

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

TR. TRẦN QUÝ HỮU
ẤN 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

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'phanvanca', written in a cursive style.

Phan Văn Ca

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

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'VQT', written in a cursive style.

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 trường họp tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM vào ngày tháng năm

TÓM TẮT

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 (CR WPN) 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 nút chuyển tiếp trong hai phương thức truyền DLT và DTT. Phân tích hiệu suất: 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 suất của CRNOMA vượt trội so với OMA. So sánh hiệu suất 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.

ABSTRACT

This thesis has combined multiple access schemes, energy harvesting (EH), power splitting-based relaying, and time switching-based relaying (P SR/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 a 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 CR WPNs. 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, 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.

Chương 1

TỔNG QUAN

1.1. Tính cấp thiết của đề tài

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. Cùng với sự tiến triển này, mạng không dây với các công nghệ nG và các thế hệ mạng tiếp theo đã, đang và sẽ ra đời để phục vụ cho nhu cầu của con người. Sự bùng nổ về số lượng các thiết bị truy cập, các loại hình mạng và dịch vụ khác nhau đã kéo theo đó là sự giới hạn 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 (OMA). OMA bao gồm những kỹ thuật như TDMA, CDMA, FDMA và OFDM. Đề tài này tập trung vào nghiên cứu vấn đề thu thập năng lượng tại các trạm chuyển tiếp, góp phần kéo dài thời gian hoạt động của các trạm chuyển tiếp trong các hệ thống đa truy cập không trực giao chuyển tiếp hợp tác, truyền năng lượng và thông tin không dây đồng thời, sử dụng các giao thức PSR, TSR, DF để thu thập năng lượng, giải mã và chuyển tiếp thông tin từ nút nguồn đến nút đích. NOMA gần đây đã được chứng minh là một trong những kỹ thuật có tính khả thi cao để triển khai cho mạng 5G và các thế hệ mạng tiếp theo, để vượt qua những trở ngại của các công nghệ hiện tại như EE, độ trễ và sự công bằng của các thiết bị người dùng [80], [87]-[88]. Một trong những đặc điểm nổi bật của kỹ thuật NOMA là cho phép nhiều thiết bị người dùng sử dụng chung các tài nguyên về thời gian, tần số và/hoặc miền mã [80]. Một thiết bị người dùng mạnh, tức là thiết bị người dùng ở gần trạm cơ sở (NU), có điều kiện kênh truyền tốt hơn, được cung cấp hệ số phân bổ công suất thấp hơn so với thiết bị người dùng yếu, tức là thiết bị người dùng ở xa trạm cơ sở (FU), có điều kiện kênh truyền kém hơn, đảm bảo tính công bằng giữa các thiết bị người dùng [4], [6], [87], [89]. Hai kỹ thuật chính được triển khai trong NOMA bao gồm mã hóa chồng chất [88] và loại bỏ nhiễu liên tiếp [87]-[88]. Như một phiên bản mở rộng

của NOMA, NOMA hợp tác (C-NOMA) [91]-[92] khai thác thiết bị người dùng với điều kiện kênh truyền tốt hơn, cụ thể là thiết bị người dùng chuyển tiếp, để hỗ trợ chuyển tiếp thông tin cho một thiết bị người dùng khác có điều kiện kênh truyền kém hơn. Vì vậy, C-NOMA có thể tăng mức độ phủ sóng của trạm cơ sở và tăng cường hiệu suất của hệ thống NOMA. Trên thế giới hiện nay có rất nhiều nhóm nghiên cứu về kỹ thuật NOMA cho mạng 5G và các thế hệ mạng tiếp theo, nhóm nghiên cứu ở trường Đại học Middlesex [1]-[2] quan tâm tới vấn đề năng lượng của hệ thống NOMA trong mạng HCRAN, vấn đề cảm nhận phổ trong mạng vô tuyến nhận thức. Nhóm nghiên cứu ở trường Đại học Manchester [3] đã và đang nghiên cứu vấn đề NOMA hợp tác, các giải thuật chọn lựa chuyển tiếp kết hợp với thu thập năng lượng (EH) trong mạng ứng dụng công nghệ NOMA. Thu thập năng lượng từ các tần số vô tuyến có thể giúp giải quyết bài toán hạn chế năng lượng, kéo dài thời lượng pin trong các thiết bị điện tử, các cảm biến không dây cũng như các trạm chuyển tiếp của mạng truyền thông không dây [91]-[92]. Tại các trạm chuyển tiếp, việc thực hiện EH được triển khai ở giai đoạn đầu tiên của khối thời gian truyền tín hiệu. Năng lượng thu thập được là dành riêng cho: i) tiêu thụ tại trạm chuyển tiếp và ii) chuyển tiếp thông tin đã giải mã tới nút đích. Sự kết hợp giữa SWIPT và C-NOMA trong các hệ thống 5G đã chứng minh EE vượt trội và vùng phủ sóng rộng hơn so với OMA [31], [89]. Hơn nữa, bằng cách chuyển tiếp thông tin đến thiết bị người dùng ở xa, trạm chuyển tiếp dựa trên SWIPT C-NOMA có thể cải thiện tính nguyên bản cũng như độ tin cậy của dữ liệu được truyền cho những thiết bị người dùng yếu [93]. Giao thức PSR và giao thức TSR được khai thác tại các trạm chuyển tiếp dựa trên SWIPT để thực hiện EH và IP [4], [6], [29], [94]. Trong [95], tổng thông lượng của các thiết bị người dùng trong hệ thống C-NOMA dựa trên SWIPT đã được nghiên cứu. Các biểu thức toán học gần đúng và các biểu thức toán học tường minh của OP đã đạt được. Trong [96], hai giao thức dựa trên SWIPT, đó là CNOMA SWIPT-PS và CNOMA-SWIPT-TS, đã được đề xuất. Tính hiệu quả của các cơ chế đề xuất đã được chứng minh là vượt trội so với OMA và so với công việc trong [97]. Trong [90], SWIPT dựa trên hệ thống C-NOMA đã được điều tra. Một thiết kế chung cho các hệ số PS và yếu tố TS đã được đề xuất để cải thiện hiệu suất hệ thống. Các biểu thức phân tích cho OP của thiết bị người dùng gần và xa cũng đã được cung cấp. Trong [98], SWIPT dựa trên PSR cho C-NOMA đã được nghiên cứu. So với giao thức trong [99], giao thức này có thể giảm đáng kể OP của những thiết bị người dùng mạnh và tăng thông lượng hệ

