

Hiệu suất kỹ thuật tập hợp sóng mang trong mạng LTE-Advanced

Vũ Tuấn Anh,

Trung tâm tích hợp hệ thống mạng,
VNPT Technology

Email: vta.k61uet@gmail.com

Lâm Sinh Công

Khoa Điện tử - Viễn thông, Đại học Công nghệ,
ĐHQG Hà Nội

Email: congls@vnu.edu.vn

Abstract— Kỹ thuật tập hợp sóng mang được giới thiệu là một trong những kỹ thuật then chốt của mạng LTE-Advanced. Kỹ thuật này cho phép một người dùng có thể được sử dụng nhiều hơn 1 sóng mang. Trong đó có 1 sóng mang chính, các sóng mang còn lại được gọi là sóng mang thành phần. Trong bài báo này, chúng tôi thực hiện việc đánh giá hiệu suất của kỹ thuật tập hợp sóng mang này với 3 tham số được đánh giá là: thông lượng truyền tin, tỉ lệ mất gói tin và độ trễ trung bình của một gói tin. Các kết quả mô phỏng cho thấy rằng kỹ thuật tái sử dụng sóng mang có thể tăng gần gấp đôi thông lượng cực đại của mạng, đồng thời giảm được tỉ lệ mất gói tin và độ trễ trung bình của gói tin.

Keywords- LTE-Advanced, kỹ thuật tập hợp sóng mang, thông lượng, độ trễ, tỉ lệ mất gói tin, NS3

I. GIỚI THIỆU

Nhu cầu về truyền thông vô tuyến cụ thể là mạng thông tin di động ngày càng tăng về cả số lượng kết nối và chất lượng dịch vụ. Để đáp ứng những yêu cầu của người sử dụng thì mạng truyền thông di động luôn luôn được cải tiến, phát triển không ngừng. Thế hệ đầu tiên của mạng di động được giới thiệu lần đầu vào năm 1979 [1] và dần được đưa thành tiêu chuẩn vào những năm đầu của thập niên 80. Mạng 1G có chất lượng mạng di động vẫn còn thấp, khả năng chuyển giao không đáng tin cậy, liên kết thoại kém và không có bảo mật vì các cuộc gọi được phát lại tại các trạm vô tuyến nên dễ dàng truy cập.

Đầu thập kỷ 90, thế hệ thứ hai của mạng di động được giới thiệu, ra mắt lần đầu tiên tại Phần Lan và được biết tới cái tên mạng 2G [1]. Ngoài khả năng gọi thoại thì mạng 2G còn cung cấp các dịch vụ khác như gửi tin nhắn văn bản, tin nhắn hình ảnh và dịch vụ tin nhắn đa phương tiện (MMS). Từ hệ thống GSM gốc, một hệ thống tiên tiến mới đã phát triển, được gọi là thế hệ 2.5G [1]. Năm 2001, Mạng 3G đầu tiên được triển khai ở Nhật bản [2]. Mạng di động thế hệ thứ ba này được thiết kế để tiếp nối công nghệ 2G nhằm cung cấp các dịch vụ dữ liệu tốc độ cao bên cạnh khả năng thoại cơ bản. Tiếp nối thành công của mạng 3G trước đó, thế hệ thứ tư của mạng viễn thông di động toàn cầu được phát

triển, hay còn được biết đến cái tên phổ biến hơn là mạng 4G-LTE [2].

Trong LTE phiên bản 8 và 9 theo tiêu chuẩn của tổ chức 3GPP [3,4], hay còn được biết tới một cái tên phổ biến hơn là 4G LTE, có tốc độ đường xuống cao nhất là 300Mbps và tốc độ đường lên cao nhất là 75Mbps với độ trễ thấp hơn 5ms trong việc truyền dữ liệu. Nhưng với một số cải tiến ở LTE phiên bản 10, hay còn được biết tới là LTE-Advanced, tốc độ đã được cải thiện một cách đáng kể. Cụ thể hơn, về mặt lý thuyết tốc độ của LTE-A tại đường xuống có thể đạt tới đa 3Gb/s và tới đa 1Gb/s tại đường lên. Và để đạt được tốc độ cao thì một trong những kỹ thuật chính được sử dụng trong mạng LTE-Advanced là kỹ thuật tập hợp sóng mang.

