

Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>

Thuật toán lập lịch hướng xuống tăng cường dựa trên trải nghiệm người dùng cho dịch vụ âm thanh trong mạng di động 4G LTE

Nguyễn Duy Huy^{1*}, Nguyễn Thùy Dương¹

¹ Khoa Công nghệ Thông tin, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:
 Nhận bài 20/6/2017
 Chấp nhận 25/7/2017
 Đăng online 30/10/2017

Từ khóa:
 Thuật toán lập lịch
 Cấp phát tài nguyên
 Dịch vụ âm thanh
 LTE
 E-model

TÓM TẮT

Lập lịch là một trong những thao tác quan trọng của các trạm thu phát sóng viễn thông nói chung, trong mạng 4G LTE nói riêng. Bài báo này mô tả một thuật toán lập lịch dựa trên trải nghiệm người dùng (được xác định bằng mô hình E-model mở rộng), nhận thức kênh và chất lượng dịch vụ QoS cho dịch vụ âm thanh trong mạng LTE hướng xuống. Âm thanh là một trong những dịch vụ rất nhạy cảm với các tác động của mạng như trễ, mất mát gói tin, sự biến động của trễ v.v. Thuật toán lập lịch này được xây dựng dựa trên việc sử dụng mô hình E-model mở rộng và kích thước hàng đợi tối đa như những tham số cần thiết để xác định tham số ưu tiên. Các kết quả mô phỏng chỉ ra được thuật toán đề xuất không chỉ thỏa mãn các yêu cầu về QoS cho dịch vụ âm thanh mà còn vượt qua một số thuật toán lập lịch tiêu biểu khác như FLS, M-LWDF, EXP/PF về các chỉ số như trễ, thông lượng, chỉ số công bằng và hiệu quả phổ. Ngoài ra, thuật toán đề xuất cũng cải thiện đáng kể tỉ lệ mất mát gói tin âm thanh trong mạng LTE.

© 2017 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Giới thiệu

Mạng di động LTE (Long Term Evolution) được phát triển bởi 3GPP (the Third Generation Partnership Project) (3GPP, 2017). Nó là mạng di động có tốc độ cao, trễ đường truyền thấp và hoàn toàn dựa trên mạng chuyển mạch gói. Điều này có nghĩa là cải thiện công suất của hệ thống kế thừa bằng cách tăng tốc độ dữ liệu và mở rộng siêu chất lượng dịch vụ cho nhiều ứng dụng đa phương tiện khác nhau. Các thành phần cơ bản

của mạng LTE gồm trạm thu phát sóng mạnh (eNodeB hoặc eNB) và những thiết bị người dùng (User Equipment, UE) cùng với cổng kết nối (Ali and Zeeshan, 2012). Trạm eNB kết hợp với mạng lõi thông qua một số giao thức phức tạp chuẩn. Bộ lập lịch gói cơ bản được thực hiện bởi nhà điều hành mạng trong cả UE và eNB cho cả hướng lên (Uplink, UL) và hướng xuống (Downlink, DL). Tuy nhiên theo 3GPP, không có đặc tả chắc chắn cho kỹ thuật lập lịch trong mạng LTE. Một trong những mô-đun quan trọng của lập lịch gói là RRM (Radio Resource Management), quyết định những UE nào sẽ được truyền dữ liệu qua lại với eNB. Bộ lập lịch gói sẽ

*Tác giả liên hệ

E-mail: nguyenduyhuy@humg.edu.vn

hòa hợp sự cân bằng giữa thông lượng cũng như các chính sách lập lịch với những UE (Alasti et al., 2010).

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một thuật toán lập lịch hướng xuống cho các dịch vụ âm thanh trong mạng LTE với sự xem xét về nhận thức người dùng. Theo hiểu biết của chúng tôi, đến thời điểm này, trên thế giới có một số bài báo liên quan đến đề xuất này. Cụ thể, các tác giả trong (Alfayly et al., 2012) và (Alfayly et al., 2015) đề xuất thuật toán lập lịch hướng xuống dựa trên trải nghiệm người dùng (Quality of Experience, QoE) cho ứng dụng VoIP (Voice over IP) dựa trên QoE tối thiểu và họ tối ưu số lượng UE truy cập đến một eNB. Trong (Nasimi et al., 2013), các tác giả đề xuất một kịch bản thiết kế lớp chéo cho phép tối ưu đồng thời ba lớp khác nhau trong chồng giao thức không dây, gồm tầng ứng dụng, tầng MAC (Medium Access Control) và tầng Vật lý. Mục đích của bài báo đó là để tối đa việc sử dụng tài nguyên mạng và chất lượng nhận thức người dùng. Những bài báo trên đề xuất bộ lập lịch LTE hướng xuống nhưng không dựa trên E-model. Bài báo gần với đề xuất của chúng tôi nhất được trình bày trong (Nasimi et al., 2013). Trong bài báo đó, các tác giả đề xuất một kịch bản lập lịch mới cho dịch vụ VoIP trong mạng LTE bằng cách sử dụng một tham số ưu tiên là sự thỏa mãn của người dùng trong bộ lập lịch của họ. Các tác giả sử dụng E-model để tiên đoán QoE và sử dụng nó trong số hiệu ưu tiên để đưa ra quyết định lập lịch. Tuy nhiên, trong bài báo đó, các tác giả không xem xét tác động của sự biến đổi trễ mạng cho E-model. Hơn nữa, trong tham số ưu tiên của bộ lập lịch, không có sự có mặt của kích thước hàng đợi lớn nhất (Maximum Queue Size, MQS). Bài báo này mở rộng ý tưởng trong (M. S. Mushtaq et al., 2014) bằng cách mở rộng E-model và đề xuất xem xét MQS như một tham số cần thiết và hiệu quả để xác định độ ưu tiên trong lập lịch. Chúng tôi thấy rằng MQS có tác động đáng kể đến việc thực hiện của hệ thống. Trong phần mềm LTE-Sim (Piro et al., 2011), tham số này được cố định bằng 0, nghĩa là MQS là không xác định, vì thế trong tiến trình lập lịch, MQS không được xem xét. Tuy nhiên trong thực tế, MQS nên là một giá trị hữu hạn bởi vì nếu nó là giá trị vô hạn thì trễ mạng sẽ tăng và khả năng tắc nghẽn mạng cũng có thể bị tăng. Do đó, MQS cần được xem xét như một tham số cần thiết trong