thông. Trong [100], OP và thông lượng của giao thức TSR được đề xuất ưu việt hơn so với giao thức TSR thông thường. Có hai cơ chế chuyển tiếp dữ liệu chủ yếu trong C-NOMA có hỗ trợ chuyển tiếp, bao gồm DF và AF [87]. Hơn nữa, trong chuyển tiếp dựa vào C-NOMA, các thiết bị người dùng ở xa thường nhận được tín hiệu đã truyền từ trạm phát, được chuyển tiếp từ các trạm chuyển tiếp [100]-[104]. Nguyên nhân là do có một số chướng ngại vật trong đường truyền [4], [6], [105]. Tuy nhiên, trong các mô hình hệ thống không có chướng ngại vật, những thiết bị người dùng ở xa này có thể nhận tín hiệu từ cả trạm chuyển tiếp hợp tác và từ trạm cơ sở, tức là, trạm chuyển tiếp dựa vào C-NOMA với các liên kết trực tiếp [53],[106]-[108]. Trong [106], một cơ chế DF động dựa trên C-NOMA cho truyền đường xuống đã được đề xuất. Biểu thức OP của cơ chế đề xuất được thiết lập bằng cách áp dụng lý thuyết xử lý điểm. Trong [109], ba cơ chế chuyển tiếp hợp tác đã được đề xuất trong một hệ thống C-NOMA dựa trên DF. Hiệu suất hệ thống cho các cơ chế đề xuất vượt trội so với chuyển tiếp hợp tác DF không có liên kết trực tiếp và truyền chồng chất các tín hiệu cho nhiều thiết bị người dùng không qua chuyển tiếp. Trong [110], một hệ thống C-NOMA dựa trên DF với đường liên kết trực tiếp giữa trạm phát và thiết bị người dùng yếu đã được nghiên cứu. Trong [111], một hệ thống hợp tác giữa thiết bị với thiết bị với NOMA trong đó trạm cơ sở có thể truyền thông đồng thời với tất cả các thiết bị người dùng đã được xem xét. Hai chiến lược giải mã, cụ thể là cơ chế giải mã tín hiệu đơn và cơ chế giải mã kết hợp tỷ lệ tối đa (MRC), đã được đề xuất. Các kết quả mô phỏng cho thấy rằng tổng tốc độ trung bình cũng như OP đạt được tốt hơn so với các cơ chế NOMA thông thường. Các tác giả ở [112] đã đề xuất một giao thức cho phép trạm cơ sở chuyển đổi một cách mềm dẻo giữa các phương thức trực tiếp và gián tiếp trong hệ thống C-NOMA với hai thiết bị người dùng. Các kết quả phân tích đã chứng minh được rằng giao thức được đề xuất ưu việt hơn so với giao thức C-NOMA thông thường. Trong [77], hiệu suất dùng của hệ thống SWIPT NOMA dựa trên DF kết hợp với đường liên kết trực tiếp đã được trình bày. Việc sử dụng các trạm chuyển tiếp để chuyển tiếp thông tin từ trạm cơ sở đến nút đích và thực hiện EH từ RF đã được nghiên cứu trong các công nghệ hiện tại như OFDMA, SWIPT/WPT [113]-[115]. Trong [113], một cơ chế lựa chọn chuyển tiếp, cụ thể là lựa chọn chuyển tiếp OFDMA, đã được đề xuất cho các mạng hợp tác đa chặng OFDM với L trạm chuyển tiếp và M chặng ($M, L \geq 2$). Hiệu suất dùng từ đầu đến cuối của phương pháp đề xuất đã được đánh giá và so sánh với hiệu suất của phương pháp lựa chọn chuyển tiếp OFDM.

