

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

PHẠM THỊ ĐAN NGỌC

**NGHIÊN CỨU VÀ PHÂN TÍCH CÁC KỸ THUẬT GIẢM
TÁC ĐỘNG CỦA CÁC CAN NHIỄU ĐỒNG KÊNH TRONG
MẠNG TRUYỀN THÔNG KHÔNG DÂY**

Ngành: KỸ THUẬT VIỄN THÔNG
Mã số ngành: 62520208

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

TP. HỒ CHÍ MINH - NĂM 2022

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM**

Người hướng dẫn 1: PGS.TS. Hồ Văn Khương

Người hướng dẫn 2: PGS.TS. Trần Trung Duy

Phản biện độc lập:

Phản biện độc lập:

Phản biện:

Phản biện:

Phản biện:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án họp tại

.....
.....

vào lúc giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM
- Thư viện Đại học Quốc gia Tp.HCM
- Thư viện Khoa học Tổng hợp Tp.HCM

CHƯƠNG 1 MỞ ĐẦU

1.1 Lý do chọn đề tài

Ngày nay, người dùng mạng truyền thông không dây đang tăng đáng kể, dẫn đến vấn đề khan hiếm tài nguyên phổ tần số vô tuyến. Giải pháp cải thiện hữu hiệu cho hiện trạng này có thể đề cập tới là mạng không dây nhận thức. Công nghệ không dây nhận thức cho phép người dùng chưa được cấp phép (còn gọi là người dùng thứ cấp) có thể hoạt động trên các băng tần đã được cấp phép cho người dùng khác (gọi là người dùng sơ cấp). Bên cạnh đó, mạng chuyển tiếp cũng được xem là chìa khóa cho việc gia tăng phạm vi phủ sóng, tiết kiệm công suất truyền.

Xét khía cạnh chất lượng hoạt động của hệ thống, hầu như các công trình nghiên cứu thường giả sử các bộ thu phát không dây là lý tưởng. Tuy nhiên, các thiết bị muốn đạt được điều này cần phải được nghiên cứu và đầu tư với chi phí rất lớn. Trong khi đó, các thiết bị rẻ tiền và được sản xuất hàng loạt sẽ chịu ảnh hưởng nhiều bởi các tác nhân gây can nhiễu. Các tác nhân này được xem là can nhiễu đồng kênh. Nguyên nhân gây can nhiễu đồng kênh có thể liệt kê như do khiếm khuyết phần cứng, tái sử dụng tần số và sự giao thoa của hai hệ thống cùng hoạt động trong mạng không dây nhận thức. Các tác nhân gây can nhiễu trên đã thu hút sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu trong thời gian gần đây. Tuy nhiên, việc đánh giá các tác nhân can nhiễu đồng kênh được thực hiện một cách riêng rẽ.

Nhiều công trình đã cho thấy hiệu năng của mạng truyền thông không dây bị ảnh hưởng đáng kể dưới sự tác động của các can nhiễu đồng kênh. Các giải pháp đề xuất khác nhau như kết hợp chọn lựa, chọn đường truyền tốt nhất hay chọn nút chuyển tiếp tốt nhất có thể áp dụng ngay trong quá trình phân tích hiệu năng cho các mô hình đề xuất khác nhau. Các giải pháp này sẽ góp phần cải thiện hiệu năng hệ thống dưới ảnh hưởng của các can nhiễu đồng kênh gây ra.

Dựa vào các phân tích trên, luận án thực hiện nghiên cứu và phân tích các kỹ thuật giảm tác động của can nhiễu đồng kênh gây ra một cách đồng thời trong mạng truyền thông không dây.

1.2 Mục tiêu, đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án

Mục tiêu cụ thể của luận án là đề xuất các mô hình khác nhau trong mạng truyền thông không dây với các đối tượng cụ thể như:

Phân tích hiệu năng hệ thống thông qua tham số xác suất dừng và xác suất chặn. Các kết quả phân tích đạt được ở dạng chính xác và xấp xỉ.

Các kỹ thuật giảm tác động các can nhiễu nhằm cải thiện hiệu năng dừng như: kỹ thuật kết hợp chọn lựa, chọn đường truyền tốt nhất và chọn nút chuyển tiếp tốt nhất. Các kỹ thuật này được xử lý song song trong quá trình phân tích hiệu năng hệ thống dưới ảnh hưởng của các tác nhân gây can nhiễu đồng kênh.

Việc đề xuất mô hình trong phạm vi mạng trực tiếp và mạng chuyển tiếp. Phân tích và đánh giá hiệu năng được thực hiện trên kênh truyền Rayleigh fading trong mạng truyền thông không dây thông thường và trong mạng không dây nhận thức.

Mục đích của luận án cho thấy ảnh hưởng của các tác nhân gây can nhiễu đồng kênh tác động đồng thời làm suy giảm hiệu năng hệ thống. Bên cạnh đó, các kỹ thuật giảm tác động bởi các tác nhân can nhiễu đồng kênh được áp dụng trong lúc phân tích đã cải thiện hiệu năng hệ thống.

1.3 Nội dung nghiên cứu

Luận án thực hiện nghiên cứu và phân tích các giải pháp giảm tác động của các can nhiễu đồng kênh trong mạng truyền thông không dây. Nội dung thể hiện trong ba chương chính là chương 2, 3 và 4, cụ thể như sau:

- Chương 2 đề xuất ***mạng truyền thông không dây một chặng***. Luận án xét các can nhiễu đồng kênh do khiếm khuyết phần cứng và can nhiễu giữa hệ thống thứ cấp-hệ thống sơ cấp trong môi trường không dây nhận thức dạng nền. Thêm vào đó, hệ thống thứ cấp còn xét tương quan kênh truyền trong khi các kênh truyền can nhiễu có phân bố độc lập và không đồng nhất (n.i.i.d). Hiệu năng dừng chính

xác được đưa ra dưới dạng đúng chính xác. Giải pháp đề xuất là kết hợp chọn lựa để giảm ảnh hưởng đồng thời của các can nhiễu đồng kênh.

- Chương 3 đề xuất **mạng truyền thông không dây hai chặng**. Luận án xét các can nhiễu đồng kênh do khiếm khuyết phần cứng và can nhiễu giữa hai hệ thống sơ cấp-thứ cấp. Ngoài ra, mô hình đề xuất còn xét nút nghe lén. Do vậy, nội dung này cần xem xét thêm khả năng giải mã thành công của nút nghe lén. Xác suất dừng và xác suất chặn là hai thông số được đưa ra dưới dạng đúng chính xác. Giải pháp đề xuất là chọn nút chuyển tiếp tốt nhất để giảm ảnh hưởng đồng thời của các can nhiễu đồng kênh.

- Chương 4 đề xuất **mạng truyền thông không dây đa chặng**. Luận án xét các can nhiễu đồng kênh do khiếm khuyết phần cứng, tái sử dụng tần số và ảnh hưởng của hệ thống thứ cấp lên nút thu sơ cấp. Xác suất dừng chính xác và xấp xỉ được đưa ra trong quá trình phân tích. Giải pháp đề xuất là chọn đường truyền tốt nhất cho toàn trình để giảm ảnh hưởng đồng thời của các can nhiễu đồng kênh.

Đối với mỗi mạng truyền thông không dây phổ biến, luận án lần lượt phân tích hiệu năng hệ thống bằng cách đề xuất các biểu thức toán học cho các tiêu chí hiệu năng hệ thống và xác nhận tính chính xác của các biểu thức thông qua phương pháp mô phỏng Monte-Carlo. Các biểu thức toán học đạt được thật sự rất hữu ích trong việc tối ưu các thiết kế hệ thống thông qua giải các bài toán tối ưu với các biểu thức tường minh trong quá trình phân tích có được.

1.4 Sự cần thiết, ý nghĩa khoa học và ý nghĩa thực tiễn

Luận án cung cấp nhiều kết quả về khuynh hướng hiệu năng của mạng truyền thông không dây dưới tác động của các nguồn can nhiễu đồng kênh. Các kết quả này có thể được xem là các khuyến nghị cần thiết cho các nhà thiết kế hệ thống trước khi hiện thực trong thực tế.

Một hệ thống viễn thông trong thực cần trải qua quá trình thiết kế và kiểm chứng về mặt lý thuyết trước khi hiện thực. Các nguồn can nhiễu đồng kênh là hệ quả tất yếu trong quá trình thiết kế hệ thống để thỏa mãn các yêu cầu ngày càng cao của người dùng trong khi tài nguyên hệ thống bị hạn hẹp. Do vậy, việc phân tích

và đánh giá tác động của các nguồn can nhiễu này cũng như đề xuất các giải pháp giảm ảnh hưởng của can nhiễu đồng kênh được thực hiện trong luận án sẽ đóng góp đáng kể về mặt thực tiễn (các chương trình mô phỏng và tính toán là các công cụ đắc lực cho việc kiểm chứng các giải pháp thiết kế trước khi hiện thực).

1.5 Cơ sở lý luận

Mạng truyền thông không dây thực hiện việc truyền thông tin qua môi trường truyền dẫn không dây. Mạng không dây lần đầu tiên được giới thiệu bởi Marconi vào năm 1895 và đã phát triển mạnh mẽ cho đến hiện nay. Mặc dù mạng không dây đem lại nhiều ưu điểm nhưng vẫn tồn tại một số hạn chế nhất định như khoảng cách truyền hay công suất phát bị giới hạn. Do vậy, giải pháp về truyền thông chuyển tiếp thật sự hữu hiệu trong việc mở rộng phạm vi phủ sóng và tiết kiệm công suất phát. Thế nhưng, hiện trạng cho thấy việc sử dụng tài nguyên phổ tần chưa thực sự hiệu quả. *Mạng vô tuyến nhận thức* lại cho thấy ưu điểm khi cho phép hai hệ thống sơ cấp (được cấp phép sử dụng phổ tần số) và hệ thống thứ cấp (không có cấp phép sử dụng phổ tần số) có thể hoạt động đồng thời trên cùng một dải phổ tần số. Với phương pháp truy cập phổ tần dạng nền trong mạng vô tuyến nhận thức (UCRN), người dùng thứ cấp buộc phải phát mức công suất dưới mức ngưỡng được định trước bởi người dùng sơ cấp để không gây ra can nhiễu đối với người dùng sơ cấp. Đặc điểm và khả năng cấu hình lại của mạng thứ cấp đã cho thấy số lượng người dùng tăng lên đáng kể [21].

