

NGHIÊN CỨU ĐỀ XUẤT MÔ HÌNH LẬP LỊCH CHO ĐƯỜNG TẢI XUỐNG TRONG MẠNG LONG TERM EVOLUTION VỚI CÁC NODE DI ĐỘNG KẾT HỢP GIỮA MIỀN THỜI GIAN VÀ MIỀN TẦN SỐ

Lê Minh Tuấn^{1,4}, Đặng Thanh Hải², Vũ Như Lâm³, Lê Hoàng Sơn⁴, Đinh Thu Khánh³

¹Đại học Nội vụ Hà Nội

²Đại học Đà Lạt

³Đại học Thăng Long

⁴Viện Công nghệ thông tin, Đại học Quốc gia Hà Nội

letuan104@gmail.com, haidt@dlu.edu.vn, vnlan@ioit.ac.vn, sonlh@vnu.edu.vn, dinhthukhanh@gmail.com

TÓM TẮT: Phân phối tài nguyên tới người dùng trong mạng Long Term Evolution (LTE) là một trong những bài toán quan trọng nhằm làm tăng chất lượng dịch vụ (QoS) của mạng. Trong thực tế, người dùng trong mạng có thể sử dụng các thiết bị di động hoặc các thiết bị cố định để tương tác trong mạng. Khi một thiết bị di động di chuyển vào hoặc ra khỏi vùng phủ sóng của trạm cơ sở (BS) hoặc khi một thiết bị cố định (ví dụ cảm biến) cạn kiệt năng lượng làm cho cấu trúc của mạng tại trạm cơ sở biến đổi không ngừng và khó dự đoán. Bên cạnh đó, các người dùng khác nhau trong mạng lại có các yêu cầu về tài nguyên khác nhau đã làm cho bài toán phân phối tài nguyên trở nên hết sức phức tạp. Hiện nay, nhiều giải pháp đã được đưa ra nhằm tối ưu việc phân phối tài nguyên trong mạng LTE, nhưng các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào việc phân bổ tài nguyên cho các thiết bị di động chứ chưa có nhiều đề cập đến cấp phát tài nguyên cho các thiết bị cố định (cảm biến). Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất mô hình hóa bài toán lập lịch phân phối tài nguyên trong mạng LTE kết hợp giữa miền thời gian và miền tần số cho phép phân phối tài nguyên tới người dùng là các thiết bị di động và các thiết bị cố định. Mô hình lập lịch lại đảm bảo: thỏa mãn tính công bằng, tối ưu băng thông giữa các người dùng là thiết bị di động và đảm bảo tiết kiệm năng lượng cho thiết bị cố định.

Từ khóa: Lập lịch tải xuống, long term evolution, mạng động, cảm biến, di động.

I. GIỚI THIỆU

Với sự phát triển của công nghệ, các ứng dụng như hội nghị truyền hình, điện thoại Internet, mạng xã hội, ứng dụng web,... luôn đòi hỏi một lưu lượng lớn về dữ liệu. Sự ra tăng của các dịch vụ kể trên với đòi hỏi chất lượng dịch vụ cao luôn được các nhà khoa học quan tâm đặc biệt với chất lượng dịch vụ trong mạng không dây. Mạng LTE được giới thiệu bởi 3GPP với băng thông lớn và để mở rộng vùng phủ sóng, tốc độ cao và độ trễ thấp sẽ là một giải pháp hữu hiệu nhằm cải thiện chất lượng dịch vụ mạng. Công nghệ truy cập sóng vô tuyến trong mạng LTE với đường tải xuống là đa truy nhập phân chia theo tần số trực giao (OFDMA) theo cả miền thời gian và miền tần số [1], [2].

Đối với bài toán lập lịch trong mạng LTE, nhiều bài toán cần phải được giải quyết như một số thiết bị người dùng nằm trong vùng phủ sóng của trạm cơ sở yêu cầu tốc độ dữ liệu cao, độ trễ thấp, nhiều kỹ thuật cho phép các thiết bị người dùng chia sẻ băng thông có sẵn bằng cách phân bổ cho mỗi thiết bị người dùng một phần của tổng tài nguyên hệ thống. Các mục tiêu khác nhằm tăng chất lượng dịch vụ như đảm bảo tính công bằng cũng được xét đến, đôi khi cũng cần phải có sự thỏa hiệp giữa hiệu năng và sự công bằng. Một thuật toán lập lịch hiệu quả đảm bảo yếu tố này cần chú ý đến một số yếu tố như: Tỷ lệ nhiễu tín hiệu, độ trễ gói, độ dài hàng đợi, loại dịch vụ, tính công bằng, điều kiện kênh hiện tại và độ phức tạp thời gian tính toán, [4].

Để tài nguyên vô tuyến được lập lịch tới thiết bị người dùng một cách hiệu quả trong khi vẫn đảm bảo chất lượng dịch vụ, các kỹ thuật quản lý tài nguyên vô tuyến là rất cần thiết. Nhiều thuật toán lập lịch phân phối tài nguyên sóng vô tuyến tới người dùng đã được đề xuất [3]. Một số thuật toán tập trung vào giải quyết bài toán về độ trễ và tỷ lệ mất gói. Các thuật toán thuộc nhóm này như Exponential Earliest Deadline First (EXPEDF), thuật toán này đảm bảo chất lượng dịch vụ cho các ứng dụng thời gian thực. Thuật toán dựa vào các đặc tính khác nhau giữa các người dùng, ràng buộc về độ trễ gói và chất lượng kênh truyền để cấp phát tài nguyên tới người dùng [5]. Thuật toán Modified-Earliest Deadline First-Proportional Fair (MEDFPF) sử dụng thuật toán EDF để lên lịch các luồng với thời gian gắn kết thức và thuật toán Proportional Fair (PF) để đảm bảo thông lượng cũng như đáp ứng được tính công bằng giữa các luồng nhằm cải thiện chất lượng dịch vụ với các ứng dụng VoIP và Video [6]. Thuật toán Modified Largest Weighted Delay First (MLWDF) cấp phát tài nguyên dựa trên điều kiện kênh và trạng thái hàng đợi của mỗi người dùng. Thuật toán đảm bảo thông lượng tối thiểu và cho phép tăng số người dùng mà vẫn đảm bảo chất lượng dịch vụ [10]. Thuật toán RB Preserver Scheduler (RBS) cấp phát tài nguyên theo 2 mức. Mức thứ nhất, tối ưu khung LTE bằng cách kết hợp một vài khung phụ nhằm đảm bảo chất lượng dịch vụ của người dùng. Mức thứ hai, cài đặt thuật toán Proportional Fair MAX (PF-MAX), Delay Rule (DR), EXP/PF và Weighted Delay (WD) để cấp phát các khối tài nguyên tới người dùng. Thuật toán đảm bảo chất lượng dịch vụ với các ứng dụng thời gian thực [7]. Thuật toán Frame Level Scheduler Advanced (FLSA) cấp phát tài nguyên theo 3 mức. Mức thứ nhất, sử dụng giới hạn dữ liệu theo [8] để xác định tổng số dữ liệu theo luồng thời gian thực trong mỗi khoảng thời gian truyền, mức thứ hai sử dụng thuật toán MLWDF để phân phối khối tài nguyên tới luồng và mức thứ ba, cấp phát các khối tài nguyên còn lại tới luồng. Thuật toán cho phép cấp phát tài nguyên tới người dùng đảm bảo chất lượng dịch vụ theo luồng thời gian thực [9].

