

## MÔ HÌNH PHÂN TÍCH NÚT LỖI CHUYỂN MẠCH CHÙM QUANG VỚI CÁC QUÁ TRÌNH ĐẾN RENEWAL VÀ POISSON

DẶNG THANH CHƯƠNG<sup>1</sup>, VŨ DUY LỢI<sup>2</sup>, VÕ VIẾT MINH NHẬT<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế*

<sup>2</sup>*Trung tâm CNTT, Văn phòng TW Đảng*

<sup>3</sup>*Đại học Huế*

**Tóm tắt.** Việc tính toán hiệu suất tại nút lỗi trong mạng OBS đối với trường hợp luồng lưu lượng đến là Poisson đã được đề cập khá nhiều. Trong bài báo này, chúng tôi thực hiện phân tích với trường hợp luồng lưu lượng đến không phải là Poisson (non-Poisson) mà là quá trình đến renewal (ứng với lưu lượng tổng quát GI). Việc kết hợp cả hai luồng lưu lượng GI và Poisson cũng được xem xét với một trường hợp đặc biệt của quá trình đến mới là quá trình IPP (Interrupted Poisson Process). Chúng tôi sử dụng các phương pháp xấp xỉ ERT và GI để tính toán xác suất tắc nghẽn. Kết quả phân tích bên trong mô hình cũng như so sánh với mô hình Poisson trước cho thấy tính đúng của mô hình phân tích.

**Abstract.** Evaluating the performance of contention problem in OBS networks for the case of Poisson traffic is proposed. In this paper, we analyse an approximate model for input process with mixed renewal and Poisson, specifically treating the renewal process of Interrupted Poisson Process (IPP). A mixed system of renewal and Poisson process inputs are analyzed for OBS core nodes with the SPL-Feed-Forward architecture. Approximate formulas of the mean delay and loss probability for the respective inputs are presented in simple closed form.

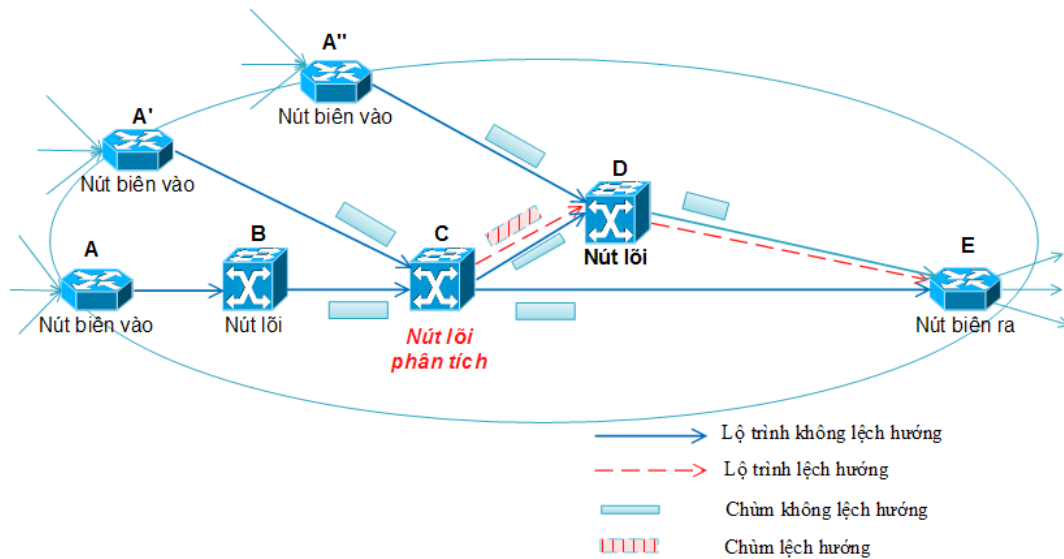
**Keywords.** OBS, Blocking probability, FDL, Deflection routing, Mixed Renewal and Poisson

### 1. GIỚI THIỆU

Vấn đề điều khiển tắc nghẽn chùm quang là rất quan trọng trong việc giảm bớt mất chùm quang trong mạng chuyển mạch chùm quang OBS (Optical Burst Switching) [1]. Khác với khái niệm tắc nghẽn trong mạng chuyển mạch gói, tắc nghẽn chùm tại một cổng ra của một nút mạng OBS xảy ra khi có hai hoặc nhiều gói điều khiển cố gắng dành trước cùng một kênh bước sóng ra tại cùng một thời điểm. Vấn đề này có thể được giải quyết bằng cách chuyển đổi bước sóng (Wavelength Conversion), sử dụng đường trễ quang FDL (Fiber Delay Link) hoặc định tuyến lệch hướng. Đa số các nghiên cứu hiện nay thường phân tích sự kết hợp của các giải pháp này. Các tác giả trong [2,3,4] đã đề xuất một mô hình định tuyến lệch hướng kết hợp với chuyển đổi bước sóng đầy đủ và đường trễ FDL để làm trễ và bù thời gian offset cho việc mở rộng hành trình. Trong [6,9], các tác giả đã phân tích sự kết hợp chuyển đổi bước sóng đầy đủ và đường trễ quang FDL ảnh hưởng như thế nào đến sự tắc nghẽn chùm. Tuy nhiên, khác với [2,3,4], các tác giả trong [6,9] chỉ xem xét lưu lượng đến là GI với quá trình

đến renewal. Việc xem xét kết hợp cả 2 luồng GI và Poisson sẽ được phân tích trong bài viết này.

Tương tự như trong [2], mô hình ở Hình 1 chỉ ra lưu lượng các chùm quang đi ra trên chặng (hop) C-D sẽ bao gồm các chùm lệch hướng đến từ chặng C-E (do tranh chấp) và các chùm thông thường (không lệch hướng) được định tuyến ra trên chặng C-D. Tuy nhiên, khác với mô hình đã phân tích trong [2] với giả thiết lưu lượng lệch hướng đến các đường trễ FDL là tuân theo phân bố Poisson, mô hình lưu lượng lệch hướng đến trong bài viết này là lưu lượng tràn (non-Poisson), và là một trường hợp đặc biệt của quá trình đến renewal (lưu lượng GI). Ngoài ra, lưu lượng lệch hướng sau khi ra khỏi các đường trễ FDL kết hợp với các lưu lượng đến khác (lưu lượng không lệch hướng) cũng không theo phân bố Poisson và được xem là lưu lượng tổng quát GI.



