

PHÂN TÍCH VÀ ĐÁNH GIÁ BÀI TOÁN MƯỢN PHỔ TRONG MẠNG DI ĐỘNG TẾ BÀO VỚI CƠ CHẾ KÊNH BẢO VỆ FGC

Hoa Lý Cương*, Nguyễn Quang Hưng

Khoa Công nghệ thông tin, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

*Email: hlcuong90@gmail.com

Ngày nhận bài: 1/5/2017; ngày hoàn thành phản biện: 9/5/2017; ngày duyệt đăng: 27/10/2017

TÓM TẮT

Trong bài báo này, chúng tôi giới thiệu một mô hình hàng đợi trong mạng di động tế bào trong đó điều hành mạng của một ô (cell) này có thể mượn các dải tần số từ điều hành mạng của các ô khác. Hành động này được gọi là cơ chế mượn phổ. Mượn phổ là một hành động thực tế mà điều hành mạng có thể sử dụng để giảm bớt sự thiếu hụt tạm thời tại một khu vực cụ thể trong mạng di động tế bào. Ngoài ra trong bài báo này chúng tôi còn xét đến việc kiểm soát tiếp nhận cuộc gọi theo cơ chế kênh bảo vệ phân đoạn FGC và cơ chế mượn phổ theo hai ngưỡng hoạt động. Kết quả phân tích chỉ ra rằng sự thay đổi các thông số hệ thống có ảnh hưởng như thế nào đến việc bảo vệ cuộc gọi chuyển vùng trong mạng di động tế bào.

Từ khóa: cellular, spectrum renting, FGC - fractional guard channel.

1. MỞ ĐẦU

Trong mạng di động tế bào, bài toán mượn phổ (*spectrum renting*) là một hành động thực tế mà ta có thể áp dụng để giảm bớt sự thiếu hụt khả năng tạm thời trong mạng. Theo đó, ta chia thành các nhóm kênh sử dụng (*block of user channel*) theo dải tần số và mỗi khối sẽ được quản lý bởi một điều hành mạng (*network operator*) duy nhất. Nguyên tắc hoạt động dựa vào việc kiểm soát hiện tượng trễ (*hysteresis control*) với 2 ngưỡng để mượn hoặc trả lại dải tần số từ lưu lượng được cung cấp.

Để thỏa mãn một số lượng lớn các yêu cầu cuộc gọi đến từ những người đăng ký thuê bao với phạm vi hoạt động được phân chia thành các ô, mỗi ô được gán một dải tần số và được điều khiển bằng một trạm cơ sở. Chú ý rằng các dải tần số vô tuyến được lấy từ phổ cho phép của điều hành mạng. Ngoài ra, mỗi dải tần số mượn thường đi kèm với một số lượng kênh của các điều hành mạng.

Một đặc điểm cơ bản của mạng di động tế bào là việc phân biệt các tín hiệu từ những bộ phát sóng khác nhau, đã có một số giải pháp được đưa ra đó là: FDMA (*frequency division multiple access* - đa truy cập phân theo tần số), CDMA (*code division multiple access* - đa truy cập phân theo mã) và TDMA (*time division multiple access* - đa truy cập phân theo thời gian).

- FDMA/TDMA là hai kỹ thuật phổ biến nhất trong mạng GSM (*Global System for Mobile Communications*). Phổ của chúng được chia thành một số các kênh có tần số 200 kHz. Mỗi kênh mang đi được chia nhỏ thành 8 *time slot*, mỗi dải tần số vô tuyến sẽ có 8 kênh hoặc 16 kênh (với tốc độ bằng một nửa so với 8 kênh).

- CDMA: mỗi dải phổ thường có một tần số nhất định (ví dụ 1.25 MHz đối với CDMA2000, 5 MHz đối với W-CDMA) tùy theo đặc điểm của điều hành mạng.

Khi một thuê bao bắt đầu yêu cầu một cuộc gọi mới, một trạm cơ sở cụ thể (thường là trạm cơ sở gần nhất ngay tại ô mà thuê bao yêu cầu dịch vụ) bao sẽ cấp một kênh hoạt động cho cuộc gọi mới này. Sự tranh chấp kênh bắt đầu xảy ra khi một thuê bao di chuyển từ ô này sang ô khác trong suốt quá trình thực hiện cuộc gọi. Sự giới hạn về tài nguyên trong một ô nhất định có thể gây ra sự gián đoạn cuộc gọi cho thuê bao phải thường xuyên di chuyển bởi vì ngay tại biên các ô có thể xảy ra hiện tượng ngắt cuộc gọi. Do đó, điều hành mạng sử dụng một phương pháp thích hợp để giảm thiểu tối đa sự gián đoạn cuộc gọi. Cơ chế kênh bảo vệ là một kỹ thuật dựa vào độ ưu tiên của các cuộc gọi chuyển vùng trên các cuộc gọi mới (*fresh call*) để giảm thiểu tối đa sự ngắt cuộc gọi. Khi đó cơ chế kênh bảo vệ phân đoạn FGC được sử dụng để kiểm soát việc tiếp nhận cuộc gọi CAC trong mạng cellular [4]. Bài viết này sẽ phân tích và đánh giá mô hình mượn phổ trong mạng di động tế bào với cơ chế FGC.

Nội dung tiếp theo của bài báo bao gồm: phần 2 giới thiệu các mô hình chúng tôi phân tích với các luồng lưu lượng khác nhau. Kết quả phân tích, kết hợp với mô phỏng, thông qua các đồ thị về những thay đổi của xác suất tắc nghẽn chuyển biến theo mật độ luồng, sẽ được trình bày ở phần 3. Cuối cùng là phần kết luận.

2. MÔ HÌNH PHÂN TÍCH

2.1. Các thông số giả định

Chúng ta xét một ô cụ thể trong hệ thống mạng di động tế bào với giả thiết là tập hợp người sử dụng là vô hạn. Ta có n kênh để quản lý các cuộc gọi đến. Gọi $I(t)$ là số lượng kênh đang được phục vụ trong một ô cụ thể và $J(t)$ (với $0 \leq J(t) \leq L$) là số lượng tần số mượn. Khi đó số lượng kênh khi có j tần số mượn (hay $J(t) = j$) là $N_j = n + jn_R$ với n_R là số kênh trong một tần số mượn [4].

Giả sử rằng thời gian *interarrival* của các cuộc gọi mới và các cuộc gọi chuyển

vùng tuân theo phân phối hàm mũ với tốc độ λ_F và λ_H . Khi đó gọi tổng tốc độ đến của các cuộc gọi là λ thì ta có $\lambda = \lambda_F + \lambda_H$. Chúng ta giả sử rằng khoảng thời gian thực hiện cuộc gọi thành công (đối với các cuộc gọi mới và các cuộc gọi chuyển vùng) trong ô tuân theo phân phối hàm mũ với thời gian trung bình là $1/\mu$.

2.2. Cơ chế tiếp nhận cuộc gọi

Cơ chế FGC có một quy tắc là nó cho phép thực hiện một cuộc gọi mới với xác suất $\beta_{i,j}$ và cuộc gọi chuyển vùng với xác suất là 1 khi $I(t) = i$ và $J(t) = j$. Ta có các cơ chế FGC khác nhau dựa vào các thông số của hệ thống như sau [2]:

- Cơ chế FGC trung bình giới hạn (LAFGC - *limited average FGC*) được định nghĩa như sau: $\beta_{i,j} = 1$ (với $0 \leq i \leq N_j - \lfloor g \rfloor - 2$), $\beta_{N_j - \lfloor g \rfloor - 1, j} = 1 - g + \lfloor g \rfloor$ và $\beta_{i,j} = 0$ (với $N_j - \lfloor g \rfloor \leq i < N_j$).