Bên cạnh đó, một số thuật toán khác chỉ tập trung vào thông lượng của hệ thống và bỏ qua yếu tố về độ trễ hay tỷ lệ mất gói. Một số thuật toán thuộc nhóm này như thuật toán Blind Equal Throughput (BET). Thuật toán BET đảm bảo sự công bằng giữa các người dùng bằng cách cấp phát tài nguyên một cách công bằng tới tất cả người dùng mà không xét đến điều kiện kênh truyền hiện tại. Thuật toán sử dụng thông lượng trung bình trong quá khứ như một yếu tố để cấp phát tài nguyên. Thuật toán đảm bảo tính công bằng khi cấp phát tài nguyên tới người dùng [14]. Thuật toán Maximum Throughput (MT) cấp phát tài nguyên tới người dùng dựa trên chỉ số chất lượng kênh truyền (CQI). Thuật toán MT đạt được thông lượng cao nhất nhưng không đảm bảo tính công bằng giữa người dùng vì trong mạng sẽ có những người dùng có chỉ số chất lượng kênh không tốt [14]. Thuật toán Generalized Proportional Fair (GPF), thuật toán này đánh đổi hiệu quả của phổ và tính công bằng để đạt được hiệu quả về lưu lượng. Thuật toán GPF sử dụng hai trọng số a và b để hiệu chỉnh chính sách phân bổ tài nguyên tức thời để đạt được hiệu quả thông lượng trung bình theo thời gian [12]. Với a và b có giá trị là 1, thuật toán trở thành thuật toán PF, với a có giá trị là 1 và b có giá trị là 0 thì thuật toán trở thành thuật toán MT và với a có giá trị là 0 và b có giá trị là 1 thì thuật toán trở thành thuật toán BET [13]. Thuật toán đạt được hiệu quả phổ cao hay đạt được tính công bằng phụ thuộc vào trọng số a và b được thiết lập.

Gần đây, một số thuật toán lập lịch trên mạng Mobile Ad-hoc Network và mạng Mobile Grid Computing cũng được nhiều tác giả quan tâm. Mô hình mạng động được đề xuất cho bài toán lập lịch tài nguyên trong mạng LTE với các node là các cảm biến trong bệnh viện [15]. Thuật toán đề xuất trong mô hình đã đảm bảo chất lượng dịch vụ như tối ưu băng thông và đảm bảo tính công bằng cho tất cả người dùng. Trong [16], nhóm tác giả đã sử dụng chiến lược tìm kiếm theo kinh nghiệm nhằm lựa chọn thiết bị để lập lịch. Thuật toán đề xuất cho kết quả tốt hơn MIN-MIN, MAX-MIN và thuật toán HEFT. Trong [17], nhóm tác giả đề xuất thuật toán lập lịch Integrated Time and Frequency Domain Scheduling (ITFDS) trong mạng LTE đảm bảo chất lượng dịch vụ đối với người dùng theo cả miền thời gian và miền tần số. Thuật toán trước tiên tính dung lượng tối đa mà kênh truyền đạt được. Tiếp theo, chỉ số chất lượng kênh truyền được tạo ra phụ thuộc vào các ứng dụng mà người dùng yêu cầu. Dựa trên giá trị của chỉ số chất lượng kênh truyền, thuật toán lựa chọn tỷ lệ truyền phù hợp. Để tăng tốc độ truyền, thuật toán xem xét đến giá trị Head of Line (HOL) của luồng. Thuật toán đề xuất cho chất lượng cải thiện 12 % so với thuật toán trước đó.

Như vậy có thể thấy, mặc dù đã có nhiều thuật toán lập lịch tài nguyên tới người dùng nhưng hầu hết các thuật toán đều lập lịch trong môi trường tĩnh. Một số thuật toán đạt được chất lượng dịch vụ về băng thông, tỷ lệ mất gói tin thì không đạt được tính công bằng và ngược lại. Để tăng chất lượng dịch vụ, một thuật toán lai cho phép đạt được chất lượng cả về băng thông, tính công bằng cho mọi người dùng trong môi trường động sẽ được đề xuất trong bài báo này.

Trong bài báo này, chúng tôi **mô hình hóa bài toán và đưa ra** một thuật toán lập lịch phân phối tài nguyên lai trong mạng LTE kết hợp giữa miền thời gian và miền tần số cho phép phân phối tài nguyên tới người dùng là các thiết bị di động và các thiết bị **cố định**. Thuật toán lập lịch lai đảm bảo: thỏa mãn tính công bằng, tối ưu băng thông giữa các người dùng là thiết bị di động và đảm bảo tiết kiệm năng lượng cho **thiết bị cố định**.

