

**BỘ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG
HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**



**NGHIÊN CỨU CẢI THIỆN HIỆU NĂNG HỆ THỐNG
THÔNG TIN VÔ TUYẾN SỬ DỤNG KỸ THUẬT
CHUYỂN TIẾP**

**Chuyên ngành: Kỹ thuật Viễn thông
Mã số: 9.52.02.08**

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Hà Nội – 2023

Công trình được hoàn thành tại:

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

Người hướng dẫn khoa học:

1. PGS.TSKH. HOÀNG ĐĂNG HẢI

2. PGS.TS. NGUYỄN CẢNH MINH

Phản biện 1:.....
.....

Phản biện 2:.....
.....

Phản biện 3:.....
.....

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp Học viện họp tại:

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

Vào hồi giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:
.....

LỜI MỞ ĐẦU

I. Lý do chọn đề tài

Các hệ thống thông tin vô tuyến (HTTTVT) đã và đang được phát triển với tốc độ nhanh chóng cả về số lượng hệ thống, số người dùng, thiết bị và số lượng kết nối. Chúng cho phép người dùng, các thiết bị, máy móc kết nối với Internet mọi lúc, mọi nơi và tạo khả năng hỗ trợ đa dạng ứng dụng trong mọi lĩnh vực của đời sống.

Số lượng lớn người dùng, thiết bị và kết nối cùng với lưu lượng ngày càng gia tăng, bao gồm cả lưu lượng thoại và số liệu thời gian thực, lưu lượng Internet và lưu lượng truyền thông kiểu máy MTC (Machine Type Communications), đang đặt ra nhiều thách thức kỹ thuật mới đối với các HTTTVT, trong đó điển hình là vấn đề bảo đảm hiệu năng, cụ thể là chất lượng kết nối của HTTTVT.

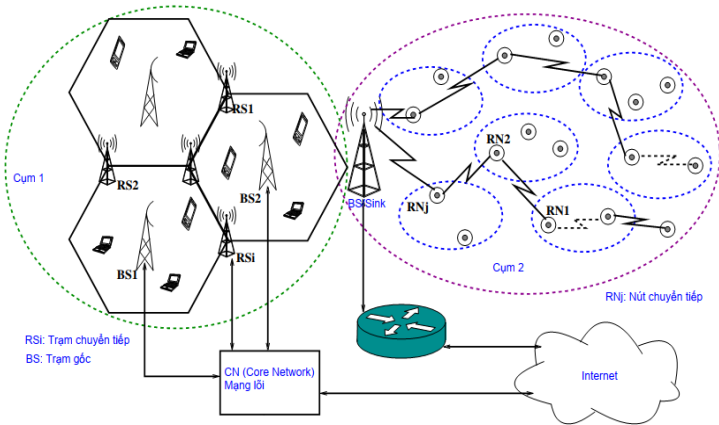
Hiệu năng là vấn đề rất rộng đã được chỉ ra trong các tiêu chuẩn viễn thông quốc tế, điển hình như: chất lượng dịch vụ, duy trì kết nối, độ sẵn sàng dịch vụ, tỉ lệ thất bại cuộc gọi (liên quan cuộc gọi mới), tỉ lệ rớt cuộc gọi chuyển giao, tỉ lệ mất gói, độ trễ đầu cuối, tỉ lệ lỗi bit, v.v. cũng như được nêu trong nhiều công trình nghiên cứu. Đặc biệt, tổ chức Liên minh Viễn thông Quốc tế ITU-T đã ban hành một tiêu chuẩn ITU-T Y.2225 năm 2018 về yêu cầu duy trì kết nối trong ngữ cảnh HTTTVT thế hệ mới gồm sự kết hợp giữa mạng di động, mạng không dây và IoT. Trong tiêu chuẩn này, ITU-T đã chỉ ra yêu cầu duy trì kết nối bao gồm bảo đảm chuyển giao HO (Handover), chống gián đoạn và bảo đảm an toàn kết nối. Đây được coi là những tiêu chí bao trùm nhất về hiệu năng mà các HTTTVT cần đạt được.

Xác suất rớt cuộc gọi CDP (Call Dropping Probability) được coi là chỉ số hiệu năng quan trọng nhất đối với các HTTTVT trong việc bảo đảm khả năng thành công cho các cuộc gọi có chuyển giao. Xác suất dừng OP (Outage Probability) và xác suất chặn IP (Intercept Probability) cũng được xác định là các chỉ số hiệu năng quan trọng đối với các HTTTVT, đặc biệt đối với các HTTTVT sử dụng kỹ thuật chuyển tiếp. Xác suất chặn IP là xác suất mà hệ thống ngăn chặn được khả năng can thiệp gây nhiễu dẫn đến nguy cơ gián đoạn kết nối. Xác suất dừng OP là xác suất mà hệ thống sẽ dừng (không thể duy trì tiếp kết nối) khi tín hiệu bị suy giảm nhỏ hơn một mức ngưỡng cho phép của hệ thống.

Kỹ thuật chuyển tiếp (Relay Techniques) thường được sử dụng để cải thiện chất lượng kết nối khi chuyển giao trong các HTTTVT. Các trạm chuyển tiếp RS (Relay Station) hay các nút chuyển tiếp RN (Relay Node) cung cấp chức năng hỗ trợ chuyển giao kết nối từ trạm nguồn S (Source) đến trạm đích D (Destination), nghĩa là giữa các trạm gốc BS, hoặc chúng là các nút trung gian chuyển tiếp lưu lượng trong mô hình truyền thông vô tuyến đa chặng MH (Multi-Hop) thường được áp dụng trong các hệ thống MTC. Như phân tích ở trên có thể thấy, vấn đề duy trì kết nối (chuyển giao cuộc gọi thành công, chống gây nhiễu cản trở làm gián đoạn kết nối) được tham chiếu đến các tiêu chí hiệu năng về CDP (Call Dropping Probability), OP (Outage Probability) và IP (Intercept Probability). Đây là vấn đề đang rất được cộng đồng nghiên cứu quan tâm trong ngữ cảnh các HTTTVT thế hệ mới và là trọng tâm nghiên cứu của luận án này.

II. Định hướng nghiên cứu

Các HTTT VT thế hệ mới thường bao gồm nhiều chặng kết nối như mô tả trong các tiêu chuẩn viễn thông quốc tế, điển hình như tiêu chuẩn ITU-T/Y3104, ITU-T/Y.2255. Hình 1 thể hiện kiến trúc mạng đa chặng của HTTT VT thế hệ mới (5G) có sự kết hợp hỗn hợp giữa các cụm mạng thông tin vô tuyến dạng tổ ong (cellular) và cụm HTTT VT kết nối IoT. Các trạm chuyển tiếp RS (ký hiệu là RSi) có chức năng chuyển tiếp các kênh lưu lượng TCH (Traffic Channel) giữa các trạm gốc BS (xem cụm 1) và các nút chuyển tiếp RN (ký hiệu là RNj) thực hiện chuyển tiếp lưu lượng qua các nút trung gian trong cụm 2.



Hình 1. Sơ đồ kiến trúc HTTT VT đa chặng thế hệ mới

Trong khuôn khổ luận án này, duy trì kết nối xuyên suốt từ đầu cuối tới đầu cuối trong HTTT VT đa chặng như mô tả trên Hình 1 đặt ra hai trọng tâm nghiên cứu: nghiên cứu kỹ thuật chuyển tiếp trong chuyển giao cuộc gọi ở cụm 1 nhằm cải thiện chỉ số hiệu năng về xác suất rớt cuộc gọi CDP và nghiên cứu kỹ thuật chuyển tiếp lưu lượng qua các nút trung gian trong cụm 2 nhằm chống gây nhiễu tác động làm gián đoạn kết nối để đạt mục tiêu

cải thiện các chỉ số hiệu năng về xác suất dừng OP và xác suất chặn IP.

