



IMPROVING THE OPERATION OF RELAY STATIONS TO MAINTAIN THE CONNECTIONS FOR HANDOVER CALLS IN 4G LTE SYSTEM BY CHANNEL RELAYING STRATEGY

Ngo The Anh*, Tran Huynh Minh Tan, Pham Huyen Trang, Le Ngoc Thach

University of Transport and Communications – Campus in Ho Chi Minh City, 450 Le Van Viet, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 14/04/2022

Revised: 01/06/2022

Accepted: 08/06/2022

Published online: 15/06/2022

<https://doi.org/10.47869/tcsj.73.5.7>

* *Corresponding author*

Email: anhnt_ph@utc.edu.vn; Tel: +84 948866699

Abstract. In general, Relay Stations (RS) have been used in the 4G LTE systems to extend the coverage or to improve the wireless links in a certain area of a certain Base Station (BS) via relaying the information between BS and particular Mobile User (MU). This use of RS leads to the use of frequency resource assigned to BS has really not been optimised. Moreover, maintaining the radio connection for handover calls in mobile communication systems still remain the challenge to both researchers and services providers. The use of RS to enhance the successful probability for handover calls as well as to utilise efficiency the frequency resource is the interesting topic for researchers. In this paper, RS not only helps the BS to expend the coverage but also to exploit capacity maximally for new calls while still satisfy the channel requests for handover calls from MU, even from MU using real time data services. Furthermore, the use of RS in this paper also provided an additional view to the researchers in term of channel allocation to BS efficiency to optimise the channel utilisation in the system. The simulation results show that when the BS have been assigned 30 frequency channels, the use of RS allows to guarantee the probability of handover success is above 99.9%.

Keywords: relay station, handover, quality of service, real time data connection, frequency resource utilisation, 4G-LTE.



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

Ngô Thế Anh*, Trần Huỳnh Minh Tân, Phạm Huyền Trang, Lê Ngọc Thạch

Trường Đại học Giao thông vận tải – Phân hiệu tại Thành phố Hồ Chí Minh, Số 450 Lê Văn Việt, Thành phố Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 14/04/2022

Ngày nhận bài sửa: 01/06/2022

Ngày chấp nhận đăng: 08/06/2022

Ngày xuất bản Online: 15/06/2022

<https://doi.org/10.47869/tcsj.73.5.7>

* Tác giả liên hệ

Email: anhnt_ph@utc.edu.vn; Tel: +84 948866699

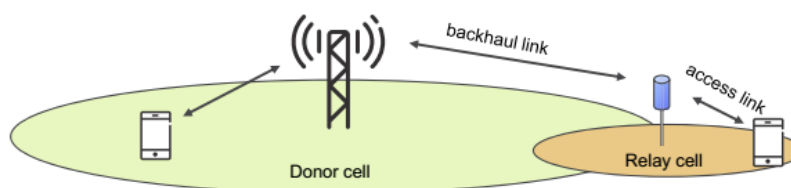
Tóm tắt. Thông thường, các trạm chuyển tiếp RS (Relay Station) được sử dụng trong các hệ thống 4G LTE với mục đích mở rộng vùng phục vụ hoặc cải thiện chất lượng phủ sóng cho một vùng của một trạm gốc BS (Base Station) nào đó thông qua việc chuyển tiếp các thông tin giữa trạm gốc BS tới một người sử dụng di động MU (Mobile User) cụ thể. Điều này làm cho việc sử dụng tài nguyên tần số vô tuyến được cấp phát cho các BS chưa thực sự tối ưu. Ngoài ra, việc duy trì kết nối cho các cuộc gọi chuyển giao trong các hệ thống thông tin di động vẫn luôn là một thách thức với cả các nhà nghiên cứu và các nhà cung cấp dịch vụ di động. Việc sử dụng các RS để nâng cao tỉ lệ thành công cho các cuộc gọi chuyển giao cũng như tận dụng hiệu quả tài nguyên tần số là một đề tài hấp dẫn cho các nhà nghiên cứu. Trong bài báo này, các RS được sử dụng không những để mở rộng vùng phủ của các BS mà còn giúp cho BS khai thác tối đa dung lượng cho các cuộc gọi mới mà vẫn đáp ứng được yêu cầu phục vụ của các cuộc gọi chuyển giao, kể cả với các MU sử dụng dịch vụ dữ liệu (data) thời gian thực. Hơn nữa, việc sử dụng các RS đã giúp cho các nhà khai thác mạng có thêm một góc nhìn về việc cấp phát dung lượng hợp lý cho các BS nhằm tối ưu hóa bài toán sử dụng tần số trong hệ thống. Các kết quả mô phỏng chỉ ra rằng khi các BS được cấp 30 kênh tần số, việc sử dụng RS cho phép bảo đảm xác suất chuyển giao thành công trên 99,9%.

Từ khóa: trạm chuyển tiếp, chuyển giao, chất lượng dịch vụ, kết nối dữ liệu thời gian thực, tận dụng tài nguyên tần số, 4G-LTE.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, các hệ thống thông tin di động thế hệ thứ tư 4G LTE (4th Generation Long Term Evolution) đã được thương mại hóa rộng rãi để đáp ứng cho các dịch vụ di động tốc độ cao. Nói một cách khác, có thể coi 4G LTE là hệ thống di động băng rộng đầy đủ đầu tiên trong các thế hệ thông tin di động dựa trên những thông số như là: tốc độ dữ liệu cung cấp cho MU đạt tới 300 Mbit/s với băng thông 20 MHz [1]. Để đạt được những kết quả ấn tượng đó, các hệ thống 4G LTE đòi hỏi một băng tần tương ứng đủ lớn. Tuy nhiên, tài nguyên tần số cung cấp cho các hệ thống thông tin di động đang ngày càng trở nên khan hiếm. Trong khi đó, các yêu cầu về băng tần mới cho việc khai thác và mở rộng hệ thống của các nhà cung cấp dịch vụ viễn thông di động vẫn không ngừng tăng lên [2]. Trong khi chờ đợi các nguồn tài nguyên mới được phê duyệt một cách rất hạn chế, các nhà cung cấp dịch vụ di động phải tận dụng băng tần đã được cung cấp để bảo đảm chất lượng dịch vụ QoS (Quality of Service) trong hoạt động của hệ thống, đặc biệt là hoạt động chuyển giao [3-8].

Chuyển giao là kết quả của việc các MU di chuyển tự do trong khi đang sử dụng dịch vụ mạng và là một hoạt động cơ bản của hệ thống thông tin di động. Trong hoạt động chuyển giao này, việc bảo đảm kết nối cho các MU khi di chuyển thực sự là một thách thức cho cả các nhà nghiên cứu và các nhà cung cấp dịch vụ di động [4-8]. Đặc biệt, việc gia tăng đáng kể các loại hình dịch vụ số liệu (data) thời gian thực như cuộc gọi hình ảnh (video call), các ứng dụng đòi hỏi các kết nối trực tiếp với băng tần lớn khi MU di chuyển như hội nghị truyền hình, giáo dục trực tuyến, y tế từ xa đã lại một lần nữa đặt ra các thách thức về băng tần và chất lượng dịch vụ tương ứng đối với các nhà khai thác mạng lưới [9]. Một cách ngắn gọn, việc tận dụng tài nguyên tần số để bảo đảm chỉ tiêu QoS thông qua chỉ số xác suất rớt cuộc gọi (call dropping propability) trong 4G LTE cho cả 2 loại hình dịch vụ thoại (voice) và số liệu (data) vẫn luôn được đặt ra cho các nhà nghiên cứu.