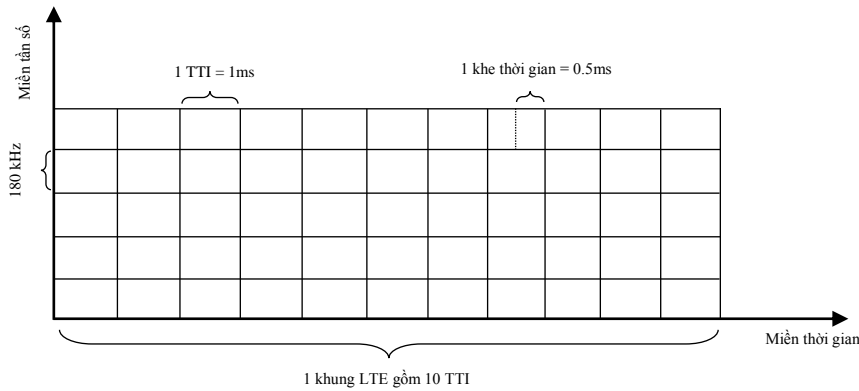
II. LẬP LỊCH TRONG MẠNG LTE

Trong phần này, chúng tôi sẽ tập trung giới thiệu về lập lịch trong mạng LTE, một số thuật toán lập lịch QoS Aware và QoS Unaware, làm cơ sở để phát triển thuật toán đề xuất.

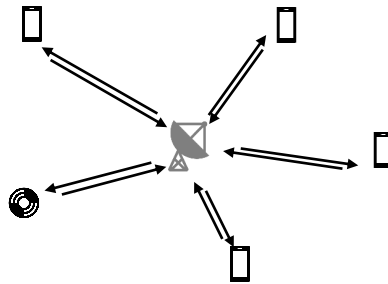
Trong mạng LTE, trạm cơ sở (eNodeB) là đơn vị chịu trách nhiệm phân phối tài nguyên tới người dùng đang hoạt động. Trạm cơ sở gán các khối tài nguyên cho mỗi TTI dựa vào điều kiện hiện tại của kênh được phản hồi từ phía người dùng. Thiết bị người dùng gửi giá trị chất lượng kênh truyền về trạm cơ sở để báo cho trạm cơ sở biết tốc độ dữ liệu được hỗ trợ bởi đường tải xuống. Giá trị chỉ số chất lượng kênh truyền từ 1 đến 15 tương ứng với sơ đồ mã hóa và điều chế (MCS) cao nhất và tổng lượng dự phòng [18]. Với đường tải xuống, LTE sử dụng công nghệ truy cập sóng vô tuyến là đa truy cập phân chia theo thời gian. Theo cách này, tài nguyên được cấp phát theo cả miền thời gian và miền tần số. Theo miền thời gian, kênh tải xuống được chia thành các khung, mỗi khung 10 ms, mỗi khung có 10 khung phụ, mỗi khung phụ có độ lớn 1 ms được gọi là khoảng thời gian truyền TTI. Thêm vào đó, mỗi khoảng thời gian truyền bao gồm hai khe thời gian, mỗi khe 0,5 ms. Theo miền tần số, toàn bộ băng thông được chia thành các kênh phụ, mỗi kênh phụ có độ lớn 180 kHz. Tài nguyên vô tuyến theo miền thời gian và miền tần số nằm trong một khe thời gian theo miền thời gian và một kênh phụ trong miền tần số được gọi là khối tài nguyên (RB). Khối tài nguyên là đơn vị tài nguyên vô tuyến nhỏ nhất mang dữ liệu có thể được cấp phát tới thiết bị người dùng. Số lượng RB tương ứng với thiết lập băng tần của hệ thống. Theo đó với 6, 25, 100 khối tài nguyên tương ứng với 1,25 MHz, 5 MHz, 20 MHz [15]. Tài nguyên vô tuyến của đường tải xuống trong mạng LTE được mô tả như Hình 1.

Trong LTE, lập lịch đường tải xuống được thực hiện trong mỗi khoảng thời gian truyền TTI. Trong mỗi TTI, 2 khối tài nguyên liên tiếp được cấp phát cho thiết bị người dùng [19]. Cũng trong mỗi TTI, thiết bị người dùng tính toán cường độ tín hiệu nhận được hoặc tỷ số tín hiệu trên nhiễu cộng tạp âm (SINR) trên các tín hiệu tham chiếu nhận được từ trạm cơ sở. Các thuật toán lập lịch cho đường tải xuống trong mạng LTE hướng tới sự đảm bảo các yêu cầu của hệ thống và người dùng. Thông thường, một thuật toán lập lịch tốt phải thỏa mãn hai tiêu chí: làm tối đa băng thông hệ thống và đảm bảo sự công bằng giữa các thiết bị người dùng. Lập lịch trong mạng LTE được mô tả như trong Hình 2.

Một số thuật toán lập lịch có thể kể đến như Maximum Throughput, Round Robin, Best CQI, Proportional Fair, Resource Fair hay Channel aware Integrated Time and Frequency Domain.



Hình 1. Mô tả tài nguyên vô tuyến trong mạng LTE



Hình 2. Mô hình lập lịch trong mạng LTE

2.1. Thuật toán Maximum Throughput

Thuật toán Maximum Throughput (MT) lập lịch dữ liệu tới người dùng dựa trên điều kiện kênh truyền của người dùng tại thời điểm lập lịch. Người dùng có điều kiện kênh truyền tốt sẽ được ưu tiên lập lịch trước. Theo cách tiếp cận này, thuật toán cho phép hệ thống nhận được băng thông tối đa. Có thể nhận thấy, đây cũng là nhược điểm của hệ thống, theo cách mà thuật toán MT làm việc, những thiết bị người dùng ở xa trạm cơ sở, hoặc tại vùng biên của vùng phủ sóng sẽ có chất lượng sóng thấp, những thiết bị này ít có cơ hội nhận được dữ liệu từ trạm cơ sở. Thuật toán MT cho phép tối ưu băng thông của hệ thống nhưng không đảm bảo tính công bằng [20].