Các trạm chuyển tiếp đã được khuyến nghị trong các tiêu chuẩn; đồng thời, khá nhiều nghiên cứu trong một số năm qua cũng đã đề cập đến việc sử dụng các trạm chuyển tiếp cho cụm 1, Hình 1. Có thể thấy hai vấn đề nổi bật từ các nghiên cứu liên quan là:

- 1) Vai trò của các trạm chuyển tiếp RS chưa được tận dụng hiệu quả nhằm cải thiện tiêu chí hiệu năng duy trì kết nối thông qua chỉ số hiệu năng CDP.
- 2) Điều kiện lưu lượng rất cao ở một vùng mạng khi có nguy cơ nghẽn cục bộ nghiêm trọng xảy ra (điều kiện xấu nhất – worst case) vẫn chưa được xem xét giải quyết cụ thể. Khá nhiều nghiên cứu mới chỉ dừng ở việc cải thiện chất lượng kết nối hoặc mở rộng vùng phục vụ của BS. Một số nghiên cứu đạt được hiệu quả cải thiện đáng kể xác suất chuyển giao thành công, song mới chỉ dừng ở việc tính toán với lưu lượng bình thường, chưa đề cập các trạm chuyển tiếp trong tính toán CDP khi tất cả các trạm gốc BS trong vùng mạng đều bận.

Giải pháp tận dụng hiệu quả hoạt động của các trạm chuyển tiếp RS và tính toán CDP trong điều kiện lưu lượng rất cao ở các vùng mạng có nguy cơ nghẽn cục bộ nghiêm trọng và không có đủ dự trữ kênh tại các trạm gốc BS cho các cuộc gọi chuyển giao, đặc biệt là cho các cuộc gọi số liệu thời gian thực trong các HTTT VT thế hệ sau (4G và beyond) đang là vấn đề chưa được quan tâm nhiều trong các nghiên cứu tới nay, và đó là một trọng tâm nghiên cứu của luận án này.

Liên quan đến chuyển tiếp lưu lượng và duy trì kết nối trong HTTT VT ở cụm 2 (xem Hình 1), qua khảo sát các nghiên cứu

liên quan có thể thấy một vấn đề nổi bật như sau. Vẫn chưa có nghiên cứu nào đưa ra một biểu thức tính toán tường minh cho các giá trị OP và IP đa chặng cũng như mối quan hệ giữa chúng mà có xem xét đầy đủ các tham số liên quan trong điều kiện tỉ số tín hiệu trên nhiễu ở mức cao. Các tham số như: lựa chọn nút gây nhiễu, số lượng ăng ten, mô hình truyền thông, ảnh hưởng của phần cứng không hoàn hảo, mô hình kênh Fading vẫn chưa được xem xét tổng hợp trong tính toán OP và IP. Đa số nghiên cứu lựa chọn tính toán OP và IP cho các HTTTVT đa chặng dựa trên mô hình mạng cảm biến không dây WSN (Wireless Sensor Networks) do WSN được coi là nền tảng cho IoT trong các HTTTVT thế hệ mới như đã chỉ ra trong tiêu chuẩn viễn thông quốc tế. Kỹ thuật chuyển tiếp phổ biến nhất trong mạng không dây kiểu WSN là sử dụng giao thức LEACH. Nghiên cứu phương thức tính toán các giá trị OP và IP và mối quan hệ giữa chúng cho các HTTTVT chuyển tiếp đa chặng trong điều kiện có xem xét đầy đủ các tham số liên quan cần thiết và điều kiện tỉ số tín hiệu nhiễu ở mức cao (nghĩa là khi có tác nhân gây nhiễu cản trở, gây nguy cơ gián đoạn kết nối) đang là một yêu cầu thực tiễn, điển hình là mô hình mạng WSN MH LEACH. Đây là trọng tâm nghiên cứu thứ hai của luận án này.

III. Mục tiêu và phạm vi nghiên cứu

Luận án đặt ra hai mục tiêu sau:

1) Nghiên cứu giải pháp tận dụng hiệu quả hoạt động của các trạm chuyển tiếp RS để hỗ trợ chuyển giao thành công các cuộc gọi, bao gồm cả cuộc gọi thoại và cuộc gọi số liệu thời gian thực, và tính toán CDP trong điều kiện lưu lượng cục bộ cao nghiêm trọng của các HTTTVT thế hệ mới.

2) Nghiên cứu phương thức tính toán tường minh tiêu chí hiệu năng bảo đảm duy trì kết nối không bị gián đoạn với các giá trị OP và IP toàn chặng trong điều kiện xem xét đầy đủ các tham số liên quan và tỉ lệ tín hiệu nhiễu ở mức cao.

Phạm vi nghiên cứu được thực hiện trong mô hình HTTTVT thể hệ mới thông qua 2 cụm: 1) hệ thống thông tin di động và 2) mô hình WSN MH LEACH.

IV. Cấu trúc luận án

Luận án được chia làm 3 chương, cùng với phần Lời mở đầu, Kết luận, và phần Phụ lục. Các chương của luận án được tóm tắt như sau đây. Chương 1 sẽ trình bày tổng quan về các nội dung lý thuyết liên quan đến đề tài, khảo sát các nghiên cứu liên quan, và vạch ra định hướng nghiên cứu. Tiếp theo, Chương 2 sẽ tập trung vào việc cải thiện tham số hiệu năng CDP để bảo đảm xác suất chuyển giao thành công cho các cuộc gọi thời gian thực trong các hệ thống thông tin di động sử dụng RS trong điều kiện lưu lượng tăng đột biến ở các vùng mạng cụ thể làm cho tất cả các BS đều luôn bận trong một khoảng thời gian nhất định vì tất cả các kết nối vô tuyến đều đã bị chiếm cho các cuộc gọi mới. Chương 3 sẽ thực hiện việc tính toán tường minh các giá trị OP và IP toàn chặng trong hệ thống WSN MH LEACH sử dụng kỹ thuật RF-EH để gây nhiễu hợp tác dưới ảnh hưởng của phần cứng không hoàn hảo và mô hình kênh pha đỉnh Rayleigh, với các nút trong mạng sử dụng ăng ten đơn và đa ăng ten.

CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN

1.1 Tổng quan về hệ thống thông tin vô tuyến

1.1.1 Hệ thống thông tin di động

Thông tin di động là một hình thái của thông tin vô tuyến có khả năng cung cấp kết nối tới các thiết bị đầu cuối của người sử dụng thông qua môi trường không gian để bảo đảm khả năng di chuyển tự do trong quá trình trao đổi thông tin của con người. Người sử dụng trong hệ thống này được gọi là người sử dụng di động MU (Mobile User). Di động trong trường hợp này bao gồm cả ý nghĩa về khả năng di chuyển tự do của người dùng và của các thiết bị.