Kỹ thuật tập hợp sóng mang [5] đã được giới thiệu trong phiên bản LTE 10 và được cải tiến đáng kể trong các phiên bản sau. Trong trường hợp tập hợp nhiều sóng mang, trong đó mỗi sóng mang có thể có băng thông khác nhau lên đến 20 MHz, có thể được truyền song song đến hoặc từ cùng một thiết bị, do đó cho phép băng thông rộng hơn và tốc độ dữ liệu trên mỗi liên kết cao hơn tương ứng. Khi các sóng mang con được tập hợp thì mỗi sóng mang được gọi là sóng mang thành phần và toàn bộ sóng mang thành phần đó có thể được xem như là một sóng mang đơn.

Ban đầu, có thể tập hợp tới đa năm sóng mang thành phần cho phép băng thông truyền dẫn tổng thể lên tới 100 MHz. Trong phiên bản 13, điều này đã được mở rộng tới 32 sóng mang cho phép băng thông truyền tổng thể là 640 MHz. Một thiết bị có khả năng kết hợp sóng mang có thể đồng thời nhận và truyền trên nhiều sóng mang thành phần.

Việc đánh giá hiệu suất kỹ thuật Tập hợp sóng mang trong mạng LTE-Advanced đã được thực hiện thông qua một số nghiên cứu như [6-9]. Các tác giả trong Tài liệu [6] đánh giá hiệu suất của người dùng tại biên của cell trong trường hợp các sóng thành phần và sóng chính thuộc các band khác nhau. Trong nghiên cứu này, tác giả tập trung đánh giá hiệu suất trung bình của

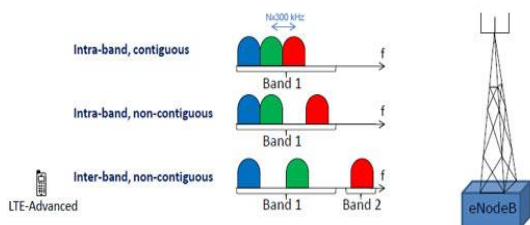
người dùng khi tải (offer load) thay đổi. Trong nghiên cứu được công bố tại Tài liệu [7], các tác giả tập trung đánh giá thông lượng và tỉ lệ lỗi bit của truyền tin. Đồng thời, các tác giả đã đưa ra một số mô hình để áp dụng kỹ thuật tập hợp sóng mang trên đường lên (uplink). Ngoài ra, các chỉ số về mức độ công bằng của người dùng trong quá trình truyền tin được phân tích trong công trình nghiên cứu số [8]. Thông số về độ trễ trung bình của các gói tin được đề cập và phân tích trong công trình nghiên cứu số [9].

Mặc dù, các công trình nghiên cứu trên cung cấp các phương pháp luận để đánh giá kỹ thuật Tập hợp sóng mang trong mạng LTE-Advanced nhưng các công trình trên chưa đưa ra đầy đủ được các thông số của quá trình truyền tin như thông lượng, tỉ lệ mất gói tin, độ trễ trung bình của các gói tin. Trong bài báo này, chúng tôi phân tích đánh giá hiệu suất của kỹ thuật tập hợp sóng mang lên hiệu suất của mạng LTE-Advanced dựa theo 3 tham số chính: thông lượng, tỉ lệ mất gói tin và độ trễ trung bình của một gói tin.

II. KỸ THUẬT TẬP HỢP SÓNG MANG

Một điều đáng chú ý rằng các sóng mang thành phần được tập hợp không cần thiết phải tiếp giáp trong miền tần số. Thay vào đó, xét các vị trí tần số của các sóng mang thành phần khác nhau, có thể xác định được ba trường hợp tập hợp như sau [9]:

- Tập hợp nội bộ với các sóng mang thành phần tiếp giáp tần số.
- Tập hợp nội bộ với các sóng mang thành phần không tiếp giáp tần số.
- Tập hợp xen kẽ với các sóng mang thành phần không tiếp giáp tần số
-



Hình 1: Mô hình tập hợp sóng mang [5]

Dưới góc nhìn của truyền thông vô tuyến thì gần như không có sự khác biệt trong ba trường hợp nêu trên. Tuy nhiên, với việc tập hợp sóng mang thành phần không tiếp giáp cho phép khai thác các phổ phân mảnh tốt hơn.