2.2. Thuật toán Round Robin

Thuật toán Round Robin (RR) hoạt động tương đối đơn giản. Thuật toán gán khoảng thời gian truyền dữ liệu như nhau giữa mọi thiết bị người dùng theo vòng [21]. Theo cách này, thuật toán RR đạt được tính công bằng cao nhất khi mọi thiết bị của người dùng có cùng điều kiện kênh truyền và cùng độ lớn gói dữ liệu đến bộ đệm của thiết bị. Do không tính đến sự ảnh hưởng của kênh truyền nên băng thông hệ thống thường thấp hơn các thuật toán lập lịch khác. Mặt khác, các thiết bị người dùng khác nhau yêu cầu các tài nguyên khác nhau, chất lượng dịch vụ khác nhau nên khó có khả năng các thiết bị người dùng nhận được cùng số các khối tài nguyên vì khi đó sẽ làm giảm chất lượng dịch vụ của hệ thống [21].

2.3. Thuật toán Best CQI

Thuật toán Best CQI cấp phát tài nguyên vào chỉ số chất lượng kênh truyền (CQI) được phản hồi từ thiết bị người dùng. Điều này có nghĩa là với người dùng có chỉ số chất lượng kênh truyền tốt sẽ được cấp phát tài nguyên và ngược lại, người dùng với điều kiện kênh truyền không tốt sẽ ít có cơ hội được phục vụ [22]. Điều kiện kênh truyền chứa giá trị tỷ số tín hiệu trên nhiễu cộng tạp âm được đo bởi chính các thiết bị người dùng. Chỉ số chất lượng kênh truyền cao nghĩa là điều kiện kênh truyền tốt. Thuật toán lựa chọn thiết bị có chỉ số chất lượng kênh truyền tốt nhất để truyền dữ liệu. Thuật toán Best CQI đảm bảo chất lượng băng thông tốt nhưng chưa đảm bảo được tính công bằng giữa các thiết bị người dùng. Các thiết bị người dùng ở xa trạm cơ sở sẽ ít có cơ hội nhận được dữ liệu từ trạm.

2.4. Thuật toán Proportional Fair

Ý tưởng của thuật toán Proportional Fair (PF) là gán các khối tài nguyên tới các thiết bị người dùng có chỉ số chất lượng kênh truyền tốt nhất kết hợp với sự công bằng mong muốn. Hiện nay, có nhiều phiên bản khác nhau của thuật toán PF được cài đặt. Mục tiêu chính của thuật toán là đảm bảo tính công bằng giữa các thiết bị người dùng trong khi vẫn đạt được mục tiêu tối đa băng thông hệ thống. Trước tiên, thuật toán tính độ ưu tiên của mỗi người dùng tại

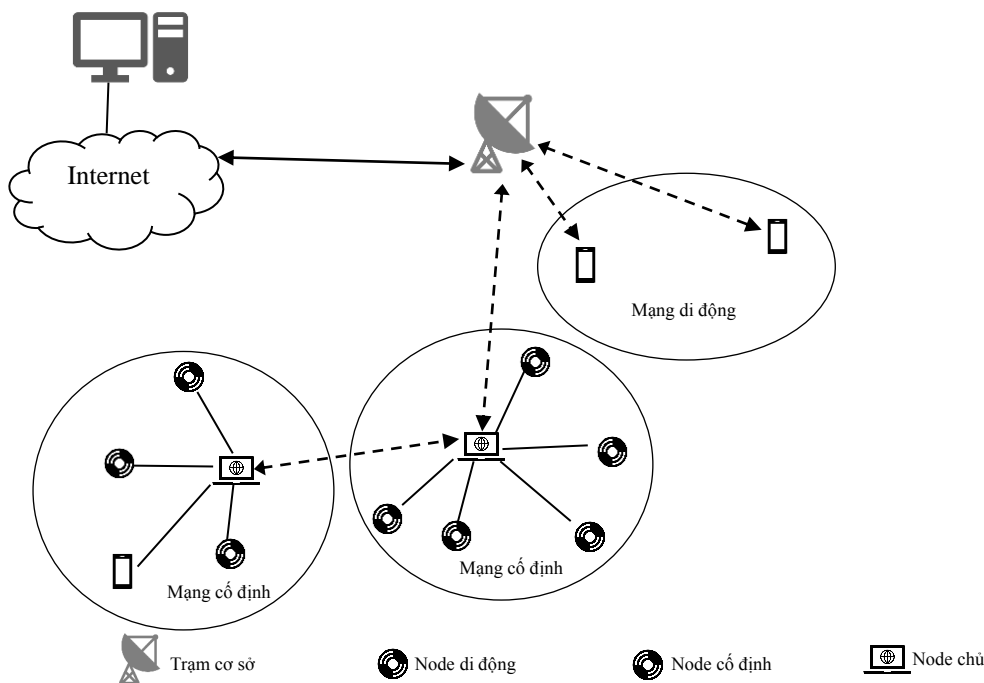
mỗi khoảng thời gian truyền, thiết bị người dùng với ưu tiên cao nhất sẽ được cấp phát tài nguyên, thuật toán lập lại khi tất cả các tài nguyên vô tuyến được cấp phát tới tất cả thiết bị người dùng.

2.5. Thuật toán channel aware Integrated Time and Frequency Domain

Thuật toán Integrated Time and Frequency Domain cho đường tải xuống kết hợp cả miền thời gian và miền tần số để phân phối tài nguyên tới người dùng nhằm cải thiện thông lượng và độ trễ gói với những người dùng ở biên vùng phủ sóng của trạm cơ sở. Thuật toán có khả năng phân tích dữ liệu về độ trễ và kích thước gói của người dùng để cấp phát khối tài nguyên một cách hiệu quả. Tài nguyên phân phối tới người dùng được thuật toán cấp phát dựa vào điều kiện kênh truyền và các tham số chất lượng dịch vụ khác. Trong mỗi TTI, trạm cơ sở thu thập thông tin từ các hàng đợi khác nhau từ các thiết bị người dùng kết nối với nó. Thiết bị người dùng tính toán chỉ số chất lượng kênh bằng tín hiệu tham chiếu từ trạm cơ sở và gửi lại trạm cơ sở. Khi một thiết bị ra nhập mạng, bộ phân lớp tự động gán thiết bị vào nhóm cho đến khi kết nối kết thúc. Bộ phân lớp chất lượng dịch vụ (QCI) giúp xác định loại dựa trên kiểu dữ liệu người dùng thành lớp đảm bảo tỷ lệ truyền và không đảm bảo tỷ lệ truyền [17].