Trong [114], một cơ chế lựa chọn chuyên tiếp đã được nghiên cứu trong mạng OFDMA đa thiết bị người dùng hỗ trợ chuyên tiếp hai chặng với K trạm chuyên tiếp cố định và L thiết bị người dùng ($2 \leq L \leq K$), trong đó các nút cuối khai thác cơ chế SWIPT dựa trên kỹ thuật phân chia theo công suất (PS). Lựa chọn chuyên tiếp này là tối ưu hóa tỷ lệ phân chia theo công suất của các nút cuối cũng như của chuyên tiếp, sóng mang và phân công công suất sao cho tốc độ tổng của hệ thống được tối đa hóa dưới các giới hạn về năng lượng thu được và công suất truyền. Trong [115], một cuộc khảo sát về các kỹ thuật thu thập năng lượng được hỗ trợ bởi SWIPT và WPT đã được trình bày. Kết quả khảo sát đã thể hiện một cách chi tiết về các công nghệ mới nổi tiềm năng khác nhau cho truyền thông thế hệ thứ năm (5G) với SWIPT/WPT. Những đóng góp của nghiên cứu sinh trong luận án này như sau: Thứ nhất, việc ứng dụng các giao thức chuyên tiếp phân bổ công suất (PSR) và chuyên tiếp chuyển mạch thời gian (TSR) trong cơ chế truyền công suất và thông tin không dây một cách đồng thời (SWIPT) được khai thác trong hệ thống NOMA chuyên tiếp hợp tác. Thứ hai, các thông số về hiệu năng: xác suất dừng (OP), thông lượng, tốc độ trung bình, hiệu suất năng lượng (EE) được nghiên cứu để so sánh giữa các giao thức PSR, TSR cũng như giữa NOMA và OMA. Thứ ba, xây dựng các biểu thức toán học tường minh của hiệu năng hệ thống, tức là OP, thông lượng, tốc độ trung bình và EE của hệ thống, sử dụng giao thức PSR với các phương thức truyền giới hạn trễ (DLT) và truyền chấp nhận trễ (DTT), chuyên tiếp hợp tác và liên kết trực tiếp. Hiệu năng của mô hình hệ thống có liên kết trực tiếp được so sánh với hiệu năng của C-NOMA qua chuyên tiếp hợp tác cũng như so sánh giữa C-NOMA và OMA. Các kết quả mô phỏng đã chỉ ra rằng C-NOMA với liên kết trực tiếp đạt được hiệu năng vượt trội so với C-NOMA chuyên tiếp và C-NOMA có hiệu năng tốt hơn so với OMA. Cuối cùng, tác động của các thông số chẳng hạn như thời gian thực hiện EH, hệ số chia công suất, hiệu suất thực hiện EH, tốc độ dữ liệu nguồn, khoảng cách từ trạm cơ sở đến trạm chuyên tiếp cũng được nghiên cứu để xem xét sự ảnh hưởng của chúng lên OP, thông lượng, tốc độ trung bình, EE cũng như giữa hai giao thức PSR và TSR. Tác động của các thông số nêu trên đến liên kết trực tiếp được đánh giá dựa vào các kết quả mô phỏng số để nhận ra những thay đổi của hiệu suất. Những tác động này là cơ sở để chọn lựa các tham số có các giá trị phù hợp cho mô hình hệ thống nhằm đạt được sự cân bằng giữa các yếu tố về hiệu năng cũng như giữa các thiết bị người dùng.

Chương 2

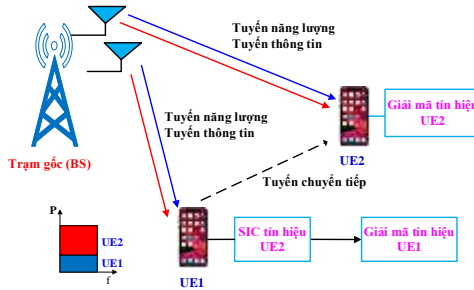
CƠ SỞ LÝ THUYẾT

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



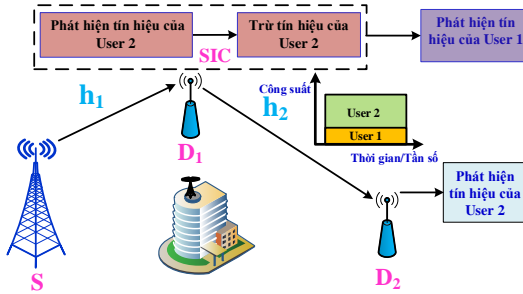
Hình 2.1: Mô hình thu thập năng lượng và truyền thông tin đồng thời ứng dụng NOMA hợp tác dựa vào cơ chế SWIPT.

Chương 3

MÔ HÌNH HỆ THỐNG

Trong chương này, mô hình nghiên cứu đề xuất gồm có một trạm gốc S và hai thiết bị người dùng D_1 và D_2 sử dụng kỹ thuật NOMA với cơ chế SC ở phía phát và cơ chế SIC ở trạm chuyển tiếp thu thập năng lượng. Có hai trường hợp được đưa ra như sau:

3.1. Trường hợp thứ nhất



Hình 3.1: Mô hình hệ thống với một trạm gốc và hai thiết bị người dùng có vật cản giữa S và D_2 .

Trong hình 3.1, S quảng bá hai tín hiệu x_1, x_2 đến D_1 , D_1 phát hiện tín hiệu x_2 và xem x_2 là nhiễu, D_1 sử dụng bộ SIC để loại bỏ x_2 , D_1 phát hiện và giải mã tín hiệu x_1 của chính D_1 , sau đó D_1 được khai thác để giúp S chuyển tiếp tín hiệu đã giải mã x_2 đến D_2 . D_1 sử dụng giao thức DF sử dụng năng lượng thu thập được từ S . Giả sử rằng mô hình hệ thống với kênh truyền Rayleigh fading. Các khoảng cách tương ứng từ S đến D_1 và từ D_1 đến D_2 là d_1 và d_2 . Giả sử các độ lợi trong các liên kết liên quan là phân bố Rayleigh với hàm mật độ xác suất được cho bởi:

$$f_{|h_i|^2}(x) = \frac{1}{\Omega_i} \exp\left(-\frac{x}{\Omega_i}\right), i \in \{1, 2\}, \quad (3.1)$$

Trong đó, Ω_i biểu diễn công suất trung bình và hàm phân bố tích lũy được xác định bởi:

$$F_{|h_i|^2}(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x}{\Omega_i}\right), i \in \{1, 2\}. \quad (3.2)$$

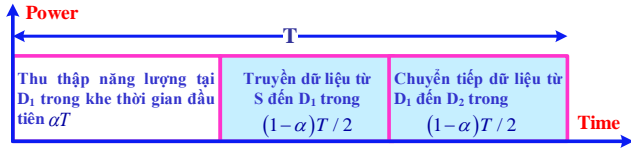
3.1.1. Thu thập năng lượng và xử lý thông tin tại D_1

3.1.1.1. Thu thập năng lượng tại D_1 dựa vào PSR



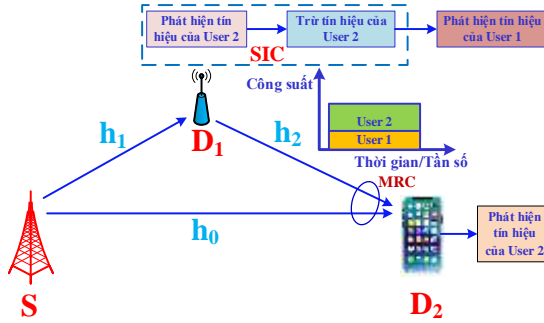
Hình 3.2: Giao thức PSR của hệ thống thu thập năng lượng.