- Cơ chế FGC đồng nhất (UFGC - *uniform FGC*): $\beta_{i,j} = \beta$ (với $0 \leq i < N_j$).

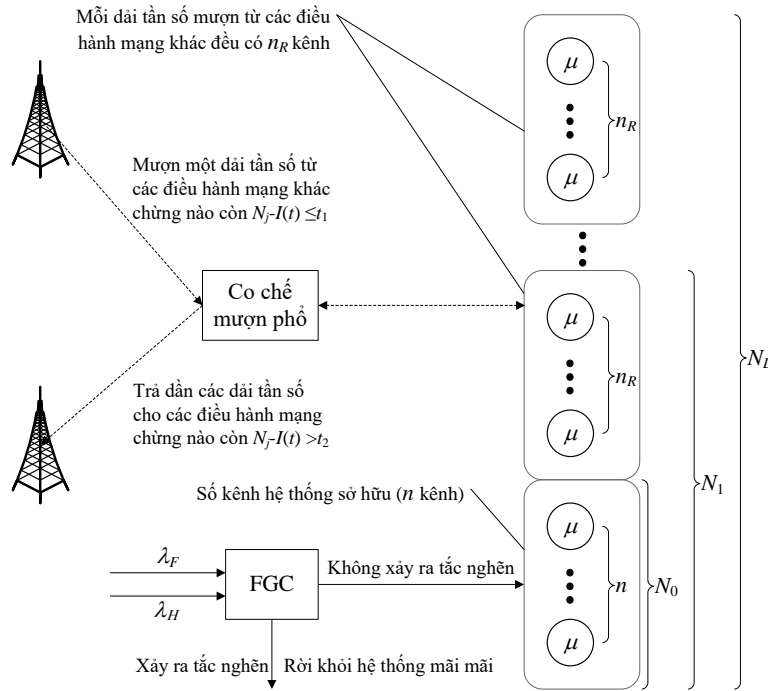
- Cơ chế FGC giả đồng nhất (QUFGC - *quasi uniform FGC*): $\beta_{i,j} = 1$ (với $0 \leq i \leq N_j - \lfloor g \rfloor - 2$) và $\beta_{i,j} = 1 - g + \lfloor g \rfloor$ (với $N_j - \lfloor g \rfloor - 1 \leq i < N_j$).

- Cơ chế FGC không xét độ ưu tiên (NPS - *non prioritization scheme*): $\beta_{i,j} = 1$ (với $0 \leq i < N_j$).

Ở đây với g là số kênh bảo vệ (không nhất thiết phải là số nguyên) và $\lfloor g \rfloor$ là số nguyên gần nhất không lớn hơn g . Ta quy ước $\beta_{N_j, j} = 0$ (với $0 \leq j \leq L$).

2.3. Cơ chế mượn phổ

Chúng ta giả sử rằng một dải tần số có thể mượn trong một khoảng thời gian giới hạn gọi là thời gian mượn cho phép (*lease time*) và nó tuân theo phân phối hàm mũ với tham số η . Hiển nhiên một giá trị phù hợp η sẽ cải tiến hiệu năng hoạt động. Bên cạnh đó, cơ chế này còn hoạt động dựa trên việc kiểm soát hiện tượng trễ với 2 ngưỡng hoạt động (Hình 1):



Hình 1. Mô hình mô tả hoạt động của bài toán mượn phổ.

• Nếu số lượng kênh trống $\leq t_1$ với việc tiếp nhận cuộc gọi theo cơ chế FGC, điều hành mạng sẽ gửi một yêu cầu mượn một dải tần số mới. Gọi ϑ là xác suất mà một yêu cầu mượn một dải tần số mới thành công. Ngược lại, nếu yêu cầu mượn không thành công (với xác suất $1 - \vartheta$), điều hành mạng sẽ cố gắng thực hiện lại yêu cầu với tốc độ α chùng nào mà số lượng kênh trống $\leq t_1$. Ngoài ra, dải tần số mới sẽ được sử dụng cho đến khi nào mà số lượng kênh trống $\leq t_1$. Chú ý rằng có thể có một số yêu cầu bổ sung tần số ngay tại một thời điểm cụ thể. Ta quan tâm đến mối liên hệ giữa bên mượn và bên sở hữu. Điều này có nghĩa là điều hành mạng sẽ gửi các định danh cần thiết để phân biệt (để giúp bên sở hữu nhận biết đó là yêu cầu lại) và nhóm yêu cầu (yêu cầu cho việc bổ sung một tần số mới thuộc cùng một nhóm). Ngoài ra, nếu thành công ngay lần đầu tiên sẽ hủy bỏ tất cả các yêu cầu của nhóm đó. Bên sở hữu sẽ không cấp thêm bất cứ yêu cầu nào sau khi có thông báo nhận thành công lần đầu cho phép sử dụng một tần số mới.

• Nếu số lượng kênh trống bằng $t_2 + n_R$ và số lượng tần số mượn là j với một yêu cầu rời khỏi hệ thống, điều hành mạng sẽ trả lại tần số đã mượn trước đó.

Hai tham số t_1 và t_2 của cơ chế mượn phổ được sử dụng để điều chỉnh hiệu năng của hệ thống. Điều này làm giảm xác suất tắc nghẽn đối với các cuộc gọi chuyển vùng và các cuộc gọi mới. Tuy nhiên, hệ thống phải đánh đổi tốc độ mạng cho việc mượn một tần số, do đó khi mượn được tần số nó phải nhanh chóng trả lại tần số đó nhanh nhất có thể.

2.4. Mô hình toán học

Hệ thống được mô hình bằng chuỗi CTMC 2 chiều bằng cặp giá trị $X = \{I(t), J(t); t \geq 0\}$. Hệ thống được xây dựng dựa trên các dữ kiện sau [4]:

- (a) Quá trình đến của các cuộc gọi mới và các cuộc gọi chuyển vùng.
- (b) Các cuộc gọi rời khỏi hệ thống.
- (c) Quá trình yêu cầu một phổ (yêu cầu được thực hiện ngay tức khắc khi số kênh trống đạt được giá trị ngưỡng t_1 và số lượng tần số mượn dưới L . Nếu yêu cầu lần đầu tiên không thành công, khi đó yêu cầu lại một tần số mới với tốc độ là α khi nào mà số lượng kênh trống còn lại thấp hơn t_1).
- (d) Sự quá hạn đối với thời gian mượn cho phép (*lease time*) của các tần số mượn.

