

# THÔNG TIN VỀ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Tên luận án: NGHIÊN CỨU HIỆU NĂNG MẠNG TRUYỀN THÔNG VÔ TUYẾN ĐA CHẶNG TRONG ĐIỀU KIỆN CÔNG SUẤT PHÁT HẠN CHẾ.

Chuyên ngành: Kỹ thuật Điện tử

Mã số: 9520203

Họ tên nghiên cứu sinh: Phạm Minh Nam

Khóa: 2017-2020

Người hướng dẫn khoa học: TS. Trần Trung Duy

PGS.TS. Phan Văn Ca

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

## 1. Tóm tắt nội dung luận án

Luận án nghiên cứu và đề xuất những giải pháp nâng cao hiệu năng truyền thông của mạng MUCRN (Multi-hop Underlay Cognitive Radio Networks) bị ràng buộc công suất phát. Toàn văn luận án gồm có 7 chương và phụ lục đi kèm. Nội dung nghiên cứu chính của luận án gồm có 4 chương (từ Chương 3 đến Chương 6) đề xuất phân tích nghiên cứu 4 mô hình mạng vô tuyến đa chặng điển hình hoạt động ở chế độ hạn chế công suất phát tại các trạm thu phát thứ cấp.

Ở mô hình mạng đầu tiên, luận án nghiên cứu một mạng MUCRN mà các phần tử thu phát của nó được bố trí trong tầm nhìn thẳng LOS. Để nâng cao hiệu năng, luận án đề xuất sử dụng kỹ thuật đa anten với phân tập TAS/SC ở mạng sơ cấp. Mục tiêu chính là khẳng định được các giải pháp đề xuất trên có hiệu quả trong việc nâng cao hiệu năng của cả mạng sơ cấp và mạng thứ cấp MUCRN. Bên cạnh đó, khả năng bị nghe lén thông tin khi truyền giảm thấp nếu áp dụng một số đề xuất đi kèm.

Trong nghiên cứu thứ hai, luận án đề xuất giải pháp đa anten ngay trong các phần tử của MUCRN. Các trạm thu phát của MUCRN có khả năng thu hoạch năng lượng vô tuyến và truyền tin đồng thời, thích hợp cho triển khai mạng ở những nơi không có nguồn cung cấp điện. Thông số đánh giá hệ thống là Secrecy Outage Probability và Probability of Non-zero Secrecy Capacity đặc trưng cho yếu tố bảo mật thông tin trong hệ thống.

Mô hình thứ ba nghiên cứu về giao thức cộng tác giữa các trạm thu phát trong nội mạng MUCRN. Các trạm thu phát đơn anten trong MUCRN cũng sử dụng kỹ thuật thu thập năng lượng vô tuyến như mô hình thứ hai. Nhờ giao thức cộng tác này, thông tin có thể về đích sớm hơn. Kết quả chứng minh được ưu điểm nổi bật của giao thức cộng tác so với giao thức truyền tin thông thường qua so sánh độ lợi phân tập của Outage Probability. Đặc biệt, luận án xét đến tính tối ưu phụ thuộc giữa yếu tố thời gian thu hoạch năng lượng vô tuyến và số chặng của mạng MUCRN.

Đề xuất nghiên cứu thứ tư giải quyết bài toán chọn lựa được một MUCRN thích hợp khi có nhiều MUCRN cùng có khả năng đưa thông tin từ một nguồn về một đích. Sự xuất hiện nhiều MUCRN là hình thái truyền thông có trong Wireless Sensor Network (WSN) hay Vehicle to Vehicle (V2V). Nghiên cứu đưa ra ba giải pháp đánh giá chọn lựa đồng thời so sánh các ưu nhược điểm của từng giải pháp.

Kết luận chung của luận án dựa vào các kết quả nghiên cứu đề xuất nhiều giải pháp có giá trị nhằm nâng cao hiệu năng mạng đa chặng hoạt động trong điều kiện hạn chế công suất phát.