3.1.1.2. Thu thập năng lượng tại D_1 dựa vào TSR



Hình 3.3: Giao thức TSR của hệ thống thu thập năng lượng.

3.2. Trường hợp thứ hai



Hình 3.4: Mô hình hệ thống với một trạm gốc và hai thiết bị người dùng không có vật cản giữa S và D_2 .

Giả sử rằng không có vật cản giữa S và D_2 như trong hình 3.4. Trong hình 3.4, hai thiết bị người dùng D_1 và D_2 nhận được tín hiệu truyền từ trạm gốc S. Bởi vì D_2 ở xa nút nguồn S hơn D_1 , vì vậy D_1 giúp S chuyển tiếp thông tin đến D_2 .

Chương 4

PHÂN TÍCH HIỆU NĂNG

Ở chương 3, nghiên cứu sinh đã xây dựng các biểu thức cho việc thu thập năng lượng và xử lý thông tin tại trạm chuyển tiếp cho hai trường hợp đề xuất. Trong chương này, nghiên cứu sinh thiết lập các công thức tính hiệu năng (OP, thông

lượng, tốc độ trung bình, EE) của hệ thống SWIPT NOMA. Phân tích đánh giá hiệu năng của hệ thống trong các trường hợp:

- Truyền qua trạm chuyển tiếp và truyền trực tiếp.
- Perfect SIC (loại bỏ can nhiễu liên tiếp hoàn hảo) và imperfect SIC (loại bỏ can nhiễu liên tiếp không hoàn hảo).

4.1. Phân tích hiệu năng của trường hợp 1

4.1.1. Xác suất dừng tại D₁

Xác suất dừng tại D₁ của giao thức PSR được cho bởi:

$$P_{D_1,X} = 1 - \Pr(\gamma_{2,D_1} > \gamma_{th_2}, \gamma_{1,D_1} > \gamma_{th_1}), \quad (4.1)$$

Khi $\gamma_{th_1} = 2^{2R_1} - 1$ là giá trị SNR ngưỡng ở D₁ để phát hiện x_1 , R_1 là tốc độ mục tiêu ở D₁ để phát hiện x_1 . $\gamma_{th_2} = 2^{2R_2} - 1$ là giá trị SNR ngưỡng ở D₂ để phát hiện x_2 và R_2 là tốc độ mục tiêu ở D₁ để phát hiện x_2 .

$$P_{D_1,X} = 1 - e^{-\frac{\theta_{1,X}}{\Omega_1}}, \quad (4.2)$$

Đặt $\tau_{1,X} = \frac{\gamma_{th_2}}{\rho\psi_X^l(a_2 - a_1\gamma_{th_2})}$, $\nu_{1,X} = \frac{\gamma_{th_1}}{a_1\psi_X^l\rho}$ và $\theta_{1,X} = \max(\tau_{1,X}, \nu_{1,X})$ với $a_2 > a_1\gamma_{th_2}$.

4.1.2. Xác suất dừng tại D₂

$$\begin{aligned} P_{D_2,X} &= \Pr(\gamma_{2,D_1} < \gamma_{th_2}) + \Pr(\gamma_{2,D_2} < \gamma_{th_2}, \gamma_{2,D_1} > \gamma_{th_2}) \\ &= 1 - e^{-\frac{\tau_{1,X}}{\Omega_1}} + \int_{\tau_{1,X}}^{\infty} \left(1 - e^{-\frac{2\gamma_{th_2}}{x\psi_E^X\rho\Omega_2}} \right) \frac{1}{\Omega_1} e^{\left(\frac{-x}{\Omega_1}\right)} dx, \end{aligned} \quad (4.4)$$

Xác suất dừng tại D₂ đối với SNR cao được tính như sau:

$$P_{D_2,X}^{\infty} = 1 - 2\sqrt{\frac{2\gamma_{th_2}}{x\psi_E^X\rho\Omega_1\Omega_2}} K_1 2\sqrt{\frac{2\gamma_{th_2}}{x\psi_E^X\rho\Omega_1\Omega_2}}. \quad (4.6)$$

4.1.3. Thông lượng đối với phương thức DLT

$$\tau_{r,X} = (1 - P_{D_1,X})R_1 + (1 - P_{D_2,X})R_2. \quad (4.7)$$

4.1.4. Tốc độ trung bình đối với phương thức DTT

4.1.4.1. Tốc độ trung bình tại D_1

$$R_{D_1,X} = \frac{-e^{\left(\frac{1}{\psi_l^X a_1 \rho \Omega_1}\right)}}{2 \ln 2} Ei \left(\frac{-1}{\psi_l^X a_1 \rho \Omega_1} \right). \quad (4.9)$$

4.1.4.2. Tốc độ trung bình tại D_2

$$R_{D_2,X} = \frac{1}{2 \ln 2} \int_0^{\frac{a_2}{a_1}} \left[\frac{e^{\frac{x}{\psi_l^X \rho (a_2 - a_1 x) \Omega_1}} + \int_{\psi_l^X \rho (a_2 - a_1 x)}^{\infty} \frac{1}{\Omega_1} \left(1 - e^{-\frac{2x}{y \rho \psi_l^X \Omega_2}} \right) e^{-\frac{y}{\Omega_1}} dy}{1 + x} \right] dx. \quad (4.11)$$

4.1.4.3. Tốc độ trung bình của hệ thống

$$\tau_{r,X} = R_{D_1,X} + R_{D_2,X}. \quad (4.14)$$

4.1.5. Loại bỏ can nhiễu liên tiếp không hoàn hảo

$$P_{\hat{x}_1, D_1}^{I-SIC} = 1 - e^{-\frac{\hat{\theta}_1}{\Omega_1}}, \quad \text{với } \hat{\theta}_1 = \frac{\gamma_{th_1}}{\rho \psi_l (a_1 - a_2 \kappa^2 \gamma_{th_1})}. \quad (4.17)$$

4.2. Phân tích hiệu năng của trường hợp 2

4.2.1. Xác suất dừng tại D_1

Tương tự như xác suất dừng tại D_1 trong trường hợp 1.

