

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP.HCM**

TRẦN QUÝ HỮU

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

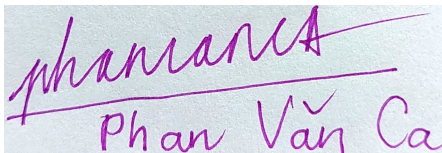
Chuyên ngành: Kỹ thuật Điện tử
Mã số chuyên ngành: 62520203

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

TP. HỒ CHÍ MINH – NĂM 2023

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM**

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS. TS. Phan Văn Ca



phanvanca
Phan Văn Ca

Người hướng dẫn khoa học 2: TS. Viên Quốc Tuấn



Viên Quốc Tuấn

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án **Cấp Cơ sở** họp tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM vào ngày tháng năm

LÝ LỊCH CÁ NHÂN

I. Thông tin cá nhân

Họ và tên: Trần Quý Hữu Giới tính: Nam

Ngày sinh: 15/11/1982 Nơi sinh: Quảng Ngãi

II. Quá trình đào tạo

Tốt nghiệp Đại học năm 2007, trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM.

Tốt nghiệp Cao học năm 2010, trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM.

Từ 10/2016 đến nay, Nghiên cứu sinh, trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM.

III. Quá trình công tác

Từ 10/2009 đến nay giảng viên của trường Đại học Công Nghiệp Tp. HCM.

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 28 tháng 12 năm 2022.

TÓM TẮT

Luận án này nghiên cứu và đề xuất một số giải pháp tăng cường hiệu năng truyền thông của giao thức đa truy cập không trực giao (NOMA) trong các mạng vô tuyến chuyên tiếp hợp tác bị thiếu hụt năng lượng tại trạm chuyển tiếp. 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 công suất 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 (user). Một trong hai user 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 dùng (OP), thông lượng và tốc độ ergodic. 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 ergodic được tính cho các chế độ truyền giới hạn trễ (DLT) và truyền chấp nhận trễ (DTT) tương ứng. Kết quả từ mô phỏng cho chúng ta thấy rằng hiệu suất dùng, thông lượng và tốc độ ergodic 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.

Thứ hai, Hai giao thức PSR/TSR trong hai chế độ DLT và DTT: Các giao thức PSR và TSR lần lượt được ứng dụng cho SWIPT trong mạng CRWPN dựa vào 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 nút chuyển tiếp trong hai chế độ truyền DLT và DTT.

Phân tích hiệu suất: Các biểu thức toán học tường minh của OP, thông lượng, tốc độ ergodic và EE được tính toán cho các giao thức PSR và TSR với các chế độ DLT và DTT trong mạng CRWPN dựa vào CRNOMA. Tiếp theo, hiệu suất 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 ergodic của hai user ở vùng SNR cao cũng được đánh giá. Kết quả của mô phỏng cho chúng ta thấy rằng hiệu suất của CRNOMA vượt trội so với OMA. So sánh hiệu suất giữa hai giao thức, giao thức TSR đạt thông lượng, tốc độ ergodic lớn hơn và hiệu suất năng lượng nhỏ hơn giao thức PSR. Nghiên cứu và đánh giá hiệu suất với các khoảng cách khác nhau giữa trạm cơ sở và trạm chuyển tiếp cũng như so sánh giữa các đường truyền trực tiếp và đường truyền qua chuyển tiếp với các hệ số suy hao đường truyền (m) không giống nhau được thực hiện.

Cuối cùng, các biểu thức dạng đóng của hiệu suất, tức là xác suất dừng, thông lượng, tốc độ ergodic và EE, được suy ra cho giao thức PSR với các chế độ DLT và DTT và liên kết trực tiếp. Hiệu suất này của mô hình hệ thống với liên kết trực tiếp được so sánh với hiệu suất 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 suất 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 user.

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

ABSTRACT

This thesis researches and suggests solutions to enhance the communication performance of non-orthogonal multiple access (NOMA) for the cooperative relay radio networks with energy shortage at the relay node. Specifically, the thesis studies NOMA techniques, decode-and-forward protocol (DF), and energy harvesting (EH) in simultaneous wireless information and power transfer (SWIPT) cooperative relay systems. In the first network model, an half-duplex NOMA (HD NOMA) scheme is suggested for a SWIPT system to allocate power for two users, among which one is considered as a relay station to perform both EH and DF 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 a upper EE performance than the conventional OMA.

The second, PSR protocol in DLT mode and TSR Protocol in DTT mode: 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.