## 2. Những đóng góp mới của đề tài

Đầu tiên, luận án đưa ra các mô hình chuyển tiếp đa chặng hiệu quả nhằm nâng cao hiệu năng của mạng thứ cấp với điều kiện ràng buộc công suất phát và sự ảnh hưởng của nhiễu đồng kênh từ mạng sơ cấp. Cụ thể, luận án đề xuất các mô hình chọn đường, chuyển tiếp phân tập, chuyển tiếp cộng tác và các kỹ thuật chọn lựa nút chuyển tiếp hiệu quả. Hơn nữa, luận án cũng nghiên cứu các mô hình tổng quát trong đó mạng sơ cấp sử dụng các kỹ thuật thu phát có phân tập để nâng cao hiệu năng cho mạng sơ cấp, đồng thời cũng nâng cao khả năng sử dụng phổ tần cho mạng thứ cấp. Tiếp đến, cách tiếp cận nghiên cứu giao thức mới về cộng tác đa chặng được đề xuất nhằm cải thiện hiệu năng truyền thông trong mạng đa chặng đơn anten. Đặc biệt, các bài toán tối ưu số chặng, số anten hay tối ưu về tham số trong các giao thức truyền thông cũng đã được nghiên cứu trong luận án.

Thứ hai, bởi vì các thiết bị vô tuyến thứ cấp bị hạn chế về kích thước và năng lượng được cung cấp, kỹ thuật thu thập năng lượng từ sóng vô tuyến đã được sử dụng để duy trì công suất cho các thiết bị này. Luận án cũng đề xuất các mô hình thu thập năng lượng hiệu quả từ các trạm phát năng lượng được đặt trong mạng thứ cấp để hỗ trợ cho các trạm phát thứ cấp, kể cả trường hợp các trạm này được trang bị một hay nhiều anten. Về mặt thiết kế, luận án thiết kế khoảng thời gian thu thập năng lượng tối ưu cho mạng chuyển tiếp đa chặng thứ cấp. Trong một số trường hợp, thời gian tối ưu phụ thuộc vào số chặng truyền tin trong mạng hiện có. Bởi vì năng lượng thu thập được từ sóng vô tuyến thường tạo ra công suất phát thấp, do đó khi nghiên cứu hiệu năng mạng vô tuyến đa chặng tự cung cấp nguồn, luận án đều có đề cập đến yếu tố khiếm khuyết phần cứng, vốn là yếu tố làm cho hiệu năng truyền thông kém đi. Nghiên cứu khiếm khuyết phần cứng đi cùng với thu năng lượng vô tuyến để truyền tin là giải pháp góp phần giảm sự chênh lệch trong đánh giá hiệu năng giữa tính toán lý thuyết với đo đạc hiệu năng nếu một mạng vô tuyến đa chặng được triển khai thực tế. Hơn nữa, giải pháp thu thập năng lượng tại các trạm thu phát đã góp phần trong việc đánh giá, triển khai, quy hoạch một mạng vô tuyến đa chặng hoạt động ở những môi trường không thể cung cấp nguồn như trong cơ thể người, sinh vật, hầm ngầm hay trên không trung.

Kế tiếp, bảo mật thông tin cho mạng chuyển tiếp đa chặng là một trong những vấn đề then chốt. Vì các trạm thu phát trong mạng vô tuyến đa chặng có khả năng tính toán, xử lý hạn chế nên giải pháp sử dụng mã hóa truyền tin là không thích hợp. Do đó, luận án nghiên cứu vấn đề bảo mật lớp vật lý cho các mô hình đề xuất. Cụ thể, luận án nghiên cứu các hiệu năng bảo mật và sự đánh đổi giữa độ tin cậy của việc truyền dữ liệu và bảo mật thông tin khi truyền. Đối với mạng đa chặng đa anten được phân tập phát/thu theo dạng TAS/SC, luận án đề xuất trang bị số lượng anten nhiều hơn để giảm xác suất dùng bảo mật. Đối với mạng đa chặng đơn anten, nếu mạng sơ cấp có trang bị kỹ thuật đa anten và TAS/SC thì giải pháp sắp xếp hợp lý số lượng anten giữa bên phát và bên thu

