



MÔ HÌNH PHÂN TÍCH DỰA TRÊN HÀNG ĐỢI RETRIAL CHO NÚT LỖI OBS ĐƯỢC TRANG BỊ FDL

Đặng Thanh Chương*, Phạm Trung Đức

Faculty of Information Technology, Hue University of Sciences, Hue University

Tóm tắt: Mạng chuyển mạch chùm quang OBS được xem như là một công nghệ chuyển mạch đầy triển vọng đối với mạng Internet thế hệ quang. Trong đó, vấn đề giải quyết tranh chấp tranh tại nút lõi thu hút được nhiều nghiên cứu với nhiều giải pháp được đưa ra. Giải pháp sử dụng mô hình phân tích với đường trễ quang FDL cũng không nằm ngoài phạm vi đó. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất mô hình hàng đợi retrial phân tích bài toán sử dụng đường trễ quang FDL kết hợp với điều khiển chấp nhận lập lịch có xét QoS nhằm hạn chế vấn đề xảy ra tranh chấp tại nút lõi mạng OBS có kiến trúc SPL - feed-forward. Thông số đánh giá hiệu năng chính là xác suất tắc nghẽn được tính toán dựa trên mô hình Markov đa chiều. Kết quả số của mô hình phân tích, kết hợp với so sánh mô phỏng (trong trường hợp đặc biệt) cho thấy tính chính xác của mô hình đề xuất.

Từ khóa: OBS, QoS, Share-Per-Link (SPL), Fiber Delay Lines (FDL), Retrial Queueing.

1 Giới thiệu

Chuyển mạch chùm quang OBS (Optical Burst Switching) trên mạng WDM (Wavelength Division Multiplexing) đã được xem như là một công nghệ đầy triển vọng đối với mạng Internet thế hệ tiếp theo, bởi vì nó có nhiều lợi thế hấp dẫn như tốc độ nhanh và hiệu suất khai thác băng thông cao hơn nhiều so với những mô hình chuyển mạch kênh quang khác. Tại nút biên vào của mạng OBS, dữ liệu vào (chẳng hạn các luồng IP) có cùng đích đến (và cùng lớp dịch vụ QoS) được tập hợp trong một chùm quang dữ liệu, được lập lịch và được gửi vào bên trong mạng OBS theo sau một gói điều khiển chùm quang BCP (Burst Control Packet) một khoảng thời gian offset. Khoảng thời gian offset này được tính toán sao cho gói điều khiển có thể kịp đặt trước và cấu hình các tài nguyên tại các nút mà chùm quang dữ liệu sẽ đi qua. Bằng cách đó, mạng OBS đã loại bỏ được yêu cầu cần sử dụng các bộ đệm quang, một trong những hạn chế mà công nghệ quang hiện nay chưa thể vượt qua được. Tại các nút lõi bên trong mạng OBS, chùm quang đơn giản được chuyển mạch (forward) theo hướng đến nút đích như đã cấu hình. Khi đến nút biên ra, các luồng IP sẽ được khôi phục lại từ chùm quang dữ liệu này [1], [2].

Trong mạng chuyển mạch quang dựa trên gói tin (OPS và OBS), tranh chấp phát sinh khi hai hay nhiều gói tin đến tranh chấp trên một cổng bước sóng ra. Nếu bước sóng của một chùm

* Liên hệ: dtchuong@hueuni.edu.vn

đến bận tại cổng ra khi chùm đến, chùm có thể chuyển sang sử dụng bước sóng còn rỗi khác (sử dụng bộ chuyển đổi bước sóng). Trong trường hợp nếu tất cả các kênh bước sóng tại một cổng ra đều bận, chùm đến có thể sử dụng đường trễ quang FDL hoặc định tuyến lệch hướng để giải quyết tranh chấp. Một hướng tiếp cận trong việc hạn chế vấn đề tranh chấp tài nguyên gây tắc nghẽn tại nút lõi mạng OBS là điều khiển chấp nhận lập lịch. Việc điều khiển chấp nhận lập lịch cũng có thể kết hợp với FDL nhằm hỗ trợ thêm cho việc giải quyết tranh chấp. Một FDL có thể cho phép làm trễ một khoảng thời gian xác định đối với việc truyền tải các chùm, vì vậy việc tích hợp thêm FDL vào nút lõi OBS có thể xem như là một bộ đệm với kích thước hạn chế. Tuy nhiên, khác với các bộ đệm điện tử, trong mạng quang các chùm không thể chờ đợi một khoảng thời gian không xác định (vượt quá độ trễ cho phép đối với mạng quang), khi đó các chùm có thể bị đánh rơi sau một khoảng thời gian chờ đợi mà không được phục vụ. Việc áp dụng mô hình hàng đợi retri al vào phân tích nút lõi có trang bị FDL đã được nghiên cứu trong [3], [4]. Theo đó, các tác giả trong [4] kết hợp mô hình lưu lượng tràn dựa trên quá trình MMPP theo ý tưởng của chuyển mạch kênh truyền thống và thuật toán lặp điểm cố định (fixed-point iterations) để tính xác suất tắc nghẽn như một hàm của các tham số bộ đệm trong hệ thống. Trong khi đó, mô hình phân tích trong [3] của tác giả D.V.Tien sử dụng mô hình hàng đợi MM $\sum_{k=1}^K CPP_k / GE/c/L$ với c bước sóng, phân bố thời gian phục vụ theo phân phối mũ tổng quát (GE - Generalized Exponential), K chùm đến độc lập, mỗi chùm đến theo quá trình CPP (Compound Poisson Process), điều này có nghĩa là quá trình đến của các chùm được tính theo lô (batch).

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một cách phân bố tài nguyên bước sóng của các lớp dịch vụ khác nhau dựa trên một mô hình hàng đợi retri al (mô hình $M/M/\omega/\omega + L$) trong phân tích bài toán điều khiển chấp nhận lập lịch có xét QoS nhằm hạn chế xảy ra tranh chấp, đồng thời kết hợp sử dụng đường trễ quang FDL để xử lý khi có tranh chấp xảy ra tại nút lõi mạng OBS (tức là xét với khả năng chùm có thể không được đưa vào FDL khi gặp tắc nghẽn với một xác suất retri al nào đó), theo đó đặc tính của FDL có thể xem như đặc tính có/không tính kiên nhẫn của khách hàng trong hàng đợi retri al. Mô hình phân tích vì vậy có thể xem là mở rộng của một số mô hình đã được đề xuất, như mô hình trong [5] với việc xem xét theo yếu tố retri al, hay mô hình trong [9] với việc mở rộng QoS (trong điều khiển chấp nhận lập lịch). Đây cũng chính là điểm khác biệt của mô hình phân tích trong bài báo so với các mô hình trong [3] và [4] chỉ ra ở trên. Một chùm được gọi là retri al khi nó có đi qua một trong L FDLs. Một chùm retri al sẽ sử dụng lại một kênh bước sóng nếu nó sẵn có tại thời điểm chùm đi ra từ FDL. Trong mô hình phân tích ở đây, giá trị ngưỡng QoS cũng sẽ được xem xét điều chỉnh dựa trên lưu lượng tải đến của các chùm tại nút lõi OBS. Chi tiết mô hình và giải thuật sẽ được trình bày ngay trong phần tiếp theo của bài báo.