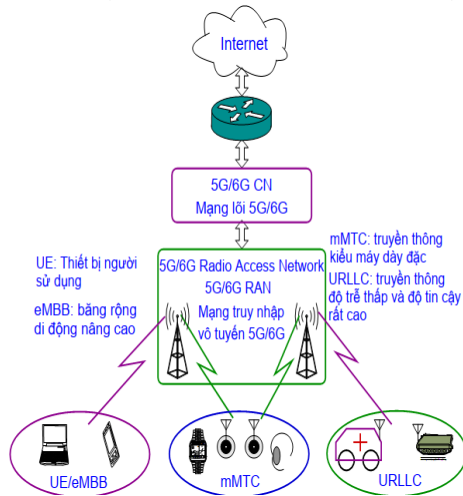
1.1.2 Hệ thống thông tin vô tuyến thế hệ mới

Các hệ thống 5G/6G được coi là điển hình cho HTTTVT thế hệ mới như mô tả khái quát trong Hình 1.2. Trong Hình 1.2, các ứng dụng ở tầng dưới cùng bao gồm 3 nhóm đối tượng chính: 1) di động băng rộng nâng cao eMBB (enhanced Mobile Broadband),

2) truyền thông giữa các thiết bị với mật độ dày đặc mMTC (massive Machine Type Communications), và 3) truyền thông với độ trễ thấp và độ tin cậy rất cao URLLC (Ultra Reliable Low Latency Communications).

eMBB là các ứng dụng lấy con người làm

trung tâm nhằm thỏa mãn các nhu cầu trao đổi thông tin (bao gồm cả thông tin thoại và thông tin số liệu) với tốc độ cao và lưu lượng lớn giữa những người sử dụng thông qua các UE di động bằng

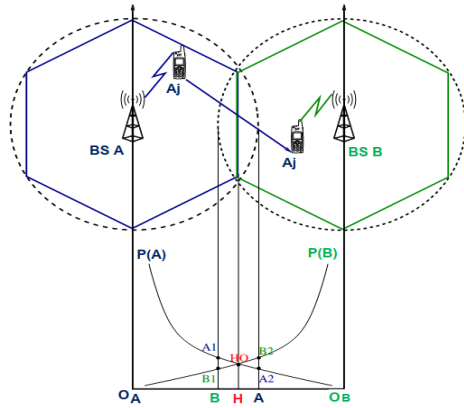


Hình 1.2 Hệ thống thông tin vô tuyến thế hệ mới

rộng như là các điện thoại di động, laptop, máy tính bảng. Ngược lại với eMBB, mMTC và URLLC là các ứng dụng lấy thiết bị làm trung tâm. Trong đó, mMTC tập trung vào việc cung cấp các kết nối cho một số lượng lớn các thiết bị bằng hợp đơn giản để gửi hoặc nhận các thông tin trong một vùng rộng lớn với lưu lượng nhỏ như là các cảm biến đơn giản, các thiết bị đo, các thiết bị theo dõi và giám sát đeo tay. URLLC được sử dụng trong các ứng dụng có tính thời gian thực và đòi hỏi độ tin cậy rất cao như là các thiết bị thực tế ảo, các xe tự hành, và các robot thông minh phục vụ cho công việc tìm kiếm cứu nạn hoặc phẫu thuật từ xa.

1.1.3 Chuyển giao cuộc gọi trong thông tin di động

Chuyển giao HO được coi là hoạt động đặc trưng của các hệ thống thông tin di động nhằm thỏa mãn nhu cầu trao đổi thông tin liên tục trong quá trình di chuyển của con người. Về mặt kỹ thuật, chuyển giao được hiểu là việc một MU chuyển từ một kênh lưu lượng TCH (Traffic CHannel) này sang một TCH khác



Hình 1.3 Bảo đảm kết nối vật lý cho cuộc gọi chuyển giao

trong quá trình đàm thoại. TCH là kênh logic mang lưu lượng thông tin của các MU trong hệ thống, thực hiện việc kết nối vô tuyến 2 chiều giữa MU và BS. Trong thực tế, chuyển giao được hiểu một cách trực quan là quá trình MU chuyển từ TCH được

cấp bởi S-BS (BS A) sang TCH được cấp bởi T-BS (BS B) trong quá trình MU A_j di chuyển trong vùng phủ sóng của 2 BS khi đang đàm thoại như mô tả trong Hình 1.3.

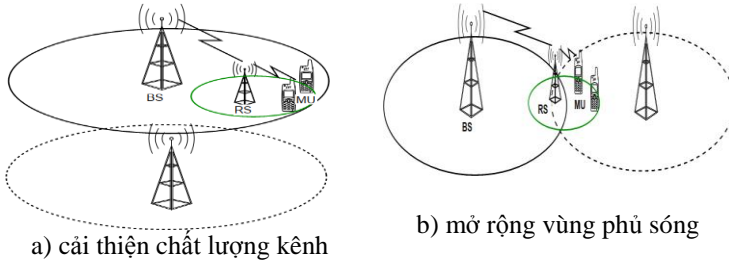
Trên Hình 1.3: khi A_j di chuyển càng ra xa BS A, cường độ tín hiệu thu được từ A càng giảm; đến điểm A1 thì MU A_j bắt đầu nhận được tín hiệu từ BS B; nếu A_j cứ tiếp tục di chuyển thì chuyển giao sẽ xảy ra khi A_j di chuyển qua điểm HO. Trong trường hợp BS B không còn kênh TCH để phục vụ, cuộc gọi HO của A_j sẽ bị rớt.

1.2 Kỹ thuật chuyển tiếp trong hệ thống thông tin vô tuyến

1.2.1 Chuyển tiếp trong thông tin di động

Chuyển tiếp trong thông tin di động được đặc biệt quan tâm trong các hệ thống 4G, và trong phiên bản 8 (Release 8) của 3GPP do yêu cầu cao về chất lượng kết nối, điển hình đối với các cuộc gọi dữ liệu. Các RS được sử dụng như là trung gian giữa BS và MU như mô tả trong Hình 1.4. Mục đích chính của việc sử dụng các RS trong di động được đề cập đến là: cải thiện chất lượng kênh truyền giữa BS và MU, và mở rộng vùng phục vụ của BS. Trong Hình 1.4.a), một kết nối chuyển tiếp qua RS được thiết lập khi kết nối vô tuyến trực tiếp giữa BS và MU không bảo đảm chất lượng dưới ảnh hưởng của các yếu tố như mức công suất phát tại BS, nhiễu đường truyền, hoặc chất lượng kênh truyền suy giảm làm cho mức thu tại MU dưới ngưỡng cho phép. Trong Hình 1.4.b), vùng phục vụ của BS được mở rộng tới những MU nằm ở những vị trí cách xa BS thông qua các kết nối giữa BS và RS, và từ RS tới các MU. Các HTTT VT thế hệ mới (kể từ 4G) có khả năng sử dụng mật độ cao các trạm RS. Điều đó mở ra cơ hội nâng cao chất lượng duy trì kết nối song cũng đặt ra thêm nhiều thách

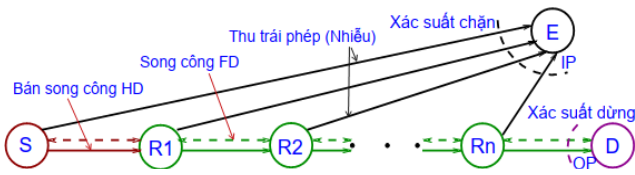
thức mới. Một trong những thách thức đặt ra là làm thế nào để khai thác hiệu quả vai trò của RS trong việc cải thiện hiệu năng CDP và đó là một chủ đề quan tâm nghiên cứu của luận án này.



Hình 1.4 Chuyển tiếp trong thông tin di động

1.2.2 Chuyển tiếp trong HTTTVT đa chặng

Truyền thông đa chặng MH (Multi-Hop) được hiểu là việc truyền dữ liệu từ một nút nguồn S tới nút đích D thông qua các nút trung gian R (R_1, R_2, \dots, R_n) như mô tả trong Hình 1.5. Hình 1.5 cho thấy rằng truyền thông MH chính là sự thể hiện của HTTTVT sử dụng kỹ thuật chuyển tiếp. Mô hình này xuất hiện trong nhiều nghiên cứu về truyền thông MH. Như đã đề cập trong Lời mở đầu, WSN được coi là một thành tố chính của các HTTTVT thế hệ mới. Do đặc điểm cấu tạo của các nút cảm biến SN (Sensor Node), truyền thông trong WSN tuân theo mô hình MH với giao thức định tuyến phân cấp cụm thích ứng năng lượng thấp LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy).



