Toc165635426)

[**1.2** **TÓM TẮT NGHIÊN CỨU** 10](#_Toc165635427)

[**1.3** **TÓM TẮT VÀ CHÚ GIẢI** 10](#_Toc165635428)

# **CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ BỀ MẶT PHẢN XẠ THÔNG MINH (RIS)**

1. **GIỚI THIỆU**

Bề mặt phản xạ thông minh (RIS) là một công nghệ có tiềm năng trong tương lai của truyền thông không dây [1], [2]. RIS có khả năng điều chỉnh môi trường truyền tải tín hiệu bằng cách tạo ra đường phản xạ có thể điều khiểu [3], [4]. Khả năng này giúp vượt qua được các vật cản [5], [6] đảm bảo đường truyền an toàn [7], tăng vùng phủ sóng [8], [9], và cải thiện hiệu năng phổ tín hiệu [10], [11].

Tuy nhiên, hiệu năng của RIS trong hệ thống không dây thực tế bị ảnh hưởng bởi suy hao nhân tích [12], [13]. Vì suy hao đường truyền từ trạm BS tới RIS và từ RIS tới người dùng là tích các suy hao, xem xét rằng độ lợi mảng RIS tỉ lệ bình phương với số phần tử của mảng RIS [13], [14], do đó suy hao này có thể đượng bù đắp bằng cách mở rộng mảng phản xạ [5], [15]. Từ đó mảng RIS có thể phát triển thành mảng XL-RIS có quy mô cực lớn để phục vụ các hệ thống không dây trong tương lai [16].

Nhằm khai thác tiềm năng về mặt hiệu năng của XL-RIS, việc thiết kế tia RIS dựa theo thông tin trạng thái kênh (CSI) là rất quan trọng. Với sự gia tăng của số lượng phần tử phản xạ, việc ước lượng ra thông số CSI rất khó do sự phức tạp trong tính toán. Mặt khác, nhiều nghiên cứu khác thiết kế tia mà không cần ước lượng CSI chính xác. Cụ thể là góc truyền tia sẽ được lựa chọn dựa trên codebook có sẵn. Tuy nhiên với khẩu độ mảng phản xạ cao, tính chất sóng điện từ sẽ chuyển từ mặt sóng phẳng viễn trường thành mặt sóng cầu cận trường. Để dảm bảo hiệu quả cho việc thiết kế tia, tia truyền cần được điều chỉnh trong cả miền góc và miền khoảng cách. Do các nghiên cứu hiện tại không còn hiệu quả nữa nên cần thiết phải nghiên cứu thiết kế tia cận trường cho hệ thống XL-RIS.

### **CÔNG TRÌNH TIỀN NHIỆM**

Việc phụ thuộc vào CSI đòi hỏi phải ước lượng kênh, thiết kế tia cho RIS có thể trở thành một bài toán tối ưu với nhiều hàm mục tiêu. Nhiều phương pháp thiết kế tia [17], [18], [19], [20] đã được nghiên cứu với nhiều trường hợp khác nhau với nhiều thông số hiệu năng ( dung lượng truyền, hiệu quả năng lượng, hiệu quả phổ,…). Tuy nhiên, do độ phức tạp tính toán cao nên việc ước lượng được thông số CSI chính xác là rất khó trong một hệ thống thực tế.

Một phương pháp khác hiệu quả hơn mà không cần ước lượng kênh đó là thiết kế tia dựa trên codebook có sẵn [21], [22], [23], [24]. Trong bài báo [21], một phương pháp tối ưu hóa khác là dùng hàm đóng ( AMFC ). Trong bài báo [22] đề cập đến phương pháp tạo mã hai lớp dựa trên thuật toán tìm kiếm nhanh tối ưu thay thế ( FS-AltMin ). Trong bài báo [23] sử dụng phương pháp giải điều chế lệch pha (NCDS), việc này dựa trên thông tin tín hiệu nhận để chọn ra góc phản xạ thích hợp. Bên cạnh đó, để cải thiện hướng truyền của tia phản xạ RIS, một số camera có thể được lắp đặt cùng với RIS được tích hợp thêm machine-learning [24].

