

# THÔNG TIN VỀ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Tên luận án: GIAO THỨC ĐA TRUY CẬP KHÔNG TRỰC GIAO CHO CÁC MẠNG VÔ TUYẾN CHUYỂN TIẾP HỢP TÁC THU THẬP NĂNG LƯỢNG

Chuyên ngành: Kỹ thuật Điện tử

Mã số: 62520203

Họ tên nghiên cứu sinh: Trần Quý Hữu

Khóa: 2016-2019

Người hướng dẫn khoa học: PGS.TS. Phan Văn Ca

TS. Viên Quốc Tuấn

Cơ sở đào tạo: Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP HCM

## 1. Tóm tắt nội dung luận án

Luận án này đã tích hợp các cơ chế đa truy cập, các giao thức thu thập năng lượng, chuyển tiếp phân chia theo công suất (PSR) và chuyển tiếp phân chia theo thời gian (TSR), giải mã và chuyển tiếp (DF) trong một hệ thống đa truy cập không trực giao truyền năng lượng và thông tin không dây đồng thời (SWIPT NOMA), có thể triển khai rộng rãi cho các mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác thu thập năng lượng (EH), các hệ thống mạng truyền thông không dây thế hệ thứ năm và các mạng thế hệ tiếp theo.

Cụ thể, luận án nghiên cứu kỹ thuật NOMA, giao thức giải mã và chuyển tiếp (DF), thu thập năng lượng (EH) trong các hệ thống chuyển tiếp hợp tác truyền năng lượng và thông tin không dây đồng thời (SWIPT). Đầu tiên, một cơ chế NOMA bán song công (HD NOMA) được đề xuất cho hệ thống SWIPT để phân bổ công suất cho hai thiết bị người dùng. Một trong hai thiết bị người dùng này được dùng như một trạm chuyển tiếp để thực hiện cả việc EH và DF tín hiệu thu được. Cơ chế đề xuất sử dụng kiến trúc bộ thu chia công suất (PS). Bộ thu này có khả năng thực hiện EH và xử lý thông tin (IP) tại trạm chuyển tiếp. Hiệu suất của cơ chế đề xuất được phân tích thông qua xác suất dừng (OP), thông lượng và tốc độ trung bình. Cụ thể, các biểu thức toán học tường minh được tính cho OP ở cả hai thiết bị người dùng, trong khi các kết quả phân tích của thông lượng và tốc độ trung bình được tính cho các phương thức truyền giới hạn trễ (DLT) và truyền chấp nhận trễ (DTT) tương ứng. Kết quả từ mô phỏng cho chúng ta thấy rằng xác suất dừng, thông lượng và tốc độ trung bình đối với cơ chế NOMA được nâng cao khi so sánh với cơ chế đa truy cập trực giao (OMA). Hiệu suất năng lượng (EE) được tính cho hệ thống HD NOMA. Các kết quả từ mô phỏng cũng chỉ ra rằng NOMA đạt hiệu suất năng lượng vượt trội hơn OMA.

Tiếp theo, các giao thức PSR và TSR lần lượt được ứng dụng cho SWIPT trong các mạng chuyển tiếp hợp tác truyền năng lượng không dây (CRWPN) dựa vào hệ thống đa truy cập không trực giao chuyển tiếp hợp tác (CRNOMA). Mạng này bao gồm một trạm cơ sở và hai nút đích trong đó một nút đóng vai trò là trạm chuyển tiếp để giúp truyền thông giữa trạm cơ sở và nút xa hơn. Ngoài ra, giao thức DF được xem xét ở trạm chuyển tiếp trong hai phương thức truyền DLT và DTT.

Trong phân tích hiệu năng hệ thống, các biểu thức toán học tường minh của OP, thông lượng, tốc độ trung bình và EE được tính toán cho các giao thức PSR và TSR với các phương thức DLT và DTT trong mạng CRWPN dựa vào CRNOMA. Hiệu năng của hệ thống được phân tích để đánh giá sự tác động của thời gian thực hiện EH, hiệu suất EH, tỉ số chia công suất, tốc độ dữ liệu nguồn và khoảng cách giữa các nút. Ngoài ra, tác

động của các thông số này đến OP và tốc độ trung bình của hai thiết bị người dùng ở vùng SNR cao cũng được đánh giá. Kết quả của mô phỏng cho chúng ta thấy rằng hiệu năng của CRNOMA vượt trội so với OMA. So sánh hiệu năng giữa hai giao thức, giao thức TSR đạt thông lượng, tốc độ trung bình lớn hơn và hiệu suất năng lượng nhỏ hơn giao thức PSR. Nghiên cứu và đánh giá hiệu năng mạng với các khoảng cách khác nhau giữa trạm cơ sở và trạm chuyển tiếp cũng như so sánh giữa đường truyền trực tiếp và đường truyền qua trạm chuyển tiếp với các hệ số suy hao đường truyền không giống nhau được thực hiện.