tiêu chuẩn ưu tiên của các thuật toán lập lịch.

Phần còn lại của bài báo này được tổ chức như sau: Tổng quan về mô hình hệ thống được miêu tả trong Phần 2. Phần 3 biểu diễn bộ lập lịch đề xuất. Các kết quả mô phỏng và đánh giá thực hiện của bộ lập lịch đề xuất được phân tích trong phần 4. Kết luận và hướng phát triển được biểu diễn trong phần 5.

2. Mô hình hệ thống

2.1. E-model

E-model là mô hình tính toán được phát triển và chuẩn hóa bởi ITU-T (International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector) (ITU-T, 1998). Nó được sử dụng để ước lượng giá trị MOS (Mean Opinion Score) cho chất lượng âm thanh băng tần hẹp. Đầu ra của mô hình là tham số R . Các giá trị của R nằm trong khoảng từ 0 đến 100 trong đó 100 tương ứng với mức chất lượng tốt nhất, 0 tương ứng với mức chất lượng tồi nhất. Sau đó, tham số này được chuyển đổi sang giá trị MOS tương ứng. Giá trị chuẩn của R được xác định theo công thức sau:

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_{ef} + A \quad (1)$$

Trong đó:

R_0 - Tỷ lệ tín hiệu/nhiều cơ bản, gồm các nguồn nhiễu như nhiễu mạch điện, nhiễu trong phòng. Trong E-model, giá trị của nó được xác định bằng 94.2.

I_s - Hệ số ảnh hưởng đồng thời, là tổng của tất cả các tác động có thể gây ra đồng thời nhiều hay ít hơn với việc truyền âm thanh. Trong E-model, giá trị ngầm định của nó được thiết lập bằng 0.

I_d - Hệ số ảnh hưởng của trễ mạng, biểu diễn tất cả các tác động do trễ gây ra đối với tín hiệu âm thanh.

I_{ef} - Hệ số ảnh hưởng của thiết bị, biểu diễn sự méo mó tín hiệu do tốc độ bit thấp của bộ mã hóa nguồn và những mất mát gói tin do sự phân tán ngẫu nhiên.

A - Hệ số nâng cao, biểu diễn việc một số người dùng có thể chấp nhận sự giảm chất lượng âm thanh do sự di chuyển của mạng di động trong thực tế. Trong mô hình này, hệ số này được thiết lập bằng 0.

Trong các hệ số ở trên, I_d và I_{ef} bị tác động

bởi trẻ đầu cuối và mất mát gói tin, tương ứng trong khi R_0 và I_s không phụ thuộc vào hoạt động của mạng. Sau khi tính toán được giá trị của R , nó được chuyển đổi sang điểm số MOS như sau (ITU-T, 1998):

$$MOS = \begin{cases} 1, & \text{nếu } R < 0 \\ 1 + 0,035 \times R + 7 \times 10^6 \times R \times (R - 60) \\ \quad \times (100 - R), & \text{nếu } 0 \leq R \leq 100 \\ 4,5, & \text{còn lại} \end{cases} \quad (2)$$

Sau khi thiết lập các giá trị ngầm định cho các hệ số của E-model, công thức (1) có thể viết lại như sau:

$$R = 94.2 - I_d - I_{ef} \quad (3)$$

Khi gói tin âm thanh được truyền qua mạng IP, nó bị tác động bởi nhiều sự suy yếu của mạng như mất gói tin, trễ, sự biến đổi trễ v.v. Dễ dàng nhận thấy, trong E-model, không có mặt của sự biến đổi trễ mạng. Để cải thiện nhận thức người dùng, chúng tôi đề xuất bổ sung hệ số sự biến đổi trễ mạng (I_j) vào mô hình E-model. Do đó, E-model có thể được biểu diễn lại theo công thức sau:

$$R = 94.2 - I_d - I_{ef} - I_j \quad (4)$$

Công thức (4) được gọi là mô hình E-model mở rộng. Giá trị của R phụ thuộc vào trẻ đầu cuối (I_d), tổng xác suất mất gói tin (I_{ef}) và sự biến đổi trễ mạng (I_j). Do đó, để tính toán R , ta phải tính các hệ số này. I_d là hệ số chịu ảnh hưởng bởi trẻ đầu cuối và được tính dựa trên công thức sau (Olariu et al., 2011).

$$I_d = 0.024 \times d + 0.11 \times (d - 177.3) \times H(d - 177.3) \quad (5)$$

Trong đó:

$H(x)$ là hàm Heavyside, được xác định như sau:

$$H(x) = \begin{cases} 0, & \text{nếu } x < 0 \\ 1, & \text{ngược lại} \end{cases} \quad (6)$$

Trong công thức (5), d biểu diễn tổng trẻ đầu cuối (thời gian gói tin âm thanh truyền từ nguồn đến đích). Nó có thể được tính toán thông qua một số hàm trong phần mềm LTE-Sim.