Ta xét sự chuyển đổi giữa các trạng thái có thể xảy ra đối với chuỗi CTMC X :

- Từ trạng thái (i, j) sang trạng thái $(i + 1, j)$ (với $0 \leq i < N_j$ và $0 \leq j \leq L$): do cho phép một cuộc gọi dựa vào cơ chế tiếp nhận cuộc gọi.
- Từ trạng thái (i, j) sang trạng thái $(i, j + 1)$ (với $i \geq N_j - t_1$): do yêu cầu một tần số mới thành công.
- Từ trạng thái (i, j) sang trạng thái $(i - 1, j)$ (với $i > 0$ (trường hợp $j = 0$) hoặc $0 < i \neq N_j - t_2 + 1$ (trường hợp $j > 0$)): do một yêu cầu rời khỏi hệ thống.
- Từ trạng thái (i, j) sang trạng thái $(i - 1, j - 1)$ (với $i = N_{j-1} - t_2 + 1$ và $0 < j \leq L$): do một yêu cầu rời khỏi hệ thống và giải phóng tần số mượn.
- Từ trạng thái (i, j) sang trạng thái $(\min\{i, N_{j-1}\}, j - 1)$ (với $0 \leq i \leq N_j$ và $0 < j \leq L$): do quá hạn đối với thời gian mượn cho phép và tần số mượn bị trả lại.

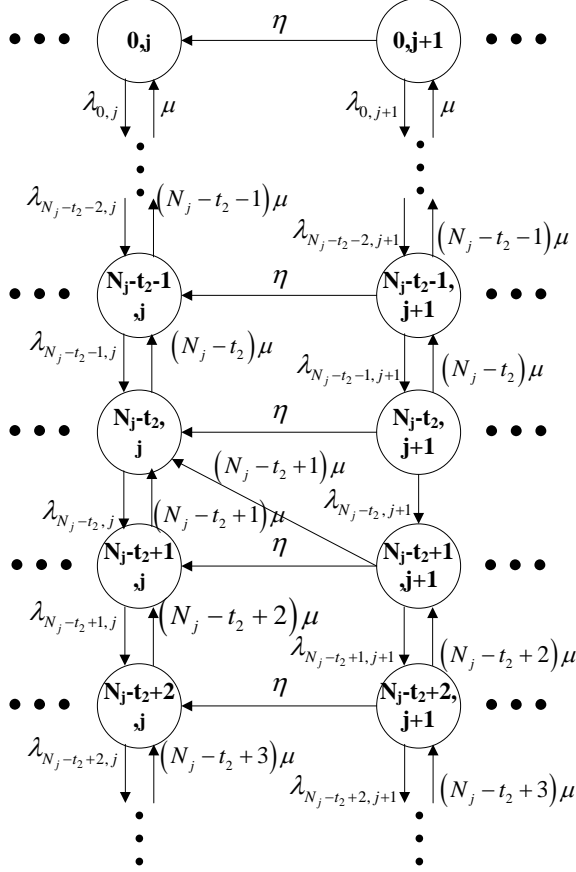
Từ đây ta có các ma trận chuyển trạng thái A_j, B_j, C_j như sau:

(a) Ma trận A_j là ma trận chuyển từ trạng thái (i, j) tới trạng thái (k, j) ($0 \leq j \leq L$) là một ma trận có kích thước $(N_j + 1) \times (N_j + 1)$, với: $A_j(i, k) = \lambda_{i,j} = \lambda_F \beta_{i,j} + \lambda_H$ ($k = i + 1, 0 \leq i \leq N_j - 1$), $A_j(i, k) = i\mu$ ($k = i - 1, 0 < i \leq N_j$). Ngoài ra, $A_j(N_{j-1} - t_2 + 1, N_{j-1} - t_2) = 0$ ($j > 0$). Các phần tử khác bằng 0.

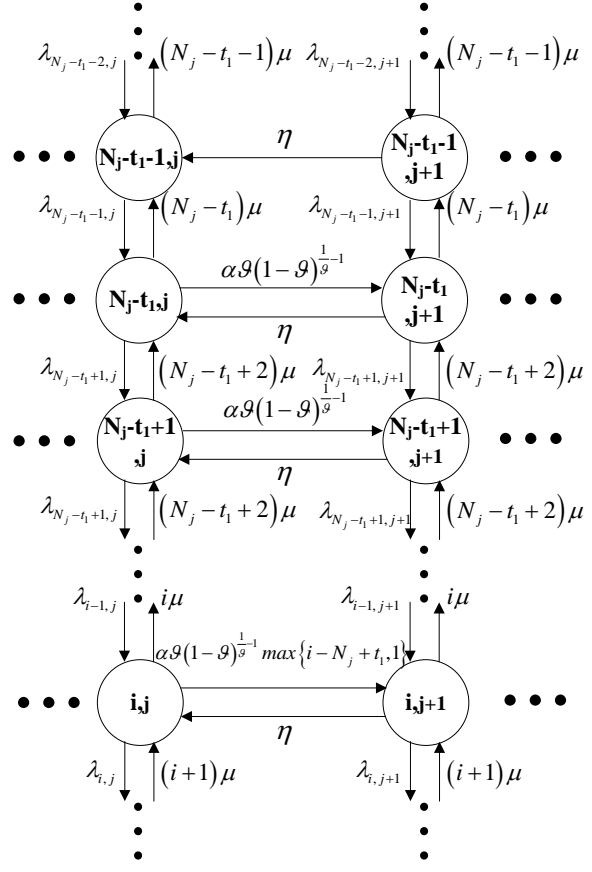
(b) Ma trận B_j là ma trận chuyển từ trạng thái (i, j) tới trạng thái $(k, j + 1)$ ($0 \leq j \leq L - 1$) là một ma trận có kích thước $(N_j + 1) \times (N_{j+1} + 1)$, với các phần tử khác 0 là: $B_j(i, k) = \alpha \vartheta (1 - \vartheta)^{\frac{1}{\vartheta} - 1} \max\{i - N_j + t_1, 1\}$ ($k = i, i \geq N_j - t_1$).

(c) Ma trận C_j là ma trận chuyển từ trạng thái (i, j) tới trạng thái $(k, j - 1)$ ($1 \leq j \leq L$) là ma trận có kích thước $(N_j + 1) \times (N_{j-1} + 1)$, với các phần tử khác 0 là: $C_j(N_{j-1} - t_2 + 1, N_{j-1} - t_2) = (N_{j-1} - t_2 + 1)\mu$ và $C_j(i, \min\{i, N_{j-1}\}) = \eta$ ($1 \leq j \leq L$).

Lược đồ chuyển trạng thái tương ứng được chỉ ra trong các Hình 2 đến Hình 4; Hình 5 minh họa một ví dụ đơn giản với các thông số cụ thể ($n = 4, L = n_R = 2, t_1 = 1, t_2 = 3$).



Hình 2. Sơ đồ con chuyển trạng thái với các yêu cầu tiếp nhận cuộc gọi; cuộc gọi rời khỏi hệ thống; cuộc gọi quá hạn thời gian mượn cho phép và trả lại dải tần số; cuộc gọi rời khỏi hệ thống và giải phóng tần số mượn theo ngưỡng t_2 .



Hình 3. Sơ đồ con chuyển trạng thái với các yêu cầu tiếp nhận cuộc gọi; cuộc gọi rời khỏi hệ thống; cuộc gọi quá hạn thời gian mượn cho phép và trả lại dải tần số; yêu cầu mượn một tần số mới thành công theo ngưỡng t_1 .