III. MÔ HÌNH LẬP LỊCH ĐỀ XUẤT

Để tăng chất lượng dịch vụ, nhóm tác giả đề xuất mô hình mạng như Hình 3.



Hình 3. Mô hình mạng đề xuất cho thuật toán

Giả sử mạng cần lập lịch tài nguyên có một trạm cơ sở, N^m node di động là các thiết bị như điện thoại di động, máy tính xách tay hay các thiết bị cầm tay khác tạo thành mạng có topo mạng thay đổi (mạng động) và N^f node cố định như máy tính để bàn và các cảm biến tạo thành mạng có topo mạng không thay đổi (mạng tĩnh). Các node trong mạng tĩnh và mạng động nằm trong vùng phủ sóng của trạm cơ sở. Các node trong mạng yêu cầu tài nguyên mạng khác nhau. Giả sử cần lập lịch để truyền K khối tài nguyên yêu cầu tới $N = N^m + N^f$ node. Với mỗi khoảng thời gian truyền, trạm cơ sở gửi k khối tài nguyên tới N người dùng. Để tăng tốc độ truyền, tài nguyên gửi tới các node được lập lịch lại sau mỗi khoảng thời gian truyền (1 ms). Tài nguyên được lập lịch tới các node còn phụ thuộc vào chất lượng kênh truyền được gửi bởi các người dùng sau mỗi lần nhận được tài nguyên cấp phát. Với người dùng có chất lượng kênh truyền tốt sẽ được ưu tiên cấp phát tài nguyên ở lần tiếp theo. Chất lượng kênh truyền của người dùng k^h tại khoảng thời gian t chính là tỷ lệ dữ liệu được truyền tới người dùng $p_i^k(t)$. Các tham số sử dụng trong thuật toán đề xuất như Bảng 1.

Mục tiêu đặt ra của bài toán là cần cấp phát tài nguyên cho các thiết bị người dùng trong hệ thống sao cho:

- a. Với mạng động: Đảm bảo tính công bằng giữa các thiết bị.
- b. Toàn mạng: Đảm bảo băng thông tối đa của toàn hệ thống.
- c. Với mạng tĩnh: Tối ưu năng lượng cho các thiết bị.

Bảng 1. Các tham số sử dụng trong thuật toán

Tên tham số	Giá trị
Tần số f	1,5 GHz
Băng thông B_w	10 MHz
Số khối tài nguyên K	100
Số node trong mạng N	50
Số trạm cơ sở BS	1
Độ dài mô phỏng T	500 TTI
Vị trí thiết bị người dùng	Trong vùng phủ sóng của trạm cơ sở.
Phạm vi mạng	50 m × 50 m
Năng lượng xử lý 1 bit E_e	5 nJ/bit
Nhân tố năng lượng theo mô hình suy hao năng lượng ε_{mf}	10 pJ/bits/m ²
Nhân tố năng lượng theo mô hình không gian tự do ε_{fs}	0,001 pJ/bits/m ⁴
Năng lượng xử lý 1 bit của node chủ e	5 nJ/bit

Mô hình hóa bài toán được mô tả như sau:

a. Với mạng động: Đảm bảo tính công bằng giữa các thiết bị.

Theo miền thời gian, thuật toán PF cấp phát số tài nguyên được tính trung bình trong một khoảng thời gian tới mọi thiết bị người dùng tại mọi khoảng thời truyền và cấp phát tới thiết bị có chất lượng kênh truyền tốt nhất (số tài nguyên này là xấp xỉ nhau). Giả sử, tại thời điểm t , i^{m*} là người dùng thứ i trong mạng động có chất lượng kênh truyền tốt nhất, khi đó hệ thống sẽ cấp phát tài nguyên cho người dùng này theo công thức:

$$i^{m*} = \operatorname{argmax}_{i^m} (P(t)); \quad i^m = 1..N^m \quad (1)$$

Đối với các node động ở quá xa, hệ số α được thêm vào để tăng tính công bằng giữa các thiết bị người dùng trong hệ thống.

$$i^{m*} = \operatorname{argmax}_{i^m} (\alpha_{i^m} P(t)); \quad i^m = 1..N^m \quad (2)$$

Gọi $p_{i^m}(t)$ là tỷ lệ truyền hiện tại của người dùng i^m tại khối tài nguyên $k^{m^{th}}$, $\overline{R_{i^m}(t)}$ là thông lượng trung bình của thiết bị người dùng trong quá khứ, phương trình (2) được cập nhật lại:

$$i^{m*} = \operatorname{argmax}_{i^m} (\alpha_{i^m} P(t)) = \operatorname{argmax}_{i^m} \left(\alpha_{i^m} \frac{p_{i^m}(t)}{\overline{R_{i^m}(t)}} \right); \quad i^m = 1..N^m \quad (3)$$

Trong đó $\overline{R_{i^m}(t)}$ được cập nhật theo công thức:

$$\overline{R_{i^m,c}(t)} = \begin{cases} \left(1 - \frac{1}{t_c}\right) \overline{R_{i^m,c}(t)} + \frac{1}{t_c} \overline{R_{i^m,c}(t)}, & i^m = i^{m*} \\ \left(1 - \frac{1}{t_c}\right) \overline{R_{i^m,c}(t)}, & i^m \neq i^{m*} \end{cases} \quad (4)$$

Trong đó, t_c là khoảng thời gian được sử dụng để tính thông lượng trung bình của người dùng trong quá khứ. Và tỷ lệ dữ liệu người dùng $\overline{R_{i^m}(t)}$ tức thời được tính theo công thức:

$$\overline{R_{i^m}(t)}' = \frac{B}{N} \log_2(1 + \operatorname{SINR}_{i^m}^k(t)) \quad (5)$$

Trong đó, SINR là giá trị nhận được tại tín hiệu của khối tài nguyên k^{th} của người dùng $i^{m^{th}}$ tại khe thời gian t^{th} . SINR được tính theo công thức:

$$\operatorname{SINR}_{i^m}^k(t) = \frac{P}{I + N} \quad (6)$$

Trong đó P là năng lượng tại trạm cơ sở và được tính bằng,

$$P(\text{dB}) = 10 \log_{10} P$$

và I là năng lượng nhiễu giao thoa với tín hiệu khác trong mạng và N là tín hiệu nhiễu khác, $I > 0$ và $N > 0$. (7)