4.2.2. Xác suất dừng tại D_2 cho liên kết qua chuyển tiếp

Tương tự như xác suất dừng tại D_2 trong trường hợp 1.

Xác suất dừng tại D_1 đối với SNR cao được biểu thị bởi:

$$P_{D_1}^\infty = \frac{\theta_1}{\Omega_1}. \quad (4.18)$$

4.2.3. Xác suất dừng tại D_2 cho cả liên kết qua chuyển tiếp và liên kết trực tiếp

$$P_{D_2,dir} = \int_0^\infty \int_0^{\tau_I} \frac{1}{\Omega_0 \Omega_1} \left(1 - e^{-\frac{\gamma_{in2}}{x\psi_E \rho \Omega_2} + \frac{\gamma a_2}{x\psi_E \Omega_2 (y a_1 \rho + 1)}} \right) e^{-\frac{x}{\Omega_1} - \frac{y}{\Omega_0}} dx dy$$

$$\times e^{-\frac{\tau_I}{\Omega_1} + \left(1 - e^{-\frac{\tau_I}{\Omega_1}} \right) \left(1 - e^{-\frac{\tau_I \psi_I}{\Omega_0}} \right)}. \quad (4.21)$$

4.2.4. Thông lượng cho phương thức DLT

4.2.4.1. Qua liên kết chuyển tiếp

Thông lượng qua liên kết chuyển tiếp tương tự như trường hợp 1.

4.2.4.1. Qua cả liên kết chuyển tiếp và trực tiếp

$$\tau_{t,dir} = \left(1 - P_{D_1} \right) R_1 + \left(1 - P_{D_2,dir} \right) R_2. \quad (4.25)$$

4.2.5. Tốc độ trung bình đối với phương thức DTT

4.2.5.1. Tốc độ trung bình tại D_1

Tốc độ trung bình tại D_1 qua liên kết chuyển tiếp tương tự trường hợp 1.

4.2.5.2. Tốc độ trung bình tại D_2 đối với liên kết qua chuyển tiếp

Tốc độ trung bình tại D_2 qua liên kết chuyển tiếp tương tự trường hợp 1.

4.2.5.3. Tốc độ trung bình tại D_2 đối với các liên kết qua chuyển tiếp và trực tiếp

$$R_{D_2,dir} = \frac{1}{2 \ln 2} \int_0^{\frac{a_2}{a_1}} \left[\frac{e^{-\frac{x}{\psi_1 \rho (a_2 - a_1 x) \Omega_1}} - \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \frac{1}{\psi_1 \rho (a_2 - a_1 x) \Omega_1 \Omega_0} \left(1 - e^{-\frac{2x(y a_1 \rho + 1) + 2y a_2 \rho}{z \rho \psi_E \Omega_2 (y a_1 \rho + 1)}} \right) e^{-\frac{y}{\Omega_0} - \frac{z}{\Omega_1}} dy dz}{1+x} \right] dx \quad (4.27)$$

Tốc độ trung bình trong biểu thức tiệm cận tại D_2 đối với vùng SNR

$$R_{D_2,dir}^{\infty} = \frac{1}{2 \ln 2} \int_0^{\frac{a_2}{a_1}} \int_0^{\infty} e^{-\frac{2x}{y \rho \Omega_2 \psi_{PSR}^E} - \frac{2a_2}{a_1 y \rho \Omega_2 \psi_{PSR}^E} - \frac{y}{\Omega_1}} \frac{dx dy}{\Omega_1 (1+x)} \quad (4.29)$$

4.2.5.4. Tốc độ trung bình của hệ thống đối với liên kết qua chuyển tiếp

Tốc độ trung bình của hệ thống đối với liên kết qua chuyển tiếp được xác định tương tự như ở trường hợp 1.

4.2.5.5. Tốc độ trung bình của hệ thống đối với các liên kết qua chuyển tiếp và trực tiếp

$$\tau_{r,dir} = R_{D_1} + R_{D_2,dir}, \quad (4.31)$$

4.2.6. Hiệu suất năng lượng

$$EE_{\phi,X} = \frac{2\tau_{\phi,X}}{TP_S + TP_r} = \frac{2\tau_{\phi,X}}{\rho(1 + \psi_E \Omega_1)}, \quad (4.32)$$

Trong đó, $T = 1, \sigma^2 = 1, \rho = \frac{P_S}{N_0}, P_r = \beta \eta |h_1|^2 P_S = \psi_E \Omega_1 P_S$ và $\phi \in (t, r)$ biểu thị

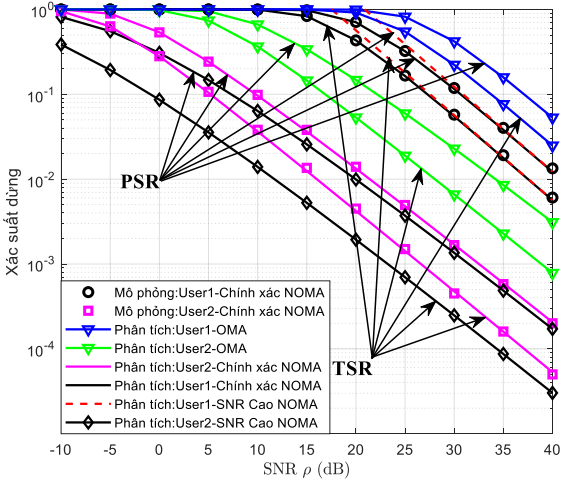
EE của hệ thống trong phương thức DLT và phương thức DTT tương ứng.