Performance Analyses: 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. The PSR/TSR based system model in this work obtains a better OP than the previous suggestions.

In the last model, closed-form expressions of the performance, i.e., OP, throughput, 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.

In summary, this thesis has joined multiple access schemes, EH PSR/TSR protocols, and DF in a NOMA SWIPT system, which can be widely applied to perform EH in cooperative relay radio networks, the fifth generation (5G) and next-generation wireless communication systems.

Chương 1

TỔNG QUAN

1.1. Tính cấp thiết của đề tài

Ngày nay, khi các ngành công nghiệp đang phát triển nhanh chóng, thì trong lĩnh vực công nghiệp viễn thông cũng đã và đang phát triển theo với nhiều công nghệ dịch vụ mới. Thông tin di động là một trong những lĩnh vực rất cần thiết trong đời sống của xã hội loài người. Khi xã hội ngày càng phát triển thì nhu cầu của con người về truyền thông, về tương tác trực tuyến ngày càng cao và thông tin di động lại càng khẳng định được tầm quan trọng của nó. Cùng với sự tiến triển này, mạng không dây với các công nghệ 2G, 3G, 4G, 5G và các thế hệ mạng tiếp theo đã, đang và sẽ ra đời. Tuy nhiên, sự mở rộng và phát triển nhanh chóng về số lượng các thiết bị truy cập, các loại hình mạng và dịch vụ khác nhau đã kéo theo đó là sự hạn chế về tốc độ truy cập, dung lượng, băng thông, năng lượng, độ trễ khi truyền tín hiệu trong mạng viễn thông.

Những hạn chế này thể hiện rõ trong các mạng từ 1G đến 4G. Trong các mạng này, kỹ thuật truy cập được triển khai là đa truy cập trực giao, gọi tắt là OMA. OMA bao gồm những kỹ thuật như TDMA, CDMA, FDMA và OFDM.

NOMA là một trong những ứng viên tiềm năng để sử dụng cho mạng 5G và các thế hệ mạng tiếp theo. Trong kỹ thuật này, các tài nguyên được truy cập cùng một băng thông và cùng thời gian. Kỹ thuật NOMA bao gồm nhiều dạng như NOMA miền công suất, NOMA miền mã và NOMA kết hợp.

Chương 2

CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Đa truy cập không trực giao

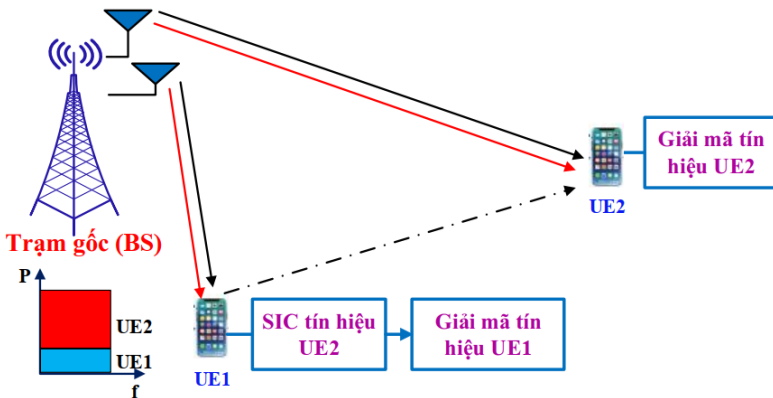
2.1.1. Giới thiệu

Kỹ thuật NOMA được phát triển cho thế hệ mạng 5G và các thế hệ mạng tiếp theo.

Mã hóa xếp chồng và triệt nhiễu nối tiếp là hai công nghệ cốt lõi trong kỹ thuật NOMA miền công suất. Để giúp các trạm phát có thể truyền thông tin đến các user có điều kiện kênh truyền yếu, NOMA hợp tác được khai thác trong các mô hình mạng này. Trong NOMA hợp tác, các user có điều kiện kênh truyền tốt sẽ giúp nguồn chuyển thông tin đến user mong muốn, user có điều kiện kênh truyền kém hơn.

Trong NOMA hợp tác, vấn đề cung cấp năng lượng cho các user chuyển tiếp là vấn đề cốt lõi để duy trì hoạt động của chúng. Năng lượng được thu thập từ tín hiệu vô tuyến RF do nguồn phát cung cấp là nguồn năng lượng khả thi trong hệ thống NOMA hợp tác.