Hình 1. Chuyển tiếp trong 4G LTE [1].

Trong [1], các RS được sử dụng như là một trạm lặp (repeater) để cải thiện vùng phủ sóng của các BS như mô tả trong hình 1, trong đó “Donor cell” là trạm gốc (còn được gọi là eNode B hay Node B cải tiến trong các hệ thống 4G LTE), còn “Relay cell” là trạm chuyển tiếp. Mô hình chuyển tiếp này được đề xuất bắt đầu từ phiên bản phát hành thứ 10 (Release 10) của hệ thống 4G LTE, trong đó có 2 đường kết nối vô tuyến là đường “backhaul” giữa BS đến RS, và đường “access” giữa RS và MU. Đường “backhaul” là “đường chính” được sử dụng cho các kết nối chính thức giữa BS và các node (bao gồm cả UE và RS), còn đường “access” là đường “truy nhập” mang ý nghĩa là giúp cho các UE truy nhập vào mạng lõi (tới BS) thông qua RS. Mỗi đường kết nối nằm trong một băng tần tương ứng trong hệ thống. Như vậy, RS phải hoạt động được cùng một lúc trên cả 2 băng tần này nên dẫn tới việc xảy ra nhiễu giữa các tần số ngay tại chính RS. Ngoài ra, các RS có thể hoạt động ở một trong hai chế độ: khuếch đại chuyển tiếp AF (Amplify and Forward) hoặc giải mã rồi mới chuyển tiếp DF (Decoded and Forward). Trong chế độ AF, các RS sẽ khuếch đại luôn cả các tín hiệu nhiễu can thiệp vào đường truyền vô tuyến nên thường ảnh hưởng đến giá trị của tỉ số tín hiệu và nhiễu SNR (Signal to Noise Ratio). Tuy nhiên, cơ chế hoạt động của AF thường đơn giản

và thời gian trễ là nhỏ do không cần phải xử lý tín hiệu tại RS. Ngược lại, cơ chế hoạt động của DF cần thời gian giải mã và khôi phục tín hiệu tại RS rồi mới phát tới đích nên phức tạp hơn, cũng như thời gian trễ lớn hơn nhưng giá trị SNR đạt được trong cơ chế DF khá tốt do tín hiệu nhiễu đã được khử bỏ tại RS trước khi phát đi. Cho dù hoạt động ở cơ chế nào, các RS cũng chỉ đơn thuần là các trạm lặp để cải thiện chỉ số SNR nhằm đạt được giá trị dung lượng kênh (channel capacity) tối đa trên một kênh vô tuyến. Các tính toán này cho phép đạt được các giá trị tiệm cận với dung lượng kênh Shannon [10-11] và cải thiện một cách đáng kể các thông số mạng như là xác suất dừng (Outage Probability), thông lượng (throughput), và trễ (delay). Các nghiên cứu theo hướng này tiếp cận với chuyển tiếp trên quan điểm của chuyển tiếp lớp vật lý, tức là cải thiện các tham số trên đường truyền vật lý để đạt được các giá trị tốt nhất trên kênh truyền dẫn được cung cấp. Trong khi đó, câu hỏi về việc dung lượng kênh vô tuyến của hệ thống được khai thác và tận dụng như thế nào thì không được đề cập trong các tài liệu này. Đặc biệt, làm thế nào để đảm bảo QoS trong trường hợp lưu lượng của một vùng nào đó trong hệ thống tăng lên một cách đột biến trong một khoảng thời gian nhất định vẫn là một thách thức lớn cần được nghiên cứu. Một cách ngắn gọn, các chuyển tiếp lớp vật lý sẽ cải thiện các hiệu năng mạng sau khi các kênh vô tuyến đã được phân chia cho các MU. Ngược lại, trước khi các kênh vô tuyến được phân chia, và kỹ thuật phân chia để bảo đảm tài nguyên vô tuyến được tận dụng tốt nhất nhằm thỏa mãn các yêu cầu kết nối của các MU, đặc biệt là các yêu cầu cấp kênh cho các cuộc gọi chuyển giao của MU không được giải quyết ở lớp vật lý mà nằm ở các lớp cao hơn. Đây chính là động lực đầu tiên cho nghiên cứu trong bài báo này.

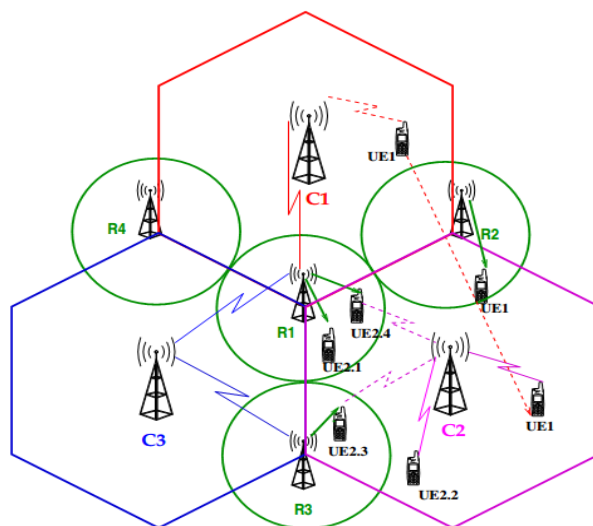
Trong các hệ thống thông tin di động, có 2 loại hình cuộc gọi là: cuộc gọi mới và cuộc gọi chuyển giao. Cuộc gọi mới được hiểu là các cuộc gọi xuất phát từ các MU khi lần đầu mở máy và quay số để yêu cầu kết nối, còn cuộc gọi chuyển giao là khi các MU đang trong một cuộc gọi và di chuyển sang vùng phục vụ của một BS khác. Cả 2 loại hình cuộc gọi này đều yêu cầu được cấp kênh vô tuyến để có thể kết nối và sử dụng dịch vụ mạng nhưng hệ thống sẽ đáp ứng khác nhau cho các yêu cầu này. Đối với cuộc gọi chuyển giao, việc bị ngắt ngang cuộc đàm thoại sẽ mang đến cảm giác khó chịu và nhiều lời phàn nàn từ khách hàng hơn là việc thông báo tạm thời chưa thể phục vụ và đề nghị thực hiện lại cuộc gọi. Như vậy, cuộc gọi chuyển giao luôn có mức độ ưu tiên cao hơn, và thông thường, để bảo đảm chỉ số rớt cuộc gọi cho phép, các nhà cung cấp dịch vụ di động cần phải sử dụng kỹ thuật dự trữ kênh [5-6, 12-13]. Trong trường hợp này, dung lượng của các BS không được sử dụng tối đa cho các cuộc gọi mới. Kỹ thuật chuyển tiếp kênh CRS (Channel Relaying Strategy) được đề xuất để tận dụng tối đa dung lượng các BS cho các cuộc gọi mới mà vẫn bảo đảm được kết nối hợp lý cho các cuộc gọi chuyển giao [4]. Trong CRS, các RS được sử dụng để hoán đổi kênh (channel swapping) giữa các BS nguồn (nơi MU đang được phục vụ) và BS đích (nơi MU sẽ chuyển giao tới) nên không yêu cầu việc dự trữ kênh cho các cuộc gọi chuyển giao ở các BS. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, tác giả chỉ mới tính toán cho các cuộc gọi thoại (voice calls) với thời gian kết nối ngắn mà chưa tính toán đến các cuộc gọi số liệu thời gian thực với thời gian chiếm kênh lâu hơn rất nhiều so với thời gian chiếm kênh của các cuộc gọi thoại. Hơn nữa, các tính toán trong [4] được áp dụng với các BS có bán kính phủ sóng lớn, trong khi các BS của 4G LTE có bán kính phủ sóng nhỏ hơn. Đây chính là động lực tiếp theo cho các tính toán trong bài báo này.