Khi trạm cơ sở gửi tín hiệu đến node người dùng, năng lượng tiêu hao được tính bằng hàm suy hao:

$$l(|X_{BS} - V_j|) = |X_{BS} - V_j|^\beta \tag{8}$$

Trong đó, α là số mũ suy hao đường truyền, $\beta > 2$, và $X_{BS} - V_j$ biểu thị khoảng cách từ trạm cơ sở đến node người dùng. Đồ hình lan truyền ảnh hưởng đến chất lượng kênh truyền, khi đó, (6) có thể biến đổi thành:

$$SINR_{i^m}^k(t) = \frac{F_{BS}}{l(|X_{BS}-V_j|)} = \frac{F_{BS}}{|X_{BS}-V_j|^\beta} \tag{9}$$

Trong đó F_{BS} là giá trị fading ngẫu nhiên theo phân phối của trạm cơ sở. Theo [15], giá trị $SINR$ càng lớn thì chất lượng kênh truyền càng tốt. Hệ thống cấp phát tài nguyên cho thiết bị người dùng có chất lượng kênh truyền tốt nhất. Do đó, hàm mục tiêu là:

$$J_{s1}(t) = SINR_{i^m}^k(t) \rightarrow max; \quad X_{BS} \neq V_j \tag{10}$$

Điều này cũng chỉ ra rằng các node người dùng ở gần trạm cơ sở có cơ hội nhận được tài nguyên nhiều hơn từ trạm cơ sở. Công thức (4) cũng chỉ ra rằng nếu \bar{R} giảm thì chất lượng kênh truyền của người dùng i^h tại thời điểm t giảm, với chỉ số ưu tiên $p_{i^m} \rightarrow max$ thì với người dùng có điều kiện kênh truyền kém vẫn có cơ hội nhận được tài nguyên của hệ thống như vậy **tính công bằng của hệ thống được đảm bảo**.

b. *Toàn mạng*: Đảm bảo băng thông tối đa của toàn hệ thống

Gọi $J_{SB}(t)$ là băng thông của hệ thống tại thời điểm t , khi đó:

$$J_{SB}(t) = C_{i^m}(t) + C_{i^f}(t); \quad i^m = 1..N^m, i^f = 1..N^f \tag{11}$$

Trong đó, $C_{i^m}(t)$ là băng thông của hệ thống tại thời điểm t của mạng động và $C_{i^f}(t)$ là băng thông của hệ thống tại thời điểm t của mạng cố định. Tổng băng thông J_{s2} của hệ thống tại thời điểm t là:

$$J_{s2}(t) = \sum J_{SB}(t) = \sum_{i^m=1}^{N^m} C_{i^m}(t) + \sum_{i^f=1}^{N^f} C_{i^f}(t) \rightarrow max \tag{12}$$

Để đảm bảo băng thông tối đa của toàn bộ hệ thống thì $J_{s2}(t) \rightarrow max$, khi đó $C_{i^m}(t) \rightarrow max$ và $C_{i^f}(t) \rightarrow max$. Do hệ thống cấp phát tài nguyên tại mỗi khoảng thời gian truyền t cho thiết bị người dùng có chất lượng kênh truyền tốt nhất theo (10), nên (12) luôn tiến đến max , do đó **băng thông của toàn bộ hệ thống cũng được đảm bảo**.

c. *Với mạng tĩnh*: Tối ưu năng lượng cho các thiết bị

Do mạng tĩnh gồm các node với năng lượng thấp hoặc máy trạm được đặt cố định, một chiến lược nhằm tiết kiệm năng lượng cho mạng này là chia các node trong mạng thành các cụm với kích thước khác nhau. Dựa trên khoảng các node tới trạm cơ sở các cụm chọn ra một node là node chủ. Các node còn lại trong cụm là các node thành viên. Node chủ có trách nhiệm gửi thông tin nhận được từ trạm cơ sở tới các node thành viên dựa vào yêu cầu tài nguyên của node thành viên. Để tính toán năng lượng truyền dữ liệu từ node chủ, phụ thuộc vào khoảng cách thực tế giữa trạm cơ sở và node chủ, mô hình suy hao trên đường truyền và mô hình không gian tự do được sử dụng [23]. Giả sử $E^f(e, d)$ là năng lượng tiêu thụ để gửi e bit dữ liệu được yêu cầu từ trạm cơ sở tới node chủ, khi đó:

$$E^f(e, d) = \begin{cases} e * (E_e + \varepsilon_{fs}d^2), & d < d^* \\ e * (E_e + \varepsilon_{mf}d^4), & d \geq d^* \end{cases} \tag{13}$$

Trong đó, E_e là năng lượng truyền 1 bit dữ liệu, d là khoảng cách giữa node chủ và các node thành viên trong cụm. Khi $d < d^*$, mô hình không gian tự do được sử dụng, trong trường hợp ngược lại, mô hình suy hao trên đường truyền được sử dụng. Các tham số ε_{fs} và ε_{mf} là các nhân tố năng lượng của mỗi mô hình theo thứ tự và d^* là ngưỡng khoảng cách được tính theo các nhân tố năng lượng của mỗi mô hình.

$$d^* = \sqrt{\frac{\varepsilon_{fs}}{\varepsilon_{mf}}} \tag{14}$$

Năng lượng tiêu thụ của một cụm E tại thời điểm t bằng tổng năng lượng tiêu thụ của node chủ trong việc nhận e bit dữ liệu từ trạm cơ sở, năng lượng xử lý tại node chủ và năng lượng phân phối e bit tới các node thành viên.

$$E(t) = \left(\frac{N^*}{C} - 1\right) * e * E_e + \frac{N^*}{C} * e * E_p + \begin{cases} e * (E_e + \varepsilon_{fs}d_{ch}^2), & d < d^* \\ e * (E_e + \varepsilon_{mf}d_{BS}^4), & d \geq d^* \end{cases} \tag{15}$$

Trong đó, N^* là số node còn năng lượng tại thời điểm t , C là số cụm trong mạng; $C < N^*$; E_p là năng lượng mà node chủ tiêu thụ để xử lý 1 bit, d_{ch} là khoảng cách từ node chủ tới các node thành viên, d_{BS} là khoảng cách từ trạm cơ sở tới node chủ.