2.1.2. Thu thập năng lượng trong NOMA hợp tác đường xuống với SWIPT



Hình 2.1: Mô hình EH và truyền thông tin đồng thời ứng dụng NOMA hợp tác dựa vào cơ chế SWIPT.

Chương 3

GIAO THỨC PSR CHO XỬ LÝ THÔNG TIN VÀ THU THẬP NĂNG LƯỢNG KHÔNG DÂY TRONG HỆ THỐNG NOMA

3.1. Tóm tắt

NOMA kết hợp với truyền thông hợp tác được xem là các ứng viên hứa hẹn cho các mạng không dây 5G và được rất nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu. Tuy nhiên, mỗi thiết bị mạng có một nguồn cung cấp giới hạn. Chương này, chúng tôi trình bày giao thức PSR cho việc thực hiện EH không dây và IP trong hệ thống NOMA nhằm kéo dài tuổi thọ của các nút bị hạn chế năng lượng trong các mạng không dây. Giao thức DF được sử dụng ở các trạm chuyển tiếp, năng lượng thu thập từ tín hiệu RF được khai thác để chuyển tiếp thông tin đến nút đích. Cụ thể, xác suất dừng, thông lượng, tốc độ ergodic và hiệu suất năng lượng của giao thức PSR được tính toán để nhận biết ảnh hưởng của thời gian thực hiện EH, hiệu suất thực hiện EH, tỉ số chia công suất, tốc độ dữ liệu nguồn và khoảng cách giữa các nút. Các kết quả mô phỏng chỉ ra rằng các thông số đánh giá về xác suất dừng, thông lượng, tốc độ ergodic, hiệu suất năng lượng của hệ thống NOMA đều vượt trội hơn so với hệ thống OMA.

i) *Truyền giới hạn trễ DLT*: Trong chế độ này, nút đích giải mã tín hiệu nhận được theo từng khối.

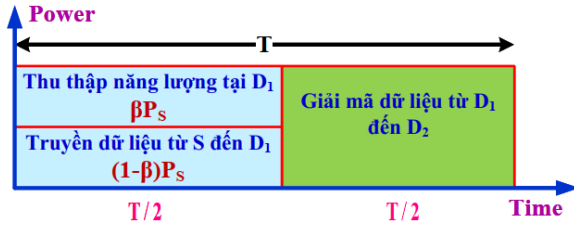
ii) *Truyền chấp nhận trễ DTT*: Trong chế độ này, nút đích có thể lưu thông tin nhận được trong bộ đệm của nó. Do đó, nó chấp nhận trễ do quá trình giải mã tín hiệu nhận được.

3.2. Mô hình hệ thống



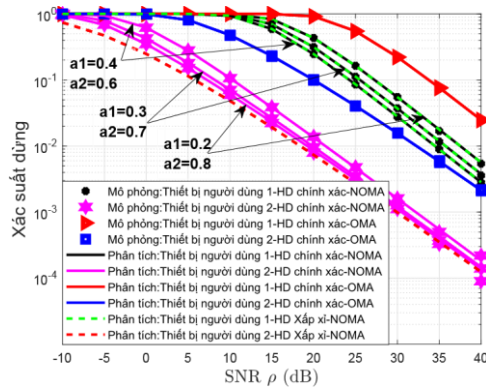
Hình 3.1: Mô hình hệ thống.

3.2.1. Thu thập năng lượng tại D_1

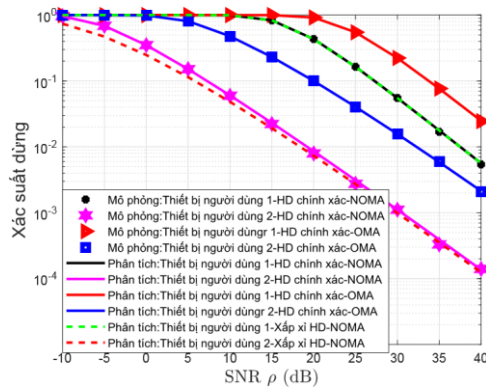


Hình 3.2: Giao thức PSR của hệ thống EH.