Hình 1. Mô hình mạng OBS đang xét

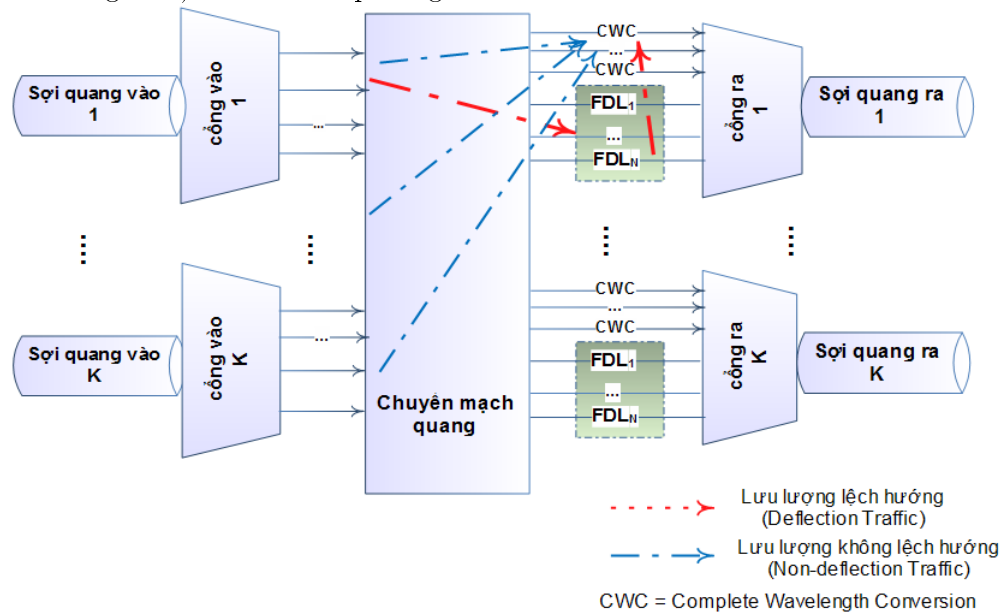
Bố cục bài báo gồm: Mục 2 giới thiệu kiến trúc nút lõi OBS với các đường trễ FDL và các bộ chuyển đổi bước sóng đầy đủ CWC (Complete Wavelength Converter). Mô hình phân tích sẽ được trình bày ở Mục 3. Các kết quả biểu diễn dưới dạng đồ thị về những thay đổi của xác suất tắc nghẽn chuyển biến theo mật độ luồng sẽ được trình bày ở Mục 4. Và cuối cùng là phần kết luận.

## 2. KIẾN TRÚC NÚT LỐI OBS VỚI CÁC BỘ CHUYỂN ĐỔI CWC VÀ ĐƯỜNG TRỄ FDL

Trong kiến trúc nút lõi OBS, các bộ chuyển đổi CWC và đường trễ FDL có thể được thiết kế chung để hỗ trợ tốt cho vấn đề điều khiển tắc nghẽn tại cổng ra.

Các chuyển mạch quang có thể được cấu hình khác nhau với một số bộ chuyển đổi CWC được chia sẻ theo kiến trúc SPN (share-per-node), SPL (share-per-link) hoặc SPIL (share-per-in-link), và với một tập các đường trễ FDL (với một hoặc nhiều kênh bước sóng), theo cách sắp xếp truyền thẳng (feed-forward) hay quay vòng (feed-back) [6]. Đã có nhiều đề xuất về kiến trúc nút lõi kết hợp bộ chuyển đổi bước sóng CWC và đường trễ FDL [2,3,4,6]. Với

trường hợp kiến trúc SPN và quay vòng, các bộ chuyển đổi CWC và các đường trễ FDL được đặt chung tại nút lõi và các lưu lượng đến trên kết nối vào bất kì đều có thể sử dụng chúng. Trong trường hợp kiến trúc SPL và truyền thẳng, các bộ chuyển đổi CWC và các đường trễ FDL được đặt tại các cổng ra và chỉ được sử dụng bởi các lưu lượng hướng đến cổng ra đó [8] (Hình 2). Việc làm trễ các chùm lệch hướng có thể được thực hiện tại các vị trí khác nhau phụ thuộc vào kiến trúc đường trễ FDL của nút lõi OBS. Nếu thực hiện làm trễ chùm ngay tại nút tắc nghẽn, kiến trúc đường trễ FDL phải là truyền thẳng [4] (ví dụ trong Hình 1, thực hiện làm trễ trên chặng C-D). Nhưng nếu làm trễ chùm tại nút tiếp theo của nút bị tắc nghẽn (ví dụ nút D), cả 2 kiến trúc quay vòng (thực hiện ngay tại nút lõi D) và truyền thẳng (thực hiện trên chặng D-E) đều có thể áp dụng.



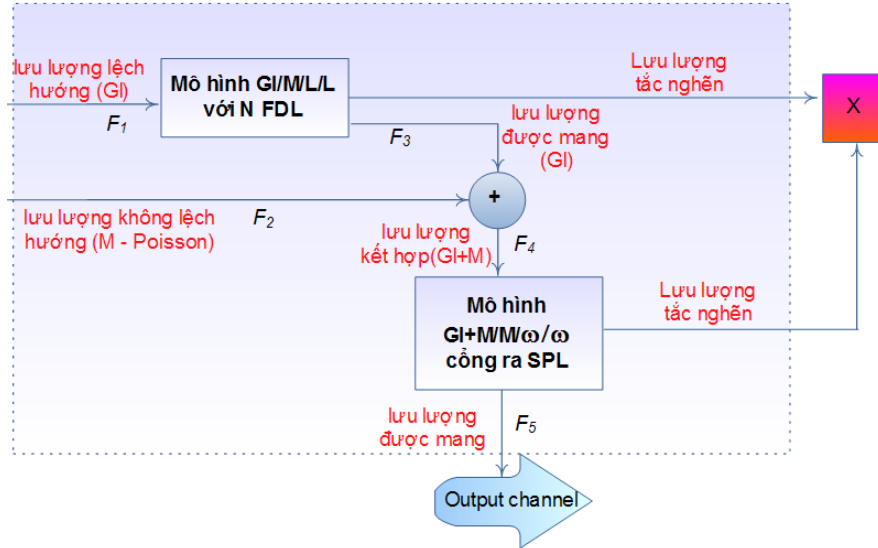
Hình 2. Nút lõi với kiến trúc SPL đối với CWC và truyền thẳng đối với FDL

Bài báo sẽ đi vào phân tích xác suất tắc nghẽn, cũng như độ trễ trung bình (bên trong đường trễ FDL) tại một nút lõi OBS với kiến trúc SPL đối với CWC và truyền thẳng đối với FDL (tại nút C), với các giả thiết như sau (Hình 2):

- Một nút lõi OBS có  $K$  cổng vào và  $K$  cổng ra; một sợi quang hỗ trợ đa bước sóng WDM (Wavelength Division Multiplexing) tương ứng với một cổng và có  $\omega$  bước sóng. Để đơn giản, ta giả thiết rằng khả năng chuyển đổi bước là đầy đủ nên sẽ có  $\omega$  bộ chuyển đổi CWC trên mỗi cổng ra.
- Mỗi cổng ra được trang bị riêng  $N$  đường trễ FDL, trong đó mỗi đường trễ có khả năng mang  $R$  bước sóng ( $1 \leq R \leq \omega$ ). Độ trễ cơ bản của mỗi đường trễ FDL là  $b$  và tăng tuyến tính theo chỉ số, tức là  $FDL_i$  sẽ có độ trễ là  $i \times b$ , với  $i = 1, \dots, N$ . Số chùm có thể được mang đồng thời trong một đường trễ FDL được xác định bởi số bộ chuyển đổi bước sóng  $R$  trong số  $\omega$  bộ chuyển đổi CWC trên cổng ra. Do đó, tổng số kênh bước sóng được cung cấp bởi dãy các FDL là  $L = N \times R$ . Tùy thuộc vào yêu cầu thời gian offset mở rộng, các chùm lệch hướng sẽ được lập lịch vào đường trễ FDL có độ trễ phù hợp (bắt đầu từ  $FDL_1$ ).