Ta có các phương trình trạng thái cân bằng như sau (theo **Hình 2**, **Hình 3** và **Hình 4**):

Phương trình trạng thái cân bằng	Trạng thái
$\lambda_{0,0}p_{0,0} = \eta p_{0,1} + \mu p_{1,0}$	$(0,0)$.
$(\lambda_{0,0} + \eta)p_{0,j} = \eta p_{0,j+1} + \mu p_{1,j}$	$(0,j)$ với $j = \overline{1, L-1}$.
$(\lambda_{0,0} + \eta)p_{0,L} = \mu p_{1,L}$	$(0,L)$.
$(i\mu + \lambda_{i,0})p_{i,0} = \lambda_{i-1,0}p_{i-1,0} + \eta p_{i,1} + (i+1)\mu p_{i+1,0}$	$(i,0)$ với $i = \overline{1, N_0 - t_2 - 1}$ hoặc $i = \overline{N_0 - t_2 + 1, N_0 - t_1 - 1}$.

$[(N_0 - t_2)\mu + \lambda_{N_0-t_2,0}]p_{N_0-t_2,0} = \lambda_{N_0-t_2-1,0}p_{N_0-t_2-1,0} + \eta p_{N_0-t_2,1} + (N_0 - t_2 + 1)\mu(p_{N_0-t_2+1,0} + p_{N_0-t_2+1,1}).$	$(N_0 - t_2, 0).$
$[i\mu + \lambda_{i,0} + \alpha\vartheta(1 - \vartheta)^{\frac{1}{\vartheta}-1} \max\{i - N_0 + t_1, 1\}]p_{i,0} = \lambda_{i-1,0}p_{i-1,0} + \eta p_{i,1} + (i + 1)\mu p_{i+1,0}.$	$(i, 0)$ với $i = \overline{N_0 - t_1, N_0 - 1}$.
$[N_0\mu + \alpha\vartheta(1 - \vartheta)^{\frac{1}{\vartheta}-1} \max\{i - N_0 + t_1, 1\}]p_{N_0,0} = \lambda_{N_0-1,0}p_{N_0-1,0} + \eta p_{N_0,1} + \eta \sum_{k=1}^{NR} p_{N_0+k,1}.$	$(N_0, 0).$
$[\eta + N_j\mu + \alpha\vartheta(1 - \vartheta)^{\frac{1}{\vartheta}-1} \max\{i - N_0 + t_1, 1\}]p_{N_j,j} = \lambda_{N_j-1,j}p_{N_j-1,j} + \eta p_{N_j-1,j+1} + \eta \sum_{k=1}^{NR} p_{N_j+k,j+1}.$	(N_j, j) với $j = \overline{1, L - 1}$.
$(\eta + N_L\mu)p_{N_L,L} = \lambda_{N_L-1,L}p_{N_L-1,L}.$	$(N_L, L).$
$(i\mu + \lambda_{i,L} + \eta)p_{i,L} = \lambda_{i-1,L}p_{i-1,L} + (i + 1)\mu p_{i+1,L}.$	(i, L) với $i = \overline{1, N_L - t_2 - 1}$ hoặc $i = \overline{N_L - t_2 + 2, \max\{N_L - t_2 + 2, N_{L-1} - t_1 - 1\}}$.
$[(N_L - t_2)\mu + \lambda_{N_L-t_2,L} + \eta]p_{N_L-t_2,L} = \lambda_{N_L-t_2-1,L}p_{N_L-t_2-1,L}.$	$(N_L - t_2, L).$
$[(N_L - t_2 + 1)\mu + \lambda_{N_L-t_2+1,L} + \eta]p_{N_L-t_2+1,L} = \lambda_{N_L-t_2,L}p_{N_L-t_2,L} + (N_L - t_2 + 2)\mu p_{N_L-t_2+2,L}.$	$(N_L - t_2 + 1, L).$
$(i\mu + \lambda_{i,L} + \eta)p_{i,L} = \lambda_{i-1,L}p_{i-1,L} + (i + 1)\mu p_{i+1,L} + \alpha\vartheta(1 - \vartheta)^{\frac{1}{\vartheta}-1} \max\{i - N_{L-1} + t_1, 1\}p_{i,L-1}.$	(i, L) với $i = \overline{N_{L-1} - t_1, N_{L-1}}$.
$(i\mu + \lambda_{i,L} + \eta)p_{i,L} = \lambda_{i-1,L}p_{i-1,L} + (i + 1)\mu p_{i+1,L}.$	(i, L) với $i = \overline{N_{L-1} + 1, N_L - 1}$.
$(i\mu + \lambda_{i,j} + \eta)p_{i,j} = \lambda_{i-1,j}p_{i-1,j} + \eta p_{i,j+1} + (i + 1)\mu p_{i+1,j}.$	(i, j) với $i = \overline{1, N_j - t_2 - 1}$ hoặc $i = \overline{N_j - t_2 + 2, \max\{N_j - t_2 + 2, N_{j-1} - t_1 - 1\}}$ và $j = \overline{1, L - 1}$.
$[(N_j - t_2)\mu + \lambda_{N_j-t_2,j} + \eta]p_{N_j-t_2,j} = \lambda_{N_j-t_2-1,j}p_{N_j-t_2-1,j} + \eta p_{N_j-t_2,j+1}.$	$(N_j - t_2, j)$ với $j = \overline{1, L - 1}$.
$[(N_j - t_2 + 1)\mu + \lambda_{N_j-t_2+1,j} + \eta]p_{N_j-t_2+1,j} = \lambda_{N_j-t_2,j}p_{N_j-t_2,j} + (N_j - t_2 + 2)\mu p_{N_j-t_2+2,j} + \eta p_{N_j-t_2+1,j+1}.$	$(N_j - t_2 + 1, j)$ với $j = \overline{1, L - 1}$.
$(i\mu + \lambda_{i,j} + \eta)p_{i,j} = \lambda_{i-1,j}p_{i-1,j} + (i + 1)\mu p_{i+1,j} + \alpha\vartheta(1 - \vartheta)^{\frac{1}{\vartheta}-1} \max\{i - N_{j-1} + t_1, 1\}p_{i,j-1} + \eta p_{i,j+1}.$	(i, j) với $i = \overline{N_{j-1} - t_1, N_{j-1}}$ và $j = \overline{1, L - 1}$.
$(i\mu + \lambda_{i,j} + \eta)p_{i,j} = \lambda_{i-1,j}p_{i-1,j} + (i + 1)\mu p_{i+1,j} + \eta p_{i,j+1}.$	(i, j) với $i = \overline{N_{j-1} + 1, N_j - 1}$ và $j = \overline{1, L - 1}$.

$$v_0 A_0^{(1)} + v_1 C_1 = \underbrace{(0, \dots, 0)}_{N_0+1}, \quad (1)$$

$$v_{j-1} B_{j-1} + v_j A_j^{(1)} + v_{j+1} C_{j+1} = \underbrace{(0, \dots, 0)}_{N_j+1}, \quad (\text{với } 1 \leq j \leq L-1), \quad (2)$$

$$v_{L-1} B_{L-1} + v_L A_L^{(1)} = \underbrace{(0, \dots, 0)}_{N_L+1}. \quad (3)$$

Để tính phân phối xác suất trạng thái ổn định của hệ thống, ta định nghĩa ma trận R_j (có kích thước $(N_{j-1} + 1) \times (N_j + 1)$) là ma trận thỏa mãn $v_j = v_{j-1} R_j$ (với $1 \leq j \leq L$) và $R_0 = I_{N_0+1}$ (hay R_0 chính là ma trận đơn vị kích thước $(N_0 + 1) \times (N_0 + 1)$). Khi đó các ma trận R_j (với $1 \leq j \leq L$) có thể được tính toán bằng các hệ thức truy hồi như sau:

$$R_L = -B_{L-1} \left(A_L^{(1)} \right)^{-1}, \quad (4)$$

$$R_j = -B_{j-1} \left(A_j^{(1)} + R_{j+1} C_{j+1} \right)^{-1}, \quad (\text{với } 1 \leq j \leq L-1). \quad (5)$$