Năng lượng tiêu thụ của toàn mạng tại thời điểm t là:

$$J_{S3}(t) = \sum_{i=1}^C E_i(t) \tag{16}$$

Trong thực tế, số node trong cụm luôn thay đổi theo thời gian $n(t)$, khoảng cách d từ node thành viên tới node chủ cũng thay đổi, do đó, nhằm tiết kiệm năng lượng tối đa cho hệ thống thì cần phải phân cụm các node sao cho phù hợp (các cụm trong mạng tĩnh chứa tối thiểu các node di động) nhằm giảm tải năng lượng cho hệ thống nhưng đảm bảo tính công bằng. Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng thuật toán Fuzzy C-Mean để thực hiện phân cụm nhằm tối ưu năng lượng của hệ thống.

Giả sử chọn C từ N làm nút chủ. Tại bước này, việc phân cụm đảm bảo tối ưu năng lượng cho hệ thống, khi đó hàm mục tiêu:

$$J_{S3} = \frac{nf^m}{c} + \varepsilon_{fs}d_{ch}^2 + \varepsilon_{mf}d_{ch}^4 \rightarrow \min \tag{17}$$

Thực hiện mờ hóa (15) ta được:

$$J_{S3} = \frac{nf^m}{c} + \varepsilon_{fs} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^C u_{ij}^m |X_i - V_j|^2 + \varepsilon_{mf} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^C u_{ij}^m \|V_j - X_{BS}\|^4 \rightarrow \min \tag{16}$$

Trong đó m là độ mờ hóa, X_{BS} là vị trí của trạm cơ sở, X_i là vị trí của node người dùng i tới trạm cơ sở, V_j là node chủ của cụm j , u_{ij} là độ thuộc của node i tới cụm j . Ma trận $\|.\|$ được tính theo công thức:

$$d(X_i, X_j) = \|X_i - X_j\| = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \tag{17}$$

Với các ràng buộc: $\sum_{j=1}^C u_{ij} = 1; u_{ij} \in [0, \dots, 1]; i = 1..N$ (18)

IV. THUẬT TOÁN LẬP LỊCH ĐỀ XUẤT

Thuật toán có thể mô tả như sau:

Bắt đầu
1. Phân cụm các node trong mạng theo FCM(C) [23]
2. Với mỗi TTI t
2.1. Thực hiện gửi dữ liệu theo yêu cầu tới các node trong mạng
2.2. Tính năng lượng tiêu thụ toàn mạng $J(t)$
2.3. Nếu $J(t) > J(t-1)$
2.3.1. Phân cụm lại các node trong mạng theo FCM(C) [23]
2.3.2. Chuyển đến TTI $t+1$
2.3.3. Lặp lại bước 2
2.4. Giữ nguyên trạng thái mạng hiện tại và lặp lại bước 2
3. Cho đến khi hết hệ thống lập lịch hết dữ liệu được yêu cầu tới các node trong mạng hoặc hết thời gian truyền
Kết thúc

Như vậy có thể thấy, mô hình đề xuất đạt được sự tối ưu về băng thông của hệ thống do dữ liệu được cấp phát tới người dùng có chất lượng kênh truyền tốt nhất tại mọi thời điểm. Bên cạnh đó, hệ thống tính toán phân cụm các node tĩnh và động trong mạng sao cho với các node di động ở xa trạm cơ sở sẽ không yêu cầu dữ liệu trực tiếp từ trạm cơ sở mà sẽ nhận tài nguyên thông qua nút chủ của mạng tĩnh. Theo cách này, hệ thống đảm bảo được tính công bằng giữa các thiết bị và với trường hợp cụm cố định có node di động sẽ luôn có tổng năng lượng tiêu thụ thấp nhất.

V. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, nhóm tác giả đã nghiên cứu đề xuất mô hình lập lịch lại cho mạng gồm các nút cảm biến và nút di động trong mạng LTE. Mô hình đề xuất đáp ứng được yêu cầu bài toán đặt ra là: tối ưu băng thông cho hệ thống; đảm bảo tính công bằng giữa các thiết bị và tiết kiệm năng lượng.

Kết quả đạt được của bài báo là động lực để nhóm tiếp tục nghiên cứu cải tiến thuật toán trong thời gian tới. Nhóm đưa ra ý tưởng nghiên cứu, cải tiến mô hình đề xuất như bổ sung yếu tố địa hình và ảnh hưởng của môi trường truyền dẫn đến chất lượng dịch vụ vào thuật toán nhằm hiện thực hóa bài toán lập lịch tài nguyên trong các ứng dụng thành phố thông minh tại Việt Nam.