### 3. MÔ HÌNH PHÂN TÍCH

Mô hình được đề xuất trong bài viết này thực hiện tại nút lõi OBS, gồm 2 giai đoạn (Hình 3):



Hình 3. Mô hình phân tích tại nút lõi OBS

trong đó, các luồng lưu lượng được mô tả như sau:

- Luồng lưu lượng lệch hướng  $F_1$ : gồm các chùm lệch hướng đến trên chạng C-D sẽ được đưa vào làm trễ trong các FDL.
- Luồng lưu lượng không lệch hướng  $F_2$ : gồm các chùm không lệch hướng đến cổng ra được định tuyến từ nhiều cổng vào khác nhau. Lưu lượng này được giả thiết đến theo quá trình Poisson với tải trung bình là  $\rho_f = \gamma_f / \mu$ .
- Luồng lưu lượng  $F_3$  (lưu lượng GI): là lưu lượng các chùm lệch hướng đi ra từ các FDL (sau khi đã được làm trễ thành công).
- Luồng lưu lượng ( $F_4$ ): kết hợp 2 luồng lưu lượng  $F_2$  (Poisson) và  $F_3$  (GI).

Như vậy, tương tự như trong [2], mô hình phân tích ở đây cũng bao gồm 2 giai đoạn: giai đoạn đầu tiên tương ứng với các đường trễ FDL để cung cấp thời gian offset mở rộng cho các chùm lệch hướng. Giai đoạn thứ 2 tương ứng với  $\omega$  bước sóng trên nút lõi OBS được cấp phát cho các chùm lệch hướng (ra khỏi đường trễ FDL) và các chùm không lệch hướng đến từ các cổng vào khác nhau. Điểm khác biệt trong bài báo này so với [2] là xem các luồng lưu lượng đến các đường trễ FDL (ở giai đoạn 1), cũng như lưu lượng tổng đến tại nút (bao gồm lưu lượng lệch hướng và không lệch hướng) đều là lưu lượng không Poisson (non-Poisson). Vì vậy, việc phân tích xác suất tắc nghẽn (cũng như độ trễ trung bình trong các đường trễ FDL) là không thể sử dụng các mô hình Markov truyền thống (như trong [2]). Chi tiết mô hình phân tích sẽ được trình bày sau đây.

#### 3.1. Độ trễ trung bình (Mean Delay) trong các đường trễ FDL

Theo hình 1, lưu lượng lệch hướng (tràn) từ một cổng ra của nút C (ứng với chạng C-E) đến cổng ra khác (ứng với chạng C-D) được phân tích bằng lý thuyết tràn [10].

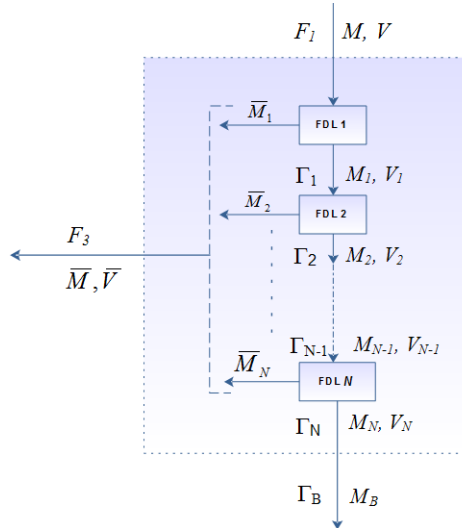
Theo đó, lưu lượng lệch hướng (trần từ lưu lượng ban đầu là Poisson) là lưu lượng cung cấp đến một hệ thống độc lập  $GI/M/L/L$  tương ứng với dãy các đường trễ FDL (lưu lượng ( $F_1$ ) trong hình 3), được đặc trưng bởi các giá trị trung bình (mean)  $M$  và phương sai (variance)  $V$  như sau [8]:

$$M = \rho_d \times E(\omega, \rho_d), \tag{1}$$

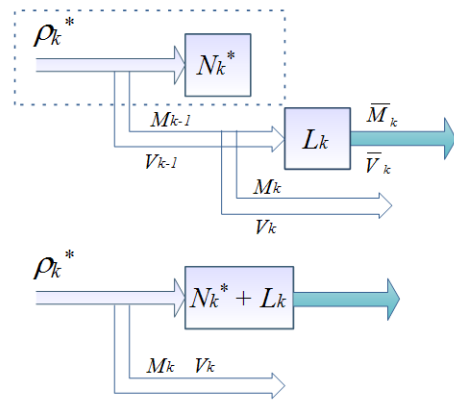
$$V = M \times \left(1 - M + \frac{\rho_d}{\omega + 1 - \rho_d + M}\right), \tag{2}$$

trong đó  $\rho_d = \gamma_d/\mu$ ,  $E(\omega, \rho_d)$  là công thức Erlang-B.

Như mô tả trong hình 4, khi lưu lượng đến đường trễ  $FDL_1$  (trong dãy các đường trễ FDL), nếu tất cả  $R$  kênh bước sóng đều bận thì các đường trễ  $FDL_2$  sẽ được xem xét. Do đó, ta có thể xem  $FDL_1$  như là một hệ thống bị tắc nghẽn tạo ra lưu lượng tràn  $\Gamma_1$  (với các giá trị  $M_1$  và  $V_1$ ) và cũng chính là lưu lượng xảy đến  $FDL_2$ ; và cứ tiếp tục như vậy tạo thành chuỗi của  $N$  đường trễ  $FDL$ , trong đó mỗi  $FDL_k$  sẽ tạo ra lưu lượng tràn  $\Gamma_k$  (với các giá trị  $M_k$  và  $V_k$ ) cho đường trễ  $FDL_{(k+1)}$ . Lưu lượng tràn  $\Gamma_N$  từ đường trễ  $FDL$  cuối cùng tương ứng với lưu lượng tràn thực sự từ dãy các  $FDL$  (chính lưu lượng bị tắc nghẽn do các  $FDL$ , và  $\Gamma_B = \Gamma_N$ ). Do đó, dãy  $FDL$  có thể được mô hình như là chuỗi các hệ thống  $GI/M/R/R$  (các đường trễ  $FDL$ ) với lưu lượng tràn theo kiểu "thác nước", ở đây  $R$  là số kênh trong mỗi đường trễ  $FDL$ . Ngoài ra, với giả thiết lưu lượng xảy đến đường trễ  $FDL$  đầu tiên trong chuỗi là độc lập, nên ta mô hình chuỗi kết hợp  $N$  đường trễ  $FDL$  như là hệ thống đơn  $GI/M/L/L$ , ở đây  $L = N \times R$ , là tập hợp các kênh trong dãy đường trễ  $FDL$  [9].