Bên cạnh đó, *mạng chuyển tiếp* có thể sử dụng các giao thức chuyển tiếp như: giải mã và chuyển tiếp, khuếch đại và chuyển tiếp để hỗ trợ chuyển thông tin từ nút nguồn tới nút đích khi khoảng cách truyền khá xa và công suất phát thấp.

Ngoài ra, khảo sát các công trình liên quan cho thấy can nhiễu đồng kênh ảnh hưởng xấu lên hiệu năng hệ thống. Các tác nhân này xảy ra khi máy thu nhận được hai tín hiệu vào cùng thời điểm và tại cùng tần số với cường độ phát khác nhau. Xét về bản chất, các nguyên nhân gây ra can nhiễu đồng kênh là khiếm khuyết phân cứng, giữa hai hệ thống trong môi trường vô tuyến nhận thức hay tái sử dụng tần số.

Khiếm khuyết phần cứng xảy ra do các thiết bị được sản xuất không hoàn hảo và gây ra nhiễu pha, mất cân bằng I/Q hay do các bộ khuếch đại phi tuyến... [40], [41]. Cho nên, các tác nhân này thực sự gây ảnh hưởng lớn tới hoạt động của các hệ thống truyền thông không dây. Hiện nay, nhiều công trình quan tâm tới can nhiễu này khi kết quả nghiên cứu cho thấy khiếm khuyết phần cứng có thể bị triệt mức từ 20 dB đến 40 dB và có thể đến hơn 60 dB [73-76].

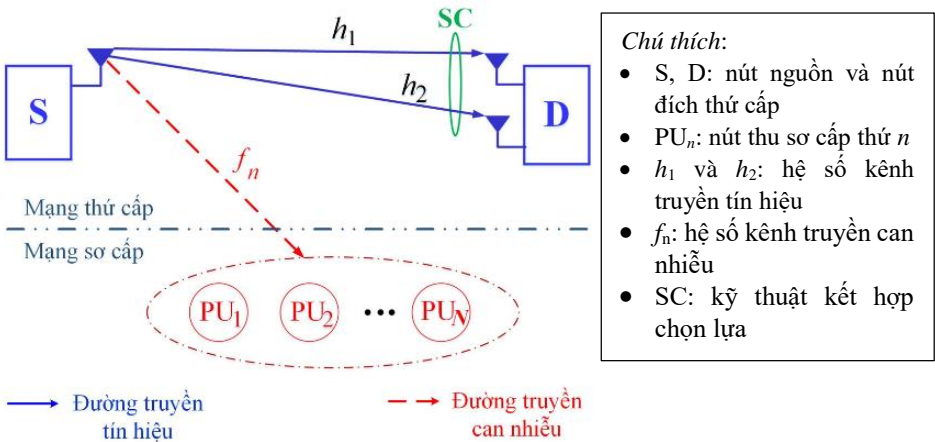
Vì vậy, cần đưa ra những kỹ thuật giảm tác động do các can nhiễu đồng kênh gây ra áp dụng cho từng mô hình đề xuất cụ thể như: kỹ thuật kết hợp chọn lựa, chọn nút chuyển tiếp tốt nhất hay kỹ thuật chọn đường truyền toàn trình tốt nhất.

1.6 Bố cục của luận án

Luận án gồm 5 chương. **Chương 1** mở đầu với lý do chọn đề tài, khảo sát tình hình nghiên cứu liên quan, phạm vi nghiên cứu của luận án. Cơ sở lý luận như mạng truyền thông không dây, mạng chuyển tiếp, mạng vô tuyến nhận thức và các nguyên nhân gây can nhiễu đồng kênh cũng được thể hiện trong chương này. **Chương 2** và **Chương 3** trình bày phân tích toán học và các kết quả mô phỏng kiểm chứng cho việc phân tích các kỹ thuật giảm tác động của các can nhiễu đồng kênh xảy ra đồng thời trong mạng vô tuyến nhận thức ở các mô hình được đề xuất. **Chương 4** đề xuất hai mô hình truyền thông đa chặng trong mạng không dây thông thường và trong mạng không dây nhận thức dạng nền. Tất cả các mô hình được đề xuất trong ba chương chính (Chương 2, 3 và 4) đều được phân tích hiệu năng dừng dưới ảnh hưởng của các can nhiễu đồng kênh trên kênh truyền Rayleigh fading. **Chương 5** trình bày kết luận và kiến nghị hướng nghiên cứu tiếp theo của luận án.

CHƯƠNG 2 MẠNG TRUYỀN THÔNG KHÔNG DÂY MỘT CHẶNG

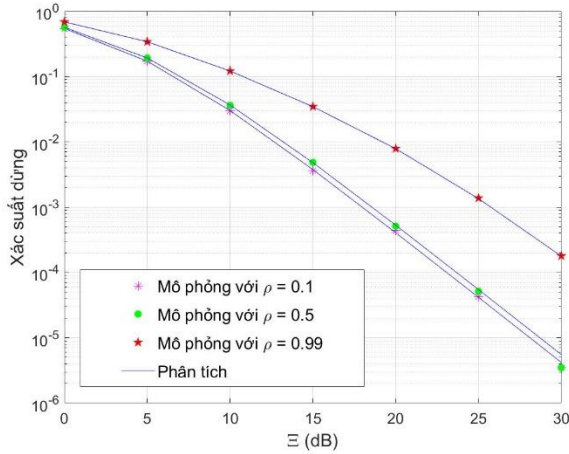
Chương 2 được thực hiện phân tích kỹ thuật kết hợp chọn lựa để giảm tác động của các can nhiễu đồng kênh trong mạng không dây nhận thức dạng nền trên kênh truyền Rayleigh fading. Mô hình đề xuất ở Hình 2.1 có *nguyên lý hoạt động* như sau: nút nguồn thứ cấp S phát tín hiệu tới nút đích D trên hai kênh truyền tương quan nhau (h_1 và h_2). Điều kiện hoạt động trong mạng không dây nhận thức dạng nền buộc nút nguồn thứ cấp S phải điều chỉnh công suất phát dưới mức ngưỡng được định trước bởi hệ thống sơ cấp để không gây can nhiễu. Hơn nữa, nút nguồn thứ cấp S gây can nhiễu lên các nút thu sơ cấp PU trên các kênh truyền có phân bố độc lập và không đồng nhất (n.i.i.d). Do vậy, giải pháp đề xuất tại nút đích D dùng kỹ thuật kết hợp chọn lựa SC để kết hợp hai tín hiệu nhận được nhằm cải thiện hiệu năng do ảnh hưởng từ các can nhiễu đồng kênh gây ra.



Hình 2.1: Đề xuất mô hình truyền thông không dây một chặng trong UCRN.

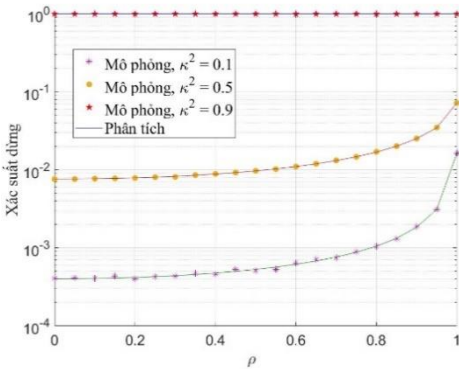
Hiệu năng xác suất dừng của hệ thống thứ cấp phụ thuộc vào ba thông số: mức ngưỡng công suất phát, hệ số tương quan kênh truyền và mức khiếm khuyết phần cứng. Biểu thức toán học của giá trị xác suất dừng dưới dạng tường minh được đưa ra và được kiểm chứng bằng phương pháp mô phỏng Monte-Carlo. Các thông số hệ thống được thiết lập với số nút thu sơ cấp $N = 4$, mức ngưỡng dừng

$\gamma_{th} = 1.5$, tham số đặc trưng kênh truyền tín hiệu và kênh can nhiễu lần lượt là $\mu_n = \{1, 1.5, 1.75, 2\}$, $\Omega_n = \{2, 0.75, 3, 1.5\}$.

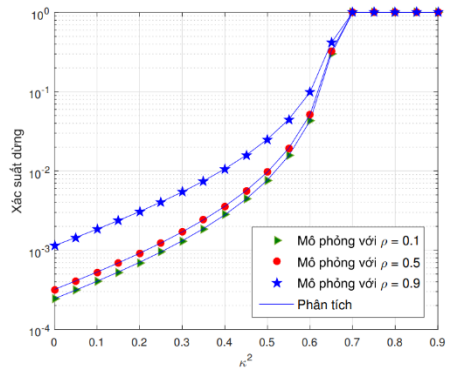


Hình 2.2: Xác suất dừng theo Ξ (dB).

Kết quả ở Hình 2.2 cho thấy xác suất dừng chính xác được cải thiện đáng kể khi sử dụng kỹ thuật kết hợp chọn lựa (SC) dưới tác động của can nhiễu đồng kênh. Hơn nữa, khi hệ số tương quan kênh truyền $\rho = 1$ thì việc dùng kỹ thuật SC hoàn toàn vô nghĩa. Điều này cho thấy hiệu quả của giải pháp SC đem lại giúp nâng cao hiệu năng hệ thống.



Hình 2.3: Xác suất dừng theo hệ số tương quan kênh truyền ρ .



Hình 2.4: Xác suất dừng theo mức khiếm khuyết phần cứng κ^2 .

Hình 2.3 miêu tả xác suất dừng theo hệ số tương quan kênh truyền ρ với các thông số thiết lập bao gồm: mức ngưỡng công suất can nhiễu cố định 20 dB, tham số đặc trưng kênh truyền $\lambda = 0.75$ và các mức khiếm khuyết khác nhau. Kết quả mô phỏng cho thấy ảnh hưởng đồng thời của các can nhiễu đồng kênh làm suy giảm hiệu năng đáng kể khi hệ số tương quan của hai kênh truyền tín hiệu ở phạm vi $(0.8 - 1)$. Đồng thời, khi mức độ khiếm khuyết lớn ($\kappa^2 = 0.9$) thì hệ thống không thể hoạt động bất chấp các thông số còn lại.