trong mạng sơ cấp cũng có tác dụng giảm bớt khả năng đánh chặn thông tin trên đường truyền. Ngoài ra, trong trường hợp môi trường truyền thông có nhiều tuyến thông tin vô tuyến đa chặng có thể truyền tin, giải pháp sử dụng mô hình trạm dạng cụm, có trạm phát nhiều bên trong cũng tăng cường bảo mật. Đặc biệt, luận án đề xuất giải pháp chọn tuyến thông tin đa chặng theo ba giao thức BEST, MAXV, RAND. Về lý thuyết, giao thức BEST có hiệu năng cao nhất nhưng đòi hỏi khả năng tính toán, thu thập đầy đủ CSI nên khó ứng dụng trong các điều kiện thông tin hạn chế. Khi đó, luận án đề xuất sử dụng hai giao thức còn lại. Như vậy, các đề xuất của luận án trong giải pháp chọn lựa đường đi là có tính thực tiễn cao.

Cuối cùng, hiệu năng của tất cả các mô hình đều được đánh giá bằng các biểu thức toán học và kiểm chứng sự chính xác thông qua mô phỏng Monte Carlo. Bởi vì hầu hết các biểu thức được đưa ra dưới dạng tường minh, nên chúng có thể được sử dụng hiệu quả trong việc đánh giá và thiết kế hệ thống. Hơn nữa, những mô hình đề xuất của luận án cho thấy việc thiết kế mạng truyền thông đa chặng hoạt động trong điều kiện hạn chế công suất phát là hoàn toàn khả thi. Những đề xuất trong luận án nếu được triển khai hoàn toàn có thể nâng cao hiệu năng truyền thông cũng như bảo mật thông tin. Ngoài ra, nó cũng góp phần xây dựng tiêu chuẩn cho các giao thức truyền thông vô tuyến đa chặng trong tương lai.

*Tp. Hồ Chí Minh, ngày 25 tháng 10 năm 2021*

**Nghiên cứu sinh**

**Người hướng dẫn chính**

**Người hướng dẫn phụ**

# BRIEF OF THE RESEARCH RESULTS

Dissertation title: PERFORMANCE EVALUATION OF MULTI-HOP WIRELESS RELAYING NETWORK UNDER THE IMPACT OF LIMITED TRANSMIT POWER.

Field: Electronic Engineering

Major code: 9520203

PhD student: Phạm Minh Nam

Course: 2017-2020

Supervisor one : Dr. Tran Trung Duy

Supervisor two: Associate Prof. Phan Van Ca

Campus: Ho Chi Minh University of Technology and Education.

## 1. Summary of the content of dissertation:

This thesis studies and proposes solutions to improve the performance of the Multi-hop Underlay Cognitive Radio Networks (MUCRN) constrained by the transmit power. The whole presentation of the dissertation has seven chapters and attached appendices. Remarkably, the central studies of the thesis displayed in four chapters (from 3 to 6) propose and evaluate fourth representative wireless network models with the limitation of transmit power at the secondary transceivers.

In the first network model, the MUCRN is evaluated in terms of its transceivers placing in a line of sight (LOS). The thesis proposes using the multi-antenna technique, equipped with the primary network, and processing signal by TAS/SC diversity. The first aim of the research is a confirmation that the TAS/SC diversity and LOS arrangement can enhance the performance of both the primary network and the MUCRN. Besides, the caught information probability is reduced by applying given recommendations.

The second research proposes using the multi-antenna technique with TAS/SC direct to the MUCRN. Furthermore, its stations can harvest energy from the radio frequency and transmit data simultaneously that is more available for installing them somewhere without the power grid supply. The Secrecy Outage Probability and Probability of Non-zero Secrecy Capacity are two representatives for evaluating of secure communication.

The third proposal studies the cooperative communication among the internal stations of the MUCRN. Notably, the single-antenna stations in the MUCRN still have energy harvesting and data transferring concurrently, similar to the second model. The novel cooperative protocol can assist the information to arrive at the destination earlier than usual. The result shows the overwhelming characteristic of the proposed protocol when compared to the hop-by-hop sequential transmission protocol, especially in the Outage Probability gain. Moreover, the thesis also evaluates the relationship between the energy harvesting time fraction and the number of hops to achieve the optimum efficiency of the MUCRN.