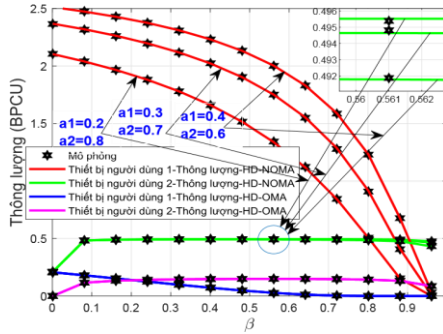
3.3. Kết quả mô phỏng



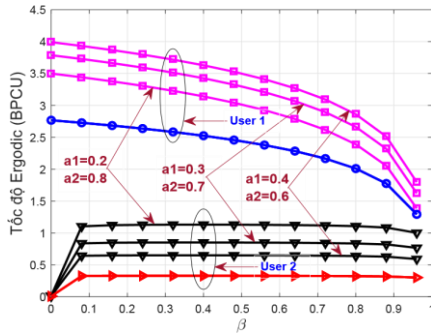
Hình 3.3: OP của hai user đối với giao thức PSR theo SNR và các hệ số a_1, a_2 .



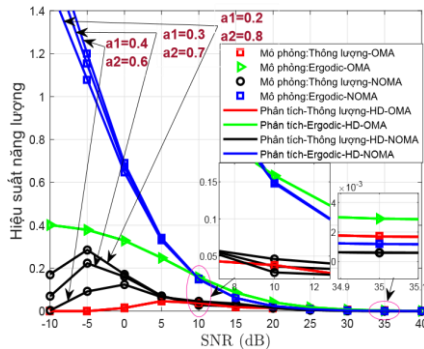
Hình 3.4: OP của hai user đối với giao thức PSR theo SNR.



Hình 3.5: Thông lượng của hai user đối với giao thức PSR theo β với các cặp hệ số chia công suất a_1, a_2 khác nhau.



Hình 3.6: Tốc độ ergodic của hai user đối với giao thức PSR theo β với các cặp hệ số chia công suất a_1, a_2 khác nhau.



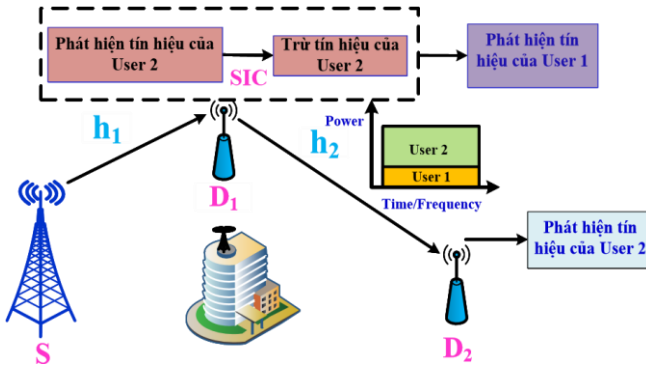
Hình 3.7: Hiệu suất năng lượng của hai user đối với giao thức PSR với các cặp hệ số chia công suất a_1, a_2 khác nhau.

Chương 4

CÁC GIAO THỨC CHUYỂN TIẾP HỢP TÁC DỰA VÀO PSR và TSR TRUYỀN CÔNG SUẤT VÀ THÔNG TIN KHÔNG DÂY ĐỒNG THỜI TRONG HỆ THỐNG NOMA

Kế thừa vấn đề thực hiện EH dựa vào giao thức chuyển tiếp chia công suất xử lý thông tin và thu thập năng lượng không dây trong hệ thống NOMA đã được nghiên cứu trong chương 3. Chương 4 phát triển thêm giao thức thu thập năng lượng dựa vào SWIPT với tên gọi chuyển tiếp chuyển mạch thời gian TSR, thực hiện so sánh giữa hai giao thức PSR và TSR cũng như đánh giá sự ảnh hưởng của các thông số trong giao thức thu thập năng lượng và thông số đường truyền đến hiệu suất của mô hình hệ thống NOMA hợp tác. Trong chương này, các công thức tính hiệu suất như xác suất dừng, thông lượng, tốc độ ergodic và hiệu suất năng lượng được trình bày và được kiểm nghiệm thông qua các kết quả mô phỏng Monte Carlo.

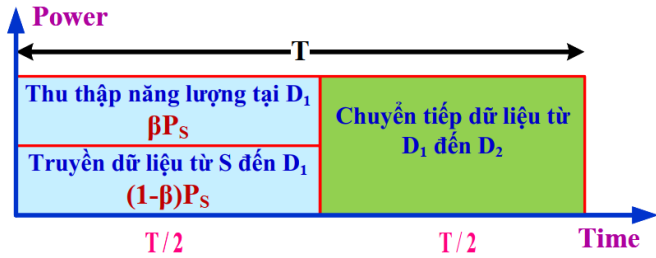
4.1. Mô hình hệ thống



Hình 4.1: Mô hình hệ thống.