Cuối cùng, các biểu thức toán học tường minh của hiệu năng, tức là xác suất dừng, thông lượng, tốc độ trung bình và EE, được suy ra cho giao thức PSR với các phương thức DLT và DTT và liên kết trực tiếp. Hiệu năng của mô hình hệ thống với liên kết trực tiếp được so sánh với hiệu năng của C-NOMA chuyển tiếp cũng như so sánh giữa C-NOMA và OMA. Kết quả mô phỏng cho thấy rằng C-NOMA có liên kết trực tiếp đạt được hiệu năng vượt trội so với C-NOMA chuyển tiếp và C-NOMA vượt trội hơn so với OMA. Tác động của các thông số nêu trên đến liên kết trực tiếp được đánh giá thông qua kết quả mô phỏng số để nhận ra những thay đổi của hiệu suất. Những tác động này là nền tảng để lựa chọn các tham số có các giá trị tương thích cho mô hình hệ thống, nhằm đạt được sự cân bằng giữa các điều khoản về hiệu suất cũng như giữa các thiết bị người dùng.

## 2. Những đóng góp mới của đề tài

Luận án trình bày cơ sở lý thuyết về NOMA, trong đó kỹ thuật NOMA miền công suất, NOMA hợp tác và NOMA hợp tác đường xuống dựa vào các cơ chế thu thập năng lượng, giải mã và chuyển tiếp (DF), truyền năng lượng và thông tin không dây đồng thời (SWIPT).

Luận án đề xuất mô hình nghiên cứu gồm một trạm phát và hai thiết bị người dùng, một thiết bị người dùng ở gần trạm phát đóng vai trò là trạm chuyển tiếp, một thiết bị người dùng ở xa trạm phát hơn đóng vai trò là nút đích.

Trạm chuyển tiếp thường bị hạn chế về kích thước và năng lượng. Vì vậy, một kỹ thuật thu thập năng lượng từ sóng vô tuyến đã được sử dụng để duy trì năng lượng cho trạm chuyển tiếp. Luận án cũng đề xuất các mô hình thu thập năng lượng hiệu quả từ trạm phát năng lượng được đặt ở trạm chuyển tiếp để hỗ trợ cho các trạm chuyển tiếp, đó là hai giao thức chuyển mạch phân chia theo công suất (PSR) và chuyển mạch phân chia theo thời gian (TSR), sử dụng cơ chế giải mã và chuyển tiếp (DF) áp dụng cho các hệ thống SWIPT NOMA.

Hiệu năng của các mô hình nghiên cứu sử dụng các giao thức PSR, TSR để thực hiện EH và IP, với các phương thức truyền qua trạm chuyển tiếp và truyền trực tiếp, với cơ chế DF trong hệ thống SWIPT NOMA, đều được thiết lập bằng các phương trình toán học, phân tích và đánh giá hiệu năng của hệ thống qua các thông số OP (ở SNR thấp và SNR cao), thông lượng, tốc độ trung bình và EE, kiểm chứng sự chính xác thông qua các kết quả mô phỏng Monte Carlo. Kết quả thực hiện chứng minh rằng NOMA vượt trội hơn OMA cả về thông lượng và tốc độ trung bình, giao thức PSR ưu việt hơn so với giao thức TSR.

Các giải pháp thực hiện EH tại các trạm thu phát, góp phần quan trọng trong việc đánh giá, triển khai, quy hoạch các mạng vô tuyến, các mạng cảm biến không dây, thực hiện trong những môi trường không thể cung cấp năng lượng như trong cơ thể người, sinh vật, trên không trung hay trong các trường hợp cứu hộ, cứu nạn, cảnh báo lũ, cảnh báo sạt lở, cảnh báo cháy rừng.... Hơn nữa, các kết quả nghiên cứu này, cho thấy rằng cơ chế NOMA rất khả thi và vượt trội so với cơ chế OMA thông thường.

Tóm lại, luận án này đã tích hợp các cơ chế truy cập, các giao thức thu thập năng lượng PSR và TSR, DF trong một hệ thống SWIPT NOMA, có thể áp dụng rộng rãi cho các mạng vô tuyến chuyên tiếp hợp tác thu thập năng lượng, các hệ thống truyền thông không dây thế hệ mạng thứ năm (5G) và các thế hệ mạng tiếp theo.

*Tp. Hồ Chí Minh, ngày 27 tháng 7 năm 2023*

**Nghiên cứu sinh**

**Người hướng dẫn chính**

**Trần Quý Hữu**  
**Người hướng dẫn phụ**

**PGS. TS. Phan Văn Ca**

**TS. Viên Quốc Tuấn**

# BRIEF OF THE RESEARCH RESULTS

Dissertation title: NON-ORTHOGONAL MULTI-ACCESS PROTOCOL FOR ENERGY HARVESTING COOPERATIVE RELAY RADIO NETWORKS

Field: Electronic Engineering

Major code: 62520203

PhD student: Tran Quy Huu

Course: 2016-2029

Supervisor one: Associate Prof. Phan Van Ca

Supervisor two: Dr. Vien Quoc Tuan

Campus: Ho Chi Minh University of Technology and Education.