2.1: TỔNG QUAN CẤU TRÚC

Tập hợp sóng mang về cơ bản là sao chép xử lý lớp điều khiển truy cập môi trường (MAC) và lớp vật lý

(PHY) cho từng sóng mang thành phần trong khi vẫn giữ nguyên lớp điều khiển liên kết vô tuyến (RLC) và bên trên giống như trường hợp không tập hợp.

Do đó, một thực thể RLC có thể xử lý dữ liệu được truyền qua nhiều sóng mang thành phần với sự có mặt của tập hợp sóng mang. Thực thể MAC chịu trách nhiệm phân phối dữ liệu từ mỗi luồng trên các sóng mang thành phần. Mỗi sóng mang thành phần có thực thể HARQ riêng, mục đích là để việc truyền lại HARQ phải được thực hiện trên cùng sóng mang thành phần như trước đó. Việc truyền lại HARQ giữa các sóng mang là không hề có khả năng. Mặt khác, việc truyền lại RLC không được gắn với một sóng mang thành phần cụ thể vì về bản chất, CA là vô hình phía trên lớp MAC. Do đó, việc truyền lại RLC có thể sử dụng một sóng mang thành phần khác với lần truyền ban đầu. RLC cũng xử lý việc RLC cũng xử lý sắp xếp lại giữa các sóng mang thành phần để đảm bảo theo thứ tự trong trường hợp một sóng mang vô tuyến được truyền trên nhiều sóng mang thành phần. Ngay khi việc truyền lại H-ARQ được xử lý độc lập trên mỗi sóng mang thành phần, việc phân phối ngoài chuỗi từ lớp MAC có thể xảy ra không chỉ trên một sóng mang thành phần mà còn giữa các sóng mang thành phần.

Mỗi sóng mang thành phần được lập lịch độc lập với bộ lập lịch riêng rẽ và việc cung cấp lịch biểu có thể được truyền trên cùng một sóng mang như một dạng dữ liệu hoặc trên một sóng mang thành phần khác.

Các thành phần sóng mang chính và phụ

Một thiết bị có khả năng kết hợp sóng mang có một sóng mang thành phần chính trên đường xuống và liên kết cùng với một sóng mang thành phần chính đường lên. Ngoài ra, nó có thể có một hoặc một số sóng mang thành phần thứ cấp theo mỗi hướng. Tùy thuộc và việc cấu hình sóng mang chính trước đó, các thiết bị khác nhau có thể có các sóng mang khác nhau là thành phần chính cụ thể. Sự liên kết của sóng mang chính đường lên và đường xuống được báo hiệu như một phần của thông tin hệ thống, việc này tương tự như khi các sóng mang không được tập hợp. Lý do có sự liên kết vậy là để có thể xác định xem sóng mang thành phần đường lên nào được lập lịch cùng với đường xuống mà không cần phải báo hiệu rõ ràng số sóng mang thành phần.

Tự lập lịch và lập lịch chéo

Mỗi sóng mang thành phần được lập lịch độc lập với biểu lịch được gắn trên cùng một sóng mang thành phần đã được liên kết như một dạng dữ liệu (tự lập lịch) hoặc trên sóng mang thành phần khác khác với dữ liệu (lập lịch chéo).

Trong trường hợp tự lập lịch, trên đường xuống, sóng mang thành phần nào truyền dữ liệu sẽ được gán biểu lịch. Tương tự với đường lên, sẽ có một sự liên kết giữa đường lên và đường và đường xuống sao cho một sóng mang thành phần đường lên sẽ được liên kết với một sóng mang thành phần đường xuống. Sự liên kết được cung cấp như một phần của thông tin trong hệ thống. Do đó, từ sự liên kết này, thiết bị có thể biết được thông tin của bộ điều khiển đường xuống liên quan tới sóng mang thành phần đường lên nào.