Các nghiên cứu trên đạt được hiệu quả với hệ thống RIS hiện tại. Tuy nhiên, trong hệ thống XL-RIS đa truy cập, các phương pháp trên sẽ gây thất thoát hiệu năng rất lớn. Sự phát triển từ RIS lên XL-RIS không chỉ là gia tăng về khẩu độ mảng mà còn dẫn đến sự thay đổi về tính chất sóng điện từ. Cụ thể là môi trường truyền sẽ chia ra thành hai vùng là cận trường và viễn trường được ngăn cách bởi vùng Rayleigh [16] tỉ lệ thuận với bình phương khẩu độ mảng. Với sự gia tăng khẩu độ mảng phản xạ, vùng phủ sóng cận trường sẽ mở rộng theo dẫn đến mặt sóng cầu trở thành môi trường truyền chính của mảng [16].

Do đó, trong vùng cận trường, việc thiết kế tia cho XL-RIS phải được nghiên cứu lại [25], [26], [27], [28]. Trong bài báo [25], đề xuất thiết kế và phân cấp codebook cho kênh RIS với từng người dùng đơn. Hơn nữa, bảng mã có nhiều thông số chiều rộng được đề xuất trong bài báo [26] phù hợp với cận trường lẫn viễn trường. Trong bài báo [27], nhằm cái thiện hiệu quả quét trong không gian lớn, một codebook sử dụng kỹ thuật spatial-chirp được thêm vào và cập nhật hệ thống phân cấp. Ngoài ra, để giảm thiểu độ phức tạp trong tìm kiếm khoảng cách xa, một codebook cực-miền để tìm khoảng cách hiệu quả nhất trong các góc truyền được chọn [28].

Đa phần các nghiên cứu hiện tại chỉ tập trung cho người dùng đơn lẻ. Việc nghiên cứu đa tia cho vùng cận trường mảng XL-RIS vẫn còn là một vấn đề mở cần được nghiên cứu thêm. Trong đường truyền đa truy cập, một phương pháp ngắn nhất là chồng chập các tia đơn với nhau, ta có thể chồng các mã tia đơn cho tất cả người dùng. Thực tế là phương pháp này đã được nghiên cứu trên hệ thống MIMO [29], [30] và cho ra kết quả thỏa đáng.

Tuy nhiên là hệ thống không dây đa truy cập XL-RIS bị thất thoát hiệu năng lớn do đòi hỏi mảng RIS phải thay đổi cả biên độ và pha tín hiệu. Hơn nữa, chúng ta chỉ có thể thay đổi hệ số pha do giới hạn phần cứng (*constant modulus constraint*) [31]. Vì ảnh hưởng của giới hạn này, nếu chúng ta dùng trực tiếp phương pháp tia đơn hiện tại cho đa truy cập dựa vào các nghiên cứu trước đó sẽ gây chênh lệch hiệu quả hướng tia rất lớn giữa các khu vực người dùng. Kết quả là tốc độ truyền tối thiểu sẽ giảm liên tục gây ra thất thoát hiệu năng giữa lý thuyết và thực tế.