Hình 2.4 miêu tả hiệu năng xác suất dừng theo mức khiếm khuyết phần cứng κ^2 với các thông số tương tự ở Hình 2.3. Kết quả ở đây cũng thể hiện mức ảnh hưởng của hệ số tương quan khi luận án thực hiện mô phỏng với các giá trị này khác nhau. Quan sát Hình 2.4 cho thấy, tồn tại giá trị mức $\kappa^2 = 0.7$ thì đại lượng $(1 - \kappa^2 \gamma_{th}) = -0.05 < 1$, lúc này $OP = 1$, thì hệ thống sẽ dừng. Điều này được chứng minh tính đúng đắn khi kết quả phân tích và mô phỏng đạt được. Từ đây, mức ngưỡng khiếm khuyết có thể được đưa ra tham khảo cho việc thiết kế hệ thống để đảm bảo khả năng hoạt động trong mạng.

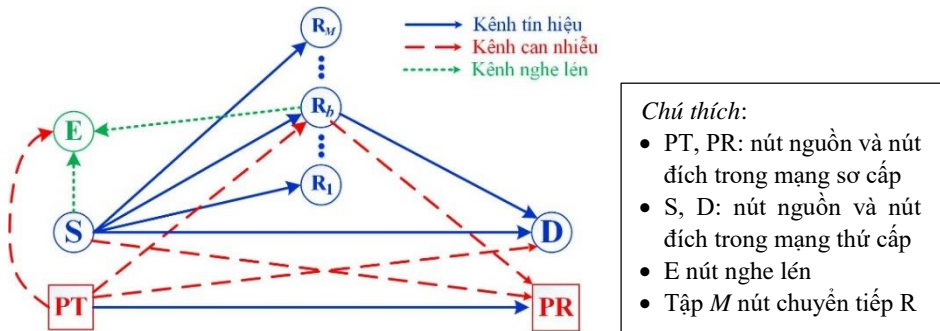
Tất cả các kết quả từ Hình 2.2 tới Hình 2.4 đều cho thấy các phân tích hiệu năng xác suất dừng dạng chính xác là đúng đắn khi được kiểm chứng bằng phương pháp mô phỏng đã cho kết quả hoàn toàn trùng khớp.

Các kết quả từ mô hình đề xuất của Chương 2 cho thấy ảnh hưởng của các can nhiễu đồng kênh làm suy giảm hiệu năng dừng của hệ thống đáng kể. Tuy nhiên, giải pháp kết hợp lựa chọn cho thấy được sự cải thiện hiệu năng dừng nêu trên. Ngoài ra, các kênh truyền can nhiễu mang tính phổ quát hơn khi được giả sử có phân bố độc lập và không đồng nhất. Các kết quả ở Chương 2 đem lại đóng góp về mặt học thuật khi được công bố dưới dạng bài báo tạp chí trong nước [J3] có tên “*Đánh giá xác suất dừng mạng vô tuyến nhận thức dạng nền dưới sự tác động đồng thời của tương quan kênh truyền và khiếm khuyết phần cứng*”. Công bố này được đăng trên *Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật Quân sự, Chuyên san công nghệ thông tin và Truyền thông (LQDTU-JICT)*.

CHƯƠNG 3 MẠNG TRUYỀN THÔNG KHÔNG DÂY HAI CHẶNG

Bảo mật lớp vật lý nhận được quan tâm từ nhiều nhà nghiên cứu như một tiềm năng để bảo vệ người dùng sơ cấp trong mạng vô tuyến nhận thức [90-92]. Giải pháp chọn nút chuyển tiếp tốt nhất được đề xuất để cải thiện hiệu năng bảo mật thông qua dung lượng bảo mật trung bình. Trong [59, 93-95], hiệu năng bảo mật được đánh giá qua tham số xác suất chặn (Intercept probability) của các liên kết nghe lén và xác suất dừng đối với các liên kết tín hiệu. Dựa trên cơ sở đó và phạm vi nghiên cứu của luận án, Chương 3 đề xuất mô hình truyền thông không dây hai chặng trong mạng vô tuyến nhận thức dạng nền dưới ảnh hưởng của khiếm khuyết phần cứng và can nhiễu giữa hai hệ thống thứ cấp - sơ cấp trên kênh truyền Rayleigh fading.

Mô hình hệ thống mô tả ở Hình 3.1. Trong đó, tập M nút chuyển tiếp R sử dụng kỹ thuật khuếch đại và giải mã (DF: Decode and Forward) để giải mã tín hiệu nhận được từ nguồn S và truyền tới nút đích D . Kỹ thuật chọn nút chuyển tiếp tốt nhất được phân tích nhằm cải thiện hiệu năng dưới tác động của can nhiễu đồng kênh. Thêm vào đó, hệ thống thứ cấp còn có sự xuất hiện của nút nghe lén E .



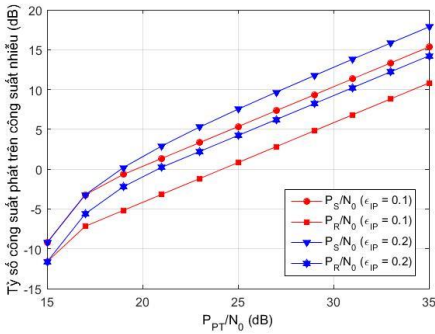
Hình 3.1: Đề xuất mô hình truyền thông không dây hai chặng trong UCRN.

Nguyên lý hoạt động: mô hình được đề xuất hoạt động trong hai khe thời gian. Trong khe thời gian 1, nút nguồn S và PT phát tín hiệu theo các kênh $S \rightarrow R_b$, $S \rightarrow D$ và $PT \rightarrow PR$ (R_b là nút chuyển tiếp tốt nhất được chọn trong tập Z nút chuyển tiếp giải mã thành công tín hiệu nhận được từ S). Trong khe thời gian 2,

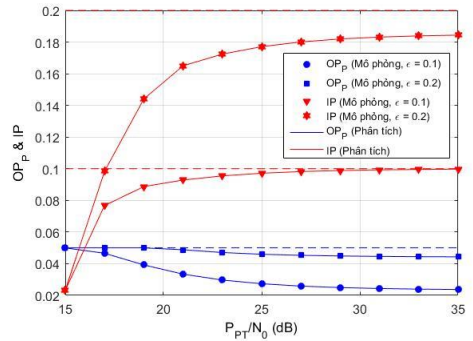
R_b và PT cùng phát tín hiệu trên các liên kết $R_b \rightarrow D$ và $PT \rightarrow PR$. Tại hệ thống thứ cấp, nút E cố gắng nghe lén thông tin từ S và R_b . Cho nên, mô hình đề xuất phương pháp hiệu chỉnh công suất phát tại S và R_b sao cho không gây can nhiễu lên hệ thống sơ cấp và chặn khả năng nghe lén của nút E. Tại nút đích D, kỹ thuật kết hợp tỉ số cực đại để có được tín hiệu mong muốn từ S và R_b .

Kết quả phân tích hiệu năng hệ thống thông qua các tiêu chí bao gồm: công suất phát thứ cấp, xác suất dừng và xác suất chặn. Đặc biệt hơn, các tiêu chí được thực hiện dưới ảnh hưởng đồng thời do các can nhiễu đồng kênh gây ra.

Phương pháp mô phỏng Monte-Carlo được dùng để xác thực tính đúng đắn mà kết quả phân tích ở Chương 3 đạt được. Giả sử các nút mạng được mô tả trong tọa độ Đề-các hai chiều với các vị trí lần lượt: $S(0,0), D(1,0), R(x_R,0), E(x_E, y_E), PT(0.5,1.5)$ và $PR(0.5,0.75)$. Cố định hệ số suy hao đường truyền $\beta=3$, mức ngưỡng dừng $\varepsilon_{OP} = 0.05$, tốc độ sơ cấp mục tiêu $C_p = 1$ bps/Hz.



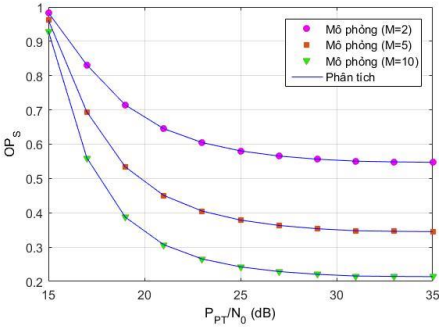
Hình 3.2: Tỷ số công suất phát trên công suất nhiễu theo P_{PT}/N_0 (dB).



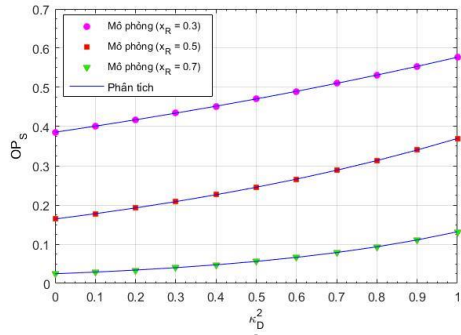
Hình 3.3: Xác suất dừng và xác suất chặn theo P_{PT}/N_0 (dB).

Hình 3.2 cho thấy công suất phát của các nút phát thứ cấp tăng tỉ lệ thuận với công suất phát sơ cấp. Các thông số thiết lập bao gồm: $x_R = 0.5, x_E = y_E = 0.5$, các mức khiêm khuyết lần lượt là $\kappa_p^2=0.01, \kappa_E^2=0.05, \kappa_{s,p}^2=\kappa_{p,e}^2=0.02$ và $C_s = 0.25$ bps/Hz. Tại vùng tỷ số cao, các nút phát thứ cấp có thể hoạt động mà vẫn đảm bảo chất lượng của hệ thống sơ cấp. Hình 3.3 miêu tả xác suất dừng sơ cấp và xác suất chặn theo công suất phát sơ cấp. Các thông số thực hiện trong kết

quả này cũng tương tự như ở Hình 3.2. Và kết quả cho thấy hiệu năng hệ thống hoạt động tốt mà vẫn đảm bảo dưới mức ngưỡng do hệ thống định trước.