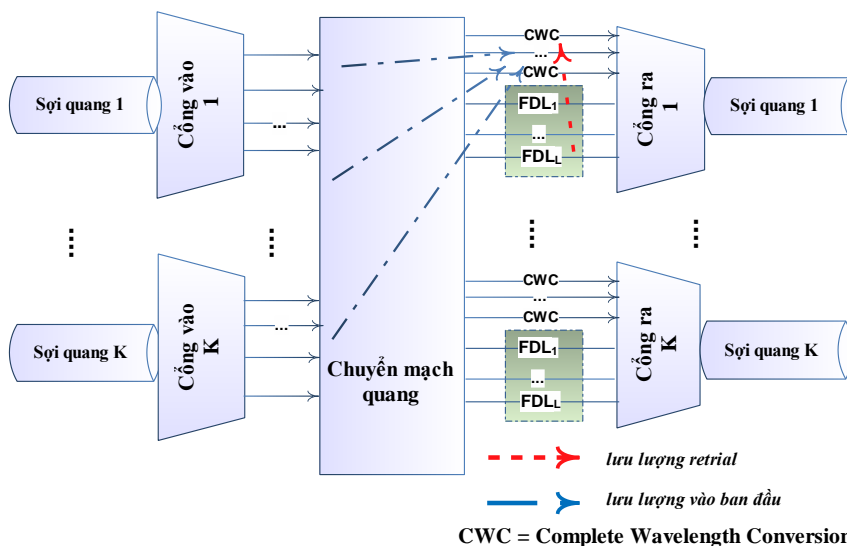
Nội dung tiếp theo của bài báo bao gồm: phần II giới thiệu các mô hình chúng tôi phân tích với các luồng lưu lượng đến có QoS khác nhau. Kết quả phân tích, kết hợp với mô phỏng, thông qua các đồ thị về những thay đổi của xác suất tắc nghẽn chuyển biến theo mật độ luồng, sẽ được trình bày ở phần III.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

2 Mô hình phân tích

2.1 Các giả thiết

Tương tự như trong [5], mô hình Markov cũng sẽ được sử dụng để thực hiện phân tích nút lõi OBS. Mô hình được xây dựng dựa trên các giả thiết sau:

- Phân bố lưu lượng đến các cổng ra là như nhau, nên chúng ta chỉ cần xem xét tại một cổng ra.
- Một nút lõi OBS kiến trúc cấu trúc SPL - feed-forward (các bộ chuyển đổi CWC và các FDL được thiết kế tại mỗi cổng ra) có K cổng vào và K cổng ra, một sợi quang WDM mỗi cổng ra, có ω bước sóng $\Lambda = \{\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_{\omega-1}\}$ (giả thiết khả năng chuyển đổi bước sóng là đầy đủ nên sẽ có ω bộ chuyển đổi CWC trên mỗi cổng ra).
- Các bộ đệm FDL cũng có thể được phân loại dựa trên độ dài của chúng; kiến trúc FDL với độ dài cố định F-FDL (Fixed-length FDL) sử dụng L FDLs có cùng độ dài và do đó tất cả các FDL tạo ra cùng một độ trễ D [6, 7].
- Trong mô hình chúng tôi phân tích, một chùm đến tại một cổng ra tại thời điểm mà tất cả ω bước sóng đều bận thì được cho là bị tắc nghẽn. Một chùm bị tắc nghẽn có thể sử dụng một bộ đệm (nếu có) để thử chuyển tiếp trở lại cổng ra.
- Một chùm được gọi là retrial khi nó có đi qua một trong L FDLs và thử lập lịch lại lên một trong các kênh bước sóng sau khi đi ra từ FDL. Trong mô hình này, chúng tôi nghiên cứu mô hình hàng đợi với FDL có xét đến yếu tố retrial của các chùm (Hình 2). Đây cũng là điểm khác so với mô hình phân tích trong [5].



Hình 1. Kiến trúc nút lõi OBS có trang bị FDLs

2.2 Mô hình phân tích với hàng đợi retrial

Không mất tính tổng quát, ta xét tại một cổng ra (Hình 3.3), ví dụ cổng thứ k ($1 \leq k \leq K$), có thể phân tích như sau: khi lưu lượng đến cổng ra k , nếu có tranh chấp, có 2 trường hợp có thể xảy ra: (i) chùm sẽ bị rơi do hết tài nguyên bước sóng (cũng như các bộ CWC), gọi là chùm mất (LB – Loss Burst), hoặc (ii) chùm sẽ được đưa vào làm trễ tại một trong các FDLs một khoảng thời gian nhất định và yêu cầu tài nguyên bước sóng sau khi ra khỏi FDL (chùm sẽ bị rơi khi tất cả FDLs đều bận hoặc với xác suất $(1 - \theta)$), trong đó θ được gọi là xác suất retrial, gọi là chùm trễ (DB – Delay Burst). Trong mô hình của bài báo này, như đã trình bày ở trên, điểm khác biệt trong đề xuất của chúng tôi ở đây so với mô hình trong [5] đó là: lưu lượng DB đến FDL (xem như hàng đợi orbit) với xác suất θ ($0 \leq \theta \leq 1$). Ngoài ra, khác với mô hình trong [9], mô hình ở đây cũng mở rộng với việc xem xét QoS, tức là xem xét cơ sở ưu tiên giữa 2 luồng lưu lượng đến (xét ưu tiên cao với luồng LB (QoS cao) và ưu tiên thấp với luồng DB (QoS thấp)). Theo đó, cơ chế ưu tiên sẽ được áp dụng theo hướng tiếp cận là dành nhiều tài nguyên cho chùm QoS cao, trong khi hạn chế tài nguyên đối với các chùm QoS thấp. Cụ thể, các chùm QoS cao được lập lịch trên bất kỳ bước sóng nào tại một cổng ra (ω bước sóng) và được lập lịch trực tiếp có lấp đầy khoảng trống; trong khi số bước sóng mà các chùm QoS thấp có thể sử dụng chỉ là ω_s ($\omega_s < \omega$). Nói cách khác, trong số ω bước sóng, các chùm QoS cao được sử dụng độc quyền ($\omega - \omega_s$) bước sóng, trong khi ω_s bước sóng còn lại được chia sẻ cho cả 2 chùm (chùm QoS cao và chùm QoS thấp khi tất cả bước sóng ($\omega - \omega_s$) đều bận).