Hình 1.5 Mô hình chuyển tiếp trong HTTTVT đa chặng

Truyền thông trong WSN MH LEACH có thể bị cản trở việc duy trì kết nối (thậm chí gây gián đoạn) vì các lý do như: nhiễu từ các nút mạng khác; nhiễu do an-ten, suy hao Fading; tác động của phản ứng không hoàn hảo, v.v. Hầu hết các nghiên cứu tới nay đều tập trung vào hai chỉ số hiệu năng quan trọng nhất là xác suất dùng OP và xác suất chặn IP. Tuy nhiên, vẫn chưa thấy nghiên cứu nào xem xét các giá trị OP và IP toàn chặng cũng như mối quan hệ giữa chúng trong điều kiện xét đầy đủ các tham số liên quan và tỉ số tín hiệu trên nhiễu ở mức cao. Do vậy, đây là chủ đề quan tâm nghiên cứu thứ hai của luận án này.

1.3 Hiệu năng hệ thống thông tin vô tuyến

1.3.1 Hiệu năng hệ thống thông tin di động

Hiệu năng là một khái niệm để chỉ khả năng làm việc hiệu quả của một hệ thống trong các điều kiện khác nhau, được thể hiện và đánh giá thông qua một hoặc nhiều tham số biểu thị bằng các công thức toán học. Theo kỹ thuật lưu lượng được ITU xuất bản, chỉ số cấp độ dịch vụ GoS (Grade of Service) là một tham số được sử dụng để đánh giá hiệu năng của các hệ thống thông tin di động với các dịch vụ thời gian thực như sau:

$$\text{GoS} = \frac{T^{N_c} / N_c!}{\sum_{k=0}^{N_c} (T^k / k!)} \quad (1.12)$$

Trong đó, T và N_c tương ứng là lưu lượng và dung lượng của BS. Lưu lượng là một tham số ngẫu nhiên, được tính thông qua tỉ lệ của tốc độ thiết lập cuộc gọi (thường được tính thông qua phân bố Poisson) và tốc độ kết thúc cuộc gọi hay thời gian chiếm dụng dịch vụ (thường được tính bằng phân bố hàm số mũ âm).

1.3.2 Xác suất rớt cuộc gọi CDP

CDP được tính một cách trực tiếp từ công thức (1.12) khi thay thế các tham số lưu lượng T_h và dung lượng N_h của BS dành cho hoạt động chuyển giao như sau:

$$\text{CDP} = \frac{T_h^{N_h} / N_h!}{\sum_{k=0}^{N_h} (T_h^k / k!)} \quad (1.14)$$

Trong trường hợp T_h rất lớn, hoặc BS không còn kênh TCH dành cho chuyển giao, CDP sẽ rất lớn.

1.3.3 Xác suất dừng OP

OP tại nút đích D trong hệ thống vô tuyến được tính như sau:

$$\text{OP} = \Pr(\gamma_D < \gamma_{th}), \text{ với } \gamma_{th} = 2^{R_{th}} - 1 \quad (1.21)$$

với R_{th} là ngưỡng tốc độ trên kênh truyền dẫn. Trong thực tế, OP là một trong những thông số hiệu năng mạng quan trọng đánh giá khả năng hoạt động chính xác và ổn định của các hệ thống vô tuyến đa chặng. Nếu vì một lý do nào đó mà $\gamma_D < \gamma_{th}$, hệ thống sẽ ngừng làm việc và kết nối tới nút D sẽ không còn được duy trì.

1.3.4 Xác suất chặn IP

IP là xác suất chặn khả năng thu và giải mã thành công tín hiệu tại nút E trong hệ thống và được tính như sau:

$$\text{IP} = \Pr(\gamma_E \geq \gamma_{th}) \quad (1.22)$$

IP là xác suất mà hệ thống sẽ ngừng làm việc để ngăn chặn việc nút E khôi phục chính xác thông tin từ việc khai thác trái phép trên các chặng truyền dẫn từ S tới D thông qua các nút trung gian.

1.4 Kết luận chương 1

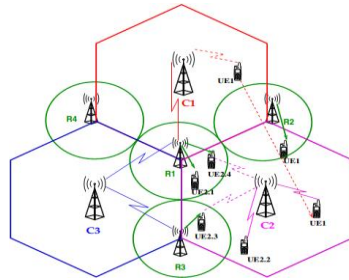
Chương 1 đã cung cấp những thông tin cơ bản về các HTTTVT sử dụng kỹ thuật chuyển tiếp; bao gồm: 1) hệ thống thông tin di động sử dụng các trạm chuyển tiếp, và 2) HTTTVT thế hệ mới với mô hình truyền thông đa chặng được minh họa điển hình với

mạng WSN MH LEACH. Qua khảo sát các nghiên cứu đã có, luận án đưa ra định hướng nghiên cứu: 1) duy trì kết nối và chất lượng kết nối với kỹ thuật chuyển tiếp, nâng cao xác suất chuyển giao thành công trong các vùng lưu lượng rất cao của cụm chuyển tiếp trong thông tin di động khi các trạm gốc đều đang bận; và 2) tính toán hiệu năng OP và IP toàn chặng của cụm truyền thông đa chặng với một trường hợp điển hình là cụm WSN MH LEACH trong điều kiện có tác nhân sử dụng kỹ thuật thu hoạch năng lượng để hợp tác gây nhiễu, ảnh hưởng của phần cứng không hoàn hảo và pha đỉnh Rayleigh. Các nội dung này sẽ được thực hiện trong các chương tiếp theo của luận án.

CHƯƠNG 2 GIẢI PHÁP DUY TRÌ VÀ CẢI THIỆN CHẤT LƯỢNG KẾT NỐI TRONG HỆ THỐNG THÔNG TIN VÔ TUYẾN SỬ DỤNG TRẠM CHUYỂN TIẾP

2.1 Tổng quan về kỹ thuật chuyển tiếp kênh CRS (Channel Relaying Strategy)

Mô hình tổng quát của kỹ thuật chuyển tiếp kênh CRS (Channel Relaying Strategy) trong HTTTVT sử dụng RS được mô tả như trong Hình 2.1. Mô hình này bao gồm 3 BS được ký hiệu C1, C2, và C3; 4 RS ký hiệu từ R1 đến R4 và các MU với các ký hiệu UE1, UE2.x (với $x = \{1, 2, 3, 4\}$)



Hình 2.1 Mô hình chuyển tiếp kênh CRS

để chỉ các MU thuộc vùng phục vụ của BS C1 và C2 tương ứng.

2.1.1 Kỹ thuật chuyển tiếp kênh tĩnh SCRS

SCRS được sử dụng để phục vụ các cuộc gọi mới trong các BS nóng như sau. Giả sử các BS C1 và C2 là các BS nóng, và C3 là BS lạnh. SCRS cho phép chuyển các kênh rãnh từ BS lạnh sang các BS nóng để phục vụ cuộc gọi mới thông qua RS như ví dụ: $C3 \rightarrow R1 \rightarrow UE2.1$. Tuy nhiên, luận án quan tâm duy trì kết nối cho các cuộc gọi HO, nên SCRS không nằm trong phạm vi tính toán.