LỜI CẢM ƠN

Tác giả thứ nhất xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ của Đề tài QCT.20.04.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. 3GPP TS 36.212 Version 10.0.0 Release 10, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA): Multiplexing and channel coding, 3, 2009.
- [2]. C. Mehlführer, M. Wrulich, J. Colom Ikuno, D. Bosanska, and M. Rup, "Simulating the Long Term Evolution Physical Layer," in Proc. EUSIPCO 2009, March 2009, pp.1471 -1478, 2009.
- [3]. F. Capozzi, G. Piro, L. A. Grieco, G. Boggia, and P. Camarda, "Downlink packet scheduling in LTE cellular networks: Key design issues and a survey," IEEE Commun. Surv. Tutorials, Vol. 15, No. 2, pp. 678-700, 2013.
- [4]. Nsiri, Bechir, Mallouki Nasreddine, Mahmoud Ammar, Walid Hakimi, and Mhatli Sofien. "Performance comparison of scheduling algorithms for downlink LTE system." In Proc. of world symposium on computer networks and information security, pp. 125-129, 2014.
- [5]. H. M. J. Magalhães and P. R. Guardieiro, "A Downlink Scheduling based on Earliest Deadline First Discipline for Real-Time Traffic in LTE Networks," in Vehicular International Workshop on Telecommunication, 2013.
- [6]. B. Liu, H. Tian, and L. Xu, "An efficient downlink packet scheduling algorithm for real time traffics in LTE systems," 2013 IEEE10th Consum. Commun. Netw. Conf. CCNC 2013, pp. 364-369, 2013.
- [7]. S. Ghassan, A. Ali, M. D. Baba, and M. A. Mansor, "RB Preserver Downlink Scheduling Algorithm for Real-Time Multimedia Services in LTE Networks," in Computer Application and Industrial Electronics (ISCAIE), pp. 21-26, 2015.
- [8]. G. Piro et al., "Two-level downlink scheduling for real-time multimedia services in LTE networks," IEEE Trans. Multimed., Vol. 13, No. 5, pp. 1056-1065, 2011.
- [9]. E. Skondras, A. Michalas, A. Sgora, and D. D. Vergados, "A downlink scheduler supporting real time services in LTE cellular networks," in Information, Intelligence, Systems and Application (IISA), pp. 1-6, 2015.
- [10]. M. Andrews, K. Kumaran, K. Ramanan, A. Stolyar, P. Whiting, and R. Vijayakumar, "Providing quality of service over a shared wireless link," IEEE Commun. Mag., Vol. 39, No. 2, pp. 150-153, 2001.
- [11]. P. Ameigeiras et al., "3GPP QoS-based scheduling framework for LTE," EURASIP J. Wirel. Commun. Netw., Vol. 78, 2016.
- [12]. C. Wengerter, J. Ohlhorst, A. Golitschek, E. Von Elbwart, and P. Mcom, "Fairness and Throughput Analysis for Generalized Proportional Fair Frequency Scheduling in OFDMA," in IEEE Veh. Tech. Conf., VTC-Spring, Vol. 3, No. 2, pp. 1903- 1907, 2005.
- [13]. M. Proebster, C. M. Mueller, and H. Bakker, "Adaptive fairness control for a proportional fair LTE scheduler," in IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC, pp. 1504-1509, 2010.
- [14]. J. Puttonen, N. Kolehmainen, T. Henttonen, M. Moisio, M. Rinne, and P. Kela, "Dynamic Packet scheduling Performance in UTRAN long term evolution downlink," IEEE Int. Symp. Pers. Indoor Mob. Radio Commun. PIMRC, pp. 308-313, 2008.
- [15]. Lê Minh Tuấn, Lê Hoàng Sơn, Phạm Thị Minh Phương, Vũ Như Lân, Đặng Thanh Hải, Đinh Thu Khánh, "Nghiên cứu đề xuất mô hình mạng động trong bài toán lập lịch tài nguyên trong mạng Long Term Evolution (LTE), Kỹ yếu hội nghị quốc gia lần thứ XII về nghiên cứu cơ bản và ứng dụng công nghệ thông tin (FAIR), 2019.
- [16]. Sahu, Dinesh Prasad, Karan Singh, Manisha Manju, David Taniar, Mohamed Abdel-Basset, Le Minh Tuan, Le Hoang Son and Hoang Viet Long, "Heuristic search based localization in mobile computational grid" IEEE Access 7, pp. 78652-78664, 2019.
- [17]. Le Minh Tuan, Le Hoang Son, Hoang Viet Long, L. Rajaretnam Priya, K. Ruba Soundar, Y. Harold Robinson, and Raghvendra Kumar, "ITFDS: Channel-Aware Integrated Time and Frequency-Based Downlink LTE Scheduling in MANET." Sensors 20, No. 12: 3394, 2020.
- [18]. Raymond H. Y. Louie, "Open-Loop Spatial Multiplexing and Diversity Communications in Ad Hoc Networks", Revised version. Submitted to IEEE Tr. Info Theory, 17 September 2010.
- [19]. Iosif, Oana, and Ion BĂNICĂ. "Performance analysis of Downlink LTE using system level simulator." UPB Sci. Bull., Series C 75, No. 1, pp. 815-820, 2013.
- [20]. Kayali, M. O., Shmeiss, Z., Safa, H., El-Hajj, W. "Downlink scheduling in LTE: Challenges, improvement, and analysis." In Proceedings of the International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), Valencia, Spain, 26-30 June 2017.

- [21]. Habaebi, et al., “Comparison Between Scheduling Techniques in Long Term Evolution”, IIUM Engineering Journal, Vol. 14, No. 1, pp. 66-75, 2013.
- [22]. O. Iosif, I. Banica, “On the analysis of packet scheduling in downlink 3GPP system”, CTRQ, Reliability and Quality of Service, pp. 99-102, 2011.
- [23]. Tam, N. T., Hai, D. T., Son, L.H. *et al.* “Improving lifetime and network connections of 3D wireless sensor networks based on fuzzy clustering and particle swarm optimization.”, Wireless Netw 24, pp. 1477-1490, 2018.

**RESEARCH AND PROPOSE AN IMPROVEMENT OF RESOURCE SCHEDULING PROBLEM IN
LONG TERM EVOLUTION NETWORK FOR DOWNLINK ALGORITHM COMBINING
BETWEEN TIME AND FREQUENCY DOMAIN**

Le Minh Tuan, Dang Thanh Hai, Vu Nhu Lan, Le Hoang Son, Dinh Thu Khanh

ABSTRACT: *Distribution of resources to users in the Long Term Evolution (LTE) network is one of the important problems in order to increase the quality of service (QoS) of the network. In fact, users in the network can be mobile devices or sensor devices. When a mobile device moves in or move out of the coverage of a base station (BS) or when a sensor node runs out of energy, the structure of the network changes constantly and is difficult to predict. Besides, different users on the network have different resource requirements, which has made the problem of resource distribution very complicated. Currently, many solutions have been proposed to optimize resource distribution in LTE networks, but studies mainly focus on resource allocation for mobile devices, and not too much mention about allocate resources to sensor devices. In this paper, we propose a hybrid resource distribution scheduling algorithm in an LTE network that combines both time and frequency domain to distribute resources to users. The hybrid scheduling algorithm ensures: satisfies fairness, optimizes bandwidth among users and ensures energy savings for sensor users. To solve the problem, Pareto optimization is used to find the common solution to the problem.*

Keywords: *Downlink scheduling, long term evolution, dynamic network, sensor, mobility.*