Mặt khác từ định nghĩa ma trận R_j ta có được hệ thức như sau:

$$v_j = v_0 \prod_{k=0}^j R_k, \quad (\text{với } 0 \leq j \leq L). \quad (6)$$

Phương trình (1) có thể viết lại như sau:

$$v_0 \left(A_0^{(1)} + R_1 C_1 \right) = \underbrace{(0, \dots, 0)}_{N_0+1}. \quad (7)$$

Từ phương trình (7) và phương trình chuẩn hóa $\sum_{j=0}^L v_j e_j = 1$ (với e_j là vectơ cột đơn vị có kích thước $(N_j + 1) \times 1$ (với $0 \leq j \leq L$) và tất cả phần tử đều bằng 1) ta có thể tính được v_0 .

2.5. Các thông số hiệu năng của hệ thống

- Xác suất tắc nghẽn của các cuộc gọi chuyển vùng PB_H : xảy ra khi có một yêu cầu chuyển vùng đến được tiếp nhận theo cơ chế FGC nhưng đã sử dụng tất cả số kênh (kể cả số kênh của các tần số mượn).

$$PB_H = \sum_{j=0}^L p_{N_j, j}. \quad (8)$$

- Xác suất tắc nghẽn của các cuộc gọi mới PB_F : hệ thống từ chối các cuộc gọi đến (với xác suất $1 - \beta_{i,j}$ theo cơ chế FGC).

$$PB_F = \sum_{j=0}^L \sum_{i=0}^{N_j} p_{i,j} (1 - \beta_{i,j}). \quad (9)$$

3. KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ

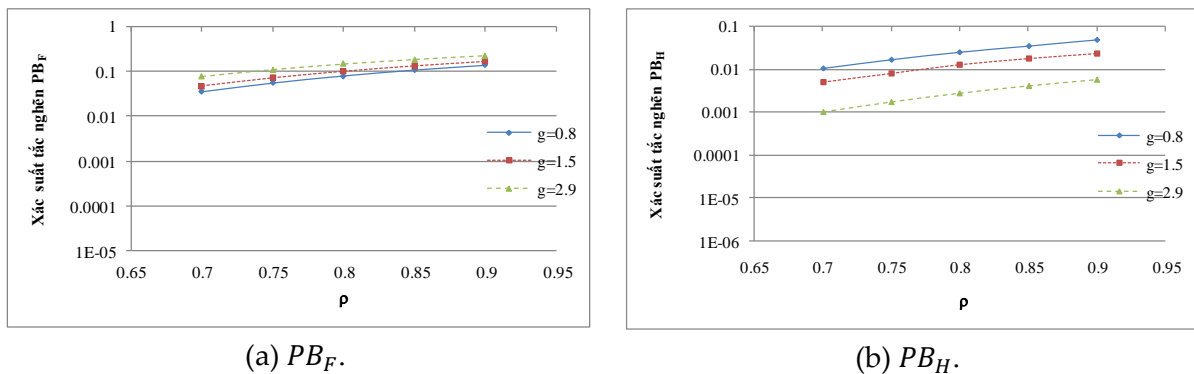
Các thông số hệ thống được chọn như sau (ta mặc định cơ chế FGC là LAFGC) [4].

Bảng 1. Các tham số phân tích trong bài toán.

Tên thông số	Ký hiệu	Giá trị
Số lượng kênh sở hữu	n	24
Số lượng kênh trong mỗi dải tần số mượn	n_R	8
Số lượng dải tần số mượn	L	3
Tốc độ đến của các cuộc gọi mới	λ_F	20.4/159.66
Tốc độ đến của các cuộc gọi chuyển vùng	λ_H	40.8/159.66
Tốc độ phục vụ	μ	1/53.22
Tốc độ retrial	α	0.15
Xác suất mượn một dải tần số mới thành công	ϑ	0.9
Tốc độ giải phóng tần số do quá hạn thời gian	η	0.0001
Số kênh bảo vệ (GC - guard channel) thực tế	g	1.5
Ngưỡng mượn tần số	t_1	3
Ngưỡng giải phóng tần số	t_2	8

3.1. Phân tích và so sánh xác suất tắc nghẽn theo giá trị ρ và g

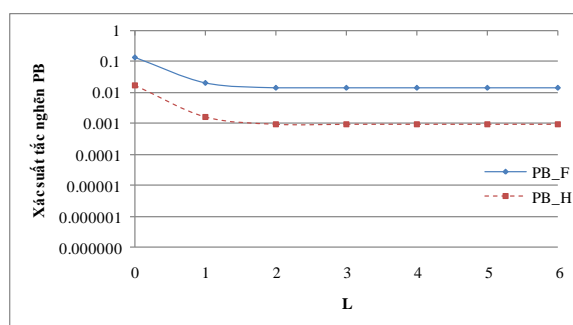
Ta nhận thấy rằng xác suất tắc nghẽn PB_F có giá trị gần như nhau đối với các giá trị $g = 0.8, g = 1.5, g = 2.9$ khi ta thay đổi giá trị ρ (Hình 6 (a)). Nhưng sự thay đổi này thể hiện rõ rệt đối với xác suất tắc nghẽn PB_H (Hình 6 (b)). Hay xác suất tắc nghẽn cuộc gọi chuyển vùng PB_F giảm đáng kể khi ta tăng số kênh bảo vệ. Điều này hoàn toàn phù hợp với lý thuyết mà ta đã xây dựng.



Hình 6. Xác suất tắc nghẽn PB_F và PB_H với $n = 24, L = 0, \mu = \frac{1}{53.22}, \frac{\lambda_H}{\lambda} = \frac{1}{3}$.

3.2. Phân tích và so sánh xác suất tắc nghẽn theo giá trị L

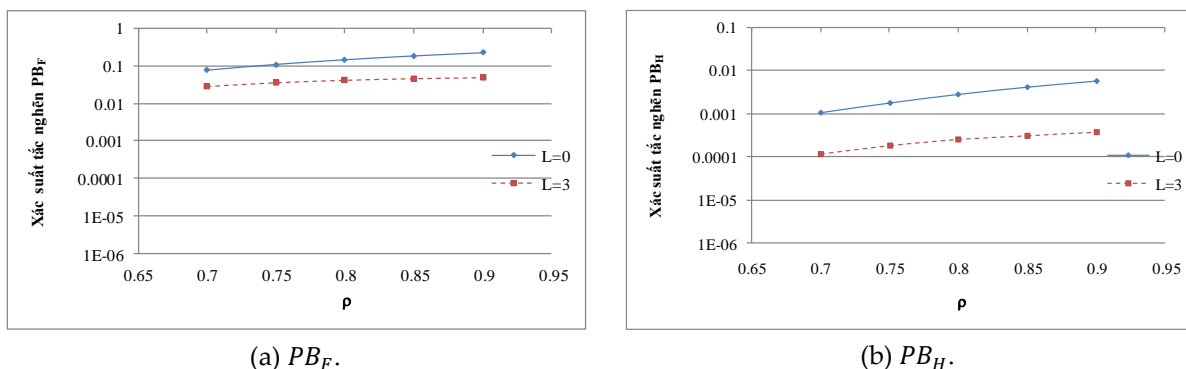
Từ đồ thị phân tích ta thấy rằng khi mượn nhiều hơn hai dải tần số ($L \geq 2$) thì cả xác suất tắc nghẽn PB_F và PB_H hầu như không thay đổi (hội tụ), do đó ta cần mượn một số dải tần số thích hợp để tiết kiệm tài nguyên hệ thống (Hình 7). Trong các phân tích sau ta chỉ so sánh với $L = 0$ và $L = 3$.