Hình 4. Mô hình  $GI/M/L/L$  với các đường trễ FDL



Hình 5. Mô hình lưu lượng tràn với phương pháp ERT

Để tính giá trị độ trễ trung bình (mean delay), đầu tiên ta tính các giá trị trung bình và phương sai của lưu lượng cung cấp đến (offered traffic) mỗi đường trễ FDL, từ đó tính giá trị trung bình của lưu lượng được mang (carried traffic) từ mỗi đường trễ  $FDL$  ( $\bar{M}_k$ ). Như đã phân tích ở trên, lưu lượng xảy đến đường trễ FDL đầu tiên chính là lưu lượng lệch hướng và

các giá trị  $M$ ,  $V$  của nó được xác định qua (1) và (2). Vì vậy ta có thể tính các giá trị  $M_1$  và  $V_1$  của lưu lượng tràn từ đường trễ  $FDDL_1$  bằng cách sử dụng phương pháp Brockmeyer (ERT) tương tự như trên. Tiếp theo,  $M_1$ ,  $V_1$  lại trở thành lưu lượng xảy đến đường trễ  $FDDL_2$  và tiếp tục như vậy ta có thể tính được các giá trị  $M_2$ ,  $V_2$ , ... Tổng quát, ta sẽ chỉ ra các hàm đối với  $FDDL_k$  tùy ý có lưu lượng xảy đến ứng với  $M_{k-1}$ ,  $V_{k-1}$  và lưu lượng tràn ứng với  $M_k$ ,  $V_k$  bằng cách áp dụng phương pháp ERT (Equivalent Random Theory) trong lý thuyết tràn [6]. Theo đó, lưu lượng xảy đến đường trễ  $FDDL_k$  là không Poisson (với các giá trị trung bình  $M_k$  và phương sai  $V_k$ ), được xem như là lưu lượng tràn từ một nhóm “ảo” (virtual group) và là lưu lượng “ảo” xảy đến  $FDDL_k$  với tổng tải lưu lượng “ảo”  $\rho_k^*$  và tổng số kênh “ảo” là  $N_k^*$  (Hình 5). Tức là, khi đó, lưu lượng tràn của hệ thống “ảo” này chính là lưu lượng xảy đến của hệ thống thực tế có  $L_k$  (hay  $R$ ) kênh bước sóng và hệ thống kết hợp tương đương với hệ thống lưu lượng Poisson xảy đến với  $(N_k^* + L_k)$  kênh và tổng tải lưu lượng là  $\rho_k^*$ .

Khi đó, từ hình 5, đối với đường trễ  $FDDL_k$ , các giá trị  $M_k$  và  $V_k$  có thể giải được bằng cách sử dụng các hàm của Kosten [6] như sau:

$$M_k = \rho_k^* \times E(N_k^* + L_k, \rho_k^*); \quad V_k = M_k \times \left(1 - M_k + \frac{\rho_k^*}{N_k^* + L_k + 1 - \rho_k^* + M_k}\right), \quad (3)$$

$\rho_k^*$  và  $N_k^*$  tính được dựa trên các giá trị  $M_{k-1}$  và  $V_{k-1}$ , là các giá trị trung bình và phương sai của lưu lượng tràn từ nguồn “ảo”:

$$M_{k-1} = \rho_k^* \times E(N_k^*, \rho_k^*); \quad V_{k-1} = M_{k-1} \times \left(1 - M_{k-1} + \frac{\rho_k^*}{N_k^* + 1 - \rho_k^* + M_{k-1}}\right). \quad (4)$$

Từ (3),  $N_k^*$  có thể được tính dựa vào  $\rho_k^*$  và các hằng số biết trước  $M_{k-1}$  và  $V_{k-1}$  như sau:

$$N_k^* = \rho_k^* \times \left(\frac{(M_{k-1} + Z_{k-1})}{M_{k-1} + Z_{k-1} - 1}\right) - 1 - M_{k-1}, \quad (5)$$

trong đó  $Z_{k-1} = V_{k-1}/M_{k-1}$ .

Tiếp theo, từ (4), ta xác định được hàm ứng với biến  $\rho_k^*$ :

$$f(\rho_k^*) = M_{k-1} - \rho_k^* \times E(N_k^*, \rho_k^*) = 0, \quad (6)$$

$\rho_k^*$  có thể tính được bằng cách áp dụng phương pháp xấp xỉ của Yngve Rapp [7,10] và có kết quả:

$$\rho_k^* = V_{k-1} + 3 \times Z_{k-1}(Z_{k-1} - 1). \quad (7)$$

Như vậy, từ (5) và (7) ta tính được các giá trị  $M_k$  và  $V_k$  theo (3). Từ Hình 4, ta có lưu lượng mang (carried traffic) với đường trễ  $FDDL_k$ , đó là:

$$\bar{M}_k = M_{k-1} - M_k. \quad (8)$$

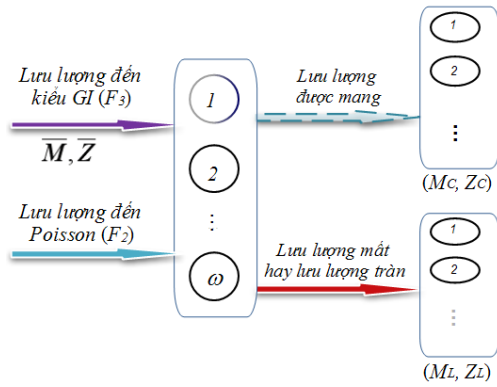
Với kết quả thu được khi tính với  $FDDL_k$  và các giá trị  $M_0$  và  $V_0$  (ứng với trường hợp  $k = 1$ ) chính là  $M$  và  $V$  (tính được từ (1) và (2)), ta có thể giải được với tất cả các trường hợp với  $k \in \{1, 2, \dots, N\}$ . Khi đó độ trễ trung bình ( $D$ ) của lưu lượng lệch hướng đến trong các đường trễ FDL được tính như sau:

$$D = \sum_{k \in \{1, 2, \dots, N\}} \frac{\bar{M}_k}{\bar{M}} \times D_k, \tag{9}$$

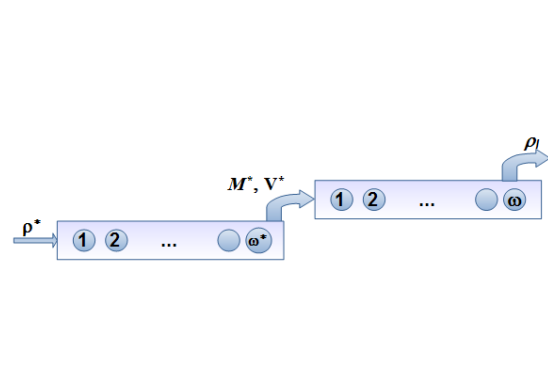
trong đó,  $\bar{M}$  là lưu lượng được mang trung bình từ các đường trễ FDL,  $\bar{M} = M - M_B$  và  $D_k$  là độ trễ tại mỗi  $FDL_k$  ( $D_k = k \times b$ ).