Hình 3.4: Xác suất dừng theo công suất phát sơ cấp

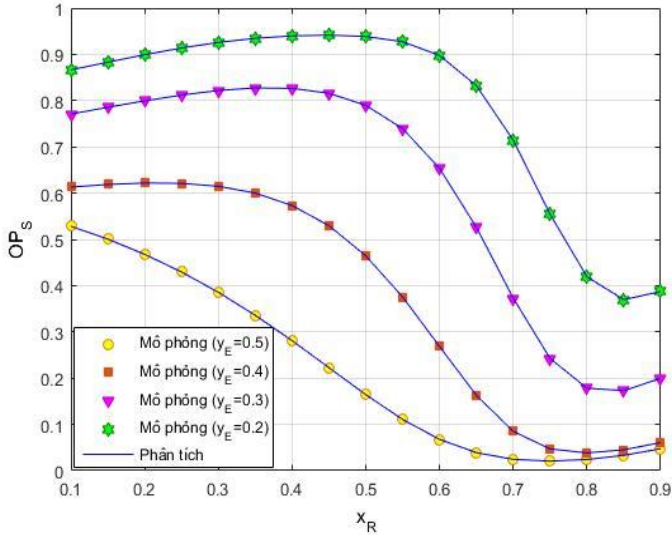


Hình 3.5: Xác suất dừng theo mức khiếm khuyết phần cứng

Hình 3.4 miêu tả giá trị xác suất dừng thứ cấp chính xác theo công suất phát sơ cấp với các thông số thiết lập tương tự ở Hình 3.2 và số lượng nút chuyển tiếp thay đổi. Hiệu năng của hệ thống được cải thiện khi số nút chuyển tiếp lớn.

Hình 3.5 miêu tả xác suất dừng của mạng thứ cấp theo mức khiếm khuyết phần cứng κ^2 với vị trí các nút chuyển tiếp khác nhau. Các thông số thực hiện trong kết quả này bao gồm: $E(0.5, 0.5)$, $\kappa_{s,p}^2 = \kappa_{p,e}^2 = \kappa_{p,s}^2 = \kappa_D^2 / 5$, $C_S = 0.25$ bps/Hz, $M = 15$, $\varepsilon_{IP} = 0.25$ và $\kappa_P^2 = 0$, $\kappa_E^2 = \kappa_D^2 = 0.05$. Hiệu năng dừng suy giảm rõ khi mức khiếm khuyết tăng. Ngoài ra, Hình 3.5 cho thấy khi nút chuyển tiếp tại vị trí $R(0.7, 0)$ thì hiệu năng đạt được tốt nhất. Sự chênh lệch giữa hiệu năng giữa hai vị trí khảo sát tốt nhất và xấu nhất tương đối lớn (tầm 0.35 dB).

Để thể hiện ảnh hưởng của vị trí nút chuyển tiếp R lên hiệu năng hệ thống. Xác suất dừng hệ thống thứ cấp theo vị trí nút chuyển tiếp được miêu tả trong Hình 3.6 khi vị trí các nút nghe lén E khác nhau. Kết quả cho thấy các vị trí của nút nghe lén E khác nhau sẽ ảnh hưởng đến hiệu năng hệ thống. Cụ thể, khi nút nghe lén gần với nút phát thứ cấp thì xác suất dừng lớn (hiệu năng giảm) và ngược lại. Đặc biệt hơn, ở Hình 3.6 còn cho thấy tồn tại vị trí nút chuyển tiếp tốt nhất mà tại đó hiệu năng hệ thống đạt được là tốt nhất.



Hình 3.6: Xác suất dừng của mạng thứ cấp theo vị trí nút chuyển tiếp R.

Các kết quả ở Chương 3 cho thấy ảnh hưởng của các tác nhân gây can nhiễu đã làm suy giảm đáng kể hiệu năng của mô hình đề xuất. Tuy nhiên, giải pháp chọn nút chuyển tiếp tốt nhất góp phần cải thiện hiệu năng dừng của hệ thống. Đồng thời, luận án còn đề xuất phương pháp hiệu chỉnh công suất phát của hệ thống thứ cấp nhằm có sự trao đổi về công suất phát để không gây can nhiễu lên hệ thống sơ cấp, đồng thời chặn khả năng nghe lén trong hệ thống thứ cấp.

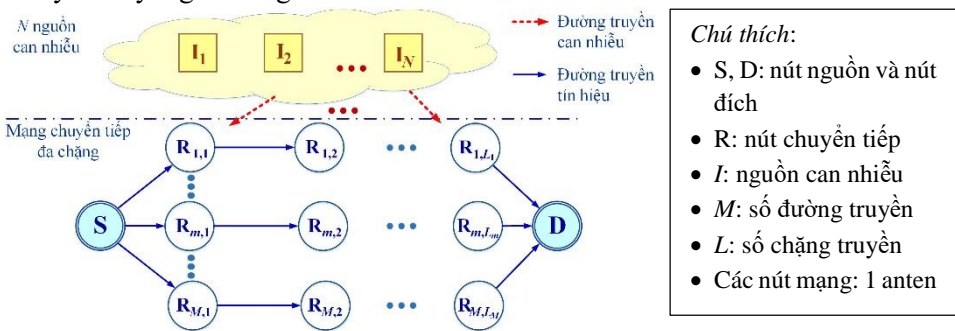
Kết quả ở Chương 3 cũng đã được công bố dưới dạng bài báo tạp chí quốc tế [J6], *EAI Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems* vol. 6, no. 19, pp. 1-8, Jun. 2019, với tựa đề là “*Outage Performance of Cooperative Cognitive Radio Networks under Joint Constraints of Co-Channel Interference, Intercept Probability and Hardware Imperfection*”.

CHƯƠNG 4 MẠNG TRUYỀN THÔNG KHÔNG DÂY ĐA CHẶNG

4.1 Đề xuất mô hình thứ nhất – mạng truyền thông không dây đa chặng trong mạng không dây thông thường

Cùng luận điểm nghiên cứu và phân tích kỹ thuật giảm tác động của can nhiễu đồng kênh gây ra trong các mô hình đề xuất ở chương 2 và chương 3. Chương 4 đề xuất mô hình truyền thông đa chặng trong mạng truyền thông không dây thông thường và trong mạng không dây nhận thức. Kỹ thuật chọn đường truyền toàn trình tốt nhất được đề xuất để giảm tác động của các can nhiễu đồng kênh.

Mô hình đề xuất thứ nhất trong chương 4 sẽ hoạt động trong mạng không dây thông thường. Nút nguồn S phát tín hiệu tới nút đích D qua L chặng dưới sự hỗ trợ của các nút chuyển tiếp R trên M đường truyền khác nhau. Các nút chuyển tiếp R hoạt động ở chế độ bán song công và sử dụng giao thức giải mã và chuyển tiếp (DF) để chuyển tín hiệu. Do vậy, tín hiệu từ S tới D sẽ được truyền một cách tuần tự. Quá trình hoạt động truyền của các liên kết từ S tới D được giả sử chịu ảnh hưởng bởi N nguồn can nhiễu I do hoạt động tái sử dụng tần số trên kênh truyền Rayleigh fading.

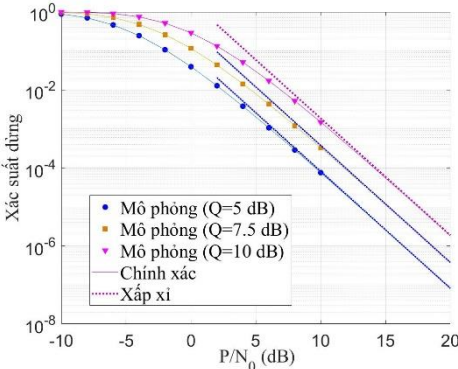


Hình 4.1: Đề xuất mô hình mạng truyền thông không dây đa chặng trong mạng không thông thường.

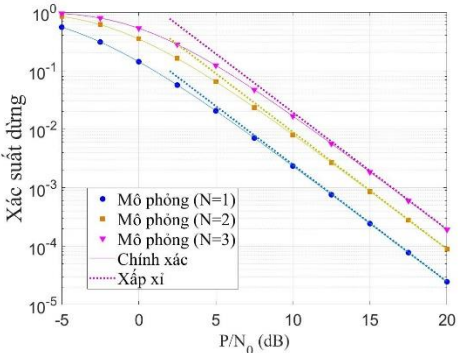
Các thiết bị thu phát của các liên kết từ S tới D được giả sử không lý tưởng do tác nhân can nhiễu đồng kênh. Các tác nhân cụ thể như khiếm khuyết phần cứng và N nguồn can nhiễu ảnh hưởng đồng thời lên hiệu năng hệ thống. Tiêu chí xác suất dừng dạng tường minh và dạng xấp xỉ được đưa ra để giải quyết bài toán

truyền thông đa chặng. Kết quả phân tích đưa ra cho thấy giá trị xác suất phụ thuộc vào các thông số là: công suất phát can nhiễu, số lượng (N) nguồn can nhiễu I, số lượng (M) đường truyền và mức khiếm khuyết phần cứng (κ^2).

Phương pháp Monte-Carlo được dùng trong việc kiểm chứng các kết quả phân tích đạt được. Giả sử các nút mạng được xét trong không gian hai chiều với các vị trí tọa độ lần lượt: $S(0,0)$, $D(u/L_m + 1,0)$, $I(x_n, y_n)$ và cố định hệ số suy hao đường truyền $\beta = 3$.



Hình 4.2: Xác suất dừng theo P/N_0 (dB) khi công suất nguồn can nhiễu thay đổi.

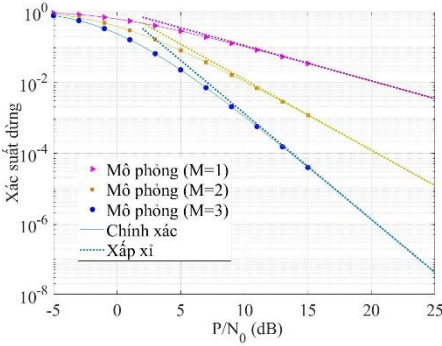


Hình 4.3: Xác suất dừng theo P/N_0 (dB) khi số lượng (N) nguồn can nhiễu I thay đổi.