In the last model, the thesis resolves the problem of choosing the best MUCRN if many existing MUCRNs can transfer information from the source to the destination at current. Indeed, a serial of MUCRNs likely above is the practical scheme in Wireless

Sensor Network or Vehicle to Vehicle. In the three proposed selecting methods, the research also compares their pros and cons according to the CSI knowledge status.

Based on the study results, the overall conclusion of the thesis gives out many valuable recommendations to enhance the performance of the MUCRN under the limitation of transmit power.

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

Firstly, this thesis proposes efficient multi-hop relaying models to enhance the performance of the secondary network under the interference constraint and the impact of co-channel interference from the primary network. It offers path selection methods, a diversity relaying approach, a cooperative multi-hop transmission scheme, and relay selection methods. Moreover, the thesis also studies generalized system models where the primary network can use the diversity transmit and receive technique to enhance the performance and increase the licensed band-access possibility for the secondary transceivers. A cooperative multi-hop approach is also proposed to improve the outage performance for multi-hop relaying protocol in MUCRN with single-antenna secondary nodes. Remarkably, optimization problems such as the optimal number of hops, antennas, and parameters in particular protocols are investigated.

Secondly, because the secondary users are limited in size and provided energy, the radio frequency energy harvesting is applied to support them. The thesis also proposes efficient energy harvesting methods where power beacons are deployed in the secondary network to support wireless energy for the secondary transmitters, which are equipped with single or multi antennas. For the design purpose, the optimal energy harvesting time used for the energy harvesting phase is investigated. In some cases, the optimal time depends on the hop number of the existing wireless relaying network. Because the energy harvested from the radio frequency is converted to small power in a self-powered multi-hop network, the thesis considers the hardware impairment factor, which decays the performance. Indeed, the parallel research on the hardware impairment and wireless power transfer is the solution that contributes to more precise between the theoretical performance evaluation and practical measurement if a MUCRN is employed in practice. Moreover, the proposal of energy harvesting at the stations also contributes to designing, evaluating, and deploying a wireless multi-hop relaying network, which is operated in some areas that can not supply power, such as inside the human and animal bodies, coal tunnels, and aerospace.

Next, secure communication for multi-hop wireless relaying protocols is one of the critical issues. Because of the multi-hop stations' low computing and processing capacity, the information encryption is not appropriate. Hence, the thesis studies the physical layer security for the proposed methods. In particular, the thesis investigates the secrecy performances and the trade-off between reliability and security for MUCRN. In the multi-antenna multi-hop network with the TAS/SC diversity, the thesis proposes equipping with more antennas to decrease Secrecy Outage Probability. Conversely, in the case of the single-antenna multi-hop relaying network, if the primary user has the multi-antenna, TAS/SC technique, the appropriate allocation of the antenna number between

transmit and receive sides reduces the intercept probability, enhances the secure performance. Additionally, the thesis proposes exploiting the cluster-based stations, in which one transceiver of the station is assigned to a transmitter or a jammer to ensure security. Moreover, in the case of a few MUCRN able to transfer information from source to destination, the thesis also proposes three practical path selection approaches named BEST, MAXV, and RAND to enhance the end-to-end secrecy performance terms of the probability of non-zero secrecy capacity. On the theoretical side, the BEST protocol is the best secure performance, but it requires a high computing capacity and collects the whole CSI of the MUCRN, which is difficult in practice. As a result, two remains are recommended. It is a fact that three proposals to solve the path-selection issue are practical.

Finally, the performances of all the proposed models are evaluated by mathematical expressions, which are verified by Monte Carlo simulations. Because all the derived formulas are in closed form, they are efficiently used in evaluating and designing the considered system. Hence, the proposed models can be applied in practice to enhance the performances of MUCRN in terms of reliability and security. The proposals in the thesis, if deployed, entirely improve the transmission performance and security of the information. Apart, it also contributes to standardizing the multi-hop communication protocol in the future.

**Supervisor**

*HCMC, 25/10/2021*

**Ph.D. student**