Hình 7. Xác suất tắc nghẽn PB_F và PB_H với $n = 24$, $n_R = 8$, $\mu = \frac{1}{53.22}$, $\alpha = 0.15$, $\vartheta = 0.9$, $\eta = 0.0001$, $g = 1.5$, $t_1 = 3$ và $t_2 = 8$.

3.3. Phân tích và so sánh xác suất tắc nghẽn theo giá trị L và ρ

Với $L = 3$ thì ta thấy xác suất tắc nghẽn PB_F và PB_H đều cho ta giá trị thấp hơn so với việc không mượn các dải tần số (tức $L = 0$) (Hình 8 (a) và Hình 8 (b)), đặc biệt đối với giá trị xác suất PB_H cho giá trị tốt hơn nhiều so với việc không mượn các dải tần số ($L = 0$) (Hình 8 (b)).

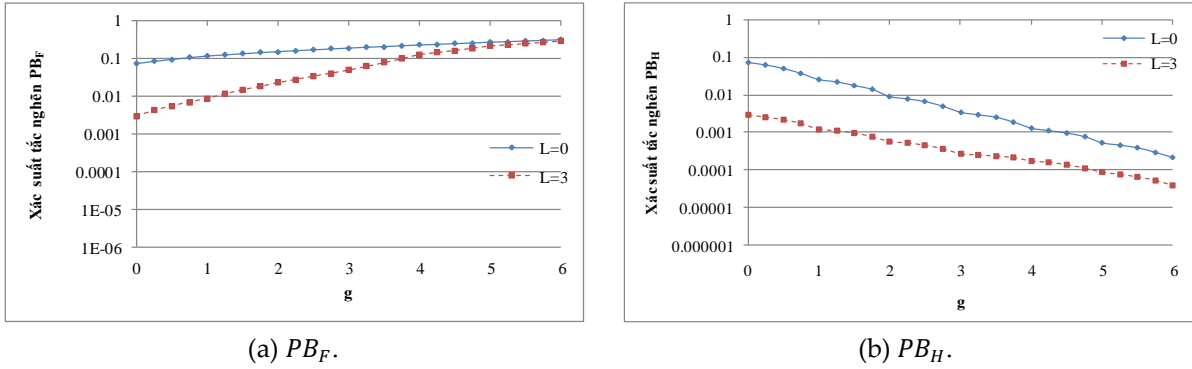


Hình 8. Xác suất tắc nghẽn PB_F và PB_H với $n = 24$, $n_R = 8$, $\frac{\lambda_H}{\lambda} = \frac{1}{3}$, $\mu = \frac{1}{53.22}$, $\alpha = 0.15$, $\vartheta = 0.9$, $\eta = 0.0001$, $g = 1.5$, $t_1 = 3$ và $t_2 = 8$.

3.4. Phân tích và so sánh xác suất tắc nghẽn theo giá trị L và g

Từ kết quả phân tích ta thấy rằng xác suất tắc nghẽn PB_F tăng dần khi ta tăng số kênh bảo vệ g (Hình 9 (a)), trong khi đó xác suất tắc nghẽn PB_H giảm đáng kể khi tăng số kênh bảo vệ g (Hình 9 (b)). Điều này nói rằng cơ chế FGC bảo vệ cuộc gọi chuyển vùng nhưng vẫn đảm bảo xác suất tắc nghẽn đối với cuộc gọi mới nằm trong

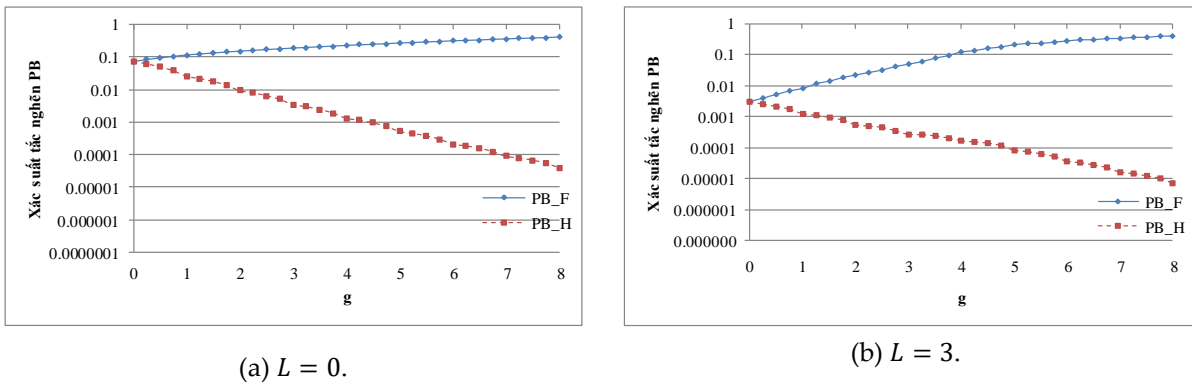
Phân tích và đánh giá bài toán mượn phổ trong mạng di động tế bào với cơ chế kênh bảo vệ FGC phạm vi cho phép.



Hình 9. Xác suất tắc nghẽn PB_F và PB_H với $n = 24$, $n_R = 8$, $\frac{\lambda_H}{\lambda} = \frac{1}{3}$, $\mu = \frac{1}{53.22}$, $\alpha = 0.15$, $\vartheta = 0.9$, $\eta = 0.0001$, $\rho = 0.85$, $t_1 = 3$ và $t_2 = 8$.

3.5. Phân tích xác suất tắc nghẽn sử dụng cơ chế LAFGC

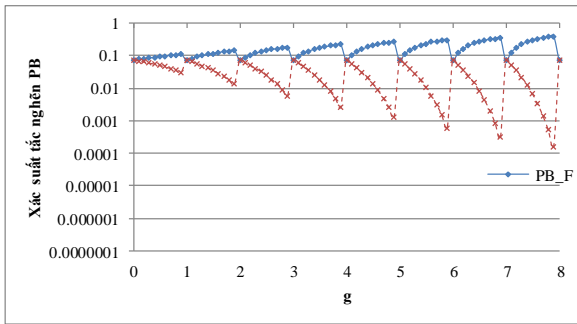
Tương tự như nhận xét ở mục 3.4 (theo Hình 10 (a) và Hình 10 (b)).