Với trường hợp lập lịch chéo, kênh chia sẻ vật lý đường xuống (PDSCH) hoặc kênh chia sẻ vật lý đường lên (PUSCH) được truyền dữ liệu trên một thành phần sóng mang đã liên kết khác với kênh điều khiển vật lý đường xuống (PDCCH) đường truyền trước đó. Thông tin sóng mang thành phần nào được sử dụng để truyền dữ liệu sẽ được PDCCH cung cấp qua thông số sóng mang. Lập lịch chéo được cấu hình sử dụng lớp báo hiệu cao hơn cho dù nó có được sử dụng hay không. Bất kể phương thức lập lịch nào được sử dụng, bản tin phản hồi H-ARQ sẽ được gửi trên sóng mang thành phần chính. Cấu trúc này được chọn để xử lý bất đối xứng trong tập hợp sóng mang với số sóng mang đường xuống nhiều hơn số sóng mang đường lên.

III. MÔ HÌNH MẠNG LTE SỬ DỤNG KỸ THUẬT TẬP HỢP SÓNG MANG

Trong phần này, chúng ta sẽ tiếp tục phân tích những ảnh hưởng của kỹ thuật tập hợp sóng mang trong mạng LTE và mô hình mạng LTE khi áp dụng kỹ thuật

3.1 Từ khía cạnh E-UTRAN

Để hỗ trợ kỹ thuật tập hợp sóng mang, sự khác biệt giữa một cell chính (Primary cell) và cell thứ cấp (Secondary cell) được giới thiệu trong phiên bản 10 [9,10]. Cell chính là cell mà UE giao tiếp, nơi mà các thông tin báo hiệu lớp RRC được trao đổi và cũng là nơi mà kênh vật lý điều khiển đường xuống (PUCCH) tồn tại. Một cell chính luôn luôn hoạt động ở trạng thái RRC_CONNECTED trong khi các cell thứ cấp khác có thể hoạt động trong trạng thái đó hoặc không. Các cell thứ cấp bổ sung chỉ có thể được cấu hình sau khi thiết lập kết nối trạng thái RRC_CONNECTED để cung cấp thêm tài nguyên vô tuyến.

Các cell chính và cell thứ cấp nhìn chung đều được coi là các cell phục vụ và các sóng mang mà cell chính và cell thứ cấp dựa trên đều là sóng mang thành phần chính và sóng mang thành phần thứ cấp tương ứng. Kênh vật lý chia sẻ đều được truyền trên cả cell chính và cell thứ cấp. Một cell chính được cấp một kênh vật

lý điều khiển đường lên và một kênh vật lý điều khiển đường xuống. Các quy trình, quy trình đo lường khả năng di động, thủ tục truy cập ngẫu nhiên đều được thực hiện dựa trên cell chính và cell chính sẽ không thể bị vô hiệu hoá. Ngược lại, các cell thứ cấp có thể được trang bị kênh vật lý điều khiển đường xuống hay không phụ thuộc vào khả năng của UE và ở cell thứ cấp sẽ không bao giờ có kênh vật lý chia sẻ đường lên. Về cơ bản, khi UE được kết nối với cell chính, tập hợp sóng mang sẽ chỉ tác động đến một số lớp giao thức nhất định nếu xét về việc báo hiệu, lúc này các cell thứ cấp sẽ được coi là các tài nguyên bổ sung để truyền dữ liệu. Các tác động của kỹ thuật này được mô tả chi tiết trong phần tiếp theo.

3.2: Lớp điều khiển tài nguyên vô tuyến (RRC)