Chương 5

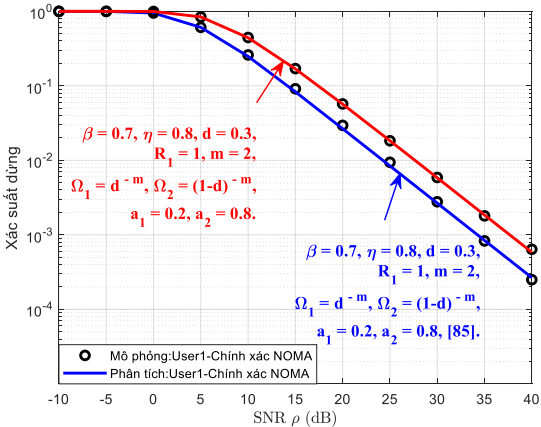
KẾT QUẢ THỰC HIỆN

5.1. Kết quả mô phỏng và thảo luận cho trường hợp 1

Hình 5.1(c)-(d) vẽ OP của hai thiết bị người dùng đối với giao thức PSR và TSR theo SNR. Thiết bị người dùng 2 đạt OP thấp hơn thiết bị người dùng 1 trong cả cơ chế HD CRNOMA và OMA. Và OP của hai thiết bị người dùng trong cơ chế HD CRNOMA thấp hơn OP của hai thiết bị người dùng trong cơ chế OMA.



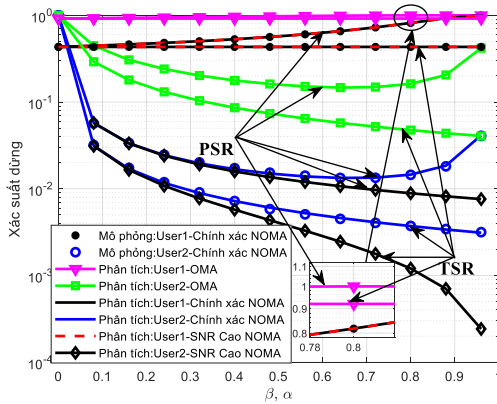
Hình 5.1c. Xác suất dừng theo SNR đối với các giao thức PSR và TSR.



Hình 5.1d. So sánh xác suất dừng giữa công việc thực hiện với công việc [85].

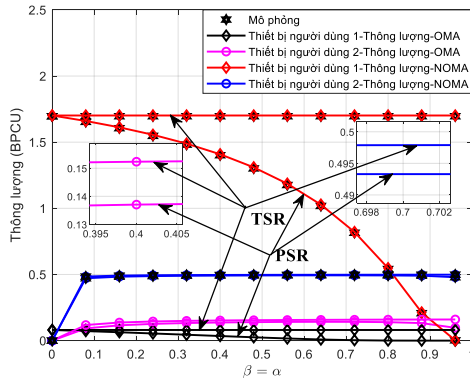
Hình 5.2c vẽ OP của hai thiết bị người dùng đối với giao thức PSR và TSR.

Từ hình, OP của thiết bị người dùng 2 thấp hơn thiết bị người dùng 1 đối với cả hai giao thức PSR và TSR. Ngoài ra, OP của cả hai thiết bị người dùng đối với giao thức TSR thấp hơn giao thức PSR.



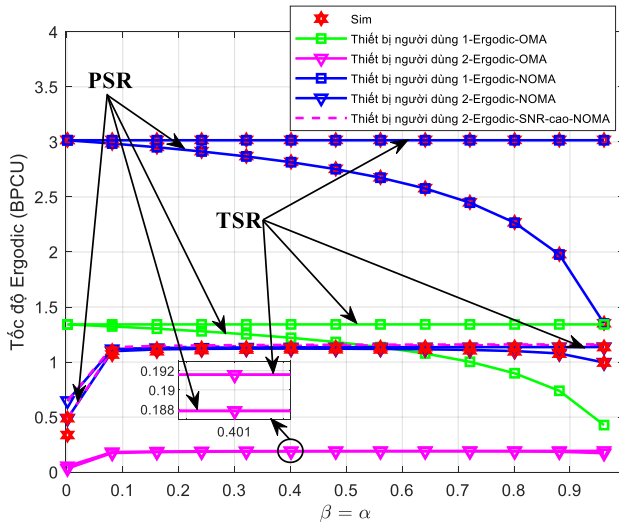
Hình 5.2c. OP theo các hệ số EH đối với các giao thức PSR và TSR.

Hình 5.3c cho thấy rằng thông lượng của thiết bị người dùng 1 cao hơn nhiều so với thông lượng của thiết bị người dùng 2 trong cơ chế HD CRNOMA.