I_{ef} được xác định theo sự mất mát gói tin. Để tính toán giá trị của hệ số này, chúng tôi sử dụng công thức được trình bày trong (Mushtaq et al., 2014) như sau:

$$I_{ef} = \gamma_1 + \gamma_2 \times \ln(1 + \gamma_3 \times e_l)$$

Trong đó:

γ_1 biểu diễn hệ số tác động chất lượng âm thanh được gây ra bởi bộ mã hóa nguồn.

γ_2 và γ_3 biểu diễn tác động của mất mát gói tin âm thanh trên bộ mã hóa nguồn đã cho. Như vậy, những hệ số này phụ thuộc vào bộ mã hóa nguồn được sử dụng.

Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng phần mềm LTE-Sim (Piro et al., 2011) để mô phỏng thuật toán lập lịch đề xuất. Phần mềm này chỉ hỗ trợ duy nhất bộ mã hóa nguồn G.729 để mô phỏng tín hiệu âm thanh, do đó với bộ mã hóa này, các hệ số ở trên có giá trị như sau: $\gamma_1 = 11$, $\gamma_2 = 40$, $\gamma_3 = 10$.

e_l là tổng xác suất mất gói tin, có giá trị trong khoảng từ 0 đến 1. Hệ số này được tính toán trực tiếp thông qua một số hàm và thủ tục trong phần mềm LTE-Sim.

I_j biểu diễn những tác động của sự biến đổi trễ mạng với chất lượng âm thanh. Nó cũng phụ thuộc vào bộ mã hóa nguồn. Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng phương pháp được đề xuất trong (Olariu et al., 2011) để xác định I_j như sau:

$$I_j = C_1 \times H^2 + C_2 \times H + C_3 + C_4 \times e^{-\frac{T}{K}} \quad (8)$$

Trong đó:

C_1, C_2, C_3, C_4 là các hệ số; K là hằng số thời gian. Các hệ số này phụ thuộc vào bộ mã hóa âm thanh nguồn. Với G.729, các hệ số này có giá trị như sau: $C_1 = -15.5$, $C_2 = 33.5$, $C_3 = 4.4$, $C_4 = 13.6$, $K = 30$.

Hệ số T là kích thước bộ đệm cố định của bộ mã hóa âm thanh nguồn. Nó được sử dụng để giảm tác động của sự biến đổi trễ mạng. Với G.729, gói tin được sinh ra trong thời gian 20 ms, do đó, chúng tôi lựa chọn $T = 40$ ms. H là hệ số phân tán Pareto và nằm trong khoảng 0.55 đến 0.9. Theo (L. Ding and R. A. Goubran, 2003), điểm số MOS giảm nhẹ khi H tăng, trong bài báo này, chúng tôi mô phỏng bộ lập lịch đề xuất với $H = 0.6$.

Sau khi thay các giá trị vào công thức (4), công thức cuối cùng để tính toán tham số R trong E-model được biểu diễn lại như sau:

$$R = 64.28 - [0.024 \times d + 0.11 \times (d - 177.3) \times H(d - 177.3)] - 40 \times \ln(1 + 10 \times e_l) - 13.6 \times e^{-\frac{T}{K}} \quad (9)$$

Tham số R sau đó được chuyển đổi sang điểm số MOS thông qua công thức (2). MOS là

một trong những tham số quan trọng cho tiêu chuẩn ưu tiên trong bộ lập lịch đề xuất.

2.2. Các bộ lập lịch liên quan

Giả sử rằng tiêu chuẩn ưu tiên được gán cho luồng dữ liệu i trên kênh truyền con thứ j được xác định bởi $w_{i,j}$. Để đạt được chỉ số ưu tiên, bộ lập lịch luôn luôn cần biết tốc độ truyền trung bình (\bar{R}_i) của luồng i và tốc độ luồng khả dụng với UE trên kênh truyền con thứ j . Cụ thể, tại mỗi TTI, \bar{R}_i được ước lượng như sau (G. Piro et al., 2011):

$$\bar{R}_i(k) = 0.8 \times \bar{R}_i(k-1) + 0.2 \times \bar{r}_i(k) \quad (10)$$

Trong đó:

$\bar{R}_i(k-1)$: Ước lượng tốc độ truyền dữ liệu trung bình tại TTI (Transmission Time Interval) thứ $(k-1)$. $\bar{r}_i(k)$: Tốc độ được cấp phát cho luồng thứ i trong suốt TTI thứ k .

Trong các mục con dưới đây, chúng tôi sẽ trình bày chỉ số ưu tiên của một số thuật toán lập lịch nổi tiếng liên quan đến bộ lập lịch đề xuất, gồm: FLS (Frame Level Scheduler), M-LWDF (Maximum-Largest Weighted Delay First) và EXP/PF (Exponential Proportional Fairness). Chúng tôi lựa chọn những bộ lập lịch này bởi vì chúng hoạt động tốt và phù hợp cho các ứng dụng âm thanh trong mạng LTE.