Các tác động chính của tập hợp sóng mang trên lớp RRC chủ yếu là các tác động liên quan tới báo cáo đo lường và cấu hình các sóng mang thứ cấp [10]. Như ta đã biết, cell thứ cấp là cell hoạt động ở tần số thứ cấp và có thể được cấu hình sau khi kết nối RRC được thiết lập và có thể được sử dụng để cung cấp thêm tài nguyên vô tuyến. Quy trình này bắt đầu khi UE ở trạng thái CONNECTED_NOMALLY. Giả định rằng mỗi UE có khả năng tập hợp sóng mang và với bất kỳ cấu hình nào được cung cấp bởi eNodeB đính kèm. Lớp RRC của eNodeB sẽ gửi cho UE các tham số cấu hình sóng mang thứ cấp thông qua quy trình cấu hình lại kết nối RRC. Ngoài ra, quy trình này còn có thể được sử dụng cho các mục đích khác nhau liên quan tới việc sửa đổi kết nối RRC. Ví dụ như để thiết lập, sửa đổi, giải phóng các khối tài nguyên, thực hiện chuyển giao, thiết lập phép đo, sửa đổi và giải phóng các cell thứ cấp. Ở phía UE, lớp RRC được mở rộng để cấu hình các lớp thấp hơn. Khi các sóng mang đã được cấu hình, một tín hiệu thông báo hoàn tất sẽ được gửi lại cho lớp RRC ở eNodeB, tín hiệu này sẽ thông báo rằng các sóng mang thứ cấp đã được cấu hình đúng và thành công. Lớp RRC ở cả hai phía UE và eNodeB sẽ được mở rộng để cho phép báo cáo đo lường cho các sóng mang thứ cấp. Cuối cùng, để cho phép các quy trình báo cáo cấu hình và đo lường, RRC được tăng cường để tuân tự hoá và giải tuân tự hoá các cấu trúc thông báo lớp RRC mang thông tin liên quan tới các sóng mang thứ cấp.

Ngoài ra, với sự linh hoạt của kỹ thuật tập hợp sóng mang, E-UTRAN phải được thông báo về các chi tiết sự hỗ trợ của UE cho việc tập hợp sóng mang. Điều này được thực hiện thông qua một thủ tục có tên “Thủ tục chuyển giao khả năng UE của RRC”.

3.3 Lớp điều khiển truy cập môi trường (MAC)

Các tác động lên lớp MAC sẽ dựa trên kiểu lập lịch nào sẽ được áp dụng. Như đã giới thiệu trước đó, có

hai kiểu lập lịch được đưa ra là lập lịch trên cùng sóng mang hoặc lập lịch chéo giữa các sóng mang [10]. Tuy nhiên, việc triển khai kỹ thuật này chỉ áp dụng với kiểu lập lịch trên cùng sóng mang, khi đó mỗi kênh điều khiển vật lý đường xuống sẽ hỗ trợ một sóng mang. Lúc này lớp MAC đóng vai trò là thực thể ghép kênh cho các sóng mang thành phần được tập hợp. Mỗi thực thể MAC sẽ cung cấp cho các sóng mang thành phần tương ứng của mình thực thể lớp vật lý tương ứng, cung cấp ánh xạ tài nguyên, điều chế dữ liệu, HARQ và mã hoá kênh.

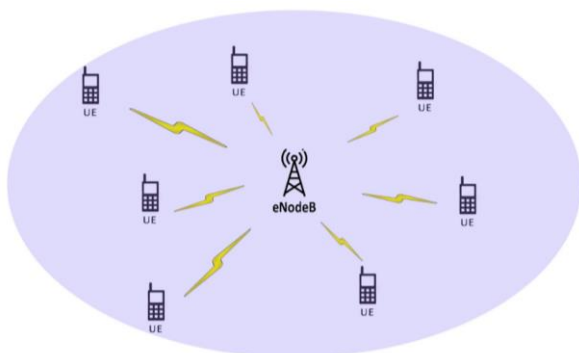
3.4 Lớp vật lý (PHY)

Về cơ bản, cách thức hoạt động của lớp vật lý trên mỗi sóng mang thành phần và các chức năng khác không thay đổi. Nhưng điểm khác biệt khi áp dụng kỹ thuật tập hợp sóng mang là sẽ có nhiều phiên bản lớp vật lý nên cũng có nhiều phiên bản kênh PDCCH, HARQ, bản tin ACK/NACK và CSI trên mỗi sóng mang [10]. Sự tồn tại của nhiều sóng mang thành phần có nghĩa rằng Trường đánh giá chất lượng kênh (CQI) phải được đánh giá và báo cáo cho từng sóng mang thành phần riêng lẻ khi tập hợp sóng mang được áp dụng. CQI cũng như các chỉ số HARQ, ACK trên đường xuống và các thông tin khác được báo cáo cho trạm cơ sở thông qua kênh thông tin điều khiển đường lên (UCI).