2.3 Lượng đồ chuyển trạng thái

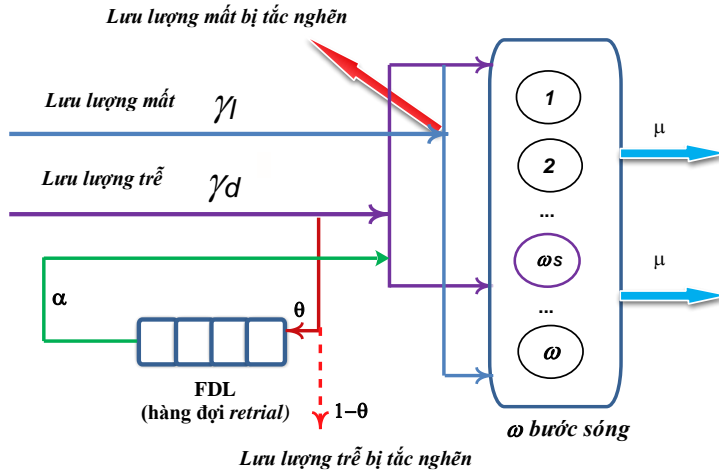
Mô hình này ứng với trường hợp phân tích với các lưu lượng đều là lưu lượng Poisson. Mô hình vì vậy có dạng $M/M/\omega/\omega + L$ [8] được mô tả như ở Hình 2. Theo đó, các chùm mất và chùm trễ đến trên cổng ra đều tuân theo phân phối Poisson với tốc độ trung bình lần lượt là γ_l và γ_d ; Lưu lượng tải đến trung bình do đó là $\rho = \rho_1 + \rho_2$, trong đó $\rho_1 = \gamma_l/\mu$ là lưu lượng tải vào trung bình của chùm mất và $\rho_2 = \gamma_d/\mu$ là lưu lượng tải vào trung bình của chùm trễ.

Trạng thái của hệ thống trong mô hình ở Hình 2 được mô tả bởi 2 biến ngẫu nhiên trong thời gian liên tục, $\{I(t), J(t): t \geq 0\}$, ở đây $I(t)$ là số kênh bước sóng bị chiếm giữ tại thời điểm t và $J(t)$ là số chùm trễ nằm trong các FDLs (hàng đợi retrial). Không gian trạng thái của quá trình Markov CTMC (ký hiệu S) được mô tả như sau: $S = \{i, j\}$ với mỗi cặp (i, j) được xác định: $i = 0, 1, 2, \dots, \omega; j = 0, 1, 2, \dots, L$. Đặt $\pi_{i,j} = \lim_{t \rightarrow \infty} P(I(t) = i, J(t) = j)$ là xác suất trạng thái cân bằng (ổn định) mà hệ thống đạt được trong trạng thái (i, j) . Lượng đồ chuyển trạng thái khi đó được chỉ ra trong Hình 3.

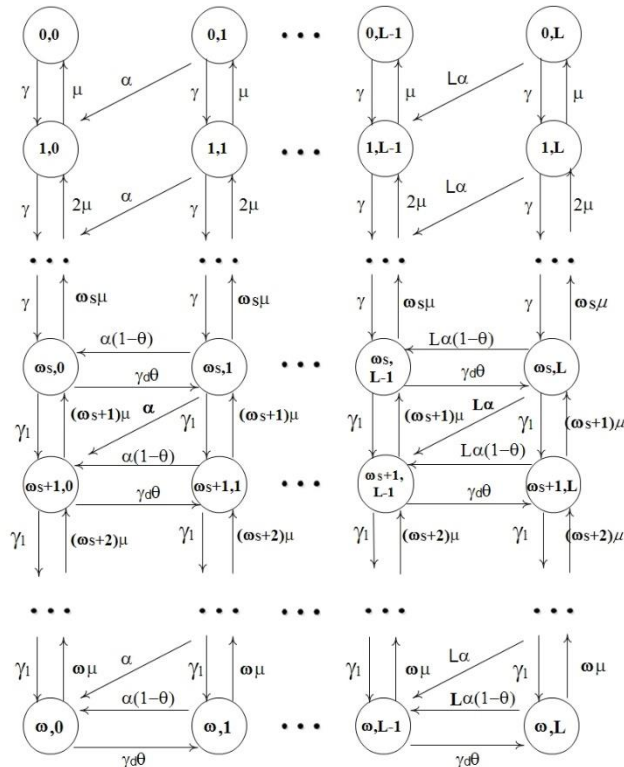
- Theo mô hình phân tích ở Hình 2, các chùm trễ khi bị tắc nghẽn sẽ được đưa vào hàng đợi FDL với xác suất θ ($\theta \leq 1$), được gọi là chùm retrial, và sẽ lại được lập lịch lên

một kênh bước sóng nếu sẵn có tại thời điểm chùm retrieval đi ra từ FDL (như vậy, $(1 - \theta)$ là xác suất mà chùm rời khỏi hệ thống mãi mãi).

Khoảng thời gian đến liên tiếp giữa các chùm retrieval được giả thiết cũng theo phân phối mũ và tốc độ retrieval là α .



Hình 2. Mô hình phân tích dựa trên hàng đợi retrieval



Hình 3. Lược đồ chuyển trạng thái của mô hình phân tích

Dựa trên lược đồ trạng thái ở Hình 3, chúng ta xây dựng ma trận sinh Q theo các ma trận chuyển trạng thái như sau:

- a) $A_j(i, k)$: là việc chuyển từ trạng thái (i, j) tới trạng thái (k, j) (với $0 \leq i, k \leq \omega; 0 \leq j \leq L$) do chum đến hoặc rời khỏi hệ thống sau khi được phục vụ xong. Thời gian phục vụ được phân phối theo hàm mũ với tham số μ . Ma trận A_j có kích thước $(\omega + 1) \times (\omega + 1)$ với các phần tử $A_j(i, k)$. Do j là mức độc lập của A_j nên ta có thể viết $A_j = A$. Các phần tử khác 0 của A_j là $A_j(i, i - 1) = i\mu, i = \overline{1, \omega + 1}$ và $A_j(i, i + 1) = \gamma, i = \overline{0, \omega_s - 1}$; $A_j(i, i + 1) = \gamma_l, i = \omega_s, \dots, \omega$.

$$A_j = A = \begin{pmatrix} 0 & \gamma & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \mu & 0 & \gamma & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & (\omega - 1)\mu & 0 & \gamma_l \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \omega\mu & 0 \end{pmatrix}, (0 \leq j \leq L)$$

- b) $B_j(i, k)$: biểu thị cho một bước nhảy từ trạng thái (i, j) tới trạng thái $(k, j + 1)$ (với $0 \leq i, k \leq \omega; 0 \leq j \leq L - 1$) do một yêu cầu được phục vụ từ chum đến nhưng tất cả các kênh bước sóng đều bận (khi $i = \omega$). Ma trận B_j (hay B do j là mức độc lập) có kích thước $(\omega + 1) \times (\omega + 1)$ với các phần tử $B_j(i, k)$. Các phần tử khác 0 của B_j là $B_j(i, i) = \gamma_d\theta$ với $\omega_s \leq i \leq \omega$.

$$B_j = B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \gamma_d\theta & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \gamma_d\theta \end{pmatrix}, (0 \leq j \leq L - 1)$$