2.1.2 Kỹ thuật chuyển tiếp kênh chuyển giao HCRS (Hand-over CRS)

HCRS được áp dụng để chuyển tiếp kênh cho UE1 trong Hình 2.1 khi MU này thực hiện cuộc gọi trong C1 và di chuyển sang C2 trong quá trình đàm thoại. Giả sử tất cả các kênh vô tuyến trong C2 đều đang bị chiếm, kỹ thuật chuyển tiếp kênh sẽ được thực hiện như sau: tìm một MU đang thực hiện cuộc gọi và chiếm kênh của C2 (UE2.4), đồng thời đứng trong vùng phục vụ của 1 trong 2 RS giữa C1 và C2 (R1) để thực hiện HCRS. Trong Hình 2.1, UE2.4 sẽ kết nối với R1 để sử dụng kênh mà UE1 đã trả lại cho C1 ($UE2.4 \rightarrow R1 \rightarrow C1$), sau đó UE2.4 trả lại kênh cho C2, để C2 phục vụ cuộc gọi HO của UE1 ($C2 \rightarrow UE1$).

2.2 Duy trì kết nối với kỹ thuật chuyển tiếp kênh

2.2.1 Duy trì kết nối khi các trạm gốc không dự trữ kênh để chuyển giao

Dựa trên nguyên lý của CRS, trong trường hợp lưu lượng tại một khu vực nào đó trong mạng tăng cao đột biến, các BS trong vùng đó dành toàn bộ dung lượng cho các cuộc gọi mới và không dự trữ một kênh vô tuyến nào cho các cuộc gọi HO. Việc duy trì kết nối để bảo đảm CDP sẽ được thực hiện nhờ HCRS.

2.2.2 Duy trì kết nối trong vùng lưu lượng cao

Điều kiện lưu lượng cao được thể hiện qua tốc độ thiết lập cuộc gọi λ (calls/time_unit) rất lớn, sao cho tất cả các TCH đều bị chiếm cho các cuộc gọi mới trước khi xảy ra HO trong mạng. Ngoài ra, thời gian gọi hay thời gian chiếm kênh cũng là một tham số làm tăng lưu lượng, và phụ thuộc vào loại hình cuộc gọi: cuộc gọi thoại thì thời gian chiếm kênh trung bình thường thấp hơn rất nhiều so với các cuộc gọi số liệu thời gian thực.

Xác suất chuyển giao thành công P_{hs} phụ thuộc vào xác suất có ít nhất một MU đang thực hiện cuộc gọi trong BS và đứng trong vùng phục vụ của RS và được tính như sau:

$$P_{hs} = P_r(1MU - trong - RS) = 1 - \left(1 - \frac{2 \cdot \frac{1}{3} \pi \left(\frac{R}{2} \right)^2}{\pi R^2} \right)^{N_c} = 1 - \left(\frac{5}{6} \right)^{N_c} \quad (2.1)$$

Với R và N_c là bán kính và dung lượng của BS.

Các kết quả tính toán P_{hs} với các dung lượng khác nhau của BS được thể hiện trong Bảng 2.1. Về mặt ý nghĩa, xác suất chuyển giao thành công quan hệ với CDP như sau: $CDP = 1 - P_{hs}$. Như vậy, việc đánh giá mức độ cải thiện CDP và P_{hs} là tương đương nhau trong luận án này.

Bảng 2.1 Xác suất chuyển giao thành công khi áp dụng HCRS

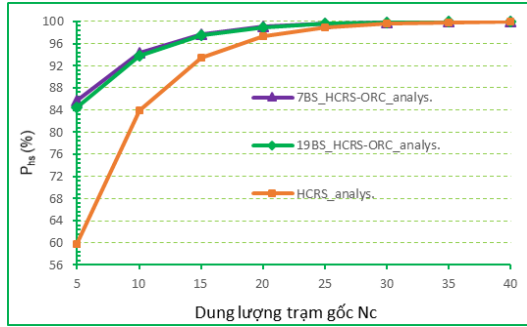
N_c	5	10	15	20	25	30
P_{hs} (%)	59.81	83.85	93.51	97.39	98.95	99.58

2.2.3 Duy trì kết nối khi các trạm gốc dự trữ một kênh để chuyển giao

Cơ sở của việc dự trữ kênh là căn cứ vào tính ưu tiên của các cuộc gọi chuyển giao. Mặc dù kỹ thuật HCRS để nâng cao xác suất thành công cho các cuộc gọi chuyển giao trong vùng nghẽn cục bộ đã được chứng minh như trong công thức (2.1) và thể hiện

trong Bảng 2.1. Tuy nhiên, trường hợp BS có dung lượng nhỏ hơn 20 TCH, giá trị CDP > 5% nên có thể xem xét giải pháp cải thiện. Dựa vào ưu điểm của HCRS, nghiên cứu sinh đề xuất dự trữ một kênh tại các BS. Các kết quả tính toán cho thấy việc dự trữ 1 kênh cải thiện được CDP ở vùng dung lượng BS $N_C < 20$ như mô tả trong Hình 2.3.

Hình 2.3 cho thấy rằng: về mặt lý thuyết, dự trữ 1 kênh HCRS-ORC tăng khả năng chuyển giao thành công từ gần 60% lên hơn 84%



với $N_C = 5$, và từ khoảng 84% lên khoảng 94% với $N_C = 10$ tương ứng. Song khi $N_C \geq 25$, việc sử dụng 1 kênh dự trữ không thực sự hiệu quả.

2.3 Kết quả mô phỏng

Thuật toán mô phỏng được thực hiện trong luận án theo lưu đồ như trong Hình 2.3. Các MU khởi tạo cuộc gọi mới trong các BS tương ứng, và luôn chiếm toàn bộ N_C kênh.

Bảng 2.2 HCRS cho các cuộc gọi số liệu thời gian thực

Vận tốc v (m/s)	[1, 5]
Thời gian đàm thoại t (phút)	[5, 10, 15, 20, 25, 30]
Số TCH (N_C)	[5, 10, 15, 20, 25, 30]
Bán kính BS R (m)	[300, 400, 500, 600, 700]

- **Thuật toán HCRS**

Thuật toán HCRS tìm cơ hội duy trì cuộc gọi HO cho một MU thông qua nguyên lý chuyển tiếp kênh như sau:

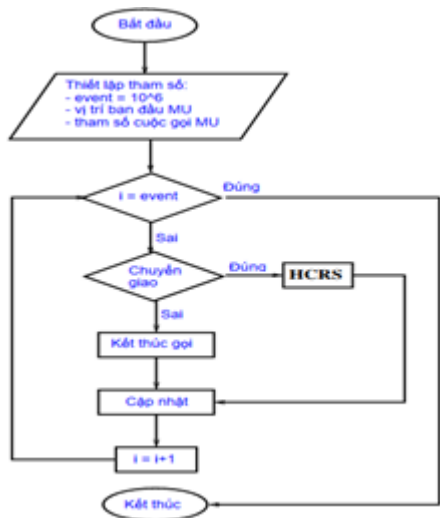
1: Function HCRS

```

2: FOR i = 1 to N % N: số BS trong vùng mạng%
3:     IF  $(x_{BS(i)} - x_{HO})^2 + (y_{BS(i)} - y_{HO})^2 < R^2$ 
4:         THEN T-BS = BS(i)
5:     ENDIF
6: RS-HO = INTERSECT(BIND(S-BS), BIND(T-BS))
7: FOR i = 1 to LENGTH(RS-HO)
8:     FOR j = 1 to Nc % Nc: dung lượng BS %
9:         IF  $(x_{RS-HO(i)} - x_j)^2 + (y_{RS-HO(i)} - y_j)^2 < (R/2)^2$ 
10:            THEN handover-success = handover-success + 1
11:            ELSE dropped = dropped + 1
12:         ENDIF
13:     ENDFOR
14: ENDFOR
15: END Function

```

Sau khi khởi tạo cuộc gọi, các MU sẽ di chuyển tự do và sẽ có 1 trong 2 sự kiện xảy ra: hoặc MU kết thúc cuộc gọi trong BS, hoặc chuyển giao HO. Nếu kết thúc cuộc gọi, sẽ kích hoạt ngay 1 cuộc gọi mới để đảm bảo các BS luôn bận. Nếu HO, sẽ thực hiện HCRS.