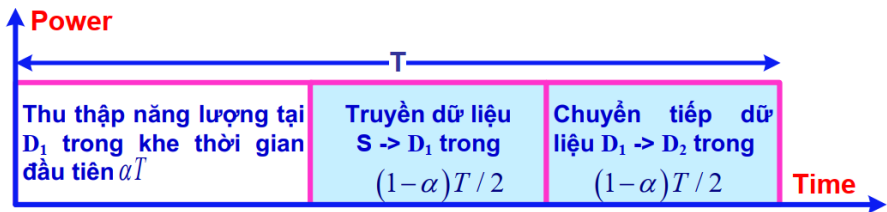
4.2. Thực hiện EH và IP tại D₁

4.2.1. Thực hiện EH tại D₁ dựa vào PSR



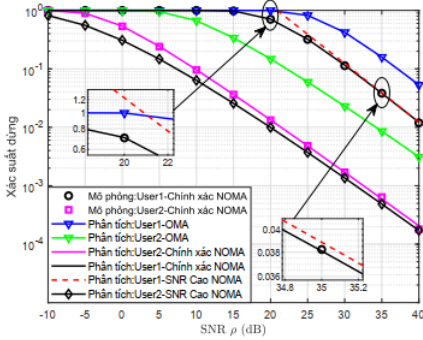
Hình 4.2: Giao thức PSR của hệ thống thực hiện EH.

4.2.2. Thực hiện EH tại D_1 dựa vào TSR

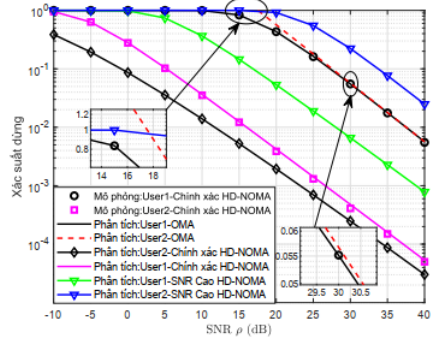


Hình 4.3: Giao thức TSR của hệ thống thực hiện EH.

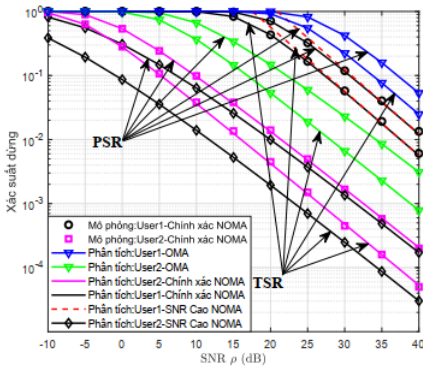
4.3. Kết quả mô phỏng



(a)

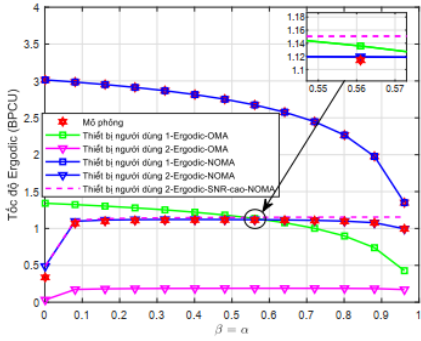


(b)

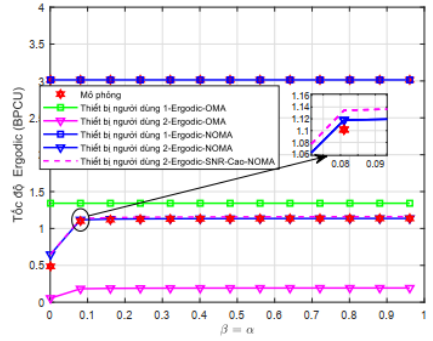


(c)

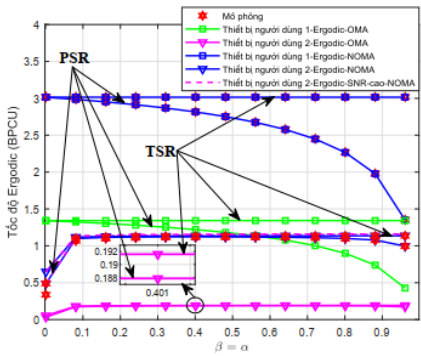
Hình 4.2: Xác suất dừng theo SNR đối với (a) giao thức PSR, (b) giao thức TSR, (c) các giao thức PSR và TSR.