Phần còn lại của bài báo được cấu trúc như sau đây. Mục 2 sẽ mô tả nguyên lý CRS. Mục 3 sẽ phân tích các nội dung về duy trì kết nối cho các cuộc gọi chuyển giao trong 4G LTE áp dụng CRS. Mục 4 sẽ trình bày các kết quả tính toán, và Mục 5 sẽ kết luận bài báo.

2. NGUYÊN LÝ CHUYỂN TIẾP KÊNH CRS

Trong thực tế, các MU thường phân bố không đồng đều và lưu lượng trong hệ thống cũng không đồng đều giữa các BS. Do đó, với cùng một lượng tài nguyên tần số như nhau, có thể xảy ra hiện tượng thừa và thiếu kênh tần số một cách tương đối giữa các BS. Tức là, khi lưu lượng ở một vài BS nào đó tăng lên một cách cục bộ (thường xảy ra khi có các sự kiện tập trung đông người như các lễ hội, hội nghị, các khu vui chơi vào các ngày cuối tuần) thì các BS này sẽ không đủ tài nguyên tần số để đáp ứng cho các yêu cầu gọi của các MU khi mà tất cả các kênh tần số trong các BS này đều đã bị chiếm dụng; đồng thời, nếu như các MU di chuyển và tập trung cục bộ tại một vài BS liên quan đến các sự kiện đó thì các BS lân cận lại có lưu lượng thấp hơn hẳn nên không sử dụng hết các kênh tần số được cung cấp [4-5, 14]. Các BS có lưu lượng cao và thiếu kênh tần số được gọi là các BS “nóng”, còn các BS có lưu lượng thấp và thừa kênh tần số được gọi là các BS “lạnh”. Trước khi có kỹ thuật CRS, người ta đã nghiên cứu và đề xuất kỹ thuật mượn kênh nhưng kỹ thuật này gặp phải các vấn đề như là nhiễu đồng kênh làm hạn chế khả năng mượn kênh tự do hoặc làm tăng tỉ lệ chuyển giao nội vùng trong BS (inner-cell handover) làm tăng yêu cầu xử lý chuyển giao trong hệ thống. Do đó, kỹ thuật mượn kênh đã không khai thác một cách hiệu quả các tần số rảnh ở các BS “lạnh” [14]. CRS đã khắc phục các nhược điểm và hiện thực hóa bài toán mượn kênh thông qua việc sử dụng các RS đặt ở giữa các BS để cho phép chuyển tiếp các lưu lượng vượt ngưỡng từ các BS “nóng” sang các BS “lạnh” một cách tự do mà không gặp phải các hạn chế về nhiễu cũng như làm giảm tỉ lệ cuộc gọi chuyển giao trong hệ thống [4-5].

2.1. Mô hình nguyên lý và các yêu cầu của CRS



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý CRS.

Mô hình CRS được thể hiện như trong hình 2, trong đó có 3 BS và 4 RS tương ứng là C1, C2, C3, và R1, R2, R3, và R4. Vị trí của các và bán kính phục vụ của các RS là nằm tại đỉnh của các BS với bán kính bằng một nửa bán kính của BS như đã được phân tích trong [4-5]. Có 2 loại CRS tương ứng với 2 loại hình cuộc gọi: CRS tĩnh SCRS (Static CRS) cho các cuộc gọi mới và CRS chuyển giao HCRS (Handover CRS) cho các cuộc gọi chuyển giao.

Để có thể mô tả một cách ngắn gọn các nguyên lý của SCRS và HCRS, giả sử rằng C1 và C2 là các BS “nóng”, và C3 là BS “lạnh”. Ngoài ra, các BS làm việc trên các kênh tần số của 4G LTE, còn các RS làm việc trên các kênh tần số của chuyển tiếp (thường được đề xuất là

vùng tài nguyên ISM (Industry, Science, và Medicine) dùng cho Công nghiệp, Khoa học, và Y tế tương ứng. Tuy nhiên, để hệ thống có thể làm việc được, các RS phải kết nối được với cả BS và MU trên các kênh 4G LTE và ISM. Điều này cũng đồng nghĩa với việc các MU cũng phải có khả năng hoạt động trên băng tần ISM để kết nối với RS, bên cạnh việc hoạt động trên băng tần 4G LTE truyền thống.

2.2. Chuyển tiếp kênh tĩnh SCRS

Trong hình 2, giả sử UE2.1 và UE2.2 là các MU nằm trong vùng phủ sóng của BS “nóng” C2 và đang yêu cầu thiết lập cuộc gọi mới. Do C2 là BS “nóng” nên nó không còn các kênh khả dụng để đáp ứng cho các MU này. Khi đó, cơ chế CRS được kích hoạt để cho phép C2 mượn kênh từ BS “lạnh” C3 như sau đây.

Đối với trường hợp UE2.1, do vị trí của nó nằm trong vùng phục vụ của R1 nên cơ chế kết nối của SCRS là: R1 kết nối với C3 trên kênh khả dụng của C3 ($C3 \rightarrow R1$), sau đó, R1 kết nối với UE2.1 trên kênh ISM ($R1 \rightarrow UE2.1$). Lúc này, hệ thống 4G LTE sẽ xử lý việc cấp kênh tần số cho R1 như là đối với các MU truyền thống, hay UE2.1 được C1 cấp kênh thông qua R1 ($C3 \rightarrow R1 \rightarrow UE2.1$).

Trong trường hợp của UE2.2, do nó không nằm trong vùng phục vụ của bất kỳ RS nào giữa C2 và C3 nên việc cấp kênh trực tiếp cho UE2.2 từ C3 thông qua các RS là không thể thực hiện được. Lúc này, có thể áp dụng thêm kỹ thuật hoán đổi kênh như sau: tìm một MU đang sử dụng kênh tần số của C2 (giả sử là UE2.3) và đang nằm trong vùng phục vụ của các RS nằm giữa C2 và C3 (giả sử là R3 như trong hình 2). Thực hiện CRS cho UE2.3 như tương tự với UE2.1 để cấp kênh từ C3 cho UE2.3 ($C3 \rightarrow R3 \rightarrow UE2.3$). Sau khi áp dụng CRS, UE2.3 sẽ giải phóng kênh mà nó được C2 cung cấp. Lúc này, C2 sẽ lấy kênh mà UE2.3 giải phóng ra để kết nối cho UE2.2 ($C2 \rightarrow UE2.2$). Như vậy, hoán đổi kênh đã làm tăng khả năng phục vụ của hệ thống lên một cách đáng kể.