### 3.2. Xác suất tắc nghẽn của nút lỗi OBS với các quá trình đến renewal và Poisson

Tại giai đoạn 2 trong mô hình, lưu lượng đến cổng ra bây giờ sẽ tập hợp của 2 luồng lưu lượng: lưu lượng luồng lệch hướng ra từ các đường trễ FDL sau khi đã làm trễ thành công ( $F_3$  - lưu lượng đến kiểu GI), được đặc trưng bởi các giá trị  $\bar{M}$  và  $\bar{Z}$  (hay  $\bar{V}$ ) và lưu lượng các chùm khác được định tuyến ra trên cổng ra này (không lệch hướng). Do đó, xác suất tắc nghẽn tại cổng ra ở giai đoạn 2 có thể được tính dựa vào việc phân tích tắc nghẽn trên mô hình [5]  $GI + M/M/\omega/\omega$ , ở đây  $\omega$  là số kênh bước sóng trên cổng ra (Hình 6).



Hình 6. Mô hình  $GI + M/M/\omega/\omega$  trên kết nối ra



Hình 7. Mô hình sử dụng phương pháp ERT

a. Tính các giá trị moment của lưu lượng từ các đường trễ FDL sau giai đoạn 1

Trường hợp tổng quát khi xem lưu lượng  $F_1$  là quá trình đến mới (lưu lượng GI),  $F_1$  sẽ được đặc trưng bởi 2 giá trị moment đầu tiên của nó là  $M$  và  $Z$  được tính thông qua các giá trị moment  $M_{(k)}$ ,  $k \in N$ , như sau [9]:

$$M = M_{(1)}; Z = 1 - M_{(1)} + M_{(2)}/M_{(1)} \tag{10}$$

với

$$M_{(k)} = \frac{1}{\mu E[\tau]} \times \prod_{j=1}^{k-1} \frac{j A^*(j\mu)}{1 - A^*(j\mu)}, k \in N \tag{11}$$

trong đó  $A^*(t)$  là phép biến đổi Laplace-Stieltje (LST) của hàm phân bố  $A(t)$ , và  $E[\tau]$  là thời gian giữa các lần đến trung bình (mean interarrival time).

Tiếp theo, ta tính các giá trị moment của lưu lượng được mang và lưu lượng tràn (tắc nghẽn) sau giai đoạn 1. Khi xem lưu lượng  $F_1$  là quá trình đến renewal, thì lưu lượng tràn từ

$F_1$  cũng là quá trình renewal và được đặc trưng bởi các giá trị  $M_B$  và  $Z_B$  có thể tính được theo mô hình ở hình 4 hay thông qua các giá trị moment  $M_{B,(k)}$  như sau [9]:

$$\frac{1}{M_{B,(k)}} = \sum_{l=0}^L \binom{L}{l} \frac{(k+l-1)!}{(k-1)!M_{(l+k)}}, \quad k \in N \quad (12)$$

với  $L = N \times R$  và  $M_{(k)}$ ,  $k \in N$  thuộc  $F_1$  tính được theo (11). Từ (12), ta có thể tính được  $M_B = M_{B,(1)}$  là lưu lượng tràn từ các FDL.

Với lưu lượng được mang từ các đường trễ FDL (được làm trễ thành công),  $F_3$  cũng được đặc trưng bởi các giá trị  $\bar{M}$  và  $\bar{Z}$  và các giá trị moment  $\bar{M}_{(1)}$  và  $\bar{M}_{(2)}$  như sau:

$$\bar{M}_{(1)} = M - M_{B,(1)};$$

$$\bar{M}_{(2)} = \bar{M}_{(1)} \frac{M_{(2)}}{M_{(1)}} - M_{B,(1)} M_{B,(2)} \sum_{l=1}^L \binom{L}{l} \frac{l!}{M_{(l+1)}} \sum_{m=1}^l \left( \frac{m \times M_{(m)}}{M_{(m+1)}} + 1 \right). \quad (13)$$

Từ (13), ta tính được các giá trị  $\bar{M} = \bar{M}_{(1)}$  và  $\bar{Z} = 1 - \bar{M}_{(1)} + \bar{M}_{(2)}/\bar{M}_{(1)}$ .

Độ phức tạp tính toán trong trường hợp này bằng  $O(L)$  [10].

*b. Phương pháp ERT với kết hợp 2 luồng lưu lượng*

Như vậy có thể xem lưu lượng đến tại giai đoạn 2 ( $F_4$ ) là tập hợp của hai luồng lưu lượng độc lập là  $F_3$  ( $\bar{M}, \bar{V}$ ) và  $F_2$  (tải là  $\rho_f$ ). Khi đó, lưu lượng có thể được xác định bởi hai giá trị  $M^* = \bar{M} + \rho_f$  và  $V^* = \bar{V} + \rho_f$ . Theo phương pháp ERT, lưu lượng ( $M^*, V^*$ ) được xem như là lưu lượng tràn từ nhóm “ảo” (virtual) và là lưu lượng Poisson “ảo” xảy đến với tổng tải lưu lượng “ảo” và tổng số kênh “ảo” lần lượt là  $\rho^*$  và  $\omega^*$ . Lưu lượng tràn của hệ thống “ảo” này chính là lưu lượng xảy đến của hệ thống thực tế có  $\omega$  kênh bước sóng và hệ thống kết hợp tương đương với hệ thống lưu lượng Poisson xảy đến trên  $(\omega^* + \omega)$  kênh và tổng tải lưu lượng đến là  $\rho^*$  (hình 7).

Áp dụng phương pháp xấp xỉ Yngve Rapp [5], ta tính được các giá trị  $\rho^*$  và  $\omega^*$  từ ( $M^*, V^*$ ):

$$\rho^* \approx V^* + 3 \frac{V^*}{M^*} \left( \frac{V^*}{M^*} - 1 \right); \quad \omega^* = \rho^* \frac{M^* + Z^*}{M^* + Z^* - 1} - M^* - 1, \quad (14)$$

với  $Z^* = V^*/M^*$ .