(a)

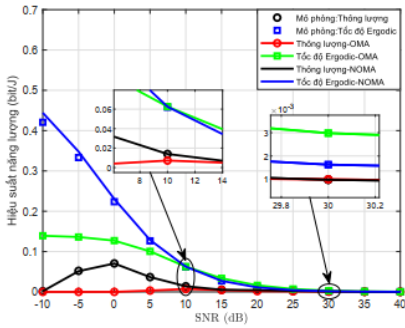


(b)

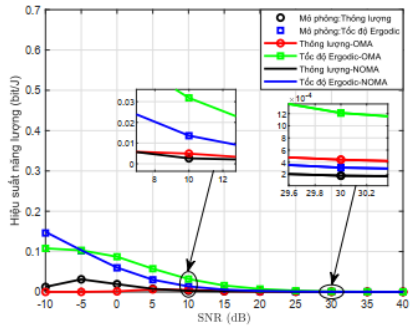


(c)

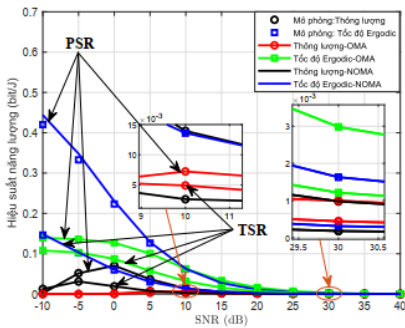
Hình 4.3: Tốc độ ergodic của hai user với $\beta=\alpha$ đối với (a) giao thức PSR, (b) giao thức TSR và (c) các giao thức PSR và TSR.



(a)



(b)



(c)

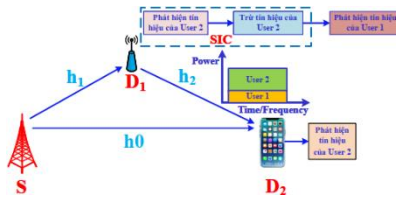
Hình 4.4: Hiệu suất năng lượng của hai user đối với (a) giao thức PSR, (b) giao thức TSR và (c) các giao thức PSR và TSR.

Chương 5

PHÂN TÍCH HIỆU NĂNG CỦA GIAO THỨC PSR TRONG CÁC HỆ THỐNG NOMA TRUYỀN CÔNG SUẤT VÀ THÔNG TIN KHÔNG DÂY ĐỒNG THỜI

Chương 4 đã nghiên cứu vấn đề EH dựa vào hai giao thức PSR và TSR, EH và IP không dây trong hệ thống NOMA, thực hiện so sánh giữa hai giao thức PSR và TSR, đánh giá tác động của các thông số trong giao thức thu thập năng lượng và thông số đường truyền đến hiệu suất của mô hình hệ thống NOMA hợp tác. Trong chương này, các công thức tính hiệu suất như xác suất dừng, thông lượng, tốc độ ergodic, hiệu suất năng lượng của cả hai chế độ truyền trực tiếp và truyền qua nút chuyển tiếp hợp tác, đã được trình bày, so sánh và được kiểm nghiệm thông qua các kết quả mô phỏng Monte Carlo.

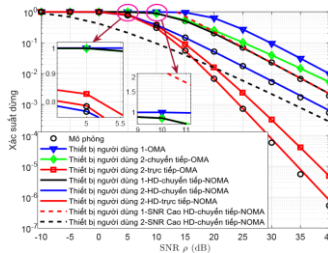
5.1. Mô hình hệ thống



Hình 5.1: Mô hình hệ thống.

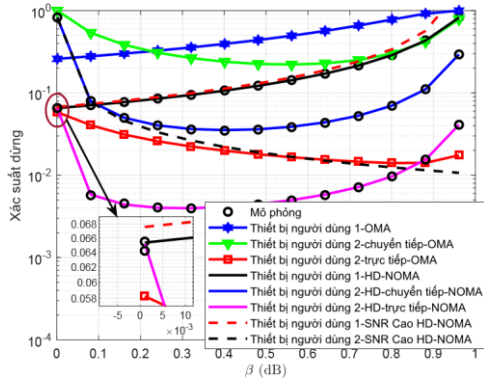
5.2. Các kết quả mô phỏng và thảo luận

5.2.1. Xác suất dừng đối với SNR và β

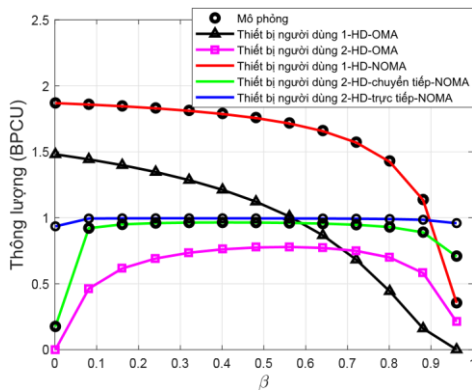


Hình 5.2: Xác suất dừng của user đối với SNR truyền trong các trường hợp không có liên kết trực tiếp và có liên kết trực tiếp.