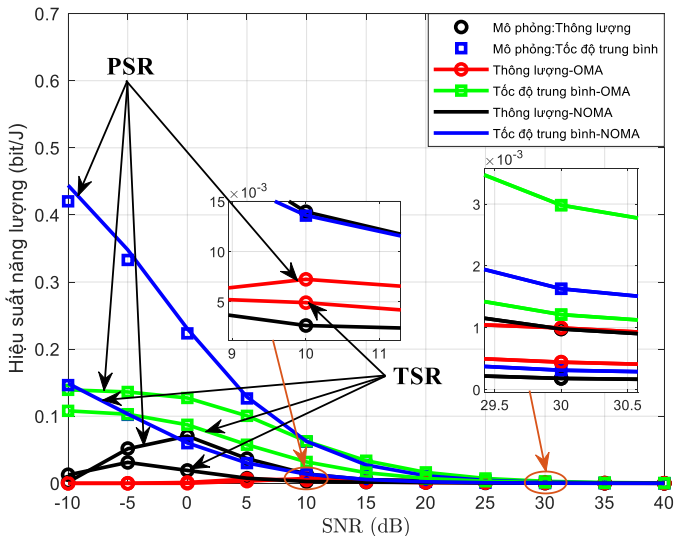
Hình 5.3c. Thông lượng của hai thiết bị người dùng với $\beta=\alpha$ đối với các giao thức PSR và TSR.

Từ hình 5.4c, tốc độ trung bình tại thiết bị người dùng 1 đối với HD CRNOMA đạt cao nhất trong khi tốc độ trung bình tại thiết bị người dùng 2 đối với HD OMA là thấp nhất.

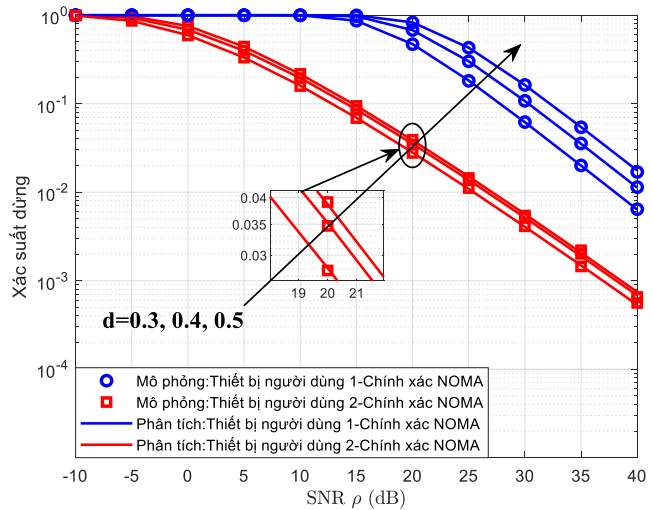


Hình 5.4c. Tốc độ trung bình của hai thiết bị người dùng với $\beta=\alpha$ đối với các giao thức PSR và TSR.

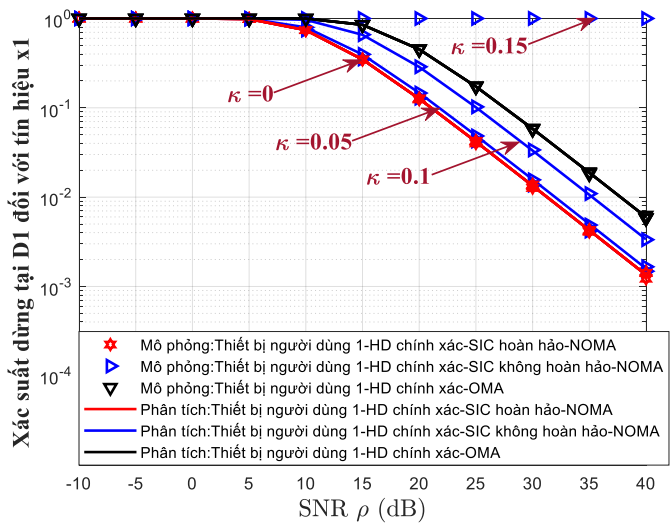
Hình 5.5d. Vẽ EE của hai thiết bị người dùng đối với giao thức PSR và TSR theo SNR (dB), có thể nhận ra rằng EE đối với phương thức DLT thấp hơn phương thức DTT. NOMA vượt trội về EE khi so sánh với OMA trong vùng SNR thấp (< 10(dB)).



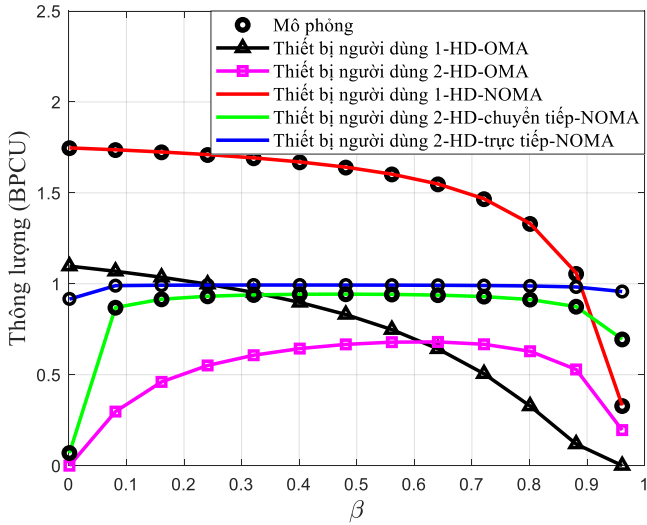
Hình 5.5d. Hiệu suất năng lượng của hai thiết bị người dùng đối với các giao thức PSR và TSR.



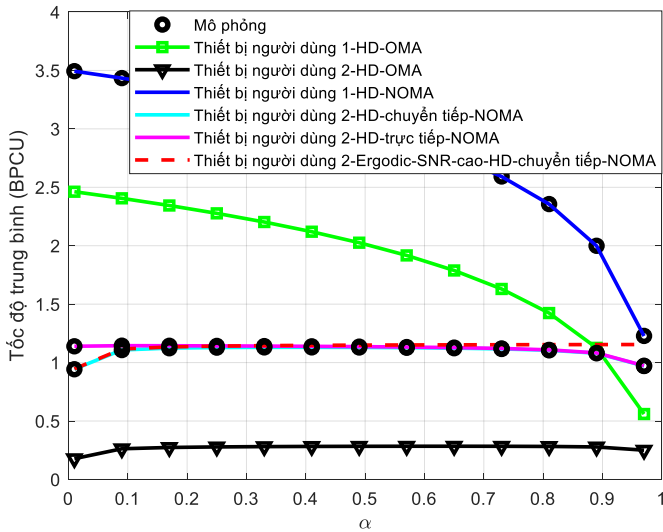
Hình 5.7. Xác suất dừng với SNR và các giá trị khác nhau của d.