IV. MÔ PHỎNG KỸ THUẬT TẬP HỢP SÓNG MANG TRONG MẠNG LTE VỚI PHẦN MỀM NS3

4.1: Mô hình mô phỏng

Mô hình mô phỏng được thực hiện dưới đây sẽ mô phỏng việc trao đổi dữ liệu giữa một UE và một máy chủ từ xa trên internet trong một cell tại một khu vực nhất định. Trong đó, các UE sẽ di chuyển ngẫu nhiên và thực hiện kết nối với máy chủ. Trong trường hợp giả định các kết nối từ eNodeB tới máy chủ đều trong điều kiện lý tưởng nhất về môi trường truyền dẫn, độ trễ... Sau đó, hiệu suất của mô hình mô phỏng này sẽ được đánh giá qua việc truyền dẫn vô tuyến giữa các UE và eNodeB.



Hình 2: Mô hình mô phỏng

Dữ liệu trao đổi giữa các UE và máy chủ sẽ được giám sát bởi module giám sát luồng tên Flow Monitor. Ngoài ra, trong khi giám sát quá trình trao đổi gói tin, module này sẽ ghi lại dữ liệu, thông tin bao gồm: thông lượng, các gói tin bị mất và độ trễ.

4.2: Tham số mô phỏng

Mô phỏng thực hiện bên trong một cell được giám sát bởi một eNodeB. Trong đó các UE sẽ di chuyển ngẫu nhiên bên trong. Số lượng UE mô phỏng sẽ bắt đầu từ 4 UE và tăng dần tới 24 UE. Chương trình mô phỏng chạy trong 20 giây sau đó kết thúc. Các thông số liên quan sẽ được liệt kê trong Bảng 1 dưới đây.

Tham số mô phỏng	Giá trị
Kích thước gói tin	1316 byte
Số lượng khối tài nguyên	6
Số lượng sóng mang	72
Thời gian mô phỏng	20 giây
Số lượng eNodeB	1
Số lượng UE	4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 24
Bộ lập lịch	PF

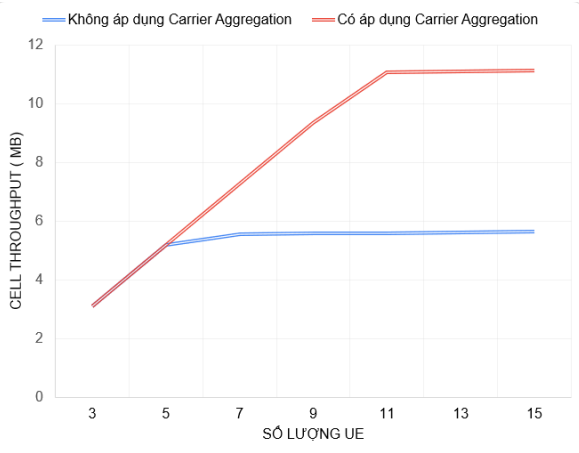
Bảng 1: Các tham số trong chương trình mô phỏng

Trong Internet được cấu hình với tốc độ truyền tải 100Gb/giây bởi module PointToPointHelper. Mô hình di động sẽ giúp định vị các UE trong ở các vị trí khác nhau. Sau khi các thiết lập được hoàn tất, chương trình sẽ mô phỏng trong 20 giây và kết thúc.

Các kết quả, thông số sẽ được xuất ra màn hình terminal như hình 4.6. Trong đó bao gồm IP nguồn, IP đích, thông lượng, số gói tin bị mất, số gói tin truyền, độ trễ... Do phần mềm NS3 hiện tại chỉ hỗ trợ tập hợp sóng mang trên đường xuống nên ta chỉ xét những trường hợp có nguồn là địa chỉ IP 1.0.0.2 (Đây là địa chỉ IP của Remotehost).