## 1. Summary of the content of dissertation:

This thesis has combined multiple access schemes, energy harvesting (EH), power splitting-based relaying, and time switching-based relaying (PSR/TSR) protocols, as well as the decode-and-forward protocol (DF), in a simultaneous wireless information and power transfer non-orthogonal multiple access (SWIPT NOMA) system. This system can be applied widely to enable EH in cooperative relay radio networks, fifth generation, and next-generation wireless communication systems.

Specifically, the thesis studies NOMA techniques, DF, and EH in SWIPT cooperative relay systems. In the first network model, a half-duplex NOMA (HD NOMA) scheme is suggested for the SWIPT system to allocate power for two users, one of which is considered a relay station that performs both EH and DF on the received signal. The suggested scheme makes use of a power splitting (PS) receiver architecture which enables both information processing and EH at the relay station. The performance of the suggested scheme is analyzed in terms of outage probability (OP), throughput and ergodic rate. Specifically, closed-form expressions are derived for the OP at both users, while the analytical results of the throughput and ergodic rate are obtained for DLT and DTT modes, respectively. It is shown that, with the NOMA adaptation, an improved outage performance is attained for a significantly increased throughput as well as ergodic rate at what time compared to the conventional orthogonal multiple access (OMA). The energy efficiency (EE) is derived for the suggested HD NOMA systems. Our numerical results depict that the NOMA attains an upper EE performance than the conventional OMA.

Second, PSR/TSR protocols are successively used for SWIPT in a CRNOMA based cooperative relaying wireless-powered networks (CRWPNs) containing a base station and two destination nodes among which one plays the role as a relay station to assist the communication between the base station and the far end nodes. Additionally, DF is considered at the relay station over two transmission modes, i.e., DLT and DTT. In performance analysis, closed-form expressions of OP, throughput, ergodic rate, and EE are derived for the PSR and TSR protocols with DLT and DTT modes in the CRNOMA-based CRWPNs. Next, the performance is analyzed to realize the impacts of EH time, EH efficiency, PS ratio, source data rate, and the distance between the nodes. Furthermore, the impacts of these parameters on the OP and ergodic rate of two users at high SNR regime are also evaluated. The simulation results demonstrate that the performance for CRNOMA outperforms that for OMA. For performance comparison between two protocols, the TSR achieves higher throughput, ergodic rate, and EE than the PSR. The

investigation and evaluation of performance metric versus different distances between from the base station to relay station and comparison between direct and indirect links with different path losses are performed.

In the last model, closed-form expressions of the performance, i.e., OP, through put, ergodic rate and EE, are derived for the PSR protocol with DLT and DTT modes, and direct link. This performance of the system model with direct link is compared to that for C-NOMA indirect link and OMA. The simulation results show that the C-NOMA with direct link achieves a better performance than that for the C-NOMA indirect link and OMA. The impacts of above-mentioned parameters on the direct link are evaluated via the numerical simulation results to realize the changes of the performance. These influences are the foundation for selecting parameters with appropriate values for the system model to strike a balance between performance and user device terms.

## **2. Summary of the academic contributions:**

This thesis presents the theoretical basis of NOMA, which encompasses power domain NOMA, cooperative NOMA, and downlink cooperative NOMA techniques based on the mechanisms of EH, DF protocol, and SWIPT.

The thesis proposes a research model consisting of a transmitting base station and two user devices. In this model, one user device near the transmitting base station acts as a relay node, while another user device located farther away from the transmitting base station acts as a destination node.

Relay nodes are often constrained by size and limited energy resources. Therefore, the thesis employs a technique of energy harvesting from radio frequencies to sustain the power of the relay nodes. Additionally, the thesis proposes efficient energy harvesting models from the base station located at the relay node to support these relay nodes. Two such protocols are introduced: PSR and TSR. These protocols utilize the DF mechanism and are applicable to SWIPT NOMA systems.

The performance of the research models using the PSR, TSR to EH, and IP protocols, with the relay station transmission and direct transmission methods, along with the DF mechanism in the SWIPT NOMA system, is established through mathematical equations. The system performance is analyzed and evaluated using OP parameters (at low SNR and high SNR), throughput, average speed, and EE. The accuracy is verified through Monte Carlo simulation results. The performance results demonstrate that NOMA outperforms OMA in both throughput and average speed, and the PSR protocol is superior to the TSR protocol.

EH solutions at base stations make important contributions to the assessment, deployment, and planning of radio networks and wireless sensor networks, especially in environments where power cannot be provided, such as within the human body, for creatures, in the air, or in emergency scenarios like rescue operations, flood warning, landslide warning, and forest fire warning. Moreover, the results of this study demonstrate that the NOMA mechanism is highly feasible and superior to the conventional OMA mechanism.

In summary, this thesis has integrated access mechanisms, EH protocols PSR and TSR, and DF in a SWIPT NOMA system. This system can be applied widely to enable EH in cooperative relay radio networks, fifth generation (5G), and next-generation

wireless communication systems.

*HCMC, 27/07/2023*

**Supervisor**

**Ph.D. student**

**Dr. Vien Quoc Tuan Associate Prof. Phan Van Ca**

**Tran Quy Huu**