2.2.1. Bộ lập lịch FLS

FLS là thuật toán lập lịch 2 mức được gọi là mức trên và mức dưới. Hai mức này riêng biệt và giao tiếp với nhau để cấp phát động các khối tài nguyên (Resource Block, RB) cho các UE. Tại mức trên, phương pháp cấp phát tài nguyên (được gọi là FLS) sử dụng lý thuyết điều khiển thời gian rời rạc tuyến tính. FLS định nghĩa lượng dữ liệu mà mỗi nguồn âm thanh sẽ truyền trong một khung truyền đơn để thỏa mãn giới hạn về trễ đường truyền. Tại mức dưới, thuật toán lập lịch sử dụng phương pháp cân bằng tỷ lệ (PF) để cấp phát các RB cho các UE tại mỗi TTI với việc xem xét các yêu cầu về băng thông của FLS để đảm bảo mức công bằng tốt giữa các luồng dữ liệu âm thanh. Cũng tại mức này, bộ lập lịch xác định số TTI/RB mà mỗi nguồn âm thanh sẽ gửi các gói tin của nó. Để tính toán lượng dữ liệu được truyền, bộ lập lịch FLS sử dụng công thức sau:

$$V_i(k) = h_i(k) * q_i(k) \quad (11)$$

Trong đó:

$V_i(k)$ là lượng dữ liệu được truyền bởi luồng i trong khung LTE k

Toán tử '*' là sự trích dẫn thời gian rời rạc; $q_i(k)$ là mức hàng đợi. Có thể nói rằng $V_i(k)$ được tính toán bằng cách lọc tín hiệu $q_i(k)$ qua bộ lọc thời gian bất biến tuyến tính với đáp ứng xung $h_i(k)$.

2.2.2. Bộ lập lịch M-LWDF

Thuật toán lập lịch M-LWDF được sử dụng để hỗ trợ nhiều dịch vụ thời gian thực trong các hệ thống CDMA-HDR (P. Ameigeiras et al., 2004). Với mỗi luồng dữ liệu thời gian thực, bằng cách xem xét thời gian tối đa τ_i , xác suất được định nghĩa như là xác suất tối đa δ_i là thời gian của gói tin đầu tiên của hàng đợi vượt quá thời gian tối đa cố định $D_{HOL,i}$. Trong thuật toán này, các chỉ số ưu tiên cho các dịch vụ thời gian thực và không thời gian thực là khác nhau. Để đưa ra sự ưu tiên cho các luồng thời gian thực, chỉ số ưu tiên ($w_{i,j}$) được xác định như sau:

$$w_{i,j} = \alpha_i \times D_{HOL,i} \times \frac{r_{i,j}}{\bar{R}_i} \quad (12)$$

Trong đó:

$r_{i,j}$ - Tốc độ được gán cho luồng thứ i trong suốt TTI thứ k

\bar{R}_i - Ước lượng tốc độ truyền dữ liệu trung bình

α_i - Hệ số, được xác định bởi:

$$\alpha_i = -\frac{\log(\delta_i)}{\bar{R}_i}$$

2.2.3. Bộ lập lịch EXP/PF

EXP/PF là thuật toán lập lịch hỗ trợ các ứng dụng đa phương tiện trong hệ thống mã hóa và điều chế thích ứng, trộn kênh phân chia miền thời gian (J.-H. Rhee et al., 2003). Mục đích chính của bộ lập lịch này là để tăng cường sự ưu tiên cho các luồng thời gian thực bằng cách thêm thời gian tối đa cố định trung bình của tất cả các luồng thời gian thực đang có mặt trong hàng đợi. Với các dịch vụ thời gian thực, chúng nhận mức ưu tiên tăng lên khi trễ gói HOL của chúng đạt đến giới hạn trễ. Chỉ số ưu tiên của EXP/PF được tính toán như sau:

$$w_{i,j} = \exp\left(\frac{\alpha_i \times D_{HOL,i} - X}{a + \sqrt{X}}\right) \times \frac{r_{i,j}}{\bar{R}_i} \quad (13)$$

Trong đó X được cho bởi $X = \frac{1}{N_{rt}} \sum \alpha_i \times D_{HOL,i}$ với N_{rt} là số luồng thời gian thực hiện

có trong hướng xuống. Các tham số còn lại tương tự như những mô tả ở các công thức trên.