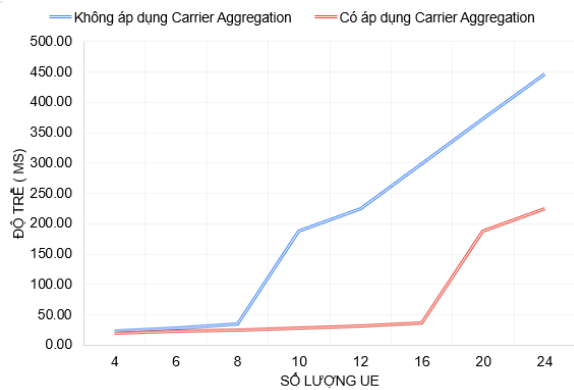
4.3: Kết quả mô phỏng

Sau khi thực hiện chương trình mô phỏng với hai trường hợp là có và không áp dụng kỹ thuật tập hợp sóng mang sử dụng công cụ mô phỏng Network Simulation 3 (NS3) [11]. Kết quả được biểu diễn qua biểu đồ trong hình dưới đây. Với đường biểu diễn màu đỏ là có áp dụng kỹ thuật tập hợp sóng mang và đường màu xanh là không áp dụng kỹ thuật tập hợp sóng mang.



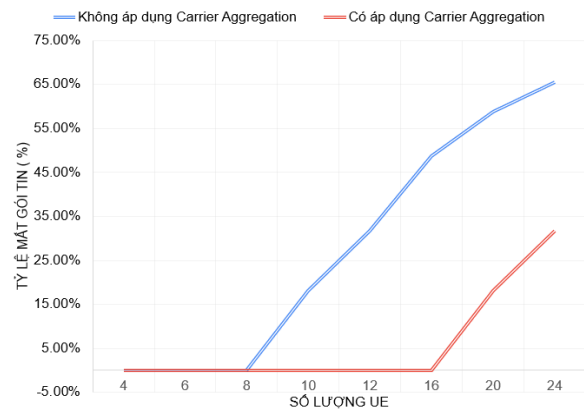
Hình 3: Thông lượng của cell theo số UE

Hình 3 là biểu đồ kết quả so sánh giữa tổng thông lượng mà eNodeB có thể truyền trong hai trường hợp là có áp dụng kỹ thuật tập hợp sóng mang và không áp dụng kỹ thuật tập hợp sóng mang. Qua biểu đồ, ta có thể thấy rõ với số lượng UE tăng lên, tổng thông lượng mà các UE nhận được từ eNodeB khi có áp dụng kỹ thuật trên là cao hơn rất nhiều so với khi không có tập hợp sóng mang. Ban đầu với số UE từ 4 tới 8 UE, tổng số thông lượng trong cả hai trường hợp là như nhau và tăng dần theo số UE. Nhưng khi số UE tăng lên từ 8 đến 16 UE thì giá trị này có phần chững lại trong trường hợp không áp dụng tập hợp sóng mang. Điều này xảy ra do số UE tăng lên thì sẽ xảy ra sự tranh chấp giữa các UE và lúc này thông lượng mà eNodeB có thể truyền tới UE đã đạt mức tối đa. Với trường hợp có áp dụng tập hợp sóng mang, thông lượng vẫn tiếp tục tăng lên và bắt đầu chững lại ở 20 UE. Cụ thể hơn, với số UE là 16, thông lượng mà eNodeB có thể truyền khi có áp dụng tập hợp sóng mang là 8.08 Mb. Cao hơn 194% so với trường hợp không có tập hợp sóng mang là 4.15 Mb. Với số UE tăng lên 20 UE thì thông lượng eNodeB có thể truyền khi có tập hợp sóng mang là 8.26 Mb, cao hơn trường hợp còn lại 198%.



Hình 4: Sự thay đổi của độ trễ của một gói tin theo số UE

Hình 4 là biểu đồ kết quả so sánh độ trễ trung bình của mỗi UE giữa hai trường hợp có và không áp dụng tập hợp sóng mang. Có thể thấy, khi không áp dụng tập hợp sóng mang với số UE từ 4 đến 8 UE, độ trễ trung bình của mỗi UE khi nhận gói tin từ eNodeB là rất thấp (từ 23.5ms đến 35.75ms). Nhưng khi số UE tăng lên 10, giá trị này tăng lên rất nhiều so với số lượng UE ít hơn (từ 35.75ms tới 187.4ms). Với trường hợp có tập hợp sóng mang, điều này chỉ xảy ra khi số lượng UE tăng lên đến 20 UE. Nguyên nhân dẫn tới việc độ trễ của mỗi UE tăng lên là vì khi số lượng UE tăng thì eNodeB sẽ không thể đáp ứng đảm bảo tốc độ của việc truyền các gói tin, và lúc này các UE sẽ được xếp vào hàng chờ. Và khi có áp dụng tập hợp sóng mang thì eNodeB có thể phục vụ số lượng UE nhiều hơn khi không có áp dụng kỹ thuật này.