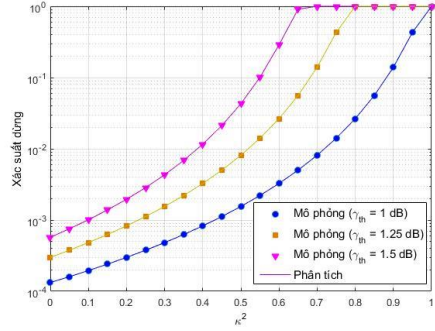
Kết quả ở Hình 4.2 cho thấy giá trị xác suất dừng được miêu tả theo công suất phát với các thông số thiết lập bao gồm: $M = 3$, $L_m = \{2,3,4\}$, có hai nguồn can nhiễu $N = 2$, $x_n \in \{0.5,0.5\}$, $y_n \in \{-1,1\}$, ngưỡng dừng $\gamma_{th} = 1$ dB và mức khiếm khuyết phần cứng $\kappa^2 = 0.01$. Hiệu năng dừng suy giảm rõ khi công suất phát can nhiễu lớn (khi $Q = 10$ dB). Kết quả phân tích và mô phỏng dần hội tụ về tiệm cận tại vùng có tỷ số SNR cao.

Hình 4.3 miêu tả xác suất dừng theo công suất phát khi số lượng (N) nguồn can nhiễu thay đổi với các thông số bao gồm: $M = 2$, $L_m = \{3,4\}$, $Q = 10$ dB, ngưỡng dừng $\gamma_{th} = 1$ dB, $x_n = 0.5(\forall n)$, $y_n = 1(\forall n)$ và mức khiếm khuyết phần cứng $\kappa^2 = 0.01$. Tương tự Hình 4.2, Hình 4.3 cho thấy hệ thống hoạt động tốt hơn theo

sự gia tăng của SNR. Hơn nữa, khi tăng số lượng (N) nguồn can nhiễu dẫn đến tăng can nhiễu đồng kênh, thì hiệu năng dừng giảm đáng kể. Hình 4.3 cũng cho thấy bậc phân tập đạt được bằng 2 (do có hai đường truyền giữa liên kết S – D).



Hình 4.4: Xác suất dừng theo P/N_0 (dB) khi số kênh truyền M thay đổi.



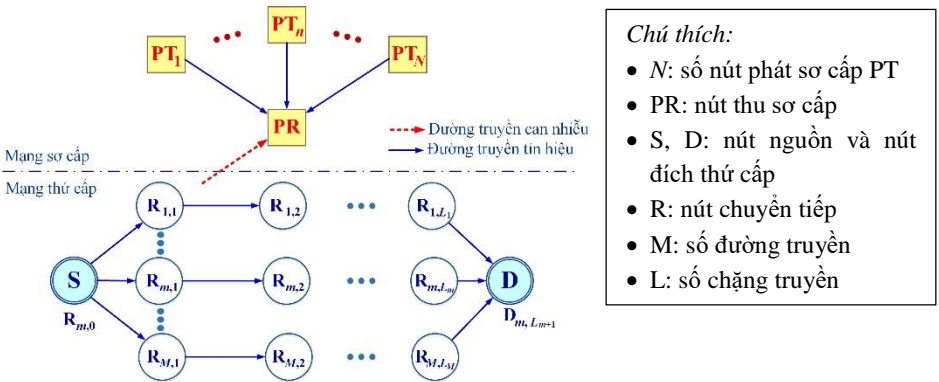
Hình 4.5: Xác suất dừng theo khiếm khuyết phân cực κ^2 .

Hình 4.4 miêu tả xác suất dừng theo công suất phát khi số đường truyền M thay đổi cùng các thông số thiết lập bao gồm: $M = 2, L_m = 2 (\forall m), Q = 10$ dB, $N = 1, x_n = 0.5 (\forall n), y_n = 1 (\forall n)$, ngưỡng dừng $\gamma_{th} = 1$ dB và $\kappa^2 = 0.01$. Hình 4.4 cho thấy số đường truyền M càng lớn thì hiệu năng hệ thống càng tốt, nhất là tại vùng có SNR cao. Đặc biệt là bậc phân tập đạt được bằng 2, bằng đúng với số đường truyền M như kết quả phân tích. Điều này cho thấy tính đúng đắn của kết quả phân tích, làm cho kết quả phân tích hoàn toàn trùng khớp với kết quả mô phỏng.

Để đảm bảo tính nhất quán của luận án, Hình 4.5 cho thấy khiếm khuyết phân cực (κ^2) làm giảm đáng kể hiệu năng hệ thống. Cụ thể, Hình 4.5 minh họa xác suất dừng theo mức κ^2 ứng với các mức ngưỡng dừng khác nhau cùng các thông số thiết lập cho kết quả này bao gồm: $M = 4, L_m = \{1, 2, 3, 4\}, Q = 10$ dB, $N = 2, x_n \in \{0.5, 0.5\}, y_n \in \{-1, 1\}$, ngưỡng dừng $\gamma_{th} \in \{1, 1.25, 1.5\}$ dB. Không ngoài dự đoán, hiệu năng giảm đáng kể khi mức κ^2 tăng. Hình 4.5 cho thấy tồn tại giá trị cụ thể của $\kappa^2 = 0.7$ và $\gamma_{th} = 1.5$ dB sao cho $(1 - \kappa^2 \gamma_{th}) = -0.05 \leq 0$. Điều này dẫn tới OP = 1 và hệ thống sẽ dừng. Điều này minh chứng tính đúng đắn khi kết quả phân tích và mô phỏng hoàn toàn trùng khớp.

4.2 Đề xuất mô hình thứ hai – mạng truyền thông không dây đa chặng trong môi trường không dây nhận thức

Mô hình thứ hai hoạt động trong môi trường không dây nhận thức dạng nền trên kênh truyền Rayleigh fading. Hệ thống thứ cấp là mạng truyền thông không dây đa chặng giống như trong mô hình thứ nhất. Tuy nhiên, các nút chuyển tiếp trong mạng này sử dụng cả hai giao thức chuyển tiếp AF và DF (ở mô hình trước chỉ dùng giao thức DF).



Hình 4.6: Đề xuất mô hình truyền thông đa chặng trong UCRN.

Riêng mạng sơ cấp có N nút phát PT sẽ truyền tín hiệu với mức công suất phát khác nhau tới một nút thu PR tại cùng thời điểm. Nút thu PR sử dụng kỹ thuật đa truy cập không trực giao (NOMA: Non-Orthogonal Multiple Access) nhằm tăng tốc độ truyền cho người dùng sơ cấp. Kỹ thuật khử nhiễu tuần tự (SIC: Successive Interference Cancellation) được dùng tại nút thu PR nhằm triệt can nhiễu. Giả sử trường hợp kỹ thuật SIC thực hiện thành công trong việc nhận tín hiệu của PR.

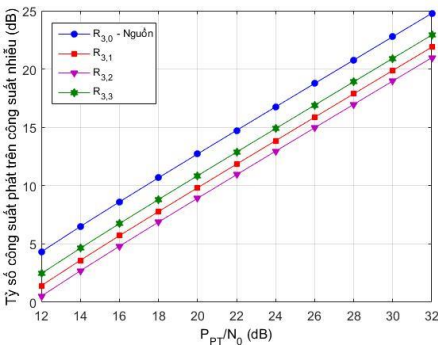
Sự liên mạch trong suốt các mô hình đề xuất từ chương 2, chương 3 đến chương 4 đều thực hiện việc phân tích hiệu năng hệ thống khi dùng các kỹ thuật khác nhau nhằm giảm ảnh hưởng của khiếm khuyết phần cứng gây ra đồng thời lên hiệu năng mạng. Một lần nữa, giải pháp đề xuất chọn đường truyền tốt nhất cho toàn trình thứ m được đề xuất để hiệu năng hệ thống đạt được tốt nhất có thể. Quá trình truyền được thực hiện trong $L_m + 1$ khe thời gian trực giao. Ở khe thời

gian đầu, trong lúc các nút phát sơ cấp truyền tín hiệu tới nút thu PR thì ở hệ thống thứ cấp, nút nguồn S ($R_m, 0$) cũng sẽ truyền tín hiệu tới nút chuyển tiếp $R_{m,1}$ của chặng đầu tiên trên đường truyền thứ m . Ở các khe thời gian tiếp theo, tín hiệu sẽ được xử lý tuần tự qua từng chặng truyền cho tới nút đích D.

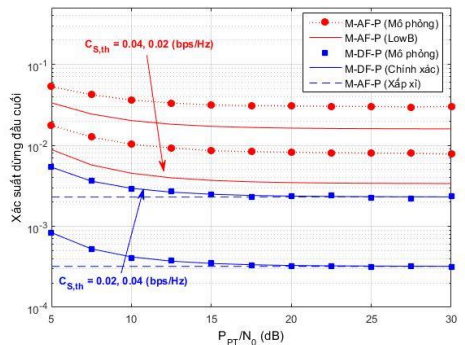
Kết quả phân tích đưa ra hai tiêu chí đánh giá hiệu năng bao gồm: công suất phát thứ cấp và xác suất dùng đầu cuối. Các tiêu chí này phụ thuộc vào các thông số là: công suất phát sơ cấp, tốc độ mong muốn của hệ thống thứ cấp và mức khiếm khuyết phần cứng κ^2 .

Kết quả mô phỏng được thực hiện trong tọa độ hai chiều Oxy với các vị trí tương ứng các thông số thiết lập là: S(0,0), D(1,0), $R(t / (L_m + 1), 0)$ với $t = 1, \dots, L_m$, $PT_1(0.35, 0.5)$, $PT_2(0.6, 0.5)$, PR(0.45, 0.5), hệ số chia công suất phát $\beta_1 = 1$, $\beta_2 = 0.2$, giả sử có ba đường truyền khả thi ($M = 3$), số chặng chuyển tiếp lần lượt $L_1 = 1$, $L_2 = 2$, $L_3 = 3$, hệ số suy hao đường truyền $\beta = 3$, tốc độ mong muốn của hệ thống sơ cấp $C_{P,th} = 0.2$ bps/Hz và mức ngưỡng dùng $\varepsilon_{OP} = 0.05$.