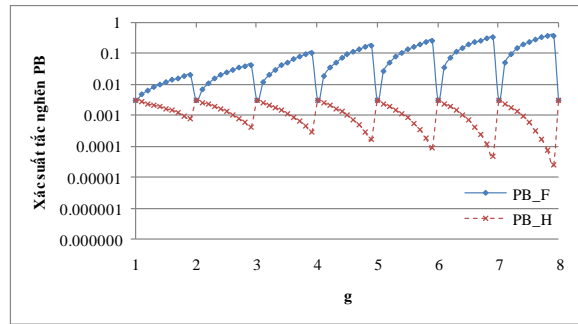
Hình 10. Xác suất tắc nghẽn PB_F , PB_H theo cơ chế LAFGC với $n = 24$, $n_R = 8$, $\frac{\lambda_H}{\lambda} = \frac{1}{3}$, $\mu = \frac{1}{53.22}$, $\alpha = 0.15$, $\vartheta = 0.9$, $\eta = 0.0001$, $\rho = 0.85$, $t_1 = 3$ và $t_2 = 8$.

3.6. Phân tích xác suất tắc nghẽn sử dụng cơ chế QUGFC

Với Hình 11 (a) và Hình 11 (b) sự biến thiên của đồ thị xác suất tắc nghẽn có dạng hình tựa zíc zắc. Điều này là do khi g là một số nguyên thì khi đó $\beta_{i,j} = 1 - g + [g] = 1$ ($0 \leq j \leq L, 0 \leq i < N_j$), mặt khác theo các công thức (8) và (9) ta dễ dàng suy ra $PB_F = PB_H = PB_0$. Lưu ý rằng đồ thị xác suất tắc nghẽn cuộc gọi mới PB_F (trương ứng xác suất tắc nghẽn cuộc gọi chuyển vùng PB_H) có tất cả các điểm cực tiểu (trương ứng điểm cực đại) bằng nhau và bằng PB_0 . Kết quả phân tích này hoàn toàn phù hợp với lý thuyết mà ta đã giới thiệu ở trên. So với cơ chế LAFGC thì ta nhận thấy rằng xác suất tắc nghẽn PB_F cho ta giá trị tốt hơn, nhưng ngược lại xác suất tắc nghẽn của cuộc gọi chuyển vùng PB_H lại tăng lên.



(a) $L = 0$.

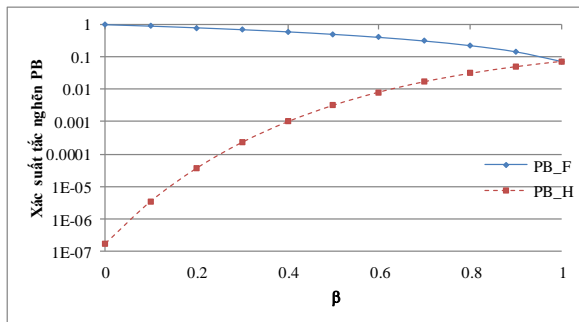


(b) $L = 3$.

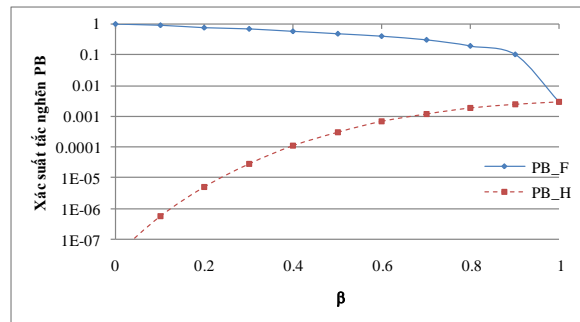
Hình 11. Xác suất tắc nghẽn PB_F, PB_H theo cơ chế QUGC với $n = 24, n_R = 8, \frac{\lambda_H}{\lambda} = \frac{1}{3}, \mu = \frac{1}{53.22}, \alpha = 0.15, \vartheta = 0.9, \eta = 0.0001, \rho = 0.85, t_1 = 3$ và $t_2 = 8$.

3.7. Phân tích xác suất tắc nghẽn sử dụng cơ chế UFGC

Một kết quả hiển nhiên là khi ta tăng dần xác suất cho phép β từ giá trị 0 cho đến 1 thì xác suất tắc nghẽn đối với cuộc gọi mới giảm dần, trong khi đó xác suất tắc nghẽn tắc nghẽn cuộc gọi chuyển vùng tăng đáng kể. Lưu ý rằng khi $\beta = 1$ thì tương tự như nhận xét ở Mục 2.4 thì ta cũng có $PB_F = PB_H$ (**Hình 12 (a)** và **Hình 12 (b)**).



(a) $L = 0$.

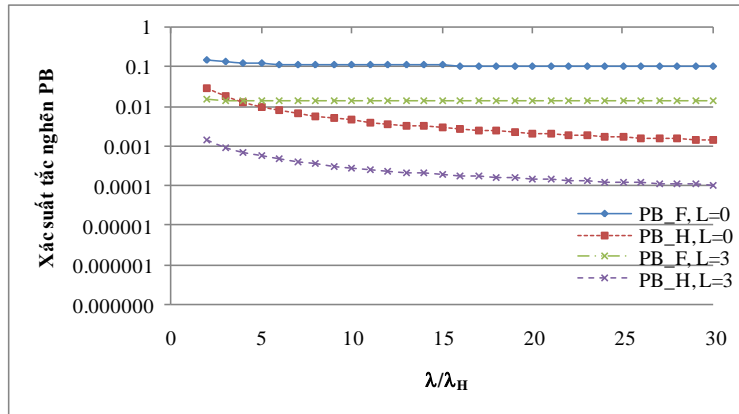


(b) $L = 3$.

Hình 12. Xác suất tắc nghẽn PB_F, PB_H theo cơ chế UFGC với $n = 24, n_R = 8, \frac{\lambda_H}{\lambda} = \frac{1}{3}, \mu = \frac{1}{53.22}, \alpha = 0.15, \vartheta = 0.9, \eta = 0.0001, \rho = 0.85, t_1 = 3$ và $t_2 = 8$.

3.8. Phân tích xác suất tắc nghẽn theo giá trị λ/λ_H

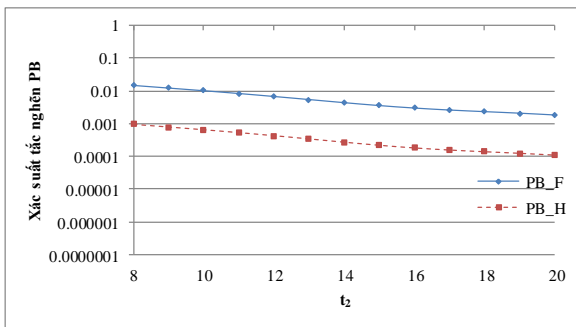
Trong cả hai trường hợp ($L = 0$ và $L = 3$) theo **Hình 13** thì đồ thị xác suất tắc nghẽn cuộc gọi mới có giá trị rất ít thay đổi (có dạng gần như đường thẳng). Trong khi đó xác suất tắc nghẽn cuộc gọi chuyển vùng lại có xu hướng giảm dần và hội tụ về một giá trị nào đó (**Hình 13**). Điều này nói lên rằng xác suất tắc nghẽn PB_F và PB_H có phụ thuộc vào giá trị λ/λ_H nhưng ít, thậm chí xác suất tắc nghẽn PB_F hầu như không phụ thuộc vào giá trị λ/λ_H .