2.3. Chuyển tiếp kênh chuyển giao HCRS

Cần phải nhắc lại giả sử rằng các cell C1 và C2 trong hình 2 là các BS “nóng”, còn C3 là BS “lạnh”. Như vậy, nếu một MU thực hiện việc chuyển giao cuộc gọi từ C1 hoặc C2 sang C3 sẽ luôn được phục vụ bởi các kênh khả dụng của C3. Vấn đề sẽ khó khăn hơn nhiều khi các MU thực hiện chuyển giao sang các BS “nóng” vì tất cả các kênh tần số trong các BS này đều đã đang bị chiếm dụng. Các trường hợp cần phải áp dụng HCRS để duy trì kết nối cho các cuộc gọi chuyển giao trong hình 2 là: chuyển giao từ C3 sang C1 hoặc C2 (từ BS “lạnh” sang BS “nóng”), chuyển giao giữa C1 và C2 (chuyển giao giữa 2 BS “nóng”). Nguyên lý của HCRS trong các trường hợp này là tương tự nhau, đó là sử dụng CRS kết hợp nguyên lý hoán đổi kênh (channel swapping) để tăng xác suất chuyển giao thành công trong hệ thống.

Để tìm hiểu nguyên lý của HCRS, giả sử rằng UE1 trong C1 thực hiện chuyển giao sang C2 như mô tả trong hình 2. Do C1 và C2 đều là 2 BS “nóng” nên C2 không còn kênh khả dụng cho cuộc gọi chuyển giao của UE1. Trong thực tế, nếu không có các RS thì cuộc gọi của UE1 được tính là chuyển giao ngay khi UE1 vượt qua đường ranh chung (cạnh chung) giữa C1 và C2 trong quá trình đàm thoại và di chuyển. Tuy nhiên, khi các RS được triển khai thì mặc dù UE1 đã di chuyển vào vùng phục vụ của C2 nhưng vẫn tiếp tục được cấp kênh tần số từ C1 thông qua R2 như sau: $C1 \rightarrow R2$ (trên kênh của UE1 đang có) và $R2 \rightarrow UE1$ (trên kênh chuyển tiếp). Đây là ý nghĩa mở rộng vùng phủ sóng của các RS trong kỹ thuật CRS khi mà các kết nối vô tuyến của UE được cung cấp bởi các BS trên các kênh tần số của hệ thống 4G LTE sẽ vẫn được duy trì chừng nào UE vẫn còn nằm trong vùng phục vụ của RS. Trong trường hợp cuộc gọi của UE1 đủ lâu đến mức nó vẫn di chuyển ra khỏi vùng phủ sóng của

R2, lúc này UE1 sẽ phải giải phóng kênh của C1 mà nó đang chiếm. Để duy trì cuộc gọi cho UE1, hệ thống cần phải tìm được một MU của C2 và đang sử dụng kênh tần số do C2 cấp, nhưng đồng thời đứng trong vùng phủ sóng của các RS đặt giữa C1 và C2. Giả sử rằng UE2.4 thỏa mãn điều kiện này (sử dụng kênh của C2, đang đàm thoại, và đứng trong vùng phủ sóng của R1) như mô tả trong hình 2. Lúc này, UE2.4 sẽ chuyển qua kết nối với R2 để được phục vụ bởi kênh do UE1 đã giải phóng trước đó thông qua kết nối $C1 \rightarrow R1 \rightarrow UE2.4$, đồng thời, UE2.4 giải phóng kênh của C2 do nó đang chiếm để C2 chuyển kênh này qua phục vụ UE1 ($C2 \rightarrow UE1$) như nguyên lý hoán đổi kênh đã đề cập ở trên. Đây là ý nghĩa của HCRS trong việc duy trì kết nối để giảm tỉ lệ rớt cuộc gọi chuyển giao (call dropping) trong các hệ thống thông tin di động.

3. DUY TRÌ KẾT NỐI CHO CÁC CUỘC GỌI CHUYỂN GIAO TRONG 4G LTE BẰNG KỸ THUẬT HCRS

3.1. Xác suất chuyển giao cuộc gọi HCRS

Hoạt động chuyển giao của các MU trong hệ thống phụ thuộc vào các tham số chính sau đây: vị trí ban đầu của MU trong BS, mô hình di chuyển, và thời gian chiếm giữ kênh (thời gian kết nối cuộc gọi) của MU. Có thể áp dụng công thức tính của Erlang để tính xác suất chuyển giao thất bại P_d như trong công thức (1):

$$P_d = \frac{T^{N_c} / N_c!}{\sum_{k=0}^{N_c} (T^k / k!)} \quad (1)$$

Trong đó, N_c là số kênh tần số được cấp cho BS, T là lưu lượng cuộc gọi trong BS, và P_d được tính là xác suất yêu cầu gọi bị từ chối và giá trị P_d này còn được gọi là cấp độ dịch vụ GoS (Grade of Service) [15]. Trong thực tế lưu lượng T của một BS bao gồm lưu lượng cuộc gọi mới (cuộc gọi được khởi tạo trong BS) và lưu lượng cuộc gọi chuyển giao (cuộc gọi từ các BS xung quanh chuyển tới). Thông thường, lưu lượng T được tính như trong công thức (2).

$$T = \lambda / \mu = \lambda \cdot t \quad (2)$$

Với λ , μ tương ứng là tốc độ cuộc gọi đến (call arrival rate) và tốc độ kết thúc cuộc gọi (call terminated rate) và thường được chọn theo các phân bố Poisson và phân bố hàm số mũ âm. Tốc độ kết thúc cuộc gọi cũng liên quan đến thời gian chiếm giữ kênh (thời gian đàm thoại) như trong công thức (3):

$$f(t) = \begin{cases} \mu \cdot e^{-\mu t}, & t > 0 \\ 0, & t \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

Để có được lưu lượng chuyển giao, trước hết MU phải thiết lập cuộc gọi mới thành công trong một BS cụ thể. Như vậy, lưu lượng chuyển giao có thể được tính thông qua xác suất chuyển giao của MU. Để tính toán xác suất chuyển giao, bài báo này sẽ tập trung vào việc đánh giá khả năng mà MU sẽ di chuyển ra khỏi vùng phục vụ của BS hiện thời trong thời gian đàm thoại của MU, kể từ lúc MU bắt đầu khởi tạo một cuộc gọi mới trong BS. Các tham số

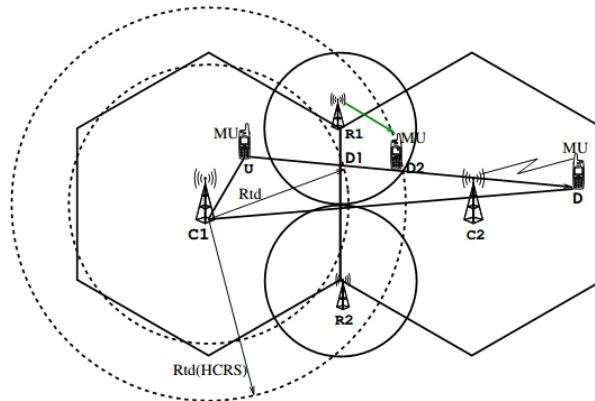
chính để tính toán xác suất chuyển giao được sử dụng là: vị trí ban đầu của MU trong BS, tốc độ và hướng di chuyển, và thời gian đàm thoại của MU [4-5]. Các tính toán trong nghiên cứu này được tham khảo từ [4-5,7-8,16] như trong hình 3 với những giả định như sau:

1) Giả sử MU có vị trí ban đầu tại U được xác định theo $d = d(C1,U)$ trong cell (BS) C1 với hàm phân bố ngẫu nhiên như trong công thức (4):

$$f(d) = \begin{cases} \frac{1}{R}, & 0 \leq d \leq R \\ 0, & d > R \end{cases} \quad (4)$$

2) Trong quá trình đàm thoại, MU di chuyển với các tham số: vận tốc di chuyển v , thời gian đàm thoại trung bình t , và hướng di chuyển $\alpha = R(C1U,UD) = \angle C1UD$ với D là điểm đích đến (có thể) của MU. Trong đó:

- i. Vận tốc di chuyển có hàm phân bố ngẫu nhiên: $f(v) = \begin{cases} \frac{1}{v_{Max}}, & 0 \leq v \leq v_{Max} \\ 0, & v > v_{Max} \end{cases} \quad (5)$
- ii. Thời gian đàm thoại có hàm phân bố theo luật hàm số mũ âm như trong công thức (3).
- iii. Hướng di chuyển: các MU được di chuyển tự do với hướng di chuyển α phân bố ngẫu nhiên trong khoảng $(0, 2\pi)$.



Hình 3. Mô hình tính toán xác suất chuyển giao.

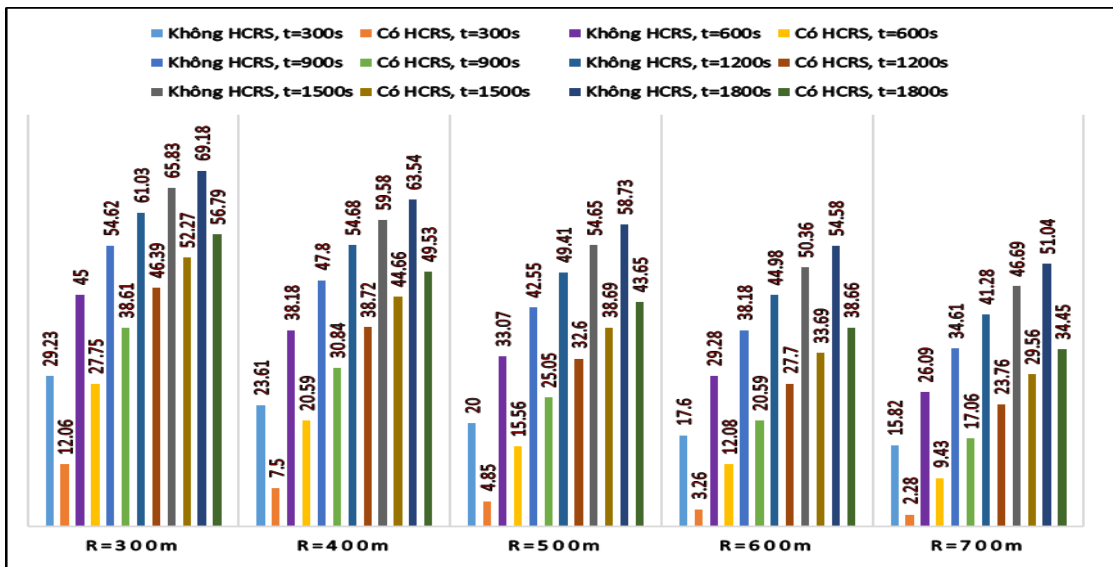
Trong [15], tác giả tính toán chuyển giao khi MU di chuyển ra khỏi vùng phủ sóng của một cell hình tròn với bán kính $R_{td} = 0,91R$ với R là bán kính BS (khi MU vượt qua điểm D1 như trong hình 2). Sử dụng khái niệm và các tính toán R_{td} trong [4-5,16], coi cell tương đương của cell C1 trong hình 3 là một hình tròn có diện tích tương đương tổng diện tích của bản thân cell C1 và phần diện tích mở rộng của 6 RS bao quanh C1, khi đó bán kính cell tương đương của vùng phủ hình tròn trong HCRS là $R_{td(HCRS)} = 1,35R$ được trình bày như trong công thức (6). Khi áp dụng HCRS, MU được tính là chuyển giao khi nó vượt qua điểm D2 như trong hình 2. Lúc này, xác suất chuyển giao của MU được tính là xác suất để khoảng cách từ tâm C1 của trạm gốc BS đang phục vụ MU đến điểm dừng cuối cùng D (Destination) khi MU kết thúc cuộc gọi lớn hơn bán kính tương đương $R_{td(HCRS)}$ của BS. Giả sử MU di chuyển với vận tốc và hướng không đổi trong suốt cuộc đàm thoại, khi đó xác suất chuyển giao cuộc gọi P_h của MU trong trường hợp không áp dụng và có áp dụng HCRS được tính như trong công thức (7) và công thức (8).

$$\pi R_{id(HCRS)}^2 = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2 + 6 \cdot \frac{2}{3} \pi \left(\frac{R}{2}\right)^2 \Rightarrow R_{id(HCRS)} = R \sqrt{\frac{3\sqrt{3} + 2\pi}{2\pi}} \approx 1,35R \quad (6)$$

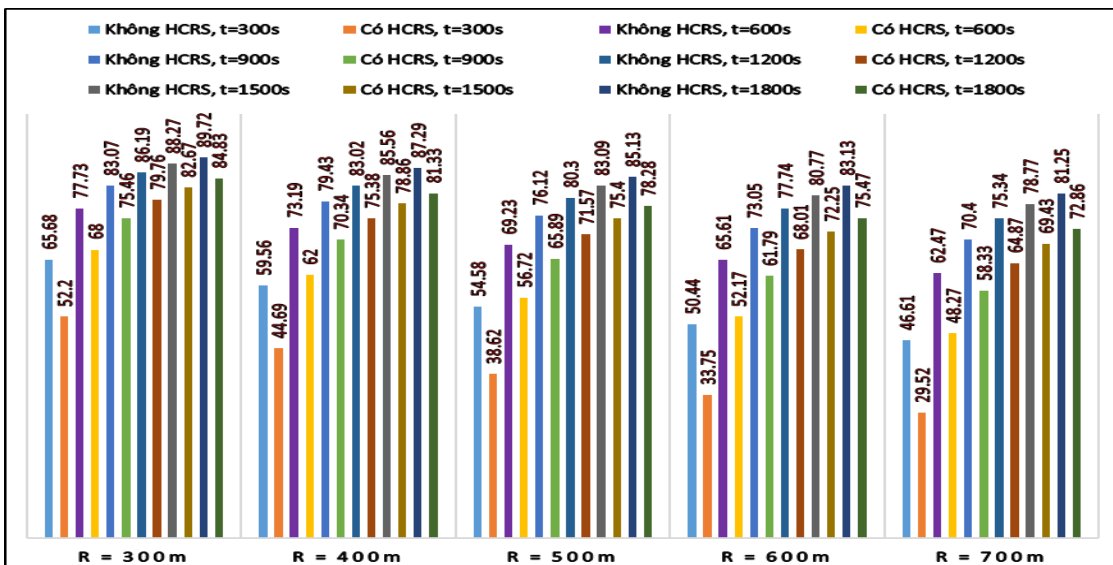
$$P_h = \Pr\{CID > R_{id}\} = \Pr\left\{\sqrt{d^2 - 2 \cdot d \cdot (v \cdot t) \cdot \cos \alpha + (v \cdot t)^2} > R_{id}\right\} \quad (7)$$

$$P_h = \Pr\{CID > R_{id(HCRS)}\} = \Pr\left\{\sqrt{d^2 - 2 \cdot d \cdot (v \cdot t) \cdot \cos \alpha + (v \cdot t)^2} > R_{id(HCRS)}\right\} \quad (8)$$