- c) $C_j(i, k)$: biểu thị cho một bước nhảy từ trạng thái (i, j) tới trạng thái $(k, j - 1)$ ($0 \leq i, k \leq \omega; 1 \leq j \leq L$) do một chum được phục vụ thành công khi quay lại từ FDL (orbit). Ma trận C_j có kích thước $(\omega + 1) \times (\omega + 1)$ với các phần tử $C_j(i, k)$. Các phần tử khác 0 của C_j là $C_j(i, i + 1) = j\alpha$ (với $0 \leq i \leq \omega_s - 1$) và $C_j(i, i) = j\alpha(1 - \theta)$ với $\omega_s \leq i \leq \omega$.

$$C_j = \begin{pmatrix} 0 & j\alpha & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & j\alpha & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & j\alpha(1 - \theta) & j\alpha \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & j\alpha(1 - \theta) \end{pmatrix}, (1 \leq j \leq L)$$

Từ đây ta cũng có ma trận sinh Q của quá trình CTMC S như sau:

$$Q = \begin{pmatrix} Q_1^{(0)} & Q_0^{(0)} & & & & \\ Q_2^{(1)} & Q_1^{(1)} & Q_0^{(1)} & & & \\ & Q_2^{(2)} & Q_1^{(2)} & \ddots & & \\ & & \ddots & \ddots & & \\ & & & & Q_0^{(L-1)} & \\ & & & & Q_2^{(L)} & Q_1^{(L)} \end{pmatrix}$$

trong đó

$$\begin{cases} Q_0^{(j)} = B \quad (0 \leq j \leq L-1), \\ Q_2^{(j)} = C_j \quad (1 \leq j \leq L), \\ Q_1^{(0)} = A - D^A - B, \\ Q_1^{(j)} = A - D^A - B - C_j \quad (1 \leq j \leq L-1) \\ Q_1^{(L)} = A - D^A - C_j, \quad (j = L). \end{cases} \quad (1)$$

Đặt $v_j = (\pi_{0,j}, \pi_{1,j}, \dots, \pi_{\omega-1,j}, \pi_{\omega,j})$ ($0 \leq j \leq L$) và $v = (v_0, v_1, \dots, v_{L-1}, v_L)$.

2.4 Hệ phương trình ở trạng thái ổn định

Hệ phương trình ở trạng thái ổn định cũng được viết lại tương tự như ở công thức (1), như sau:

$$\begin{cases} v_0 Q_1^{(0)} + v_1 Q_2^{(1)} = (0, 0, \dots, 0), \\ v_j Q_0^{(j)} + v_{j+1} Q_1^{(j+1)} + v_{j+2} Q_2^{(j+2)} = (0, 0, \dots, 0), \\ \quad (j = \overline{0, L-2}) \\ v_{L-1} Q_0^{(L-1)} + v_L Q_1^{(L)} = (0, 0, \dots, 0). \end{cases} \quad (2)$$

Với điều kiện chuẩn hóa:

$$\sum_{j=0}^L v_j e = 1.$$

trong đó e là vectơ cột kích thước $1 \times (\omega + 1)$

2.5 Tính toán xác suất tắc nghẽn

Theo lược đồ trạng thái ở Hình 2, xác suất tắc nghẽn của từng luồng lưu lượng mất và trễ trong trường hợp này cũng có thể tính như sau [10]:

- Xác suất tắc nghẽn đối với lưu lượng mất: Các chùm mất bị tắc nghẽn khi tất cả các bước sóng đều bận vào thời điểm chúng đến hệ thống.

$$PB_{loss} = \sum_{j=0}^L \pi_{\omega,j} \quad (3)$$

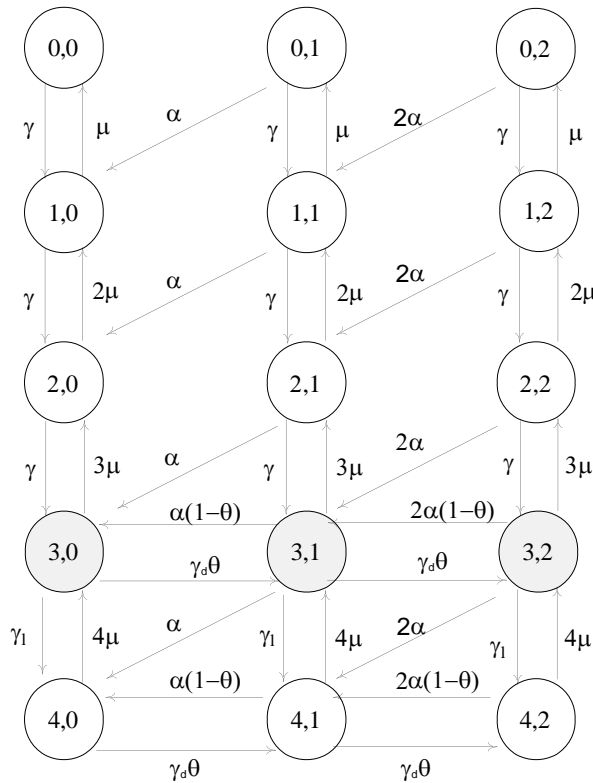
- Xác suất tắc nghẽn đối với lưu lượng trễ: các chùm trễ bị tắc nghẽn nếu tất cả các ω_s bước sóng đều bận và tất cả các FDLs đều bận tại thời điểm chúng đến hệ thống.

$$PB_{delay} = \frac{\alpha(1-\theta)}{\gamma_d\theta} \sum_{i=\omega_s}^{\omega} \sum_{j=1}^L j \cdot \pi_{i,j} \tag{4}$$

Bằng cách giải phương trình (2), ta có thể tính được các xác suất trạng thái cân bằng $\pi_{i,j}$, từ đó tính được các giá trị PB_{loss} trong (3) và PB_{delay} trong (4), (sử dụng phương pháp matrix-geometric với việc tính toán từ ma trận Q [8]).

2.6 Ví dụ minh họa

Để rõ hơn mô hình phân tích với QoS, sau đây là một ví dụ minh họa với $\omega = 4; \omega_s = 3, L = 2$. Lược đồ trạng thái tương ứng được chỉ ra ở Hình 4.