Hình 2.3 Lưu đồ thuật toán HCRS

Kết quả mô phỏng điển hình được thể hiện trong các bảng sau.

Bảng 2.5 P_{hs} (%) với $v = 1$ m/s, $N_C = 25$

$v =$ 1 m/s	$R(m)$	300	400	500	600	700
	N_C	25				
t (phút)	5	98.19	97.86	97.91	97.70	97.69
	10	98.66	98.22	97.90	97.26	98.09
	15	98.83	97.89	97.63	97.20	98.45
	20	98.95	98.72	98.50	98.48	98.56
	25	98.99	98.76	98.72	98.52	98.30
	30	99.01	98.88	98.56	98.10	97.90

Bảng 2.8 P_{hs} (%) với $v = 5$ m/s, $N_C = 30$

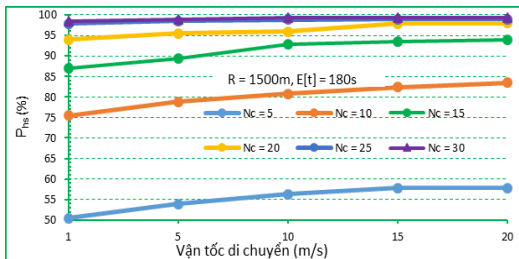
$v =$ 5 m/s	$R(m)$	300	400	500	600	700
	N_C	30				
t (phút)	5	99.56	99.54	99.54	99.53	99.43
	10	99.64	99.59	99.59	99.62	99.56
	15	99.71	99.66	99.62	99.64	99.64
	20	99.70	99.71	99.68	99.66	99.67
	25	99.70	99.71	99.69	99.69	99.63
	30	99.70	99.68	99.71	99.69	99.68

Có thể nhận thấy rằng các kết quả mô phỏng phù hợp với các phân tích lý thuyết như trong Bảng 2.1.

Bảng 2.9 HCRS cho cuộc gọi thoại

v (m/s)	1	5	10	15	20	1	5	10	15	20	1	5	10	15	20
t (s)	120					150					180				
N_C	[5, 10, 15, 20, 25, 30]														
R (m)	1500														

Hình 2.8 thể hiện giá trị P_{hs} (%) với các giá trị khác nhau của N_C , vận tốc với $R=1500m$, $E[t] = 180$ giây.



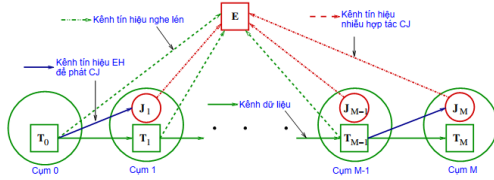
2.5 Kết luận chương 2

Chương 2 đã phân tích giải pháp khai thác hiệu quả RS trong việc sử dụng kỹ thuật chuyển tiếp để duy trì kết nối cho các cuộc gọi chuyển giao nhằm cải thiện chỉ số hiệu năng CDP trong một vùng mạng có lưu lượng cao, khi mà tất cả các kết nối vô tuyến của các BS trong vùng đều đã bị chiếm bởi các cuộc gọi mới. Với điều kiện lưu lượng như vậy, các cuộc gọi HO trong vùng mạng đã cho đều thất bại với $CDP = 1$ ($P_{hs} = 0$) nếu không áp dụng HCRS. Khi áp dụng HCRS, $P_{hs} \geq 99,5\%$ với $N_C = 30$.

CHƯƠNG 3 TÍNH TOÁN XÁC SUẤT DỪNG VÀ XÁC SUẤT CHẶN TOÀN CHẶNG ĐỂ BẢO ĐẢM DUY TRÌ KẾT NỐI TRONG HỆ THỐNG VÔ TUYẾN CHUYỂN TIẾP ĐA CHẶNG

3.1 Mô hình và phương thức tính toán OP và IP cho HTTTVT chuyển tiếp đa chặng

Mô hình tính toán được mô tả trong Hình 3.1, các nút chủ cụm CH được



ký hiệu T_0, T_1, \dots, T_M , nút thu thập trái phép E, các nút gây nhiễu J_1, J_2, \dots, J_M thuộc các cụm 1, 2, ..., M tương ứng. Các J_i ($i = 1, \dots, M$) thực hiện thu hoạch năng lượng từ nút CH của cụm liền kề phía trước, và hợp tác với các CH để gây nhiễu lên nút E.

3.1.1 Tính toán OP

$$OP = \Pr\left(\min_{m=1,2,\dots,M} (C_{D,m}) < C_{th}\right) = 1 - \prod_{m=1}^M (1 - OP_m) \quad (3.11)$$

$OP_m = \Pr(C_{D,m} < C_{th})$ là OP tại chặng thứ m , $C_{D,m}$ và C_{th} là dung lượng tức thời tại chặng m và dung lượng ngưỡng.

$$OP_m = \Pr\left(\frac{\Delta\psi_{T_{m-1}, T_m}}{\tau_D^2 \Delta\psi_{T_{m-1}, T_m} + 1} < \rho\right) = \Pr\left((1 - \tau_D^2 \rho) \Delta\psi_{T_{m-1}, T_m} < \rho\right) \quad (3.12)$$

$$OP = 1 - \prod_{m=1}^M \exp\left(-\frac{\Omega_{T_{m-1}, T_m} \rho}{(1 - \tau_D^2 \rho) \Delta}\right)$$

Khi tỉ số công suất tín hiệu trên nhiễu SNR lớn ($\Delta \rightarrow +\infty$):

$$OP \approx \sum_{m=1}^M OP_m = \sum_{m=1}^M \frac{\Omega_{\tau_{m-1}, \tau_m} \rho}{(1 - \tau_D^2 \rho) \Delta} \quad (3.16)$$

3.1.2 Tính toán IP

Tương tự như tính toán OP, IP được tính như sau:

$$IP = \Pr\left(\max_{m=1,2,\dots,M} (C_{E,m}) \geq C_{th}\right) = 1 - \prod_{m=1}^M \Pr(C_{E,m} < C_{th}) \quad (3.17)$$

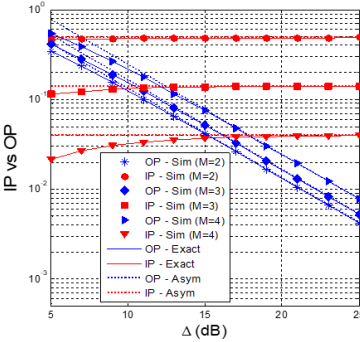
Với: $E_1(\cdot)$ là hàm tích phân mũ, và:

$$IP = 1 - \prod_{m=1}^M \left[1 - \theta_m \exp(\theta_m - \Omega_{\tau_{m-1}, E} \omega_1) E_1(\theta_m)\right] \quad (3.23)$$