3. Thuật toán lập lịch đề xuất

Trong bộ lập lịch đề xuất, chúng tôi xem xét các đặc điểm của các ứng dụng âm thanh trong mạng LTE. Chúng rất nhạy cảm với mất gói tin và trễ mạng, do đó, tiến trình lập lịch nên xem xét đến nhiều yếu tố khác nhau. Trong các bộ lập lịch liên quan được đề cập đến ở trên, các tác giả hầu hết tập trung vào trễ gói tin đầu dòng (Head of Line Packet Delay (D_{HOL})), tham số này được sử dụng để tính toán trễ một chiều phục vụ cho việc tính toán tham số I_d), độ dài thẻ bài ảo bên cạnh các tham số khác như $\alpha_i, r_{i,j}$ và \bar{R}_i . MOS là một tham số biểu diễn nhận thức người dùng, do đó, nó nên xuất hiện trong chỉ số ưu tiên của các thuật toán lập lịch. Giá trị MOS càng cao thì nhận thức người dùng càng tăng. MOS có thể được xác định tự động tại bên nhận sau đó gửi lại eNB bằng kỹ thuật phản hồi thông tin. Với MQS, theo hiểu biết của chúng tôi, chưa có bài báo nào đề cập đến. Chúng tôi nghĩ rằng, tham số này có tác động mạnh mẽ đến việc thực hiện của hệ thống. Trong phần mềm LTE-Sim, tham số này được cố định bằng 0, nghĩa là MQS là không xác định. Do đó MQS không được xem xét trong tiến trình lập lịch. Tuy nhiên trong thực tế, MQS là giá trị xác định bởi vì nếu nó không xác định, trễ sẽ tăng và tắc nghẽn cũng có thể vì thế mà tăng lên. Vì thế, MQS nên được xem xét như một tham số cần thiết trong chỉ số ưu tiên của các thuật toán lập lịch.

Ý tưởng chính của thuật toán lập lịch đề xuất là sự xem xét nhận thức người dùng (MOS) và MQS ($Q_{i,max}$) như các tham số cần thiết trong tiêu chuẩn lập lịch. Chỉ số ưu tiên cho các dịch vụ âm thanh của bộ lập lịch đề xuất là sự kết hợp của thuật toán M-LWDF với ý tưởng của chúng tôi và được biểu diễn như sau:

$$w_{i,j} = \frac{MOS_i \times (Q_{i,max} - Q_i)}{\tau_i} \times \frac{r_{i,j}}{\bar{R}_i} \quad (14)$$

Trong đó:

$Q_i, \tau_i, r_{i,j}$ và \bar{R}_i được miêu tả tương tự như các công thức ở trên. $Q_{i,max}$ là MQS của UE thứ i . Giá trị này có thể đạt được thông qua một số hàm trong phần mềm LTE-Sim (8). $w_{i,j}$ là ma trận ưu tiên cho mỗi RB_j được gán cho UE_i . Nó được tính toán dựa trên điểm số MOS, chiều dài hàng đợi còn lại ($Q_{i,max} - Q_i$), thời gian tối đa (τ_i) và các điều kiện

kênh. MOS được tính toán tại bên nhận và được gửi về eNB để tính toán tiêu chuẩn lập lịch. MOS được kể đến trong chỉ số ưu tiên sẽ khai phá đầy đủ trải nghiệm người dùng. Đối với các dịch vụ không phải là thời gian thực, chỉ số ưu tiên có thể được tính toán theo đề xuất trong (A. Jalali et al., 2000).

Các bước thực hiện của thuật toán lập lịch đề xuất có thể được biểu diễn như sau:

Thuật toán 1: Bộ lập lịch dựa trên nhận thức kênh, QoS và QoE cho người dùng âm thanh trong mạng LTE hướng xuống

Bước 1: Nhận dạng người dùng VoIP và người dùng khác trong hàng đợi

Bước 2: Xác định các tham số người dùng (Q_{imax}, Q_i, MOS_i) và các tham số khác. Tính toán chỉ số ưu tiên $w_{i,j}$

Bước 3: Tìm người dùng VoIP có chỉ số $w_{i,j}$ thỏa mãn các điều kiện lập lịch (có giá trị lớn nhất)

Bước 4: Tính toán các khối tài nguyên khả dụng (chưa được cấp phát), quyết định cấp những khối tài nguyên nào cho các người dùng được chọn

Bước 5: Gán khối tài nguyên RB^* cho người dùng UE^* có các tiêu chuẩn lập lịch được thỏa mãn

Bước 6: Lập lịch cho người dùng UE^* trước

Bước 7: Xóa người dùng UE^* và khối tài nguyên RB^* ra khỏi danh sách tương ứng

Bước 8: Lặp lại các bước từ 1 đến 7 cho đến khi nào tất cả các người dùng âm thanh được lập lịch hết.

4. Môi trường mô phỏng và đánh giá thực hiện

4.1. Môi trường mô phỏng

Để đánh giá thực hiện của bộ lập lịch đề xuất, chúng tôi tiến hành mô phỏng trong phần mềm LTE-Sim cho các luồng dữ liệu âm thanh. Việc cài đặt thuật toán lập lịch và cấu hình các tham số mô phỏng được thực hiện trực tiếp trong phần mềm LTE-Sim. Các thông số cơ bản của kịch bản mô phỏng được miêu tả như trong Bảng 1.

4.2. Đánh giá thực hiện

Để đánh giá thực hiện của bộ lập lịch đề xuất, chúng tôi sử dụng phần mềm LTE-Sim để

mô phỏng. Chúng tôi mô phỏng thuật toán lập lịch đề xuất với một số thuật toán nổi tiếng liên quan, gồm FLS, M-LWDF và EXP/PF trong cùng một điều kiện. Việc đánh giá thực hiện được thực hiện với các tham số: trễ, tỷ lệ mất gói tin (Packet Loss Rate, PLR), thông lượng (Cell Throughput), chỉ số công bằng (Fairness Index, FI) và hiệu quả phổ (Spectral Efficiency, SE).