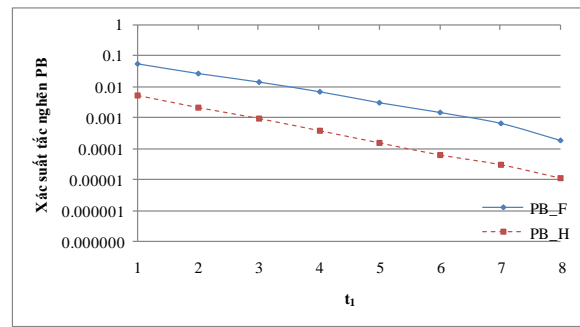
Hình 13. So sánh xác suất tắc nghẽn PB_F, PB_H với $n = 24, n_R = 8, \frac{\lambda_H}{\lambda} = \frac{1}{3}, g = 1.5, \mu = \frac{1}{53.22}, \alpha = 0.15, \vartheta = 0.9, \eta = 0.0001, \rho = 0.85, t_1 = 3$ và $t_2 = 8$.

3.9. Phân tích xác suất tắc nghẽn với hai giá trị ngưỡng t_1 và t_2

So sánh việc thay đổi giá trị t_1 và t_2 ta có nhận xét như sau: Khi cố định giá trị $t_1 = 3$ và giá trị t_2 thay đổi từ 8 đến 20 giá trị xác suất tắc nghẽn cuộc gọi mới PB_F và xác suất tắc nghẽn cuộc gọi chuyển vùng PB_H đều giảm dần (Hình 14 (a)). Trong khi đó theo Hình 14 (b), ta cố định giá trị $t_2 = 9$ và t_1 thay đổi từ 1 đến 8 thì khi này xác suất tắc nghẽn PB_F và PB_H đều cho ta giá trị tốt hơn nhiều so với việc cố định $t_1 = 3$ và thay đổi giá trị t_2 . Điều này chứng tỏ giá trị t_1 và t_2 có ảnh hưởng như thế nào đến xác suất tắc nghẽn của mô hình mà ta đang xét.



(a) $t_1 = 3$.



(b) $t_2 = 8$.

Hình 14. Xác suất tắc nghẽn PB_F và PB_H với $n = 24, n_R = 8, L = 3, \frac{\lambda_H}{\lambda} = \frac{1}{3}, g = 1.5, \mu = \frac{1}{53.22}, \alpha = 0.15, \vartheta = 0.9, \eta = 0.0001, \rho = 0.85, t_1 = 3$ và $t_2 = 8$.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này chúng tôi đã giới thiệu một mô hình đánh giá hiệu năng trong mạng di động tế bào trong đó có sử dụng cơ chế mượn phổ và việc kiểm soát tiếp nhận cuộc gọi đến theo cơ chế kênh bảo vệ phân đoạn FGC với mục đích tận dụng những dải tần số chưa được sử dụng từ những điều hành mạng của các ô khác. Kết quả phân tích chỉ ra rằng mô hình bài toán mà chúng tôi giới thiệu trong bài báo này là đúng đắn và qua đó chỉ ra rằng việc mượn những dải tần số nhằm giảm xác suất tắc nghẽn của các cuộc gọi chuyển vùng xuống đáng kể so với việc không mượn các dải tần số từ những điều hành mạng khác. Ngoài ra trong bài báo này còn có sự so sánh giữa các cơ chế FGC khác nhau để từ đó nhận xét, đánh giá cơ chế nào là tối ưu nhất cũng như chỉ ra sự ảnh hưởng của tham số hệ thống như số kênh bảo vệ g , xác suất cho phép β , tải lưu lượng ρ , các giá trị ngưỡng t_1, t_2 có ảnh hưởng như thế nào đến mô hình mà ta đang xét.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Chakka, R. (1995). *Performance and Reliability Modelling of Computing Systems Using Spectral Expansion*. PhD thesis, University of Newcastle Upon Tyne, UK.
- [2]. Cruz-Pérez F.A. and Ortigoza-Guerrero L. (2006). "Fractional Resource Reservation in Mobile Cellular Systems". *Resource, Mobility, and Security Management in Wireless Networks and Mobile Communications*, pp. 335-362.
- [3]. Do. T.V. (2010). "Solution for A Retrial Queueing Problem in Cellular Networks with the Fractional Guard Channel Policy". *Mathematical and Computer Modelling*, Vol 53, No 11-12, pp. 2058-2065.
- [4]. Do. T.V., Do. N.H., Chakka, R. (2012). "A new queueing model for spectrum renting in mobile cellular networks". *Computer Communications*, Vol 35, No 10, pp. 1165-1171.
- [5]. Do, T.V. (2013). "An Enhanced Algorithm to Solve Multiserver Retrial Queueing Systems with Impatient Customer". *Computers & Industrial Engineering*, Vol 65, No 4, pp. 719-728.
- [6]. Domenech-Benlloch, M.J. et al (2008). "Generalized Truncated Methods for an Efficient Solution of retrial Systems". *Mathematical Problems in Engineering*, Vol 2008, pp. 1-15.
- [7]. Domenech-Benlloch, M.J. et al (2012). "Efficient Method to Approximately Solve Retrial Systems with Impatience". *Journal of Applied Mathematics*, Vol 2012, pp. 1-18.
- [8]. Feldman, R.M. and Valdez-Flores, C. (2010). *Applied Probability and Stochastic Processes*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [9]. Gross, J.F. et al (2008). *Fundamentals of Queueing Theory*, John Wiley & Sons, New Jersey.
- [10]. Latouche, G. and Ramaswani, V. (1993). "A Logarithmic Reduction Algorithm for Quasi-Birth-Death Processes". *Journal of Applied Probability*, Vol 30, No 3, pp. 650-674.
- [11]. Latouche, G. and Ramaswani, V. (1999). *Introduction to Matrix Analytic Methods in Stochastic Modeling*, ASA-SIAM Series on Statistics and Applied Mathematics, Philadelphia.

ANALYSIS OF SPECTRUM RENTING PROBLEM IN MOBILE CELLULAR NETWORKS WITH FRACTIONAL GUARD CHANNEL (FGC) POLICY

Hoa Ly Cuong*, Nguyen Quang Hung

Faculty of Information Technology, University of Sciences, Hue University

*Email: hlcuong90@gmail.com

ABSTRACT

In this paper, we introduce a queueing model in which mobile network operator may rent each other's unutilized frequency bands. This referred to as spectrum renting policy. Spectrum renting is an operation practice that can be applied to relieve the temporary capacity shortages of a specific service area in wireless cellular networks. Moreover, we take into account the Fractional Guard Channel (FGC) admission control policy and spectrum renting with two thresholds for the network operator. Numerical analysis show that these parameters change with respect to the protection of handover calls.

Keywords: cellular, FGC - fractional guard channel, spectrum renting.



Hoa Lý Cường sinh năm 1990 tại An Giang. Ông tốt nghiệp Đại học Công nghệ thông tin chuyên ngành Kỹ thuật phần mềm tại Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia thành phố Hồ Chí Minh năm 2012. Hiện ông đang là học viên cao học chuyên ngành Khoa học máy tính, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế.

Lĩnh vực nghiên cứu: Mạng và truyền thông.



Nguyễn Quang Hưng sinh ngày 03/11/1979 tại Quảng Bình. Năm 2001, ông tốt nghiệp cử nhân chuyên ngành Công nghệ Thông tin tại Trường Đại học Khoa học và nhận bằng thạc sĩ chuyên ngành Khoa học máy tính tại Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế năm 2005. Từ năm 2001 cho đến nay, ông giảng dạy tại Khoa Công nghệ thông tin Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

Lĩnh vực nghiên cứu: Công nghệ phần mềm, Mạng và truyền thông.