Hình 5.8. So sánh xác suất dừng tại D_1 theo SNR trong các trường hợp perfect SIC và imperfect SIC x_2 với các giá trị κ khác nhau.

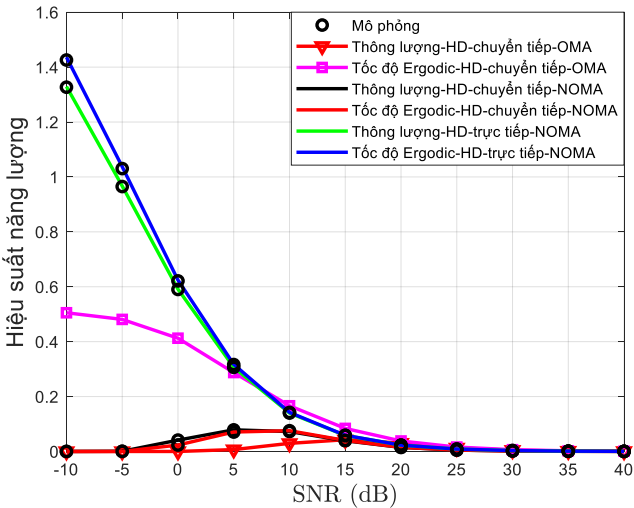


Hình 5.11. Thông lượng của hai thiết bị người dùng đối với β trong các trường hợp không có liên kết trực tiếp và có liên kết trực tiếp.



Hình 5.12. Tốc độ trung bình của hai thiết bị người dùng đối với β trong các trường hợp không có liên kết trực tiếp và có liên kết trực tiếp.

Hình 5.13 minh họa EE theo SNR từ -10 đến 40 dB. Hình vẽ chỉ ra rằng EE cho C-NOMA với liên kết trực tiếp đạt được cao hơn nhiều so với C-NOMA không có liên kết trực tiếp và OMA.



Hình 5.13. Hiệu suất năng lượng của hai thiết bị người dùng đối với SNR 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, nghiên cứu sinh đã đề xuất các giải pháp thu thập năng lượng trong hệ thống SWIPT NOMA với nội dung trọng tâm là NOMA miền công suất và NOMA hợp tác đã được thực hiện trong các chuyên đề nghiên cứu. Các giải pháp thu thập năng lượng 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.... Hiệu năng của các mô hình nghiên cứu sử dụng các giao thức PSR, TSR để thu thập năng lượng và xử lý thông tin, với các phương thức truyền qua chuyển tiếp và truyền trực tiếp, với

cơ chế DF trong hệ thống SWIPT NOMA, đều được thiết lập bằng các biểu thức toán học và 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. Qua nội dung này, cho thấy rằng cơ chế NOMA rất khả thi và vượt trội so với cơ chế OMA thông thường. Từ đó, có thể áp dụng NOMA trong mạng chuyên tiếp hợp tác, có thể được triển khai trong nhiều lĩnh vực truyền thông vô tuyến khác nhau.

6.2. Hướng phát triển

Tiếp tục nghiên cứu về NOMA và EH góp phần khắc phục các thách thức đối với mạng chuyên tiếp, mạng hợp tác không dây là bài toán về thiếu hụt năng lượng. Nghiên cứu sinh nghiên cứu các giao thức để thu thập năng lượng 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 trạm chuyên 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 chuyên 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 trung bình và hiệu suất năng lượng của hệ thống, đối với đường truyền qua chuyên tiếp và đường truyền trực tiếp; tính xác suất dừng, thông lượng, tốc độ trung bình 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 thu thập năng lượng và xử lý thông tin của mạng H-CRAN. Các mục tiêu nghiên cứu chủ yếu là tăng cường hiệu suất phổ, cải thiện hiệu suất năng lượng, tăng thời lượng pin cho các thiết bị di động, các hệ thống truyền thông không dây.

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 International Conference on Recent Advances in Signal Processing, Telecommunications & Computing (**SigTelCom2017**), pp. 229-234.

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.

4. Huu Q. Tran, Ca V. Phan, and Quoc-Tuan Vien, (2020), “Power splitting versus time switching based cooperative relaying protocols for SWIPT in NOMA systems”, Physical Communication: 101098, (**SCIE-Q2**).

5. Huu Q. Tran, Tien-Tung Nguyen, Ca V. Phan, and Quoc-Tuan Vien, (2019), “Power-splitting relaying protocol for wireless energy harvesting and information processing in NOMA systems”, IET Communications, 13, no. 14, pp. 2132-2140, (**SCIE-Q2**).

6. 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.

7. Huu Q. Tran and V. T. Nguyen (2020), "Biometric Image Recognition For Secure Authentication Based on FPGA: A survey", 5th International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD), pp. 618-623, doi: 10.1109/GTSD50082.2020.9303115.

8. Huu Q. Tran, Ca V. Phan, and Quoc-Tuan Vien, (2021), "Performance analysis of power-splitting relaying protocol in SWIPT based cooperative NOMA systems," EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, pp.110-136, <https://doi.org/10.1186/s13638-021-01981-9>, (**SCIE-Q2**).

9. Huu Q. Tran, Ca V. Phan, and Quoc-Tuan Vien, (2021), "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, <https://doi.org/10.1155/2021/4345622>, (**SCOPUS-Q2**).