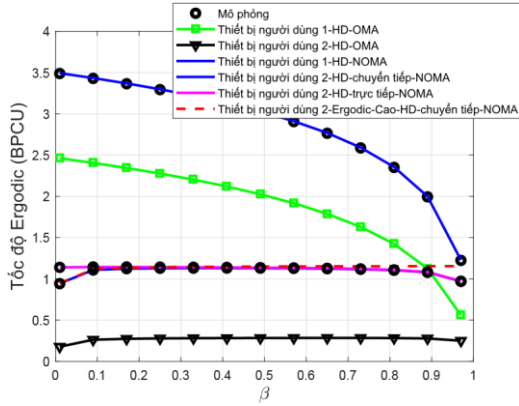
5.2.2. Thông lượng và tốc độ ergodic đối với SNR và β



Hình 5.3: Xác suất dừng của hai user đối với β trong các trường hợp có không có liên kết trực tiếp và có liên kết trực tiếp.

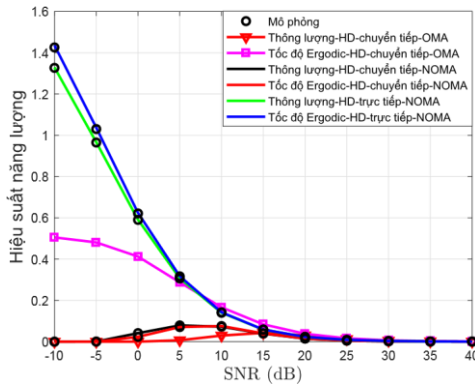


Hình 5.4: Thông lượng của hai user đối với β trong các trường hợp không có liên kết trực tiếp và có liên kết trực tiếp.



Hình 5.5: Tốc độ ergodic của hai user đối với β trong các trường hợp không có liên kết trực tiếp và có liên kết trực tiếp.

5.2.3. Hiệu suất năng lượng



Hình 5.6: Hiệu suất năng lượng của hai user cho giao thức PSR trong các trường hợp không có liên kết trực tiếp và có liên kết trực tiếp.

Chương 6

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

6.1. Kết luận

Trong luận án này, tác giả đã trình bày tổng quan về hướng nghiên cứu, các kỹ thuật đa truy cập không trực giao với nội dung trọng tâm là NOMA trong miền công suất và thu thập năng lượng trong NOMA đường xuống với truyền công suất và thông tin không dây đồng thời. Giải pháp 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 ở những môi trường không thể cung cấp năng lượng như trong cơ thể người, sinh vật, hầm mỏ, tàu ngầm, trên không trung hay trong các trường hợp cứu hộ, cứu nạn, cảnh báo lũ, cảnh báo sạt lở, cảnh báo cháy rừng.... Hiệu năng của các mô hình nghiên cứu sử dụng các giao thức PSR, TSR để EH và IP, với các chế độ truyền qua chuyển tiếp và truyền trực tiếp, với cơ chế DF trong hệ thống NOMA SWIPT, đều được thiết lập bằng các biểu thức toán học và kiểm chứng sự chính xác thông qua mô phỏng Monte Carlo. Kết quả thực hiện chứng minh rằng NOMA vượt trội hơn OMA cả về thông lượng và tốc độ ergodic, giao thức PSR ưu việt hơn so với giao thức TSR.

Qua nội dung này, cho thấy rằng cơ chế đa truy cập không trực giao tuy còn khá mới mẻ và phức tạp nhưng nó rất khả thi và vượt trội so với cơ chế đa truy cập trực giao thông thường. Từ đó, có thể áp dụng NOMA trong mạng chuyển tiếp hợp tác, có thể được triển khai trong nhiều lĩnh vực truyền thông không dây khác nhau trong tương lai.