Khi đó, xác suất tắc nghẽn tại giai đoạn 2 có thể tính được theo phương pháp xấp xỉ ERT như sau:

$$PB_{2\_ERT} = \frac{E(\omega^* + \omega, \rho^*)}{E(\omega^*, \rho^*)}. \quad (15)$$

*c. Phương pháp xấp xỉ GI để tính xác suất tắc nghẽn ứng cho từng luồng lưu lượng với trường hợp lưu lượng GI là quá trình đến IPP*

Trong trường hợp này, ta xem  $F_1$  là lưu lượng tràn ứng với quá trình IPP (Interrupted Poisson Process), khi đó, giá trị  $M$  và  $Z$  (hay  $V = M_{(1)} - M_{(1)}^2 + M_{(2)}$ ) tính được ở công thức (10) hoàn toàn trùng khớp với giá trị tính được ở các công thức (1) và (2) một cách tương ứng.



Quá trình IPP đề xuất bởi Kuczura [7] được sử dụng rộng rãi trong việc phân tích mô hình với lưu lượng tràn, đặc trưng bởi 3 tham số  $(\psi, \phi, \alpha_{on})$ , trong đó,  $\psi$  và  $\phi$  tương ứng với tốc độ chuyển trạng thái từ trạng thái ON sang OFF và ngược lại. Tại trạng thái ON, các quá trình đến IPP được tạo ra với tốc độ là  $\alpha_{on}$ .

Hàm phân bố thời gian giữa các lần đến  $A(t)$  của quá trình IPP được xác định như sau [7,10]:

$$A(t) = \delta(1 - e^{-r_1 t}) + (1 - \delta)(1 - e^{-r_2 t}), \quad (16)$$

ở đây

$$\begin{aligned} r_1 &= \frac{1}{2} \{ \alpha_{on} + \psi + \phi + \sqrt{(\alpha_{on} + \psi + \phi)^2 - 4\alpha_{on}\psi} \}; \\ r_2 &= \frac{1}{2} \{ \alpha_{on} + \psi + \phi - \sqrt{(\alpha_{on} + \psi + \phi)^2 - 4\alpha_{on}\psi} \}; \end{aligned} \quad (17)$$

$$\delta = \frac{\alpha_{on} - r_2}{r_1 - r_2}.$$

Khi xem lưu lượng tập hợp của 2 luồng lưu lượng độc lập cũng là lưu lượng tổng quát GI (với các giá trị đặc trưng  $M^*, V^*$ ), các giá trị  $(\alpha_{on}, \psi, \phi)$  được tính như sau [5]:

$$\alpha_{on} = M^* Z^* + 3Z^*(Z^* - 1); \quad \psi = \frac{M^*}{\alpha_{on}} \times \left( \frac{\alpha_{on} - M^*}{Z^* - 1} - 1 \right); \quad \phi = \left( \frac{\alpha_{on}}{M^*} - 1 \right) \times \psi. \quad (18)$$

Từ (16), ta có  $A^*(x)$  là phép biến đổi Laplace-Stieltje của hàm phân phối  $A(t)$  [10]:

$$A^*(x) = \frac{\delta r_1}{x + r_1} + \frac{(1 - \delta)r_2}{x + r_2}. \quad (19)$$

Sử dụng (17) và (18) trong (19), và đặt

$$\phi(x) = \frac{A^*(x)}{1 - A^*(x)}, \quad (19a)$$

ta có [5]:

$$\phi(x) = \frac{M^*}{x} [1 + (Z^* - 1)f(x, M^*, Z^*)], \quad (20)$$

trong đó

$$f(x, M^*, Z^*) \equiv \frac{x}{M^*} \times \frac{M^* + 3Z^*}{x - 1 + M^* + 3Z^*}. \quad (20a)$$

Xác suất tắc nghẽn trong trường hợp này tính được xấp xỉ như mô hình  $GI/M/\omega/\omega$  [5]:

$$PB_{2\_GI} = \left[ 1 + \sum_{r=1}^{\omega} \binom{\omega}{r} \frac{1}{\prod_{i=1}^r \phi(i\mu)} \right]^{-1}, \quad (21)$$

ở đây,  $\phi(\cdot)$  tính theo (19) hoặc (20).

Biểu diễn riêng lẻ xác suất tắc nghẽn của lưu lượng chùng lệch hướng và không lệch hướng lần lượt là  $PB_{2\_d}$  và  $PB_{2\_f}$ , ta có định luật bảo toàn tải như sau [5]:

$$M^* \times PB_{2\_GI} = \bar{M} \times PB_{2\_d} + \rho_f \times PB_{2\_f}. \quad (22)$$

Từ PASTA (Poisson arrivals see time average),  $PB_{2\_f}$  là bằng xác suất tắc nghẽn thời gian và áp dụng định luật bảo toàn tốc độ [5], ta có:

$$PB_{2\_GI} = \frac{\omega}{M^*} \phi(\omega\mu) PB_{2\_f}. \quad (23)$$

Sử dụng (23) trong (22), ta có xác suất riêng lẻ của từng dòng lưu lượng như sau:

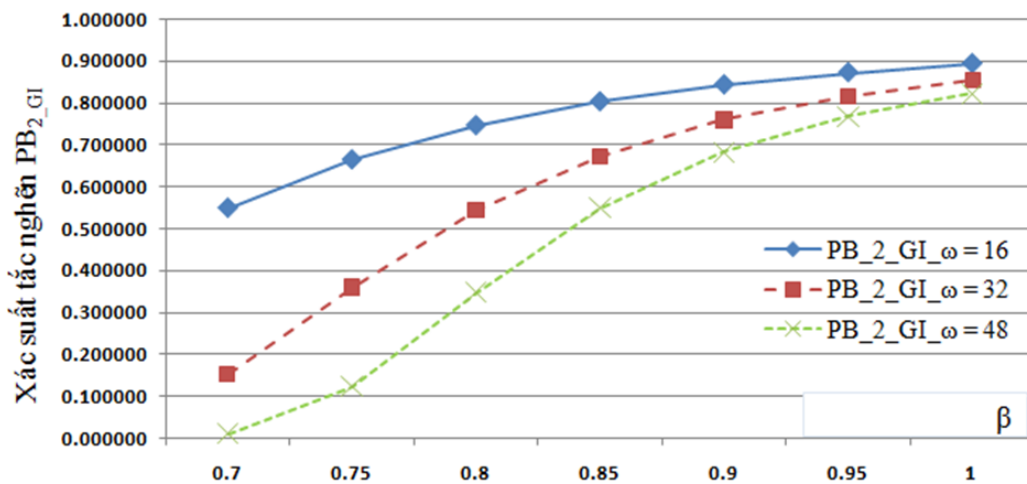
$$PB_{2\_d} = [1 + (\bar{Z} - 1)f(\omega\mu, M^*, Z^*)] \times PB_{2\_f},$$

$$PB_{2\_f} = [1 + (Z^* - 1)f(\omega\mu, M^*, Z^*)]^{-1} \times PB_{2\_GI}, \quad (24)$$

trong đó  $f(\cdot, \cdot, \cdot)$  tính theo (20a) với  $\bar{Z} = \bar{V}/\bar{M}$  và  $Z^* = V^*/M^*$ .