Trong kịch bản mô phỏng, chúng tôi lựa chọn MQS bằng 105 bytes. Hầu hết các modem hiện đại đều hỗ trợ kích thước hàng đợi tối đa (MQS) 106 bytes. Trong một nghiên cứu khác, chúng tôi có mô phỏng với các giá trị MQS khác nhau, gồm: 104, 105 và 106 bytes. Kết quả mô phỏng cho thấy khi MQS có giá trị bằng 105 và 106, các kết quả đầu ra chênh lệch nhau rất ít. Vì vậy, trong bài báo này chúng tôi chọn MQS = 105 để rút ngắn thời gian mô phỏng.

4.2.1. Trễ

Trễ đầu cuối (hay trễ một chiều) là thời gian

yêu cầu để gói tin được truyền từ nguồn đến đích trong mạng. Hình 1 biểu diễn trễ của luồng VoIP. Rõ ràng, trễ của hai bộ lập lịch M-LWDF và EXP/PF là xấp xỉ nhau và thấp nhất. Bộ lập lịch đề xuất (E-MQS) có trễ cao hơn hai bộ lập lịch ở trên một chút nhưng thấp hơn nhiều so với bộ l

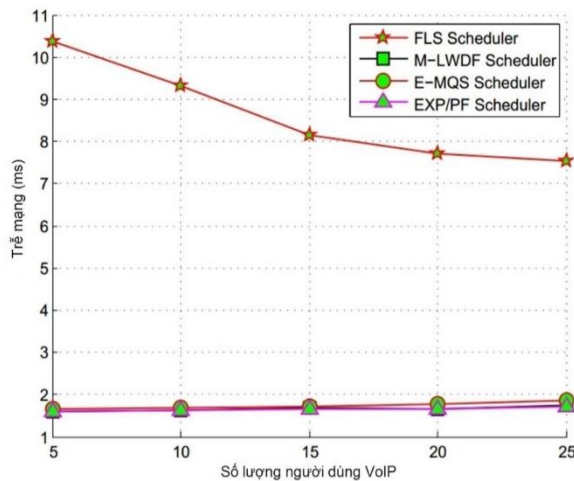
4.2.2. Tỷ lệ mất gói tin

Tỷ lệ mất gói tin (PLR) biểu diễn sự thất bại của một hay nhiều gói tin được truyền để đến được đích khi được truyền trong mạng. Hình 2 biểu diễn PLR của luồng VoIP. Với MQS được thiết lập bằng 105 bytes (tham số này được thiết lập mặc định bằng 0 trong phần mềm LTE-Sim), tất cả các bộ lập lịch đều có PLR giảm khi số lượng người dùng VoIP tăng lên. Tất cả các bộ lập lịch đều có PLR dưới 1%, trong đó FLS có PLR thấp nhất. Bộ lập lịch E-MQS có PLR thấp thứ hai trong khi M-LWDF có PLR cao nhất.

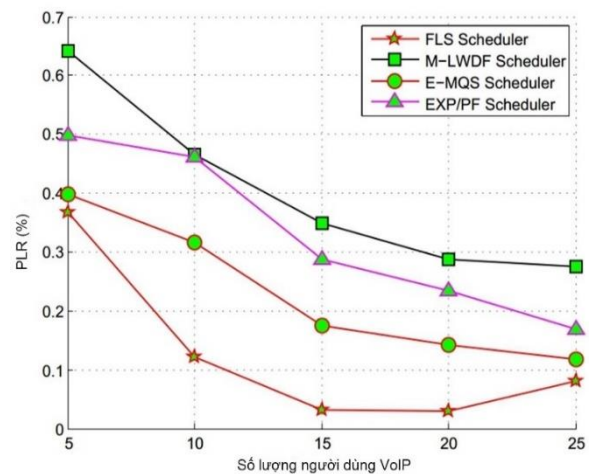
4.2.3. Thông lượng

Bảng 1. Các tham số mô phỏng cơ bản.

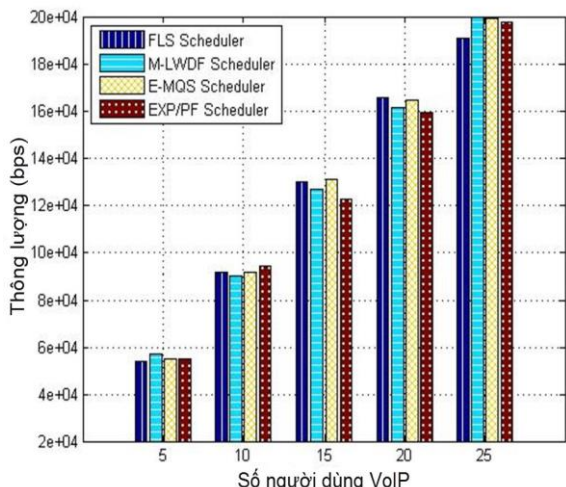
Tham số mô phỏng	Giá trị
Thời gian mô phỏng, s	100
Cấu trúc khung	FDD (Frequency Division Duplexing)
Bán kính trạm thu phát sóng, km	1
Băng thông, MHz	10
Tốc độ mã hóa âm thanh, kbps	8.4
Tốc độ di chuyển của người dùng, km/h	3
Số người dùng	5, 10, 15, 20, 25
Trễ tối đa, s	0.1
MQS, byte	10 ⁵
Mô hình giao thông mạng	VoIP



Hình 1. Trễ mạng với số người dùng VoIP.



Hình 2. PLR với số người dùng VoIP.