Giá trị CID trong các công thức (7) và (8) được tính theo định lý cosine trong tam giác, trong đó d là khoảng cách ban đầu khi MU bắt đầu kết nối cuộc gọi trong cell, α là góc chỉ hướng di chuyển, v và t là vận tốc và thời gian chiếm dụng kênh. Như vậy, P_h tăng tỉ lệ thuận với v và t và tỉ lệ nghịch với bán kính cell. Các kết quả tính toán P_h được thể hiện trong hình 4 và hình 5.



Hình 4. Xác suất chuyển giao cuộc gọi P_h (%) với vận tốc di chuyển 1m/s.



Hình 5. Xác suất chuyển giao cuộc gọi P_h (%) với vận tốc di chuyển 5m/s.

Nhìn chung, khi bán kính cell tăng lên thì xác suất chuyển giao giảm, còn khi thời gian đàm thoại tăng thì xác suất chuyển giao tăng lên một cách đáng kể cho cả 2 trường hợp không và có áp dụng HCRS trong hệ thống. Thêm nữa, có thể thấy rằng với cùng một thời gian kết nối 300s, khi MU di chuyển với tốc độ trung bình của người đi bộ (1m/s) thì P_h giảm hơn 5 lần khi bán kính cell tăng từ $R=300m$ lên $R=700m$ (như trong hình 4), còn khi MU di chuyển với tốc độ 5m/s thì P_h chỉ giảm chưa đến 0,5 lần với cùng một mức tăng của bán kính cell (như trong hình 5) khi áp dụng kỹ thuật HCRS. Việc tính toán xác suất chuyển giao đã mang lại ý nghĩa thiết thực cho các nhà quản lý mạng để khai thác tài nguyên tần số hiệu quả nhất phục vụ các cuộc gọi chuyển giao. Khi áp dụng kỹ thuật HCRS, xác suất chuyển giao đã được giảm đi một cách đáng kể làm giảm áp lực xử lý chuyển giao lên hệ thống. Các giá trị này hoàn toàn có thể so sánh được với các kết quả trong [17].

3.2. Xác suất chuyển giao thành công trong hệ thống áp dụng HCRS

Xác suất chuyển giao thành công phản ánh khả năng duy trì cuộc gọi cho các MU trong hệ thống. Thông thường, tỉ lệ chuyển giao thất bại cho các cuộc gọi thời gian thực trong các hệ thống thông tin di động thường được yêu cầu nhỏ hơn 2%, trong khi tỉ lệ kết nối thất bại cho các cuộc gọi mới có thể cho phép tới 5% [18]. Để đánh giá hiệu quả của kỹ thuật HCRS, giả sử rằng cả 3 cell C1, C2, và C3 trong hình 2 đều là các cell “nóng”. Các trường hợp có thể xảy ra cho quá trình chuyển giao trong hệ thống như mô tả trong hình 2 là: chuyển giao từ C1 sang C2 và ngược lại, chuyển giao từ C1 sang C3 và ngược lại, chuyển giao từ C2 sang C3 và ngược lại. Để đánh giá hiệu quả của HCRS, giả thiết rằng hệ thống 3 cell này là “rất nóng” với mật độ MU tập trung cao và lưu lượng cuộc gọi lớn đến mức mà các kênh tần số được cấp cho các cell bị chiếm hết ngay cho các cuộc gọi mới trong khoảng thời gian ngắn. Hơn nữa, nếu như một MU kết thúc cuộc gọi trong cell và giải phóng kênh thì sẽ có ngay một MU khác chiếm kênh cho cuộc gọi mới của mình; ngược lại, khi một MU đang trong trạng thái gọi và di chuyển ra khỏi vùng phục vụ của cell hiện thời thì cũng sẽ giải phóng kênh, nhưng kênh này sẽ được tạm giữ để chờ kích hoạt HCRS cho việc duy trì cuộc gọi chuyển giao; nếu HCRS thất bại, kênh đó cũng sẽ được cấp cho cuộc gọi mới. Do vai trò của các cell là như nhau trong hình 2 nên ở đây sẽ phân tích và tính toán xác suất thành công cho một cuộc gọi chuyển giao giữa 2 cell bất kỳ, giả sử của UE1 khi chuyển giao từ cell C1 sang cell C2. Xác suất để cuộc gọi của UE1 chuyển giao thành công tương đương với xác suất có ít nhất một MU của cell C2 đang sử dụng kênh của C2 để thực hiện cuộc gọi và đứng trong vùng phục vụ của trạm chuyển tiếp R1 hoặc R2 để có thể hoán đổi kênh trực tiếp giữa C1 và C2 thông qua R1 hoặc R2. Do tất cả N_c kênh tần số của C2 đều đang bị chiếm bởi các MU nên xác suất này được tính thông qua tỉ số giữa phần diện tích phủ sóng của các trạm chuyển tiếp R1 và R2 nằm trong cell C2 với diện tích phủ sóng của cell C2 và được mô tả như trong công thức (9).

$$P_r(in-relay(C1-C2)) = 1 - \left(1 - \frac{S_{relay}}{S_{cell}}\right)^{N_c} = 1 - \left(1 - \frac{2 \cdot \frac{1}{3} \cdot \pi \left(\frac{R}{2}\right)^2}{\pi R^2}\right)^{N_c} = 1 - \left(\frac{5}{6}\right)^{N_c} \quad (9)$$

Lúc này, xác suất chuyển giao thành công của hệ thống như trong hình 2 khi áp dụng HCRS với các giá trị dung lượng cell khác nhau được mô tả như trong bảng 1.

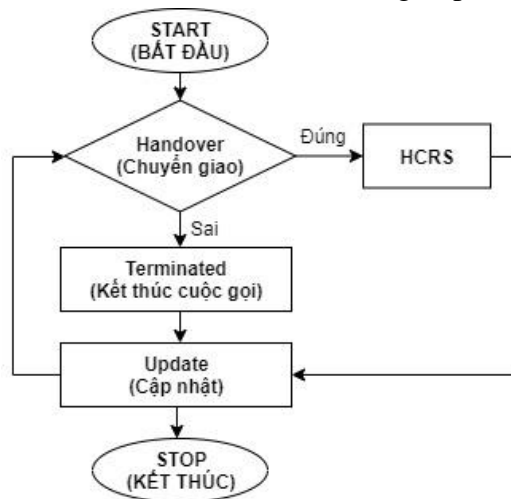
Bảng 1. Xác suất thành công của HCRS.