Hình 5: Tỷ lệ mất gói tin theo số lượng UE

Hình 5 là biểu đồ kết quả so sánh tỷ lệ mất gói tin khi eNodeB truyền dữ liệu tới các UE. Trong trường hợp không áp dụng tập hợp sóng mang, tỷ lệ mất gói tin bắt đầu xuất hiện khi số UE bắt đầu từ 10 UE và con số này là 18.17%. Tương tự với 20 UE trong trường hợp có áp dụng tập hợp sóng mang và với số lượng UE thấp hơn thì gần như không có sự mất mát dữ liệu trong quá trình truyền tải. Các gói tin bị mất trong quá trình truyền đến các UE là do khi số UE tăng lên thì sẽ bị xếp vào hàng chờ và độ trễ trong việc truyền dữ liệu cũng tăng. Khi thời gian chờ đã đạt mức tối đa thì các gói tin sẽ tự động hủy và dẫn đến việc mất gói tin trong quá trình truyền tải.

V. KẾT LUẬN

Bài báo đã đưa ra và đánh giá được hiệu suất của kỹ thuật tập hợp sóng mang trong mạng LTE-Advanced. Các tham được đánh giá là thông lượng mạng, độ trễ trung bình của gói tin và tỉ lệ mất gói tin. Từ những dữ

liệu và kết quả mô phỏng, có thể kết luận rằng kỹ thuật tập hợp sóng mang đem lại hiệu năng rất tốt trong mạng LTE. Kỹ thuật này không chỉ có thể tăng thông lượng của mạng lên gần gấp đôi mà còn có thể giảm độ trễ và tỉ lệ mất gói tin trong việc truyền nhận các gói tin dữ liệu. Từ đó có thể thấy rằng khi áp dụng kỹ thuật tập hợp sóng mang, các nhà cung cấp có thể phục vụ nhiều người dùng hơn với chất lượng phục vụ tốt hơn bằng cách tận dụng tối đa các tài nguyên đã có.

[11]. NS3, "NS3 LTE Module," [Online]. Available: <https://www.nsnam.org/docs/models/html/lte.html>.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. K. A. S. A. G. M. Arun Agarwal, Evolution of Mobile Communication Technology, Science and Education Publishing, 2019.
- [2]. Qualcomm, The Evolution of Mobile 1G to 2G to 3G to 4G LTE, www.qualcomm.com, June 2014.
- [3]. C. Cox, "System Architecture Evolution," in An Introduction to LTE: LTE, LTE-Advanced, SAE and 4G Mobile Communications, Wiley, March 2012,
- [4]. 3GPP TS 36.300 version 13.2.0 Release 13 "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description;"
- [5]. TR 36.808 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Carrier Aggregation; Base Station (BS) radio transmission and reception
- [6]. H. Wang, C. Rosa and K. Pedersen, "Performance Analysis of Downlink Inter-Band Carrier Aggregation in LTE-Advanced," 2011 IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall), San Francisco, CA, 2011, pp. 1-5, doi: 10.1109/VETEFC.2011.6092836.
- [7]. Parikh, J., & Basu, A. (2013). Carrier Aggregation for Enhancement of Bandwidth in 4G Systems. Quality, Reliability, Security and Robustness in Heterogeneous Networks, 61–74. doi:10.1007/978-3-642-37949-9_6
- [8]. Liston Kiwoli, Anael Sam, Emmanuel Manasseh, "Performance analysis of carrier aggregation for various mobile network implementations scenario based on spectrum allocated " International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) Vol. 9, No. 5, October 2017
- [9]. Xiaolin Cheng, G. Gupta and P. Mohapatra, "Joint carrier aggregation and packet scheduling in LTE-advanced networks," 2013 IEEE International Conference on Sensing, Communications and Networking (SECON), New Orleans, LA, 2013, pp. 469-477, doi: 10.1109/SAHCN.2013.6645018.
- [10]. Anritsu, Understanding LTE-Advanced Carrier Aggregation.