#### 4. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

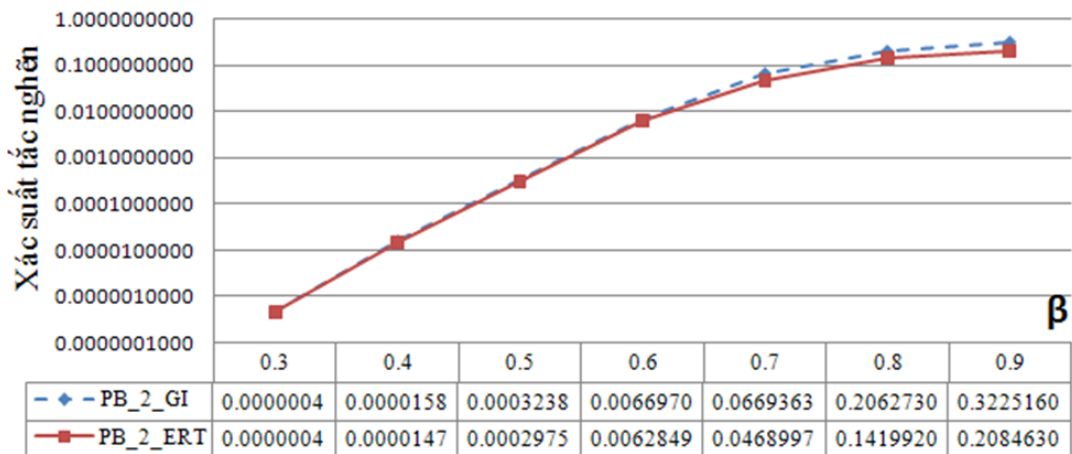
Trên cơ sở phân tích ở phần trên, ta tiến hành mô tả về mặt đồ thị (được viết bằng Mathematica) sự biến thiên của xác suất tắc nghẽn phụ thuộc vào lưu lượng tải mạng ( $\rho$ ) và số bước sóng ( $\omega$ ). Tương tự các tham số mô phỏng được trình bày trong [2], gọi  $\beta = \rho/\omega$  là hệ số lưu lượng tải mạng so với số bước sóng sử dụng tại mỗi cổng ra,  $\beta$  được xét trong khoảng 0.2 đến 0.8 (Erl).



Hình 8. Xác suất tắc nghẽn tại giai đoạn 2 vs  $\beta$

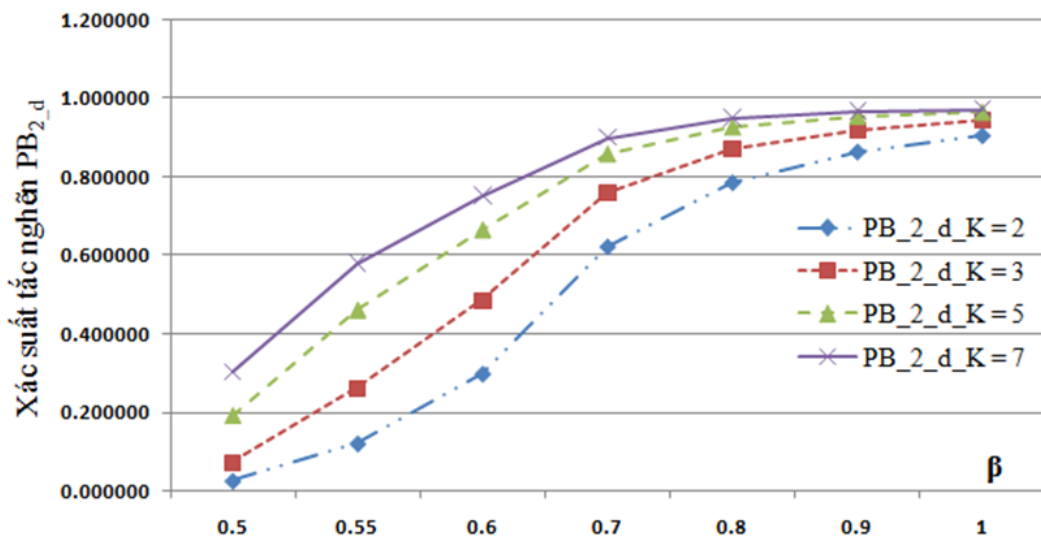
Hình 8 chỉ ra kết quả phân tích với xác suất tắc nghẽn tại giai đoạn 2 của mô hình với số bước sóng thay đổi ( $\omega = 16, 32, 48$ ).

Kết quả so sánh xác suất tắc nghẽn tại giai đoạn 2 tính theo hai phương pháp là ERT (công thức (15)) và phương pháp xấp xỉ GI (công thức (21)) được chỉ ra trong Hình 9.



Hình 9. Xác suất tắc nghẽn giai đoạn 2 theo phương pháp ERT và GI vs  $\beta$

Khi xét với trường hợp riêng lẻ các luồng lưu lượng, chúng ta có kết quả ở Hình 10 với xác suất tắc nghẽn của luồng lưu lượng lệch hướng (lưu lượng IPP) với cường độ lưu lượng đến thay đổi (theo giá trị trung bình  $M$ ). Ở đây chúng tôi thay đổi giá trị  $M$  bằng cách mở rộng số cổng ra ( $K = 2, 3, 5, 7$ ), tức là lưu lượng lệch hướng đến trên chằng (C-D) sẽ tăng lên.