* 1. **TÓM TẮT NGHIÊN CỨU**

Nhằm cải thiện tốc độ truyền tối thiểu, chúng ta nghiên cứu thiết kế đa tia cho vùng cận trường để phục vụ đa truy cập. Bài báo này chúng ta đề xuất thiết kế đa tia cận trường cho hệ thống không dây XL-RIS, phương pháp này bao gồm quá trình tạo tia và thiết kế đa tia. Quy trình đầu tiên đạt được nhờ tìm ra hướng tia thích hợp cho từng người dùng, sau đó quy trình thiết kế đa tia được biểu diễn dưới dạng một bài toán lập trình không lồi bậc hai để tìm ra vector chỉ phương. Để giải quyết bài toán trên, chúng ta sử dụng phương pháp BCD trên nền thuật toán MM để hoàn thành quy trình thiết kế đa tia. Chúng ta xử lý ràng buộc module này từ hai khía cạnh: 1) Giải quyết bài toán tối ưu không lồi bậc hai bằng cách chia thành nhiều bài toán con dễ giải quyết; 2) Chúng ta thêm hệ số pha như một biến bổ sung nhằm tăng số biến tự do. Cuối cùng ta sử dụng phương pháp BCD để tối ưu hóa hai phương pháp trên. Kết quả mô phỏng cho thấy tốc độ truyền tối thiểu của phương pháp đa tia cận trường cao hơn 50% so với các phương pháp hiện có.

* 1. **TÓM TẮT VÀ CHÚ GIẢI**

**Tóm tắt**

Phần **II**: Mô hình kênh truyền và tín hiệu.

Phần **III**: Thiết kế chum tia cho XL-RIS.

Phần **IV**: Mô phỏng.

Phần **V**: Kết luận.

***Chú giải:***

*∇x f (x)* đạo hàm theo biến x

***a*** ⊗ ***b*** phép toán Kronecker của hai ma trận **a** và **b**

***a*** ⊙ ***b***phép toán Hadamard của hai ma trận **a** và **b**

*A*(k,l) phần tử A thuộc dòng *k*, cột *l* của ma trận

*a*(k)phần tử thứ k của Vector a

**I**Nma trận đơn vị có kích thước *N*x*N* chạy trong khoảng [*Rmin* , *Rmax*].

1. Wang, B., et al., *Beam squint and channel estimation for wideband mmWave massive MIMO-OFDM systems.* IEEE transactions on signal processing, 2019. **67**(23): p. 5893-5908.

2. Chen, Y., et al., *QoS-Driven Spectrum Sharing for Reconfigurable Intelligent Surfaces (RISs) Aided Vehicular Networks.* IEEE Transactions on Wireless Communications, 2021. **20**(9): p. 5969-5985.

3. Zhang, S., et al., *Deep learning optimized sparse antenna activation for reconfigurable intelligent surface assisted communication.* IEEE Transactions on Communications, 2021. **69**(10): p. 6691-6705.

4. Xu, M., et al., *Deep learning-based time-varying channel estimation for RIS assisted communication.* IEEE Communications Letters, 2021. **26**(1): p. 94-98.

5. Feng, C., et al., *Joint hybrid and passive RIS-assisted beamforming for mmWave MIMO systems relying on dynamically configured subarrays.* IEEE Internet of Things Journal, 2022. **9**(15): p. 13913-13926.

6. Liu, S., et al., *Deep denoising neural network assisted compressive channel estimation for mmWave intelligent reflecting surfaces.* IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2020. **69**(8): p. 9223-9228.

7. Pang, X., et al., *IRS-assisted secure UAV transmission via joint trajectory and beamforming design.* IEEE Transactions on Communications, 2021. **70**(2): p. 1140-1152.

8. Xu, W., L. Gan, and C. Huang, *A robust deep learning-based beamforming design for RIS-assisted multiuser MISO communications with practical constraints.* IEEE transactions on Cognitive Communications and Networking, 2021. **8**(2): p. 694-706.

9. Wan, Z., Z. Gao, and M.-S. Alouini. *Broadband channel estimation for intelligent reflecting surface aided mmWave massive MIMO systems*. in *ICC 2020-2020 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. 2020. IEEE.

10. Jian, M. and Y. Zhao. *A modified off-grid SBL channel estimation and transmission strategy for RIS-assisted wireless communication systems*. in *2020 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*. 2020. IEEE.

11. Liu, H., et al., *Optimal transmission strategy and time allocation for RIS-enhanced partially WPSNs.* IEEE Transactions on Wireless Communications, 2022. **21**(9): p. 7207-7221.