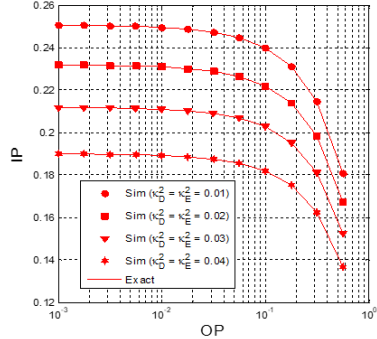
Tại vùng SNR lớn ($\Delta \rightarrow +\infty$):

$$IP \approx 1 - \prod_{m=1}^M \left[1 - \theta_m \exp(\theta_m) E_1(\theta_m)\right] \quad (3.25)$$

3.1.3 Các kết quả mô phỏng



Hình 3.2 Quan hệ giữa OP và IP với SNR



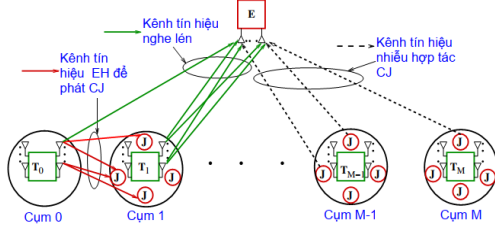
Hình 3.5 OP và IP với M=3 và phần cứng không hoàn hảo

Trên Hình 3.2: khi Δ tăng lên, các giá trị OP giảm đi, còn các giá trị IP tăng ở các vùng có SNR thấp rồi sau đó đạt tới một hằng số và không tăng nữa ở vùng có SNR cao; khi số chặng tăng lên, các giá trị OP và IP đều giảm đi. Trên Hình 3.5: khi mức độ không hoàn hảo của thiết bị tăng lên, tức là mức suy hao phần cứng gây

ra bởi sự không hoàn hảo của thiết bị tăng lên sẽ tác động lên IP cao hơn tác động lên OP.

3.2 Mô hình và phương thức tính toán OP và IP cho mạng LEACH MIMO đa chặng

Hình 3.6 mô tả hệ thống MH LEACH MIMO sử dụng kỹ thuật EH để gây nhiễu nhằm chống lại sự khai thác



thông tin trái phép của nút E. Mô hình MIMO trong nghiên cứu này được thực hiện bằng việc thay thế các nút CH (các T_m trong các cụm) và nút E sử dụng một ăng ten bằng các nút sử dụng nhiều ăng ten. Có 3 mô hình tính toán được đề xuất cho MH LEACH MIMO: Mô hình BA-BJ (Best Antenna-Best Jammer), Mô hình RA-AJ (Random Antenna-All Jammer), và Mô hình AA-AJ (All Antenna-All Jammer).

3.2.1 Tính OP toàn chặng

$$\begin{aligned} OP_{e2e} &= \Pr(C_D^{e2e} < C_{th}) \\ &= 1 - \prod_{m=1}^M (1 - \Pr(C_{D,m} < C_{th})) = 1 - \prod_{m=1}^M (1 - OP_m) \end{aligned} \quad (3.42)$$

Với $C_D^{e2e} = \min_{m=1,2,\dots,M} (C_{D,m})$, khi đó:

$$OP_m = \Pr\left(\psi_{T_{m-1}^u T_m^v} < \frac{\rho_{th}}{(1 - \mu_D^2 \rho_{th}) \Delta}\right) = \prod_{u=1}^{N_T} \prod_{v=1}^{N_T} \Pr\left(\psi_{T_{m-1}^u T_m^v} < \frac{\rho_{th}}{(1 - \mu_D^2 \rho_{th}) \Delta}\right) \quad (3.44)$$

$$= \left[1 - \exp\left(-\frac{\Omega_{T_{m-1} T_m} \rho_{th}}{(1 - \mu_D^2 \rho_{th}) \Delta}\right)\right]^{N_T^2}$$

$$OP_{e2e} \stackrel{\Delta \rightarrow +\infty}{\approx} \sum_{m=1}^M OP_m \stackrel{\Delta \rightarrow +\infty}{\approx} \sum_{m=1}^M \left[\frac{\Omega_{T_{m-1} T_m} \rho_{th}}{(1 - \mu_D^2 \rho_{th}) \Delta}\right]^{N_T^2} \quad (3.46)$$

Thay thế OP_m trong công thức (3.44) vào (3.42) sẽ nhận được công thức tường minh của OP_{e2e} . Đồng thời, tại vùng SNR lớn, giá trị tiệm cận của OP_{e2e} được tính như trong (3.46).

3.2.2 Tính IP toàn chặng

$$IP_Z^{e2e} = \Pr(C_E^{e2e,Z} \geq C_{th}) = 1 - \prod_{m=1}^M \Pr(C_{E,m}^Z < C_{th}) = 1 - \prod_{m=1}^M \overline{IP}_m^Z \quad (3.47)$$

Với $Z \in \{BA-BJ, RA-AJ, AA-AJ\}$.

3.2.2.1 Mô hình BA-BJ

$$IP_{e2e}^{BA-BJ} = 1 - \prod_{m=1}^M \left[1 + \sum_{p=1}^{N_E} \sum_{u=0}^{N_T K_m - 1} (-1)^{p+u} C_{N_E}^p C_{N_T K_m - 1}^u N_T K_m \times \exp((u+1)\Omega_{T_{m-1}T_m} \theta_{1,p} - p\Omega_{T_{m-1}E} \omega_2) \times \Omega_{T_{m-1}T_m} \theta_{1,p} E_1((u+1)\Omega_{T_{m-1}T_m} \theta_{1,p}) \right] \quad (3.57)$$

3.2.2.2 Mô hình RA-AJ

$$IP_{e2e}^{RA-AJ} = 1 - \prod_{m=1}^M \left[1 + \sum_{p=1}^{N_E} (-1)^p C_{N_E}^p \exp(K_m \Omega_{T_{m-1}T_m} \theta_{1,p} - p\Omega_{T_{m-1}E} \omega_2) \times \left[\Omega_{T_{m-1}T_m} \theta_{1,p} E_1(\Omega_{T_{m-1}T_m} \theta_{1,p}) \right]^{K_m} \right] \quad (3.62)$$

3.2.2.3 Mô hình AA-AJ

Giá trị IP của mô hình AA-AJ được tính ngắn gọn như sau đây:

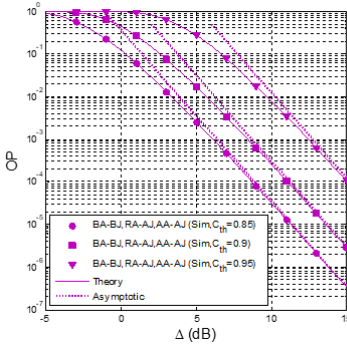
$$IP_{e2e}^{AA-AJ} = 1 - \prod_{m=1}^M [1].$$

$$\prod_{m=1}^M [1] = \prod_{m=1}^M \left[1 + \sum_{p=1}^{N_E} (-1)^p C_{N_E}^p \exp(K_m \Omega_{T_{m-1}T_m} - p\Omega_{T_{m-1}E} \omega_2) \times \dots \times \prod_{p=1}^{K_m} \frac{1}{(N_T - 1)!} \times \left[(-1)^{N_T - 1} (\theta_{1,p} \Omega_{T_{m-1}T_m})^{N_T} E_1(\Omega_{T_{m-1}T_m} \theta_{1,p}) + \sum_{q=0}^{N_T - 2} (-1)^q C_{N_T - 1}^q (\Omega_{T_{m-1}T_m} \theta_{1,p})^{q+1} \Gamma(N_T - 1 - q, \Omega_{T_{m-1}T_m} \theta_{1,p}) \right] \right]$$

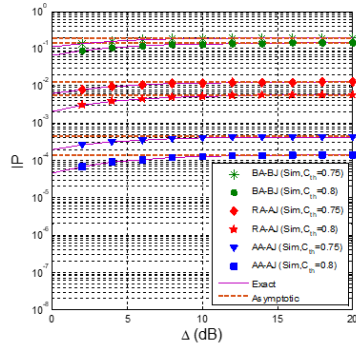
Các tính toán chi tiết được thể hiện trong luận án.