Nc	5	10	15	20	25	30
P_succ. (%)	59,81	83,85	93,51	97,39	98,95	99,58

4. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

Sử dụng Matlab R2014b để mô phỏng hệ thống như trong hình 2 bằng việc gán các tọa độ của các BS và các RS. Các MU được gán ngẫu nhiên theo các tham số như mô tả trong mục 3.1 với các giá trị vận tốc di chuyển đi bộ 1 m/s (tương đương với khoảng 3.6 km/h) và di chuyển vừa 5 m/s (tương đương 18 km/h để phù hợp với mật độ thuê bao và lưu lượng rất cao làm cho các MU khó khăn trong việc di chuyển) với các thời gian chiếm dụng kênh là 5 phút, 10 phút, 15 phút, 20 phút, 25 phút và 30 phút cho cuộc gọi thời gian thực. Lưu đồ thuật toán cho mô phỏng được thể hiện trong hình 7. Hơn nữa, mô phỏng được thực hiện theo sự kiện; tức là sau khi gán các tham số cho MU di chuyển trong hệ thống, các sự kiện sau đây có thể xảy ra với các MU trong hệ thống sau khi khởi tạo cuộc gọi mới trong các cell:

- 1) Kết thúc cuộc gọi (call terminated) trong BS mà nó khởi tạo cuộc gọi mới và giải phóng kênh tần số → kích hoạt một MU mới để chiếm kênh vừa được giải phóng.
- 2) Di chuyển ra khỏi BS mà nó khởi tạo cuộc gọi mới:
 - a. Chuyển giao thành công (handover successes).
 - b. Chuyển giao thất bại (dropped) → giải phóng kênh tần số về cho BS → kích hoạt một MU mới để chiếm kênh vừa được giải phóng.



Hình 7. Lưu đồ thuật toán áp dụng HCRS trong hệ thống để duy trì cuộc gọi chuyển giao.

Quan sát hệ thống với số lượng sự kiện là 10^6 , các kết quả nhận được về xác suất chuyển giao thành công từ các mô phỏng được thể hiện như trong bảng 2, bảng 3, bảng 4, bảng 5, bảng 6 và bảng 7. Trong đó, bảng 2 và bảng 5 mô tả kết quả của hệ thống với các dung lượng kênh của các cell $N_C = 5$ và $N_C = 10$, bảng 3 và bảng 6 mô tả kết quả của các dung lượng kênh của các cell $N_C = 15$ và $N_C = 20$, bảng 4 và bảng 7 mô tả kết quả của các dung lượng kênh của các cell $N_C = 25$ và $N_C = 30$, với tốc độ di chuyển tương ứng là $v = 1(m/s)$ và $v = 5(m/s)$. Có thể nhận thấy rằng các kết quả mô phỏng đều cao hơn so với các tính toán lý thuyết như trong bảng 1, tức là khả năng duy trì kết nối thành công cho các cuộc gọi chuyển giao trong thực tế cao hơn. Điều này chứng tỏ sự vượt trội của HCRS trong việc cải thiện hiệu năng của hệ thống.

Bảng 2. Tỷ lệ chuyển giao thành công (%) với $v=1(m/s)$, $N_C=5$ và $N_C=10$.

	$R(m)$	300	400	500	600	700	300	400	500	600	700
	N_c	5					10				
t (phút)	5	74,23	73,77	74,23	74,59	74,67	93,22	93,16	93,22	93,52	93,71
	10	73,50	73,34	73,50	73,30	73,62	92,82	92,46	92,82	92,66	93,06
	15	73,22	73,05	73,22	73,29	73,25	92,57	92,42	92,57	92,70	92,88
	20	73,18	73,14	73,18	73,08	73,10	92,63	92,48	92,63	92,66	92,60
	25	72,91	73,02	72,91	73,20	73,06	92,53	92,55	92,53	92,61	92,56
	30	72,77	72,98	72,77	73,17	73,39	92,60	92,55	92,60	92,58	92,37

Bảng 3. Tỷ lệ chuyển giao thành công (%) với $v=1(m/s)$, $N_C=15$ và $N_C=20$.

	$R(m)$	300	400	500	600	700	300	400	500	600	700
	N_c	15					20				
t (phút)	5	98,29	98,13	98,29	98,22	98,21	99,51	99,51	99,51	99,59	99,62
	10	97,89	97,96	97,89	98,10	98,09	99,45	99,42	99,45	99,53	99,51
	15	97,99	98,02	97,99	97,96	98,07	99,40	99,44	99,40	99,43	99,44
	20	97,94	97,90	97,94	97,90	97,96	99,48	99,39	99,48	99,43	99,46
	25	97,90	97,90	97,90	97,94	97,99	99,41	99,43	99,41	99,41	99,46
	30	97,98	97,90	97,98	97,88	98,07	99,38	99,37	99,38	99,39	99,43

Bảng 4. Tỷ lệ chuyển giao thành công (%) với $v=1(m/s)$, $N_C=25$ và $N_C=30$.

	$R(m)$	300	400	500	600	700	300	400	500	600	700
	N_c	25					30				
t (phút)	5	99,90	99,89	99,90	99,90	99,91	99,97	99,97	99,97	99,98	99,97
	10	99,83	99,85	99,83	99,87	99,89	99,96	99,95	99,96	99,96	99,97
	15	99,82	99,85	99,82	99,85	99,85	99,95	99,96	99,95	99,97	99,96
	20	99,83	99,84	99,83	99,85	99,86	99,95	99,96	99,95	99,94	99,97
	25	99,85	99,85	99,85	99,97	99,81	99,96	99,95	99,96	99,96	99,96
	30	99,85	99,84	99,85	99,84	99,84	99,96	99,95	99,96	99,95	99,95

Bảng 5. Tỷ lệ chuyển giao thành công (%) với $v=5(m/s)$, $N_C=5$ và $N_C=10$.

	$R(m)$	300	400	500	600	700	300	400	500	600	700
	N_c	5					10				
t (phút)	5	73,08	73,01	73,08	73,13	72,88	92,59	92,53	92,46	92,51	92,55
	10	73,31	73,14	73,33	73,08	73,30	92,33	92,54	92,59	92,63	92,55
	15	73,16	73,45	73,37	73,11	73,17	92,78	92,40	92,50	92,46	92,66
	20	73,33	73,09	73,02	73,26	73,08	92,71	92,41	92,68	92,75	92,67
	25	73,20	73,16	73,21	73,34	73,07	92,77	92,59	92,64	92,54	92,61
	30	73,07	73,02	73,59	73,26	73,34	92,66	92,48	92,50	92,58	92,51

Bảng 6. Tỷ lệ chuyển giao thành công (%) với $v = 5(m/s)$, $N_c = 15$ và $N_c = 20$.

	$R(m)$	300	400	500	600	700	300	400	500	600	700
	N_c	15					20				
t (phút)	5	97,87	97,96	97,88	97,93	97,91	99,43	99,44	99,43	99,43	99,40
	10	97,83	97,91	97,91	97,92	97,89	99,35	99,41	99,42	99,42	99,43
	15	97,98	97,91	97,88	97,89	97,89	99,43	99,37	99,43	99,35	99,40
	20	97,95	97,90	97,96	97,86	97,91	99,44	99,40	99,41	99,38	99,38
	25	97,92	97,85	97,97	97,96	97,87	99,40	99,44	99,45	99,44	99,40
	30	97,95	97,92	97,94	97,87	97,91	99,43	99,42	99,43	99,45	99,43

Bảng 7. Tỷ lệ chuyển giao thành công (%) với $v = 5(m/s)$, $N_c = 25$ và $N_c = 30$.