12. Liu, K., et al., *Active reconfigurable intelligent surface: Fully-connected or sub-connected?* IEEE Communications Letters, 2021. **26**(1): p. 167-171.

13. Zhang, Z., et al., *Active RIS vs. passive RIS: Which will prevail in 6G?* IEEE Transactions on Communications, 2022. **71**(3): p. 1707-1725.

14. Sun, H., et al., *Path loss of RIS-aided spatial modulation with on/off pattern.* IEEE Communications Letters, 2022. **26**(4): p. 937-941.

15. Zhang, S., et al., *AIRIS: Artificial intelligence enhanced signal processing in reconfigurable intelligent surface communications.* China Communications, 2021. **18**(7): p. 158-171.

16. Cui, M., et al., *Near-field MIMO communications for 6G: Fundamentals, challenges, potentials, and future directions.* IEEE Communications Magazine, 2022. **61**(1): p. 40-46.

17. Yu, X., D. Xu, and R. Schober. *MISO wireless communication systems via intelligent reflecting surfaces*. in *2019 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC)*. 2019. IEEE.

18. Wang, P., et al., *Intelligent reflecting surface-assisted millimeter wave communications: Joint active and passive precoding design.* IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2020. **69**(12): p. 14960-14973.

19. Xie, H., J. Xu, and Y.-F. Liu, *Max-min fairness in IRS-aided multi-cell MISO systems with joint transmit and reflective beamforming.* IEEE Transactions on Wireless Communications, 2020. **20**(2): p. 1379-1393.

20. Wu, Q. and R. Zhang, *Intelligent reflecting surface enhanced wireless network via joint active and passive beamforming.* IEEE transactions on wireless communications, 2019. **18**(11): p. 5394-5409.

21. Qi, C., et al., *Hierarchical codebook-based multiuser beam training for millimeter wave massive MIMO.* IEEE Transactions on Wireless Communications, 2020. **19**(12): p. 8142-8152.

22. Chen, K., C. Qi, and G.Y. Li, *Two-step codeword design for millimeter wave massive MIMO systems with quantized phase shifters.* IEEE Transactions on Signal Processing, 2019. **68**: p. 170-180.

23. Chen-Hu, K., G.C. Alexandropoulos, and A. García Armada, *Differential data-aided beam training for RIS-empowered multi-antenna communications.* IEEE Access, 2022. **10**: p. 113200-113213.

24. Jiang, S., A. Hindy, and A. Alkhateeb. *Camera aided reconfigurable intelligent surfaces: Computer vision based fast beam selection*. in *ICC 2023-IEEE International Conference on Communications*. 2023. IEEE.

25. Wei, X., et al., *Codebook design and beam training for extremely large-scale RIS: Far-field or near-field?* China Communications, 2022. **19**(6): p. 193-204.

26. Alexandropoulos, G.C., et al. *Near-field hierarchical beam management for RIS-enabled millimeter wave multi-antenna systems*. in *2022 IEEE 12th Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop (SAM)*. 2022. IEEE.

27. Shi, X., et al. *Chirp-based hierarchical beam training for extremely large-scale massive MIMO*. in *ICC 2023-IEEE International Conference on Communications*. 2023. IEEE.

28. Zhang, Y., X. Wu, and C. You, *Fast near-field beam training for extremely large-scale array.* IEEE Wireless Communications Letters, 2022. **11**(12): p. 2625-2629.

29. Xu, K., et al., *Fast beam training for FDD multi-user massive MIMO systems with finite phase shifter resolution.* IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2020. **70**(1): p. 459-473.

30. Yang, S., et al., *Efficient multi-beam training for terahertz wireless communications.* arXiv preprint arXiv:2112.15346, 2021.

31. Dai, L., et al., *Reconfigurable intelligent surface-based wireless communications: Antenna design, prototyping, and experimental results.* IEEE access, 2020. **8**: p. 45913-45923.