Hình 3. Thông lượng với số người dùng VoIP

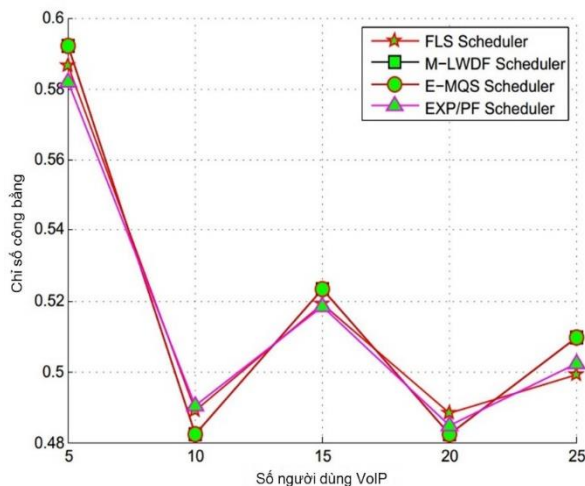
Thông lượng biểu diễn tốc độ dữ liệu trung bình mà người dùng có thể đạt được. Như được biểu diễn trên Hình 3, thông lượng trung bình của toàn bộ eNB tăng khi số lượng người dùng VoIP tăng lên. Thuật toán lập lịch đề xuất luôn luôn là một trong hai bộ lập lịch có thông lượng cao nhất. Điều này chứng tỏ rằng bộ lập lịch đề xuất rất phù hợp với người dùng VoIP.

4.2.4. Chỉ số công bằng

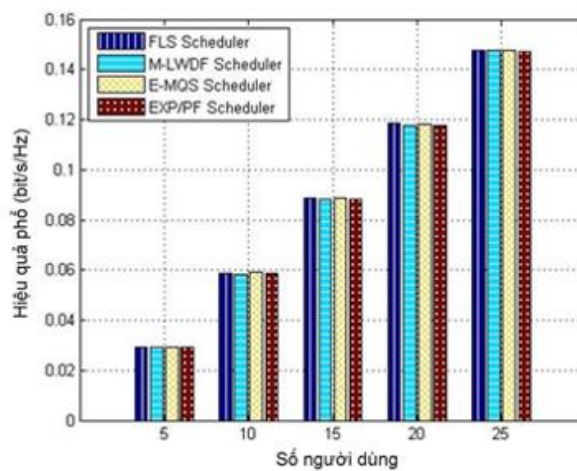
Chỉ số công bằng (FI) thể hiện mức độ công bằng khi cấp phát tài nguyên cho các người dùng khác nhau, đặc biệt là những người dùng ở xa eNB. Như được chỉ ra trên Hình 4, chỉ số công bằng của người dùng VoIP không ổn định khi số lượng tăng. Thông thường chỉ số này sẽ giảm khi số lượng người dùng tăng lên. Tuy nhiên, tất cả các bộ lập lịch đều có chỉ số công bằng cao và hơn kém nhau không đáng kể. Ví dụ, bộ lập lịch đề xuất có chỉ số công bằng cao nhất khi số lượng người dùng VoIP đạt 5, 15 và 20 và đạt giá trị thấp nhất khi số lượng người dùng là 10 và 20. Nhìn chung, thuật toán lập lịch FLS có chỉ số công bằng cao nhất.

4.2.5. Hiệu quả phổ

Hiệu quả phổ (SE) là mục tiêu của thuật toán lập lịch. Nó biểu diễn hiệu quả sử dụng tài nguyên vô tuyến của người dùng. Hiệu quả phổ được xác định cho toàn bộ trạm thu phát sóng và cho tất cả các loại người dùng khác nhau. Như được biểu diễn trên Hình 5, hiệu quả phổ tăng khi số lượng người dùng tăng. Thuật toán đề xuất



Hình 4. Chỉ số công bằng với số người dùng VoIP.



Hình 5. Hiệu quả phổ với số người dùng.

cùng với thuật toán FLS luôn là hai thuật toán có hiệu quả phổ tốt nhất. Tuy nhiên, sự khác nhau về hiệu quả giữa các bộ lập lịch là không đáng kể. Điều này là hợp lý vì đây đều là những thuật toán lập lịch nổi tiếng và rất phù hợp với các ứng dụng thời gian thực là như các cuộc hội thoại v.v.

5. Kết luận

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất kịch bản lập lịch dựa trên nhận thức kênh, QoS và QoE cho người dùng âm thanh (VoIP) trong mạng LTE hướng xuống. Ý tưởng chính của bộ lập lịch đề xuất là việc xem xét sử dụng cảm nhận người dùng (thông qua điểm số MOS) và chiều dài hàng đợi lớn nhất (MQS) như là những tham số cần thiết của chỉ số ưu tiên để đưa ra quyết định lập lịch. Vì vậy, hàm ưu tiên được xây dựng dựa trên

MOS, chiều dài hàng đợi còn lại, thời gian trễ tối đa và điều kiện kênh. Các kết quả mô phỏng chỉ ra rằng thuật toán đề xuất không chỉ thỏa mãn các yêu cầu về QoS đối với các ứng dụng VoIP, mà còn vượt qua các thuật toán nổi tiếng khác như FLS, M-LWDF, EXP/PF về trễ, thông lượng, chỉ số công bằng và hiệu quả phổ. Với PLR, thuật toán đề xuất không tốt bằng FLS. Về chỉ số công bằng, thuật toán đề xuất không giữ được sự ổn định cần thiết khi số lượng người dùng thay đổi. Có thể kết luận rằng, khi xem xét MOS và MQS như những tham số cần thiết cho hàm ưu tiên, việc thực hiện của hệ thống được cải thiện đáng kể. Kết quả mô phỏng cũng chỉ ra rằng thuật toán FLS trội hơn các thuật toán còn lại một chút, trong khi thuật toán đề xuất giữ vị trí thứ hai. Có thể kết luận rằng thuật toán đề xuất rất phù hợp để lập lịch cho các người dùng âm thanh trong mạng LTE hướng xuống.