	$R(m)$	300	400	500	600	700	300	400	500	600	700
	N_c	25					30				
t (phút)	5	99,83	97,96	99,83	99,84	99,81	99,95	99,95	99,95	99,96	99,95
	10	99,82	99,83	99,86	99,83	99,83	99,95	99,95	99,95	99,94	99,94
	15	99,85	99,84	99,84	99,82	99,83	99,95	99,96	99,96	99,95	99,95
	20	99,82	99,86	99,83	99,83	99,83	99,95	99,95	99,96	99,94	99,95
	25	99,83	99,83	99,84	99,83	99,87	99,95	99,96	99,95	99,95	99,94
	30	99,85	99,84	99,80	99,45	99,84	99,96	99,94	99,96	99,95	99,95

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một giải pháp kỹ thuật tận dụng tài nguyên tần số trong các hệ thống 4G LTE để duy trì kết nối cho các cuộc gọi chuyển giao thời gian thực thông qua các trạm chuyển tiếp. Có 3 đóng góp quan trọng đã được trình bày trong bài báo, gồm 2 đóng góp trực tiếp và một đóng góp gián tiếp. Thứ nhất: sử dụng HCRS kết hợp hoán đổi kênh đã giúp mở rộng vùng phủ của các BS và do đó đã làm giảm các yêu cầu chuyển giao một cách đáng kể. Thứ hai: bài báo đã đạt được kết quả khả quan trong mô phỏng hệ thống với các cuộc gọi số liệu thời gian thực chiếm kênh thời gian dài và lưu lượng mạng rất cao với xác suất nghẽn mạng lớn. Thứ ba: từ kết quả mô phỏng đạt được với dung lượng BS là $N_c = 30$, có thể xem xét tính toán bài toán cấp kênh tối ưu cho từng loại dịch vụ để đạt được hiệu quả tốt nhất trong việc khai thác tài nguyên tần số. Tuy nhiên, bài báo vẫn còn tồn tại một số vấn đề sau đây. Thứ nhất, việc tính toán bài toán phân chia kênh tài nguyên vô tuyến trong các băng tần cụ thể của 4G LTE cho các loại hình dịch vụ của hệ thống, và kèm theo đó là bài toán sử dụng lại tần số vẫn chưa được đề cập trong bài báo này. Ngoài ra, việc tính toán vẫn chỉ mới dừng lại ở một mô hình hệ thống nhỏ với các vận tốc di chuyển của MU ở mức độ thấp và trung bình. Cuối cùng, cần phải xem xét việc áp dụng các tính toán trên cho các hệ thống sau 4G. Các vấn đề này có thể là hướng nghiên cứu tiếp theo trong thời gian tới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold, 4G LTE-Advanced Pro and The Road to 5G, Third Ed., Elsevier, London, 2016.
- [2]. GSMA – Mobile Spectrum, Data demand explained, 2015. [GSMA-Data-Demand-Explained-June-2015.pdf](#)

- [3]. Ruonan Zhang, Lin Cai, Jianping Pan, Resource Management for Multimedia Services in High Data Rate Wireless Networks, SpringerBriefs in Electrical and Computer Engineering, 2017 (Chapter 4: Resource Reservation, pp.77-101).
- [4]. Ngô Thế Anh, Hoàng Đăng Hải, Nguyễn Cảnh Minh, Tăng tỷ lệ thành công các cuộc gọi chuyển giao trong các hệ thống thông tin di động không dự trữ kênh bằng kỹ thuật chuyển tiếp, Tạp chí Khoa học công nghệ Thông tin và Truyền thông, 2 (2016) 27-34.
- [5]. Anh Ngo The, Hai Hoang Dang, Minh Nguyen Canh, 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, 1 (2017) 8-13.
- [6]. T.A.Chowdhury, R. Bhattacharjee, M.Z. Chowdhury, Handover Priority Based on Adaptive Channel Reservation in Wireless Networks, IEEE International Conference on Elect.Infor.Comm.Tech., 1-5, 2014.
- [7]. Karthik Vasudeva M. Simsek, D. L-Perez, I. Guvenc, Analysis of Handover Failures in heterogeneous Networks with Fading, IEEE Trans. on Vehi.Tech., 66 (2016) 6060-6074. <https://doi.org/10.1109/TVT.2016.2640310>.
- [8]. Md Mehedi Hasan, Sungoh Kwon, Jee-Hyeon Na, Adaptive Mobility Load Balancing Algorithm for LTE Small-Cell Networks, IEEE Trans. on Wireless Comm., 17 (2018) 2205-2217. <https://doi.org/10.1109/TWC.2018.2789902>.
- [9]. GSMA Report, The State of Mobile Internet Connectivity 2020, [GSMA-State-of-Mobile-Internet-Connectivity-Report-2020.pdf](https://www.gsma.com/mobile-internet/wp-content/uploads/2020/07/GSMA-State-of-Mobile-Internet-Connectivity-Report-2020.pdf)
- [10].Muhammad Asshada, Sajjad Ahmad Khan, Adnan Kavak, Kerem Kuc Dawson Ladislaus Msongaleli, Cooperative Communications Using Relay Nodes for Next-Generation Wireless Networks with Optimal Selection Techniques: A Review, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic engineering, 14 (2019) 658–669.
- [11].Mohammad Asif Hossain et al., A Survey on Simultaneous Wireless Information and Power Transfer with Cooperative Relay and Future Challenges, IEEE Access, 7 (2019) 19166 – 19198. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.289564>
- [12].Q.Peng, Y. Jiang, G. Liu, F. Cui, G.B. He, W.M. Wu, Channel reservation strategies for Multiple Secondary Users in Cognitive Radio Networks, Trans. Tech. Publications, Switzerland, AMR. 989-994 (2014) 3889-3892.
- [13].H.Halabian, P. Rengaraju, C-H. Lung, I. Lamdadaris., A reservation-based call admission control scheme and system modelling in 4G vehicular networks, EURASIP Journal on Wireless Comm. and Net., 125 (2015) 1-12.
- [14].Hua Jiang, Stephen S. Rappaport, Prioritized channel borrowing without locking: a channel sharing strategy for cellular communications, [IEEE/ACM Trans. Netw., 4 \(1996\) 163-172. https://doi.org/10.1109/90.490744](https://doi.org/10.1109/90.490744)
- [15].Theodore S.Rappaport, Wireless Communications: Principles and Practice, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey 07458, 1996.
- [16].D. Hong, S. S. Rappaport, Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and nonprioritized handoff procedures, IEEE Transactions on Vehicular Technology, T-35 (1986) 77-92. <https://doi.org/10.1109/T-VT.1986.24076>
- [17].Saddam Alraih et al., Effectiveness of Handover Control Parameters on Handover Performance in 5G and beyond Mobile Networks, Hindawi Wireless Communications and Mobile Computing, 2022, 1-18. <https://doi.org/10.1155/2022/2266282>
- [18].Bộ Thông tin truyền thông, QCVN 36:2015/BTTTT, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng dịch vụ điện thoại trên mạng viễn thông di động mặt đất, Hà Nội. 2015.