Hình 4.7 miêu tả tỉ số công suất phát thứ cấp theo công suất sơ cấp trên ba đường truyền khác nhau $R_{3,1}$, $R_{3,2}$ và $R_{3,3}$ ứng với mức khiếm khuyết $\kappa^2 = 0.01$. Kết quả cho thấy công suất phát của hai hệ thống tăng tuyến tính. Điều này có nghĩa là các máy phát thứ cấp được phép hoạt động trên cùng dải tần số mà vẫn đảm bảo chất lượng hoạt động của hệ thống sơ cấp.

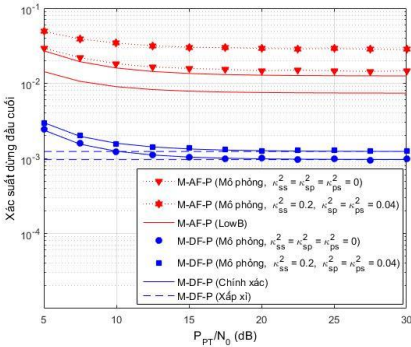


Hình 4.7: Tỷ số công suất phát trên công suất nhiễu (dB) của ba đường truyền theo P_{PT}/N_0 (dB).

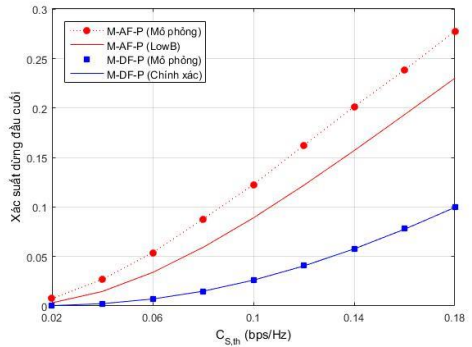


Hình 4.8: Xác suất dùng đầu cuối của hai giao thức DF và AF theo theo P_{PT}/N_0 (dB).

Hình 4.8 miêu tả giá trị xác suất dừng đầu cuối với hai giao thức chuyển tiếp AF và DF theo công suất phát sơ cấp với mức $\kappa_{ss}^2 = 0.05$ và $\kappa_{sp}^2 = \kappa_{ps}^2 = 0.01$. Xác suất dừng sẽ dần hội tụ về hằng số khi giá trị công suất phát sơ cấp đủ lớn. Cũng qua kết quả cho thấy khi tốc độ mong muốn giảm thì hiệu năng hệ thống sẽ tốt hơn khi với cùng các thông số thiết lập. Các nút chuyển tiếp sử dụng kỹ thuật DF cho hiệu năng tốt hơn so với kỹ thuật AF mặc dù kết quả phân tích khi dùng AF khá phức tạp và chỉ đạt được ở dạng xấp xỉ.



Hình 4.9: Xác suất dừng đầu cuối của hai giao thức DF và AF theo P_{PT}/N_0 (dB).

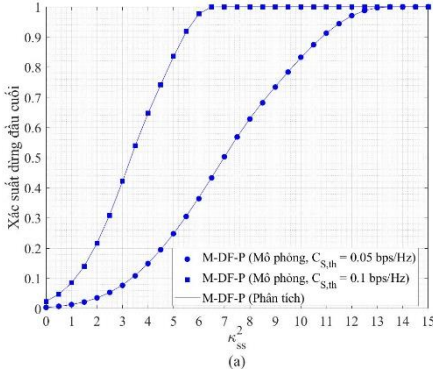


Hình 4.10: Xác suất dừng đầu cuối của hai giao thức DF và AF theo tốc độ mục tiêu của mạng thứ cấp.

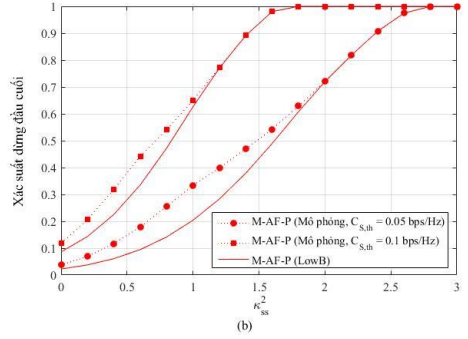
Hình 4.9 miêu tả xác suất dừng đầu cuối theo công suất phát sơ cấp khi tốc độ mục tiêu của hệ thống thứ cấp là $C_{S,th} = 0.03$ bps/Hz. Kết quả mô phỏng thể hiện hai trường hợp xảy ra đối với mức nhiễu vượt phần cứng. Trường hợp không có ảnh hưởng bởi can nhiễu ($\kappa_{ss}^2 = \kappa_{sp}^2 = \kappa_{ps}^2 = 0$) thì hiệu năng đạt được tốt hơn khi có tồn tại mức nhiễu vượt phần cứng xuất hiện ($\kappa_{ss}^2 = \kappa_{sp}^2 = \kappa_{ps}^2 = 0.04$). Điều này chứng tỏ chất lượng của các thiết bị thu phát có hoàn hảo hay không sẽ ảnh hưởng đáng kể tới hiệu năng hệ thống truyền thông. Và một lần nữa giá trị xác suất dừng khi dùng giao thức DF tốt hơn rõ ràng hơn so với việc dùng giao thức AF. Hiệu năng dừng dần hội tụ về tiệm cận khi công suất phát đủ lớn.

Hình 4.10 miêu tả xác suất dừng đầu cuối của hai giao thức DF và AF theo tốc độ mục tiêu thứ cấp với các thông số bao gồm: $P_{PT} = 15$ dB và giả sử phần cứng thu phát là lý tưởng ($\kappa_{ss}^2 = \kappa_{sp}^2 = \kappa_{ps}^2 = 0$). Kết quả cho thấy xác suất dừng tăng

khi tốc độ mục tiêu gia tăng. Điều này hoàn toàn trùng khớp với kết quả đạt được ở Hình 4.8 nêu trên. Thêm vào đó, với cùng các thông số thiết lập trước, các nút chuyển tiếp sử dụng giao thức AF để chuyển tiếp tín hiệu phức tạp hơn so với giao thức DF, nhưng hiệu quả lại thấp hơn so với giao thức giao DF. Hình 4.10 miêu tả rõ khoảng cách hiệu năng của hệ thống càng rộng khi sử dụng hai giao thức DF và AF ứng với tốc độ mục tiêu của hệ thống thứ cấp gia tăng.



Hình 4.11 (a): Xác suất dừng đầu cuối của giao thức DF theo mức khiếm khuyết phần cứng κ^2 .



Hình 4.11 (b): Xác suất dừng đầu cuối của giao thức AF theo mức khiếm khuyết phần cứng κ^2 .

Kết quả phân tích được đưa ra ở công thức (4.82) ở luận án cho thấy với giá trị tốc độ mục tiêu thứ cấp lần lượt $C_{S,th} \in \{0.05, 0.1\}$ thì có thể đưa ra mức khiếm khuyết phần cứng mong đợi là:

$$\left(\kappa_{ss}^{DF}\right)^2 = \begin{cases} 13.93, C_{S,th} = 0.05 \text{ bps/Hz} \\ 6.72, C_{S,th} = 0.1 \text{ bps/Hz} \end{cases} \quad \left(\kappa_{ss}^{AF}\right)^2 = \begin{cases} 2.86, C_{S,th} = 0.05 \text{ bps/Hz} \\ 1.77, C_{S,th} = 0.1 \text{ bps/Hz} \end{cases}$$

Trong khi Hình 4.10 cho thấy hiệu năng hệ thống đạt được tốt hơn khi sử dụng giao thức DF so với giao thức AF. Tuy nhiên, các bộ thu phát được giả sử là lý tưởng. Do vậy, kết quả mô phỏng ở Hình 4.11 miêu tả xác suất dừng đầu cuối của hai giao thức AF và DF theo mức khiếm khuyết phần cứng với các thông số thiết lập là: $\kappa_{sp}^2 = \kappa_{ps}^2 = \kappa_{ss}^2 / 5$, $P_{PT} = 30 \text{ dB}$. Kết quả phân tích trên cũng được

kiểm chứng ở Hình 4.11(a) khi dùng giao thức DF đạt hiệu năng tốt hơn khi dùng giao thức AF thể hiện ở Hình 4.11(b). Ngoài ra, kết quả còn có thể đưa ra mức giới hạn về khiếm khuyết phần cứng hữu ích cho việc thiết kế hệ thống truyền thông không dây.

Hai mô hình ở Chương 4 cho thấy ảnh hưởng của các can nhiễu đồng kênh đã làm suy giảm đáng kể hiệu năng của hệ thống. Đặc biệt, các tác nhân can nhiễu đều gây ra ảnh hưởng trong cả mạng truyền thông không dây thông thường và trong mạng không dây nhận thức.

Kỹ thuật NOMA được dùng trong mạng sơ cấp giúp tăng tốc độ truyền dẫn. Giải pháp đề xuất: chọn đường truyền toàn trình tốt nhất đã cải thiện được hiệu năng dùng hệ thống dưới ảnh hưởng của các tác nhân gây can nhiễu.

Các kết quả ở Chương 4 cũng được công bố ở Tạp chí uy tín trong nước và ngoài nước như [J4]: *Journal of science and Technology: Issue on Information and Commun. Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 33-38, Sept. 2018, với tựa đề là “*Performance Evaluation of Best Path Selection Protocol in Multi-hop Relaying Networks under Joint Impact of Co-channel Interference and Hardware Impairment*”.

Và Tạp chí [J1]: *Wireless Commun. and Mobile Computing*, vol. 2021, pp. 1-15, Apr. 2021, với tựa đề các bài báo lần lượt là: “*Performance Enhancement for Multi-hop Cognitive DF and AF Relaying Protocols under Joint Impact of Interference and Hardware Noises: NOMA for Primary Network and Best-Path Selection for Secondary Network*”.

CHƯƠNG 5 KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

5.1 Kết luận luận án

Sau thời gian nghiên cứu, luận án đã đạt được các mục tiêu ban đầu đưa ra. Đó là đề xuất các mô hình truyền thông không dây nhằm mở rộng phạm vi phủ sóng và phân tích và đánh giá hiệu năng hệ thống có xét ảnh hưởng của các tác nhân gây ra can nhiễu. Mục tiêu thứ hai đạt được khi đề xuất các giải pháp để giảm tác động của can nhiễu đồng kênh nhằm cải thiện hiệu năng hệ thống. Các giải pháp này sử dụng kỹ thuật kết hợp chọn lựa, kỹ thuật kết hợp tỉ số cực đại, phương pháp chọn nút chuyên tiếp tốt nhất và chọn đường truyền toàn trình tốt nhất.