6.2. Hướng phát triển

Tiếp tục nghiên cứu về NOMA và EH góp phần khắc phục các thách thức đối với mạng chuyển tiếp, mạng hợp tác không dây là bài toán về thiếu hụt năng lượng. Chúng tôi nghiên cứu các giao thức để EH không dây từ các sóng RF trong môi trường xung quanh và đồng thời xử lý thông tin trong hệ thống NOMA để kéo dài tuổi thọ của các nút chuyển tiếp bị hạn chế năng lượng trong các mạng không dây. Phát triển cho các hệ thống đa relay, đa ăng ten, các mạng truy cập vô tuyến chuyển tiếp hợp tác thu thập năng lượng, các mạng cảm biến không dây, các mạng truy cập vô tuyến đám mây không đồng nhất (H-CRAN), các máy bay không người lái (UAV)...

Các công việc phát triển từ Luận án này có thể là:

So sánh, đánh giá các đặc tính của hai giao thức PSR và TSR trong các mạng đa relay, đa điểm truy cập; tính xác suất dừng, thông lượng, tốc độ ergodic và hiệu suất năng lượng của hệ thống, đối với đường truyền qua chuyển tiếp và đường truyền trực tiếp; tính xác suất dừng, thông lượng, tốc độ ergodic và hiệu suất năng lượng của hệ thống, đối với hai cơ chế truyền bán song công và song công.

Đánh giá hiệu năng trong việc thực hiện EH và IP của mạng H-CRAN. Các mục tiêu nghiên cứu chủ yếu là tăng cường hiệu suất phổ, cải thiện hiệu suất năng lượng và kéo dài tuổi thọ của hệ thống với các đặc điểm sau:

- EH từ các tín hiệu RF.
- Giải quyết bài toán hạn chế năng lượng.
- Dùng các giao thức PSR và TSR.
- Sử dụng giao thức DF.
- Sử dụng trong những môi trường không thuận lợi hoặc nguy hiểm, cảnh báo lũ, cảnh báo sạt lở, cảnh báo cháy rừng, cứu hộ, cứu nạn, ...
- Truyền năng lượng và thông tin không dây đồng thời.
- So sánh, đánh giá các đặc tính của đường truyền qua chuyển tiếp và đường truyền trực tiếp.
- So sánh, đánh giá các đặc tính của hai cơ chế truyền bán song công và song công.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. Huu Q. Tran, Phuc Q. Truong, Ca V. Phan, and Quoc-Tuan Vien, "On the energy efficiency of NOMA for wireless backhaul in multitier heterogeneous CRAN", In 2017 International Conference on Recent Advances in Signal Processing, Telecommunications & Computing (SigTelCom), pp. 229-234, (2017).
2. Huu Q. Tran, Ca V. Phan, and Quoc-Tuan Vien, "An overview of 5G technologies", In Emerging Wireless Communication and Network Technologies, pp. 59-80. Springer, Singapore, (2018).
3. Huu Q. Tran, Ca V. Phan, and Quoc-Tuan Vien, "On the performance of regenerative relaying for SWIPT in NOMA Systems", In 2019 26th International Conference on Telecommunications (ICT), pp. 1-5. IEEE, (2019).
4. Huu Q. Tran, Tien-Tung Nguyen, Ca V. Phan, and Quoc-Tuan Vien, "Power-splitting relaying protocol for wireless energy harvesting and information processing in NOMA systems", IET Communications, 13, no. 14, pp. 2132-2140, (2019).
5. Huu Q. Tran, Tien-Tung Nguyen, Ca V. Phan, and Quoc-Tuan Vien, "On the performance of NOMA in SWIPT systems with power-splitting relaying", In 2019 19th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT), pp. 255-259. IEEE, (2019).
6. Huu Q. Tran, Ca V. Phan, and Quoc-Tuan Vien, "Power splitting versus time switching based cooperative relaying protocols for SWIPT in NOMA systems", Physical Communication (2020): 101098.
7. Huu Q. Tran and V. T. Nguyen, "Biometric Image Recognition For Secure Authentication Based on FPGA: A survey," 2020 5th International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD), 2020, pp. 618-623, doi: 10.1109/GTSD50082.2020.9303115.
8. Huu Q. Tran, Phan, C.V, and Vien, QT. Performance analysis of power-splitting relaying protocol in SWIPT based cooperative NOMA systems. J Wireless Com Network 2021, 110 (2021). <https://doi.org/10.1186/s13638021-01981-9>.
9. Huu Q. Tran, Ca V. Phan, Quoc-Tuan Vien, "Optimizing Energy Efficiency for Supporting Near-Cloud Access Region of UAV-Based NOMA Networks in IoT Systems", Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 2021, Article ID 4345622, 12 pages, 2021. <https://doi.org/10.1155>.