Hình 4. Lược đồ chuyển trạng thái với trường hợp $\omega = 4; \omega_s = 3; L = 2$

Ma trận sinh Q được xây dựng theo lược đồ trạng thái dựa trên các ma trận $A_j(i, k), B_j(i, k)$ and $C_j(i, k)$ as:

$$Q = \begin{pmatrix} Q_1^{(0)} & Q_0^{(0)} & \\ Q_2^{(1)} & Q_1^{(1)} & Q_0^{(1)} \\ & Q_2^{(2)} & Q_1^{(2)} \end{pmatrix}$$

trong đó

$$A = \begin{pmatrix} 0 & \gamma & 0 & 0 & 0 \\ \mu & 0 & \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 2\mu & 0 & \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 3\mu & 0 & \gamma_l \\ 0 & 0 & 0 & 4\mu & 0 \end{pmatrix}; D^A = \begin{pmatrix} \gamma & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu + \gamma & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2\mu + \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3\mu + \gamma_l & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4\mu \end{pmatrix}$$

$$Q_0^{(0)} = Q_0^{(1)} = B = D^B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \gamma_d \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma_d \theta \end{pmatrix}$$

$$Q_1^{(0)} = A - D^A - B = \begin{pmatrix} -\gamma & \gamma & 0 & 0 & 0 \\ \mu & -\mu - \gamma & \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 2\mu & -2\mu - \gamma & \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 3\mu & -3\mu - \gamma_l - \gamma_d \theta & \gamma_l \\ 0 & 0 & 0 & 4\mu & -4\mu - \gamma_d \theta \end{pmatrix}$$

$$Q_2^{(1)} = C_1 = \begin{pmatrix} 0 & \alpha & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \alpha(1 - \theta) & \alpha \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha(1 - \theta) \end{pmatrix}, Q_2^{(2)} = C_2$$

$$= \begin{pmatrix} 0 & 2\alpha & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2\alpha(1 - \theta) & 2\alpha \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2\alpha(1 - \theta) \end{pmatrix}$$

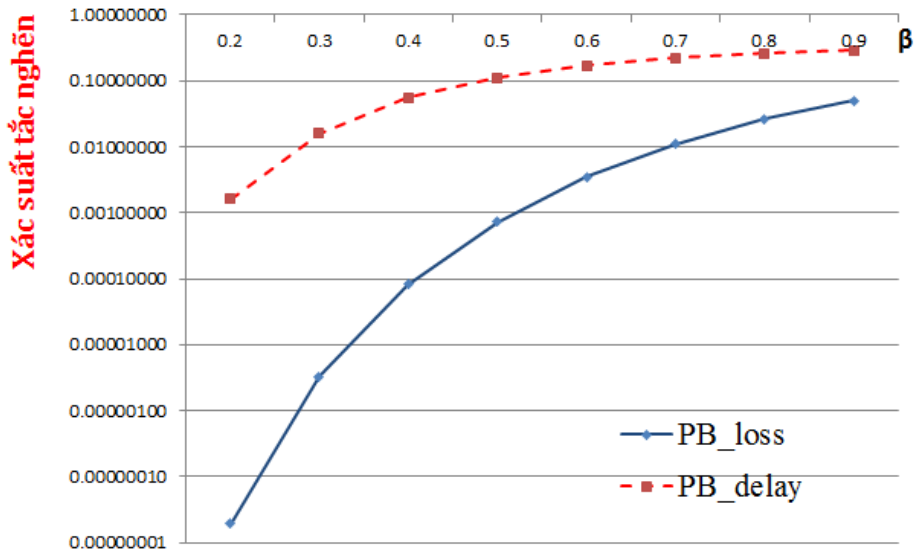
$$Q_1^{(1)} = A - D^A - B - C_1; Q_1^{(2)} = A - D^A - C_2$$

Hệ phương trình ở trạng thái ổn định:

$$\begin{cases} v_0 Q_1^{(0)} + v_1 Q_2^{(1)} = (0,0,0,0,0), \\ v_0 Q_0^{(0)} + v_1 Q_1^{(1)} + v_2 Q_2^{(2)} = (0,0,0,0,0) \\ v_1 Q_0^{(1)} + v_2 Q_1^{(2)} = (0,0,0,0,0). \end{cases}$$

3 Kết quả phân tích

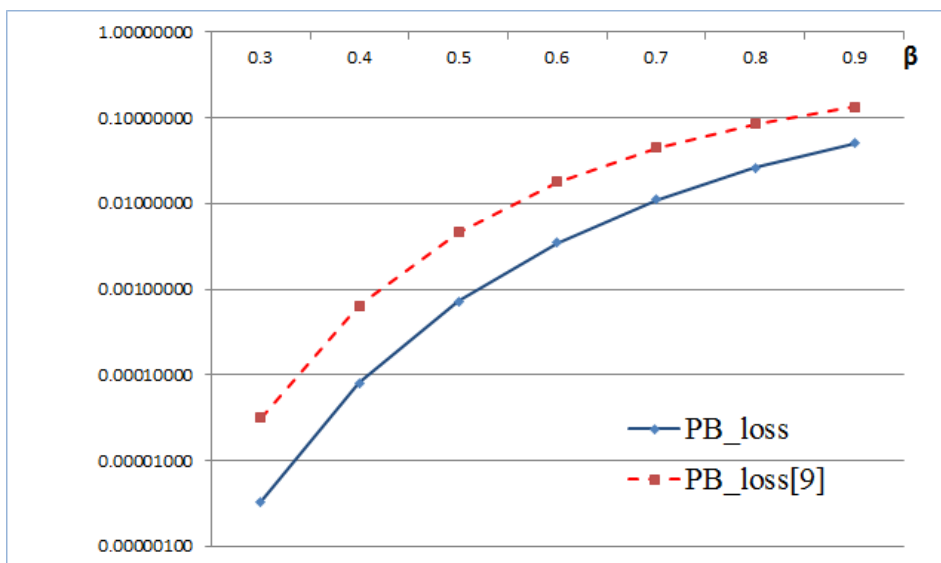
Trên cơ sở xác suất tắc nghẽn đã xác định ở các phương trình (3), (4), chúng tôi tiến hành mô tả về mặt đồ thị (được viết bằng ngôn ngữ Mathematica và Matlab) về sự biến thiên của xác suất tắc nghẽn phụ thuộc vào lưu lượng tải mạng (ρ), số bước sóng ra (ω, ω_s), độ dài FDL. Mô hình hệ thống với các tham số như sau: $\omega = 16, L = 2, \mu = 0.015625, \theta = 0.5$. Kết quả phân tích cũng được so sánh với mô phỏng trong một vài trường hợp đặc biệt. Tương tự các tham số mô phỏng được sử dụng trong [5, 9], gọi $\beta = \rho/\omega$ là hệ số lưu lượng tải mạng so với số bước sóng sử dụng tại mỗi cổng ra (được xét trong khoảng 0.2 đến 0.9 (Erl)).