Trong luận án, nghiên cứu sinh đã trình bày các kết quả nghiên cứu về các mô hình truyền thông không dây truyền thống và các mô hình trong môi trường vô tuyến nhận thức. Các giải pháp được đề xuất cho từng mô hình cụ thể với mục tiêu tăng hiệu suất sử dụng phổ tần và cải thiện hiệu năng hệ thống. Đây được xem là các mục tiêu đáng xem xét trong sự phát triển không ngừng của các hệ thống truyền thông không dây. Các kết quả đã đưa ra các xu hướng hiệu năng cho mạng truyền thông không dây ở hiện tại và trong tương lai, làm cơ sở cho việc thiết kế hệ thống thực với các yêu cầu về sử dụng hiệu quả phổ tần, giảm can nhiễu lên các máy thu sơ cấp, điều chỉnh mức công suất phát của các máy phát thứ cấp, hạn chế mức ngưỡng can nhiễu do phản cứng gây ra.

Trong luận án, nghiên cứu sinh đã phân tích và đánh giá các ưu điểm và nhược điểm của mạng truyền thông không dây dưới ảnh hưởng đồng thời của các tác nhân gây ra can nhiễu. Cơ sở khoa học cho thấy sự kết hợp giữa các mô hình truyền thông trong mạng vô tuyến nhận thức sẽ khai thác hiệu quả hiệu suất sử dụng phổ tần của mạng vô tuyến nhận thức. Ngoài ra, việc xem xét một cách đồng thời các tác nhân gây ra can nhiễu có ý nghĩa quan trọng trong quá trình thiết kế hệ thống bởi vì môi trường truyền thông thực tế là không lý tưởng mà đã tạo ra các tác nhân này. Kết quả đạt được của luận án thể hiện trong ba chương chính là chương 2, chương 3 và chương 4, cụ thể là:

Chương 2 nghiên cứu và phân tích mạng truyền thông không dây một chặng trong môi trường vô tuyến nhận thức dạng nền dưới tác động đồng thời của khiếm khuyết phần cứng và tương quan kênh truyền. Giải pháp được đề xuất là kỹ thuật kết hợp chọn lựa ở phía thu nhằm nâng cao hiệu năng dừng cho mạng thứ cấp. Quá trình phân tích và đánh giá hiệu năng hệ thống có xem xét Rayleigh fading.

Kết quả của mô hình đề xuất này được công bố ở tạp chí trong nước [J3] với tên công trình là: “*Đánh giá xác suất dừng mạng không dây nhận thức dạng nền dưới sự tác động đồng thời của tương quan kênh truyền và khiếm khuyết phần cứng*”, *Chuyên san Công nghệ thông tin và Truyền thông (LQDTU-JICT), Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật Quân sự*”, số 11, pp. 49-63, năm 2018.

Chương 3 đề xuất mô hình truyền thông cộng tác hai chặng trong môi trường không dây nhận thức dạng nền có sự điều chỉnh công suất phát của nút thứ cấp nhằm đảm bảo chất lượng dịch vụ của mạng sơ cấp và ngăn chặn khả năng nghe trộm thông tin của nút nghe lén bằng cách giới hạn xác suất chặn. Các kết quả phân tích hiệu năng hệ thống có tính đến ảnh hưởng đồng thời của khiếm khuyết phần cứng và can nhiễu tương hỗ giữa các mạng sơ cấp và thứ cấp. Giải pháp được đề xuất để nâng cao hiệu năng hệ thống là lựa chọn nút chuyển tiếp tốt nhất và sử dụng kỹ thuật kết hợp tỷ số cực đại ở máy thu thứ cấp. Các kết quả cho thấy hiệu năng hệ thống được cải thiện đáng kể khi áp dụng giải pháp này và khả năng chọn vị trí nút chuyển tiếp tối ưu để đạt hiệu năng quả tốt nhất.

Kết quả phân tích của mạng truyền thông hai chặng ở chương 3 cũng được đăng ở tạp chí uy tín quốc tế [J6] với tên công trình là: “*Outage Performance of Cooperative Cognitive Radio Networks under Joint Constraints of Co-Channel Interference, Intercept Probability and Hardware Imperfection*”, *EAI Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems*, vol. 6, no. 19, pp. 1-8, Jun. 2019.

Đề xuất hai mô hình truyền thông đa chặng, trong đó mô hình thứ nhất là “phân tích và đánh giá hiệu năng mạng truyền thông đa chặng dưới ảnh hưởng của các tác nhân gây can nhiễu trong môi trường vô tuyến thông thường”. Mô hình thứ

hai là “phân tích và đánh giá hiệu năng hiệu năng mạng truyền thông đa chặng dưới ảnh hưởng đồng thời của các tác nhân gây can nhiễu đồng kênh trong mạng vô tuyến nhận thức dạng nền”. Giải pháp được đề xuất để cải thiện hiệu năng hệ thống cho cả hai mô hình là chọn đường truyền toàn trình tốt nhất từ nguồn tới đích và được thực hiện trên kênh truyền Rayleigh fading. Kết quả phân tích thể hiện thông qua tiêu chí đánh giá là xác suất dừng ở cả dạng tường minh và dạng xấp xỉ. Bậc phân tập trong mô hình thứ nhất còn cho thấy hiệu năng hệ thống đạt được bậc phân tập bằng đúng số lượng đường truyền giữa nguồn và đích. Điều này xem như hệ thống đạt được độ lợi phân tập đầy đủ. Ngoài ra, việc áp dụng kỹ thuật DF trong mô hình truyền thông đa chặng trong mạng không dây nhận thức cũng đã được nhiều công trình nghiên cứu, thì ở mô hình thứ hai của Chương 4 của luận án này còn cho thấy sự tổng quát hơn khi lần lượt cả hai giao thức DF và AF trong việc hỗ trợ chuyển tiếp thông tin cho hoạt động truyền tin. Khi thiết lập cùng mức tốc độ mục tiêu và các thông số thiết lập trước, hiệu năng dừng khi dùng giao thức DF sẽ hoạt động hiệu quả hơn so với AF. Và hơn nữa, ở Chương 4 còn cho thấy hiệu năng dừng của hệ thống sẽ dừng hoạt động ở các mức tiêu chí khiếm khuyết khác nhau. Điều này, chứng tỏ với các linh kiện và thiết bị phải đạt chất lượng tốt (như BS) ứng với mức khiếm khuyết phần cứng nhỏ. Và ngược lại, khi giá trị khiếm khuyết này cao thì có thể áp dụng đối với các thiết bị rẻ tiền (thường được sản xuất với số lượng lớn, như các nút cảm biến, vì không yêu cầu quá cao về chất lượng thiết bị). Thêm vào đó, mạng sơ cấp trong mô hình truyền thông đa chặng trong mạng không dây nhận thức còn sử dụng kỹ thuật đa truy cập phi trực giao với phương pháp phân bổ công suất và kỹ thuật khử nhiễu tuần tự. Vẫn trên quan điểm chung của luận án, hiệu năng của mô hình thứ hai được phân tích và đánh giá dưới tác động đồng thời của các can nhiễu đồng kênh.

Các kết quả của mô hình đề xuất thứ nhất ở Chương 4 được công bố ở tạp chí trong nước [J4], với tên công trình là: “*Performance Evaluation of Best Path Selection Protocol in Multi-hop Relaying Networks under Joint Impact of Co-channel Interference and Hardware Impairment*”, *Journal of science and*

Technology: Issue on Information and Commun. Technology, vol. 4, no. 1, pp. 33-38, Sept. 2018.

Kết quả của mô hình đề xuất thứ hai của chương 4 đăng ở tạp chí quốc tế [J1] với tên là: “*Performance Enhancement for Multi-hop Cognitive DF and AF Relaying Protocols under Joint Impact of Interference and Hardware Noises: NOMA for Primary Network and Best-Path Selection for Secondary Network*”, *Wireless Commun. and Mobile Computing*, vol. 2021, pp. 1-15, Apr. 2021.

5.2 Kiến nghị hướng nghiên cứu tiếp theo

Dựa vào các kết quả đạt được sau quá trình học tập và nghiên cứu, dự kiến hướng nghiên cứu tiếp theo của nghiên cứu sinh cụ thể như sau:

Mô hình ở chương 2 có thể mở rộng sang mạng vô tuyến nhận thức bằng cách xét can nhiễu tương hỗ giữa mạng sơ cấp và thứ cấp qua kênh truyền fading khác thực tế hơn như Nakagami- m và Rician. Hơn nữa, mô hình này có thể phát triển với nhiều anten phát và anten thu tại các thiết bị thứ cấp, kết hợp với áp dụng các kỹ thuật truyền/nhận phân tập để nâng cao hiệu năng của hệ thống thứ cấp.

Mô hình ở chương 3 có thể phát triển thêm bằng cách ứng dụng các kỹ thuật tạo nhiễu (jamming) để hạn chế khả năng nghe trộm tín hiệu của nút nghe lén. Hơn nữa, mô hình này có thể mở rộng đến trường hợp các khoảng cách giữa nút nguồn (nút đích) đến các nút chuyển tiếp là không đồng đều và hoạt động trên các kênh truyền fading tổng quát hơn như Nakagami- m và Rician.

Hiệu năng của các mô hình ở chương 4 có thể được nâng cao khi các nút mạng được trang bị với nhiều anten và hoạt động trên các kênh truyền fading tổng quát hơn. Bên cạnh đó, các phương pháp chọn tuyến đơn giản hơn cũng sẽ được đề xuất nhằm giảm độ phức tạp của thuật toán chọn tuyến tốt nhất trong thực tế.

Cuối cùng, các mô hình đề xuất trong luận án sẽ được áp dụng và phát triển trong các mạng thông tin vô tuyến khác như bảo mật lớp vật lý, thu thập năng lượng sóng vô tuyến, mạng truyền thông gói tin ngắn.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

A. CÁC BÀI BÁO NGHIÊN CỨU SINH LÀ TÁC GIẢ CHÍNH

Tạp chí quốc tế (01 bài)

- [J6] Phạm Thị Đan Ngọc, Trần Trung Duy and Hồ Văn Khương, “Outage Performance of Cooperative Cognitive Radio Networks under Joint Constraints of Co-Channel Interference, Intercept Probability and Hardware Imperfection”, *EAI Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems*, vol. 6, no. 19, pp. 1-8, Jun. 2019, [Scopus 2021].