Trong thời gian tới, chúng tôi tiếp tục đánh giá thực hiện của thuật toán đề xuất trong mạng LTE hỗn hợp, người dùng di chuyển với nhiều tốc độ khác nhau. Chúng tôi cũng nâng cấp thuật toán lập lịch đề xuất để phù hợp với mạng LTE hướng lên.

Tài liệu tham khảo

- 3GPP, 2017. LTE. <http://www.3gpp.org/technologies/keyword-s-acronyms/98-lte>. (accessed June 19, 2017)
- Alasti, M., Neekzad, B., Hui, J., and Vannithamby, R., 2010. Quality of service in wimax and lte networks (topics in wireless communications). *Communications Magazine* 48(5), 104-111.
- Alfayly, A., Mkwawa, I., Sun, L., and Ifeakor, E., 2012. QoE-based performance evaluation of scheduling algorithms over lte. *IEEE Global Communications Conference, Exhibition & Industry Forum Workshops (Globecom Workshops)*. December 3-7, California, USA, 1362-1366.
- Alfayly, A., Mkwawa, I.-H., Sun, L., and Ifeakor, E., 2015. Qoe-driven lte downlink scheduling for voip application. *The 12th IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*. January 14-17, Lasvegas, USA, 603-604.
- Ali, S., and M. Zeeshan, 2012. A utility based resource allocation scheme with delay scheduler for lte service-class support. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2012)*. April 1-4, Paris, France, 1450-1455.
- Ameigeiras, P., Wigard, J., and Mogensen, P., 2004. Performance of the mlwdf scheduling algorithm for streaming services in hsdpa. *IEEE 60th Vehicular technology conference (VTC2004-Fall)*. September 26-29, Los Angeles, USA, 999-1003.
- Ding L., and Goubran, R. A., 2003. Speech quality prediction in voip using the extended e-model. *IEEE Global Telecommunications Conference (Globecom 2003)*. December 1-5, San Francisco, USA, 3974-3978.
- ITU-T, 1998. Itu-t recommendation g.107: The e-model, a computational model for use in transmission planning. *International Telecommunication Union, Tech. Rep.*
- Jalali, A., Padovani, R. and Pankaj, R., 2000. Data throughput of cdma-hdr a high efficiency-high data rate personal communication wireless system. *IEEE 51st Vehicular technology conference*. May 15-18, Tokyo, Japan, 1854-1858.
- Mushtaq, M. S. , Augustin, B., and A. Mellouk, 2014. Qoe-based lte downlink scheduler for voip. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*. April 6-9, Istanbul, Turkey, 2190-2195.
- Nasimi, M., Kousha, M., and Hashim, F., 2013. Qoe-oriented cross-layer downlink scheduling for heterogeneous traffics in lte networks. *IEEE Malaysia International Conference on Communications (MICC)*. December 26-28, Kuala Lumpur, Malaysia, 292-297.
- Olariu, C., Foghlu, M. O., Perry, P., and Murphy, L., 2011. Voip quality monitoring in lte femtocells. *IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM 2011)*. May 23-27, Dublin, Ireland, 501-508.
- Piro, G., Grieco, L. A., Boggia, G., Capozzi, F., and Camarda, P., 2011. Simulating lte cellular systems: an open-source framework. *IEEE*

Transactions on Vehicular Technology 60(2), 498-513.

Rhee, J.-H., Holtzman, J. M., and Kim, D.-K., 2003. Scheduling of real/non-real time services:

adaptive exp/pf algorithm. *IEEE 57th Semiannual Vehicular Technology Conference (VTC-Spring)*. April 22-25, Jeju, Korea, 462-466.

ABSTRACT

An enhanced Downlink scheduler based on user perception for voice service in 4G LTE mobile network

Huy Duy Nguyen¹, Duong Thuy Nguyen¹

¹ Faculty of Information Technology, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

Scheduling is one of important tasks of base station in telecommunication systems in general and LTE network in particular. This paper presents a scheduling algorithm based on Quality of Experience (QoE, determined using the extended E-model), channel-aware and Quality of Service (QoS) in LTE downlink network. Voice is one of services which are very sensitive to network impairments such as delay, packet loss, network jitter, etc. The proposed scheduler is built based on the extended E-model and Maximum Queue Size (MQS) which are essential factors to determine the priority metric. The simulation results show that the proposed scheduler not only meets the QoS requirements for voice service but also outperforms several other typical schedulers such as FLS, M-LWDF, EXP/PF in terms of delay, cell throughput, fairness index and spectral efficiency. In addition, the proposed scheduler also improves significantly packet loss rate in LTE network.

Keywords: Scheduling algorithm, resource allocation, voice service, LTE, E-model.