Hình 5. So sánh xác suất tắc nghẽn PB_{loss} và PB_{delay} với $\theta = 0.5$ vs β

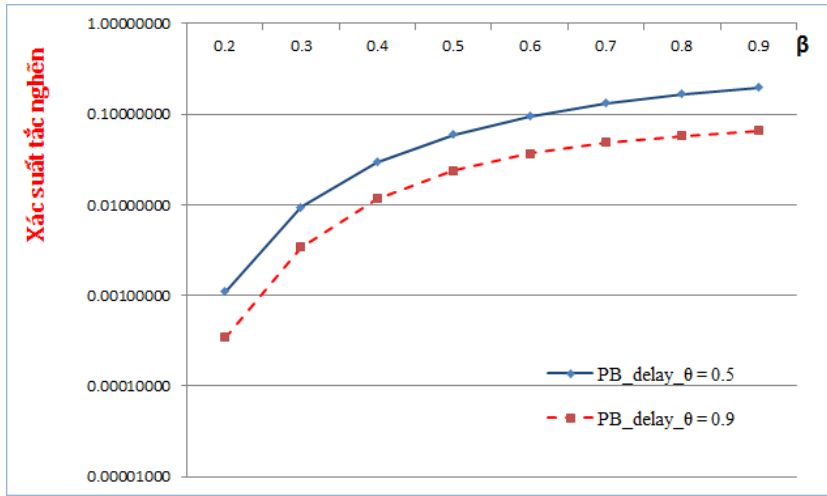
Kết quả xác suất tắc nghẽn ứng với lưu lượng mất và trễ ($\omega = 16, L = 2, \omega_s = 7, \rho_l = 0.7\rho, \rho_d = 0.3\rho; \mu = 0.015625$ (tương ứng với độ dài chùm là 64 byte), $\alpha = 0.8 \cdot \gamma_d, \theta = 0.5$) được chỉ ra trong Hình 5. Rõ ràng lưu lượng trễ có xác suất tắc nghẽn nhỏ hơn do được làm trễ trong các FDLs.

Hình 6 mô tả so sánh xác suất tắc nghẽn đối với các chùm mất của mô hình phân tích trong bài báo ($\theta = 0.5$) với mô hình trong [9] ($\theta = 0.5, \theta_1 = 0.0$). Kết quả cho thấy mô hình ở đây tốt hơn mô hình trong [9] do có xem xét QoS.



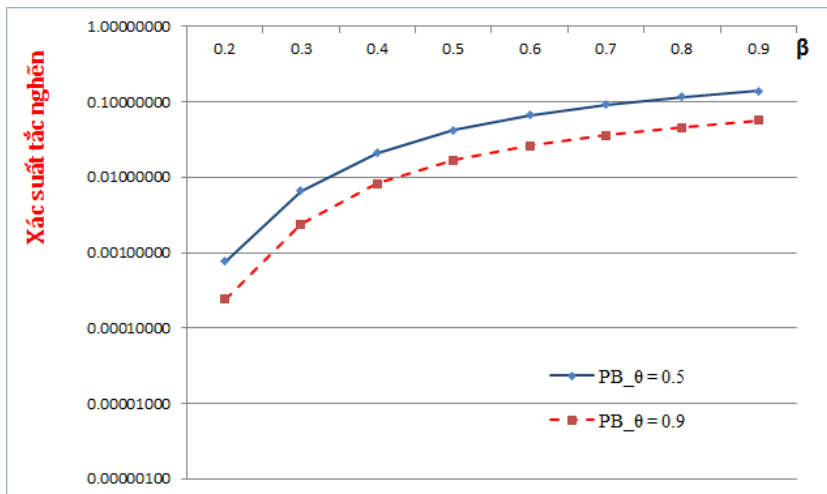
Hình 6. So sánh xác suất tắc nghẽn đối với lưu lượng loss PB_{loss} và $PB_{loss}[9]$ vs β

Hình 7 chỉ ra rằng xác suất tắc nghẽn đối với các chùm trễ PB_{delay} phụ thuộc vào các tham số ($\omega = 16, L = 2, \omega_s = 7, \rho_l = 0.3\rho, \rho_d = 0.7\rho; \mu = 0.015625, \alpha = 0.8 \cdot \gamma_d$), và PB_{delay} được cải thiện khi tăng giá trị θ . Tương tự, với Hình 8, khi giá trị β thay đổi từ 0.2 đến 0.9, xác suất tắc nghẽn chung tại cổng ra với giá trị $\theta = 0.9$ cho kết quả tốt hơn so với khi $\theta = 0.5$.

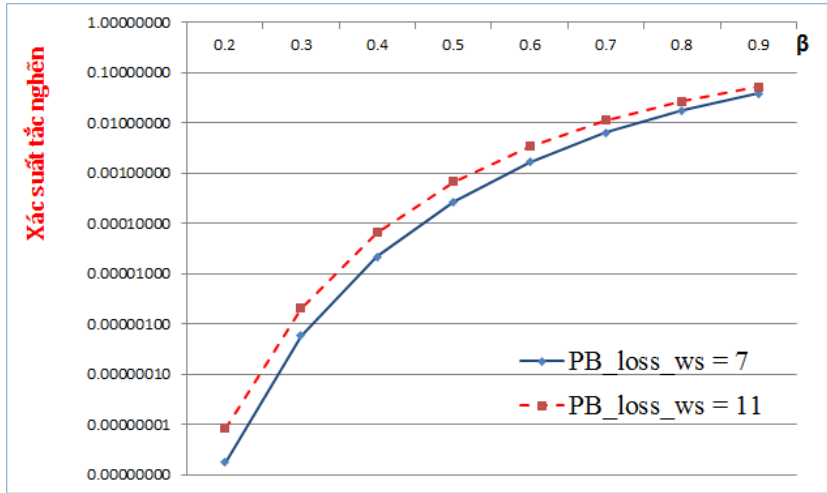


Hình 7. So sánh xác suất tắc nghẽn đối với lưu lượng trễ PB_{delay} với $\theta = 0.5$ và $\theta = 0.9$ vs β .

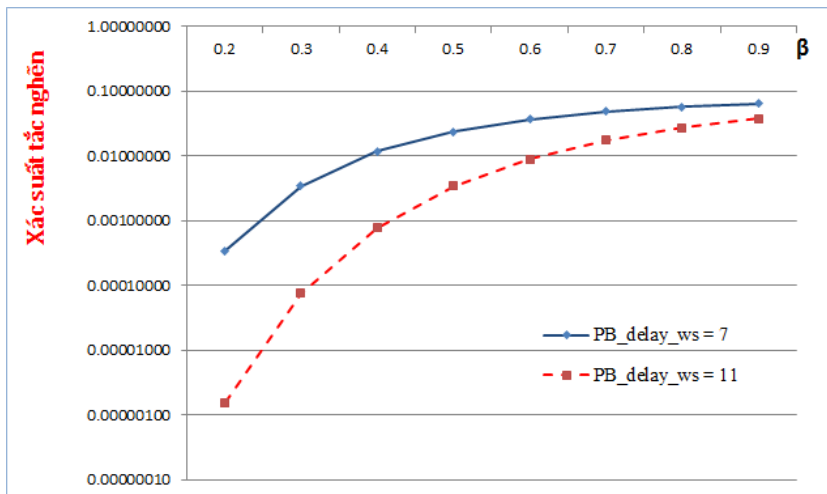
Hình 8, Hình 9 và Hình 10 (với các tham số $\omega = 16; \omega_s = 7,11; L = 2; \rho_l = 0.3\rho; \rho_d = 0.7\rho$) chỉ ra các xác suất tắc nghẽn của các chùm mất, chùm trễ và tổng các chùm một cách tương ứng. Theo đó, khi giữ nguyên tài nguyên bước sóng chung, với tải của lưu lượng đến của các chùm trễ tăng ($\rho_d = 0.7\rho$), việc thay đổi giá trị ω_s ($\omega_s = 7,11$) sẽ giúp cải tiến được hiệu năng chung tại nút lõi mạng OBS.