Tạp chí trong nước (04 bài)

- [J5] Ngọc Phạm Thị Đan, Khương Hồ Văn, Hạnh Đặng Ngọc, ..., Liên Hồng Phạm, “Security capability analysis of cognitive radio network with secondary user capable of jamming and self-powering”, *Journal of Computer Science and Cybernetics*, vol. 36, no.3, pp. 205-231, Aug. 2020.
- [J4] Phạm Thị Đan Ngọc, Trần Trung Duy, Hồ Văn Khương, and Nguyễn Thanh Bình, “Performance Evaluation of Best Path Selection Protocol in Multi-hop Relaying Networks under Joint Impact of Co-channel Interference and Hardware Impairment”, *Journal of science and Technology: Issue on Information and Communications Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 33-38, Sept. 2018.
- [J3] Phạm Thị Đan Ngọc, Trần Trung Duy và Hồ Văn Khương, “Đánh giá xác suất dừng mạng vô tuyến nhận thức dạng nền dưới sự tác động đồng thời của tương quan kênh truyền và khiếm khuyết phần cứng”, *Chuyên san Công nghệ thông tin và Truyền thông (LQDTU- JICT)*, *Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật Quân sự*, số 11, pp. 49-63, năm 2018.
- [J2] Phạm Thị Đan Ngọc, Trần Trung Duy, Võ Nguyễn Quốc Bảo và Hồ Văn Khương, “Chọn lựa nút chuyển tiếp nâng cao hiệu năng mạng vô tuyến nhận thức dạng nền với sự xuất hiện của nút nghe lén và khiếm khuyết phần cứng”, *Các công trình nghiên cứu phát triển CNTT và Truyền thông*, Tập V-1, số 17, (37), pp. 75-86, tháng 6 năm 2017.

Kỹ yếu hội nghị quốc tế (13 bài)

- [C17] Ngoc Pham-Thi-Dan and Khuong Ho-Van, “Non-Orthogonal Multiple Access-assisted Cognitive Radio Networks: Performance Analysis”, *Proceedings of IEEE GTSD, Khanh Hoa, Vietnam*, pp. 447-453, 29-30 July 2022.
- [C16] Ngoc Pham-Thi-Dan and Khuong Ho-Van, “Analysis on Reliability and Security of Energy Harvesting-Assisted Relaying Communications”, *Proceedings of IEEE ICCE, Khanh Hoa, Vietnam*, pp. 545-548, 27-29 July 2022.
- [C15] Ngoc Pham-Thi-Dan, Nguyen Bui-Trung, Huynh Nguyen, ..., Thiem Do-Dac, “Security Analysis of Relay Selection in Energy Scavenging-based Cognitive Networks”, *Proceedings of IEEE ATC, HCM City, Vietnam*, pp. 14-16, Oct. 2021.
- [C14] Pham Thi Dan Ngoc, Ho Van Khuong, Do Dac Thiem, Vo Que Son and Pham Ngoc Son, “Security for Jamming-Aided Energy Harvesting Cognitive Radio Networks”, *The 2021 International Symposium on Electrical and Electronics Engineering, Ho Chi Minh City, Viet Nam*, pp. 41-44, Apr. 2021.
- [C13] Ngoc Pham-Thi-Dan, Bao Ho-Quoc, Khuong Ho-Van, ..., Lien Pham Hong, “Secrecy Throughput Analysis of Energy Scavenging Overlay Networks with Artificial Noise”, *Proceedings of IEEE ATC, Nha Trang, Vietnam*, pp. 90-94, Oct. 2020.
- [C12] Pham Thi Dan Ngoc, Thiem Do-Dac, Khuong Ho-Van, Son Vo-Que and Son Pham-Ngoc, “On Security Capability of Cooperative Communications in Energy Scavenging Cognitive Radio Networks”, *2019 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC), Hanoi, Viet Nam*, pp. 89-93, Oct. 2019.
- [C11] Pham Thi Dan Ngoc, Thiem Do-Dac, Khuong Ho-Van, Son Vo-Que and Son Pham- Ngoc, “Effect of Nakagami-m Fading on Secrecy Outage of Energy Scavenging Underlay Cognitive Networks”, *2019 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC), Hanoi, Viet Nam*, pp. 287-291, Oct. 2019.
- [C10] Pham Thi Dan Ngoc, Khuong Ho-Van, Thiem Do-Dac, Son Vo-Que and Son Pham- Ngoc, “Security Analysis for Cognitive Radio Network

with Energy Scavenging Capable Relay over Nakagami-m Fading Channels”, *The 2019 International Symposium on Electrical and Electronics Engineering, Hochiminh, Viet Nam*, pp. 44, Oct. 2019.

- [C9] Pham Thi Dan Ngoc, Khuong Ho-Van, Thiem Do-Dac, Son Vo-Que and Son Pham- Ngoc, “Energy Harvesting Cooperative Cognitive Networks: Relay Selection for Information Security”, *The 2019 International Symposium on Electrical and Electronics Engineering, Hochiminh, Viet Nam*, pp. 41, Oct. 2019.
- [C8] Pham Thi Dan Ngoc, Tran Trung Duy, Vo Nguyen Quoc Bao and Nguyen Luong Nhat, “Security-Reliability Analysis for Underlay Cognitive Radio Networks with Relay Selection Methods under Impact of Hardware Noises”, *The 2016 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC 2016), Ha Noi, Viet Nam*, pp. 174–179, Oct. 2016.
- [C7] Pham Thi Dan Ngoc, Tran Trung Duy, Vo Nguyen Quoc Bao and Ho Van Khuong, “Transmit Antenna Selection Protocols in Random Cognitive Networks under Impact of Hardware Impairments”, *The 2016 3rd National Foundation for Science and Technology Development Conference Information and Computer Science (NICS), Da Nang city, Viet Nam*, pp. 38–43, Sept. 2016.
- [C6] Pham Thi Dan Ngoc, Tran Trung Duy, Vo Nguyen Quoc Bao and Ho Van Khuong, “Exact Outage Probability of Dual-hop Cooperative Cognitive Networks with Relay Selection Methods, Hardware Impairment and MRC Receiver”, *The International Conference on Computing, Management and Telecommunications (ComManTel 2015), Da Nang City, Viet Nam*, pp. 7- 12, Dec. 2015.
- [C5] Pham Thi Dan Ngoc, Tran Trung Duy, Vo Nguyen Quoc Bao and Ho Van Khuong, “Performance Enhancement for Underlay Cognitive Radio with Partial Relay Selection Methods under Impact of Hardware Impairment”, *The 2015 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC 2015), Ho Chi Minh City, Viet Nam*, pp. 567-572, Oct. 2015.

Kỹ yếu hội nghị trong nước: (02 bài)

- [D2] Phạm Thị Đan Ngọc, Trần Trung Duy, Võ Nguyễn Quốc Bảo, Nguyễn Lương Nhật và Hồ Văn Khuong, “Đánh Giá Hiệu Năng Mạng Vô Tuyến

Nhận Thức dưới sự tác động đồng thời của tương quan kênh truyền và khiếm khuyết Phần Cứng”, *Hội thảo Quốc gia 2017 về điện tử, Truyền thông và Công nghệ Thông tin (ECIT 2017)*, TP. HCM, Việt Nam, pp. 281-286, 12/2017.

- [D1] Phạm Thị Đan Ngọc, Trần Trung Duy, Võ Nguyễn Quốc Bảo, Hồ Văn Khương và Nguyễn Lương Nhật, “Đánh Giá Hiệu Năng Mạng Vô Tuyến Nhận Thức Dạng Nền Với TAS/SC và Suy Hao Phần Cứng”, *Hội thảo Quốc gia 2015 về điện tử, Truyền thông và Công nghệ Thông tin (ECIT 2015)*, TP. HCM, Việt Nam, pp. 477-481, 12/2015.

B. CÁC BÀI BÁO NGHIÊN CỨU SINH LÀ TÁC GIẢ THAM GIA

Tạp chí quốc tế: (1 bài)

- [J1] Tran Trung Duy, Pham Thi Dan Ngoc and Tran Thanh Phuong, “Performance Enhancement for Multi-hop Cognitive DF and AF Relaying Protocols under Joint Impact of Interference and Hardware Noises: NOMA for Primary Network and Best-Path Selection for Secondary Network”, *Wireless Commun. and Mobile Computing*, vol. 2021, pp. 1-15, Apr. 2021.

Kỷ yếu Hội nghị quốc tế: (4 bài)

- [C4] Pham Minh Quang, Pham Thi Dan Ngoc, Tran Trung Duy, Vo Nguyen Quoc Bao, “Modeling and analysis of a wi-fi access method with presence of an active eavesdropper”, *The 2017 International Symposium on Electrical and Electronics Engineering*, pp.225-229, Nov. 2017.
- [C3] Khuong Ho-Van, Thiem Do-Dac, Ngoc Pham-Thi-Dan, Phong Nguyen-Huu, Son Pham-Ngoc, Son Vo-Que and Lien Hong-Pham, “Improving Information Security in Cognitive Radio Networks with Relay Selection”, *The 2017 International Symposium on Electrical and Electronics Engineering*, pp. 274-279, Oct. 2017.
- [C2] Phong Nguyen-Huu, Khuong Ho-Van, Ngoc Pham-Thi-Dan, Tuan Nguyen-Thanh, Son Pham-Ngoc, and Son Vo-Que, “Outage probability analysis of half-duplex energy harvesting AF two-way relaying over Nakagami-m fading”, *The 2017 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC 2017)*, Quy Nhon, Viet Nam, pp. 92-96, Oct. 2017.
- [C1] Khuong Ho-Van, Thiem Do-Dac, Ngoc Pham-Thi-Dan, Tuan Nguyen-

Thanh, Son Pham-Ngoc, and Son Vo-Que, “Security Performance Analysis of Underlay Cognitive Radio Systems under Interference from Primary Network and Channel Information Inaccuracy”, *The 2017 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC 2017)*, Quy Nhon, Viet Nam, pp. 18-20, Oct. 2017.