3.2.5 Các kết quả mô phỏng

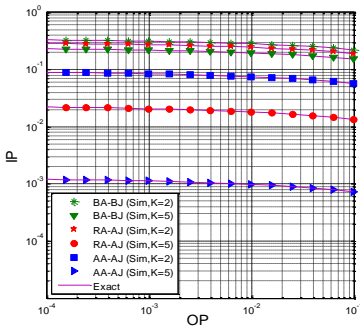
Hình 3.7 và Hình 3.8 mô tả mối quan hệ giữa OP và IP với Δ với hệ số thời gian dành cho EH là $\alpha = 0.1$, độ không hoàn hảo của phần cứng $\mu_D^2 = \mu_E^2 = 0.05$ với các giá trị dung lượng ngưỡng C_{th} khác nhau. Hình 3.14 và Hình 3.15 mô tả mối quan hệ giữa OP và IP với các tham số hệ thống khác nhau. Có thể nhận thấy rằng IP tăng khi OP giảm; mô hình AA-AJ đạt được giá trị IP tốt nhất với cùng một mức OP; với cùng mức OP và số chặng $M = 3$, IP giảm một cách đáng kể khi số nút trong cụm tăng.



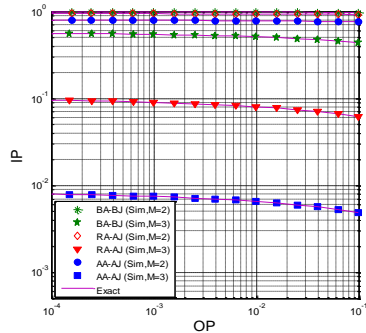
Hình 3.7 OP (Δ) với $M=4$, $N_T=2$, $N_E=3$, $K=4$



Hình 3.8 IP (Δ) với $M=4$, $N_T=2$, $N_E=3$, $K=4$



Hình 3.14 OP và IP với số nút trong cụm



Hình 3.15 OP và IP với số chặng

3.4 Kết luận chương 3

Chương 3 đã thực hiện nghiên cứu giải pháp duy trì kết nối trong HTTTVT sử dụng kỹ thuật chuyển tiếp với việc sử dụng một vùng mạng chuyển tiếp đa chặng điển hình là mô hình WSN MH LEACH. Các tham số hiệu năng quan trọng nhất liên quan đến hoạt động của mô hình này là xác suất dừng OP và xác suất chặn IP toàn chặng do hệ thống sẽ ngừng làm việc, kết nối trong HTTTVT sẽ bị gián đoạn khi OP và IP tăng lên vượt quá một giá trị ngưỡng cho phép. Hai kiến trúc cụ thể đã được đề xuất là WSN MH LEACH với các nút mạng đơn ăng ten và kiến trúc WSN MH LEACH MIMO có các nút đa ăng ten. Kỹ thuật thu hoạch năng lượng và hợp tác tạo nhiễu được áp dụng. Từ những đề xuất cụ thể cho một mô hình điển hình của vùng mạng HTTTVT chuyển tiếp đa chặng sử dụng mô hình WSN MH LEACH, nội dung chương 3 đã đưa ra được các biểu thức toán học tường minh cho tính toán chính xác các giá trị OP và IP toàn chặng trong điều kiện xem xét đầy đủ các tham số cần thiết liên quan và tỉ lệ tín hiệu nhiễu ở mức cao.

KẾT LUẬN

Luận án đã hoàn thành mục tiêu nghiên cứu cải thiện hiệu năng hệ thống thông tin vô tuyến sử dụng kỹ thuật chuyển tiếp thông qua 2 đóng góp mới về khoa học như sau:

- 1) Đề xuất giải pháp tận dụng hiệu quả hoạt động của các trạm chuyển tiếp RS để hỗ trợ chuyển giao thành công, giảm tối thiểu xác suất rớt cuộc gọi chuyển giao thời gian thực trong các vùng có lưu lượng rất cao có nguy cơ nghẽn cục bộ. Việc khai thác hiệu quả hoạt động của RS cho phép tận dụng tối đa tài nguyên vô tuyến trong các HTTTVT thế hệ mới sử

dụng kỹ thuật chuyển tiếp để cải thiện hiệu năng CDP, duy trì kết nối chuyên giao trong các hệ thống này. Các kết quả nghiên cứu đã thể hiện trong các công bố [J.02-J.04].

- 2) Đưa ra các biểu thức mới trong tính toán OP và IP toàn chặng tương ứng với các mô hình nghiên cứu mới với độ phức tạp hơn để đánh giá độ ổn định kết nối của HTTTVT sử dụng kỹ thuật chuyển tiếp. Các biểu thức toán học tường minh của OP và IP toàn chặng là đóng góp chính của nội dung này. Các kết quả nhận được từ việc tính toán và mô phỏng được công bố trong [C.01] và [J.01].

Các hướng có thể phát triển tiếp của luận án bao gồm:

- Tính toán khả năng thành công của chuyển tiếp kênh với các băng thông khác nhau của UE; tính toán CDP với các RS di động trong các mô hình mạng khác nhau của HTTTVT thế hệ mới.
- Khảo sát, tính toán OP và IP toàn chặng trong các điều kiện Fading khác nhau với sự lựa chọn các yếu tố tác động khác nhau của các mô hình mạng ứng dụng cụ thể.

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

- [C.01] Ngo The Anh, Ha Duy Hung, Tran Trung Duy, Hoang Dang Hai, and Nguyen Canh Minh (2019), “Reliability-Security Analysis for Harvest-to-Jam based Multi-hop LEACH Networks under Impact of Hardware Noises”, *IEEE 2019 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC)*, pp.174-178, (Scopus Index).
- [J.01] Ngo The Anh , Nguyen Canh Minh , Tran Trung Duy, Tan Hanh, Hoang Dang Hai (2021), “Reliability_Security Analysis for Harvest-to-Jam based Multi-hop Cluster MIMO Networks Using Cooperative Jamming Methods Under Impact of Hardware Impairments”, *EAI Endorsed Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems*, 8(28), e5, pp.1-14, (Scopus Index).
- [J.02] ANH, NGO The; HAI, HOANG Dang; MINH, NGUYEN Canh (2017), “Minimising reserved channels to satisfy handover requests for voice calls in mobile communication systems using handover channel relaying strategy”, *Journal of Science and Technology on Information and Communications*, [S.l.], v. 1, n. 1, pp.8-13, ISSN 2525-2224.
- [J.03] Ngô Thế Anh, Hoàng Đăng Hải, Nguyễn Cảnh Minh (2016), “Tăng tỷ lệ thành công các cuộc gọi chuyển giao trong các hệ thống thông tin di động không dự trữ kênh bằng chuyển tiếp kênh”, *Tạp chí Khoa học Công*

nghe Thông tin và Truyền thông, Học viện công nghệ Bưu chính Viễn thông, Số 2, trang 27-34.

- [J.04]** Ngô Thế Anh, Trần Huỳnh Minh Tân, Phạm Huyền Trang, Lê Ngọc Thạch (2022), “Cải thiện hoạt động của các trạm chuyển tiếp để duy trì kết nối cho các cuộc gọi chuyển giao trong hệ thống 4G LTE bằng kỹ thuật chuyển tiếp kênh”, Tạp chí Khoa học Giao thông Vận tải, Tập 73, Số 5 (06/2022), trang 526-539.