Hình 8. So sánh xác suất tắc nghẽn chung PB với $\theta = 0.5$ và $\theta = 0.9$



Hình 9. So sánh xác suất tắc nghẽn đối với lưu lượng mất PB_{loss} với $\omega_s = 7$ và $\omega_s = 11$ vs β



Hình 10. So sánh xác suất tắc nghẽn đối với lưu lượng trễ PB_{delay} với $\omega_s = 7$ và $\omega_s = 11$ vs β

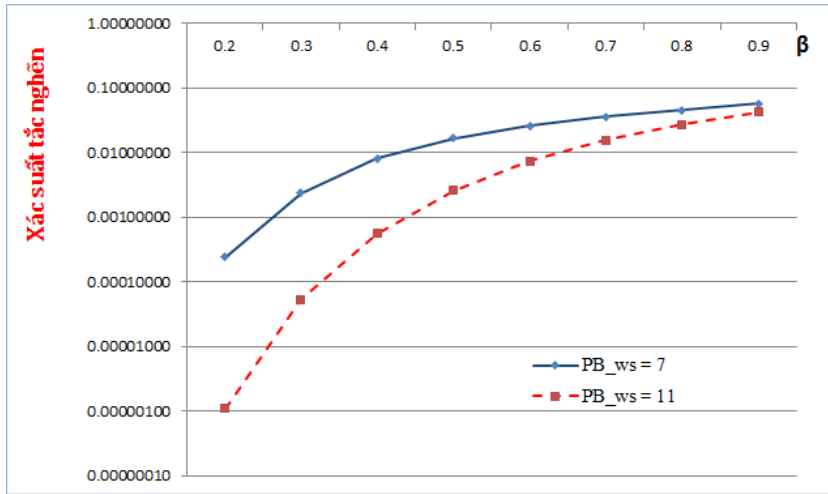
Do đó, việc phân bổ lại số bước sóng cho các chùm lưu lượng DB (QoS thấp) khi tải đến của lưu lượng DB tăng, trong khi tải lưu lượng LB đến thấp, là thực sự cần thiết. Điều này, ngoài việc cải thiện hiệu năng tại nút lõi, còn giúp tránh lãng phí băng thông. Theo đó, số bước sóng cấp phát cho các chùm QoS thấp (ω_s) tỷ lệ thuận với tốc độ đến của chúng trên tốc độ đến chung của cả 2 lớp lưu lượng, có thể tính được theo công thức (5):

$$\omega_s = \omega \times \frac{\gamma_d}{\gamma_l + \gamma_d} \tag{5}$$

ở đây γ_l và γ_d lần lượt là tốc độ đến của các chùm LB và chùm DB.

Như vậy, giá trị ω_s sẽ là một hàm theo tải lưu lượng của các chùm đến, cho phép đảm bảo ưu tiên cho các chùm QoS cao, phân bổ linh hoạt hơn lượng bước sóng có thể sử dụng cho các

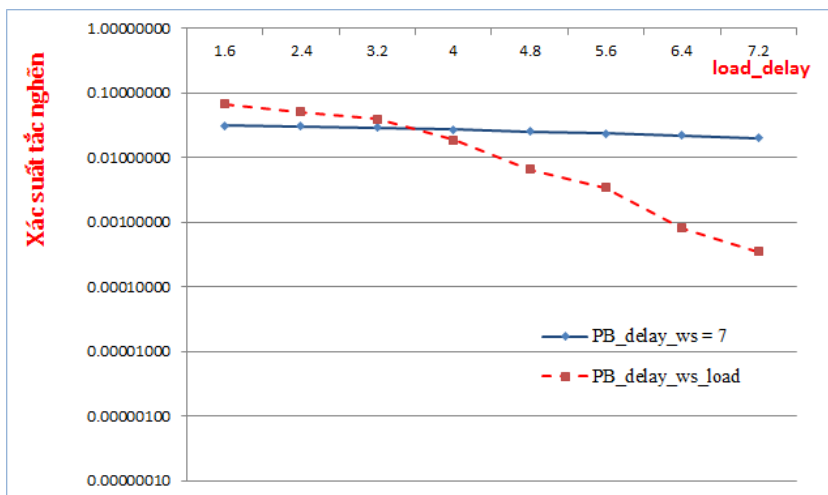
chùm QoS thấp. Điều này có thể được chứng minh qua kết quả ở các Hình 12 và Hình 13 như chỉ ra ở sau.



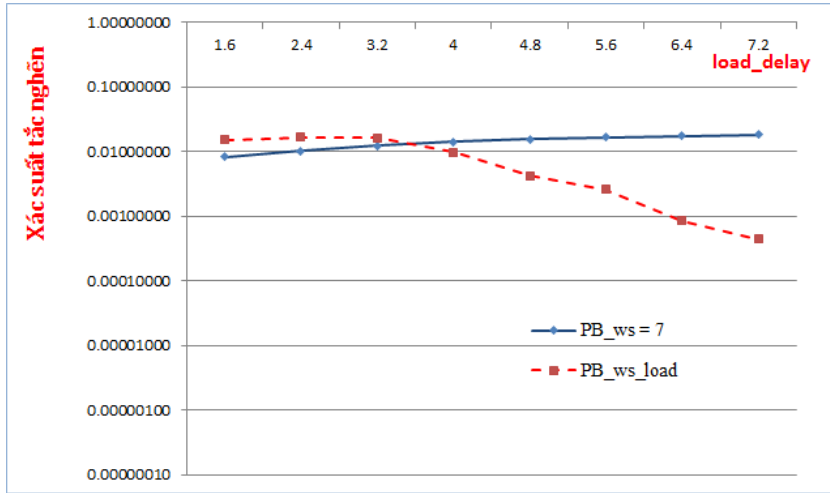
Hình 11. So sánh xác suất tắc nghẽn chung PB với $\omega_s = 7$ và $\omega_s = 11$ vs β

Ở Hình 12 và Hình 13, khi tải lưu lượng trễ tăng, do có sự điều chỉnh giá trị ω_s (chỉ ra ở Hình 14) theo công thức (5), xác suất tắc nghẽn của lưu lượng delay được cải thiện đáng kể, dẫn đến xác suất tắc nghẽn chung của các chùm tại nút lõi phân tích cũng sẽ được cải thiện.

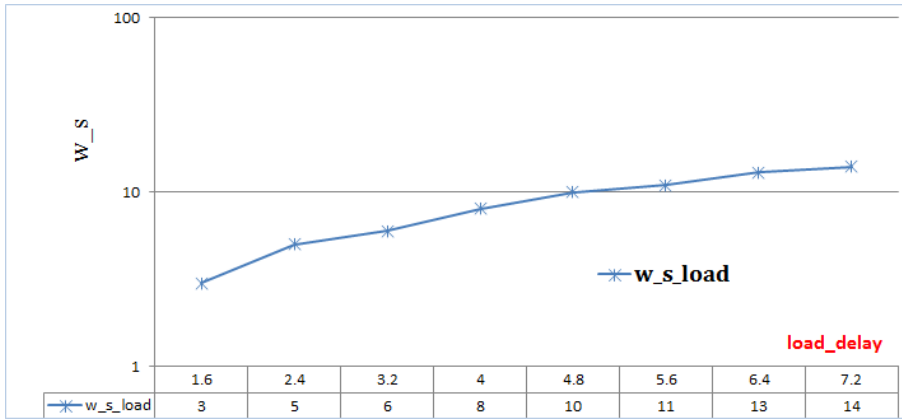
Chúng tôi cũng thực hiện so sánh kết quả phân tích với kết quả mô phỏng (sử dụng bộ mô phỏng OBS-ns [11]) trong trường hợp $\theta = 0.5$, kết quả chỉ ra ở Hình 15. Hình 15 cho thấy sự tương thích giữa 2 kết quả, thể hiện tính đúng của mô hình phân tích.



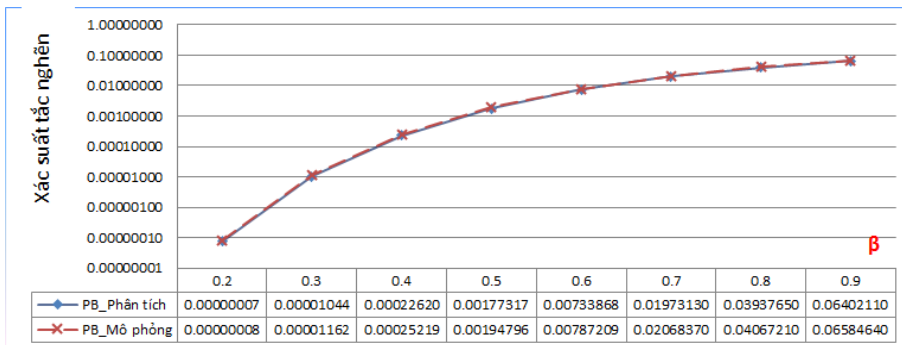
Hình 12. So sánh xác suất tắc nghẽn đối với lưu lượng trễ PB_{delay} với $\omega_s = 7$ và giá trị ω_s thay đổi theo tải vs load_delay ($\beta = 0.5$)



Hình 13. So sánh xác suất tắc nghẽn chung *PB* với $\omega_s = 7$ và giá trị ω_s thay đổi theo tải *vs* load_delay ($\beta = 0.5$)



Hình 14. Điều chỉnh giá trị ω_s thay đổi theo tốc độ đến của các chùm *vs* load_delay



Hình 15. So sánh xác suất tắc nghẽn *PB* trong trường hợp phân tích với kết quả mô phỏng ($\omega = \omega_s = 16, L = 1, \theta = 0.5$) *vs* β

4 Kết luận

Bài báo đã đề xuất mô hình phân tích và đánh giá hiệu năng tại nút lõi OBS kiến trúc SPL - feed-forward với mô hình hàng đợi retrial. Khác với các nghiên cứu trước [5], mô hình đề xuất ở đây xem xét đến yếu tố retrial đối với đường trễ quang FDL, tức là xét với khả năng chùng có thể không được đưa đến FDL khi gặp tắc nghẽn với một xác suất θ . Mô hình phân tích trong bài báo cũng xem xét đến vấn đề quyền ưu tiên trong cấp phát tài nguyên bước sóng (xét QoS). Kết quả phân tích lý thuyết, cũng như mô phỏng, cho thấy tính đúng đắn của mô hình phân tích. Việc mở rộng mô hình với việc xem xét kết hợp điều khiển chấp nhận lập lịch khi có QoS sẽ được nghiên cứu chi tiết hơn trong tương lai.

Kết luận tham khảo

1. Chen Y, Qiao C, and Yu X, "Optical Burst switching: a new area in optical networking research", IEEE Network, vol. 18, no. 3, pp. 16–23, 2004.
2. Vo Viet Minh Nhat, Le Van Hoa, Nguyen Hoang Son, "A model of optimal burst assembly for delay reduction at ingress OBS nodes", *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 3970-3982, 2017.
3. Tien Van Do, Ram Chakka, "A new performability model for queueing and FDL-related burst loss in optical switching nodes", *Computer Communications* 33, S146–S151, 2010.
4. Akar Nail, and Sohraby Khosrow, "Retrial Queueing Models of Multi-wavelength FDL Feedback Optical Buffers", *IEEE Trans. Communications* 59(10): 2832-2840, 2011.
5. Đặng Thanh Chương (2016), "Mô hình phân tích kết hợp chuyển đổi bước sóng và FDL tại nút lõi mạng OBS với lưu lượng tổng quát GI", Các công trình nghiên cứu, phát triển và ứng dụng CNTT-TT, Tập V-2, Số 16 (36), tháng 12/2016
6. Conor McArdle, Daniele Tafani and Liam P. Barry, "Analysis of a Buffered Optical Switch with General Interarrival Times", *Journal of Networks*, Vol. 6, No. 4, 2011.
7. Daniele Tafani, "Analytic Modelling and Resource Dimensioning of Optical Burst Switched Networks", Doctor of Philosophy, School of Electronic Engineering, Faculty of Engineering and Computing, Dublin City University, 2012.
8. Tien Van Do, Ram Chakka, "An efficient method to compute the rate matrix for retrial queues with large number of servers", *Applied Mathematics Letters* 23, 638-643, 2010.
9. Dang Chuong Thanh, Duc Pham Trung and Thang Doan Van, "A Retrial Queueing model with FDL at OBS core node", *Network Protocols and Algorithms*. Vol. 10, No 3, pp 1-17. DOI: 10.5296/npa.v10i3.13431, 2018.
10. Yoshinori Ozaki and Hideaki Takagi, "Analysis of Mixed Loss-Delay M/M/m/K Queueing Systems with State-Dependent Arrival Rates", in *Advances in Queueing Theory and Network Applications*, W. Yue et al. (eds.), Springer Science+Business Media LLC, pp. 181-194, 2010.
11. <https://www.isi.edu/nsnam/ns/>

A RETRIAL QUEUEING ANALYSIS MODEL FOR FDL-EQUIPPED OBS CORE NODES

Dang Thanh Chuong*, Pham Trung Duc

Faculty of Information Technology, Hue University of Sciences, Hue University

Abstract. Optical Burst Switching networks are considered as an important candidate for future transport networks. Several analysis models for the FDL-equipped OBS core nodes have been proposed recently. Our paper proposes a novel retrial queueing analysis model for core nodes with FDL-SPL architecture in QoS-supported OBS networks. Blocking probability will be calculated based on Markov multi-dimensional models. Numerical results from the proposed analysis model are compared with simulation results to prove the correctness of the proposed model.

Keywords: OBS, QoS, Share-Per- Link (SPL), Fiber Delay Lines (FDL), Retrial Queueing