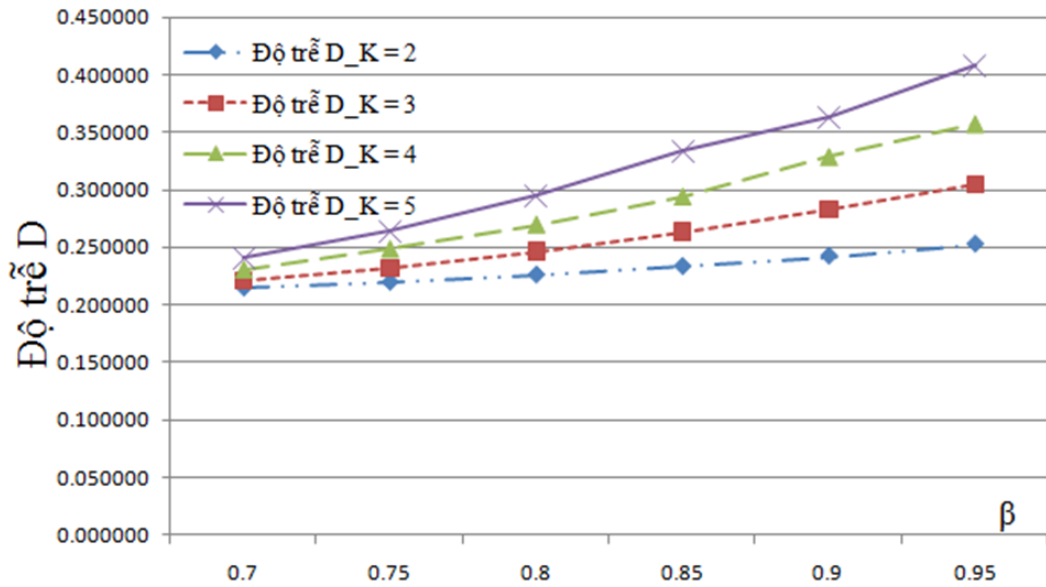


Hình 10. Xác suất tắc nghẽn của luồng lệch hướng tại giai đoạn 2 vs  $\beta$

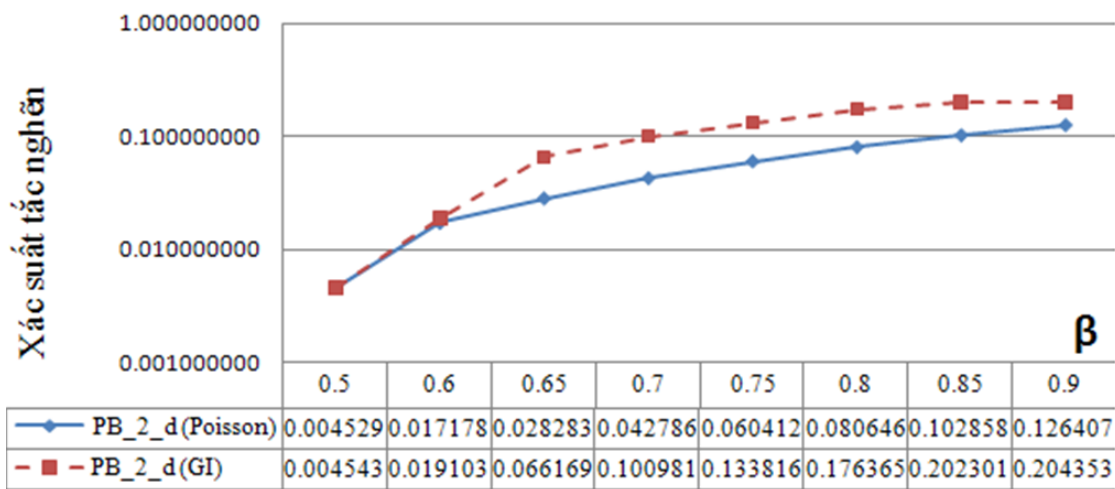
Ngoài tham số xác suất tắc nghẽn, ta phân tích giá trị độ trễ trung bình của các FDL theo cường độ lưu lượng lệch hướng (Hình 11).

Hình 12 chỉ ra kết quả so sánh xác suất tắc nghẽn tại giai đoạn 2 khi lưu lượng lệch hướng có quá trình đến renewal (lưu lượng GI) và quá trình đến Poisson, một cách tương ứng. Rõ ràng, do lưu lượng GI là lưu lượng bursty ( $Z > 1$ ) nên xác suất tắc nghẽn sẽ cao hơn so với lưu lượng Poisson ( $Z = 1$ ).

Kết quả phân tích ứng với mô hình lưu lượng ở bài báo này cũng sẽ được so sánh với phương pháp tính ứng với mô hình A trong [2] nhưng với quá trình đến của lưu lượng lệch



Hình 11. Độ trễ trung bình của luồng lệnh hướng trong dây FDL vs  $\beta$



Hình 12. Xác suất tắc nghẽn giữa lưu lượng GI và lưu lượng Poisson vs  $\beta$

hướng cũng là Poisson (tính theo các công thức (20) đến (24)). Khi đó, các giá trị theo công thức (12) và (13) được tính lại như sau [10]:

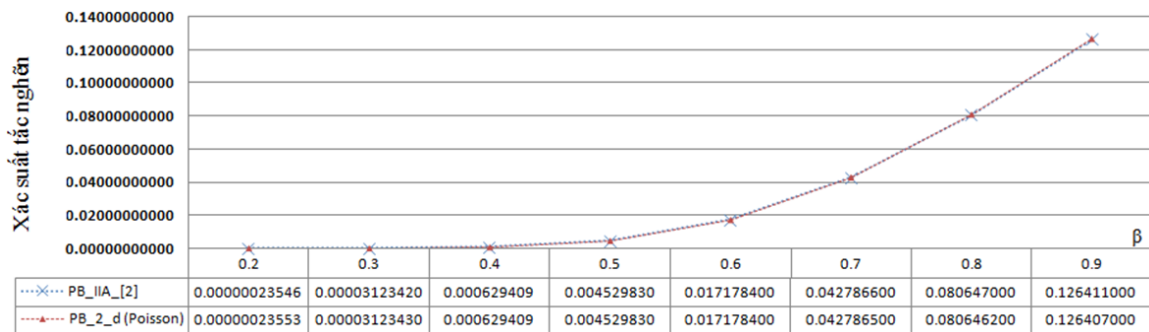
$$M = \gamma_d / \mu, \quad M_{B,(1)} = M \times E(L, M), \quad \bar{M}_{(1)} = M - M_{B,(1)},$$

$$ZB = 1 - M_{B,(1)} + \frac{M}{(L + 1 - \bar{M}_{(1)})}; \quad \bar{Z} = 1 - \frac{M_{B,(1)}}{(2\bar{M}_{(1)})} (L + 1 - \bar{M}_{(1)} - ZB)$$

với  $\gamma_d$  là tốc độ đến của lưu lượng lệch hướng (Poisson) trên chặng C-D.

Kết quả so sánh cho thấy có sự trùng khớp giữa 2 phương pháp (phương pháp bài báo đề xuất và phương pháp trong [2]) (xem Hình 13). Điều này cho thấy tính đúng của phương

pháp sử dụng với trường hợp tổng quát (lưu lượng GI).



Hình 13. Xác suất tắc nghẽn với luồng lệnh hướng là Poisson – so sánh với mô hình trong [2] vs  $\beta$

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo đã phát triển một mô hình phân tích trước đây (trong [2]) với trường hợp tổng quát (lưu lượng GI). Theo đó, phân tích với lưu lượng lệch hướng (tràn) có quá trình đến là quá trình renewal (với IPP là trường hợp đặc biệt), vì vậy không thể sử dụng các mô hình hàng đợi Markov truyền thống để phân tích. Phương pháp phân tích ở đây là các phương pháp ERT và GI trên mô hình xấp xỉ  $GI/M/c/c$ . Kết quả so sánh giữa các phương pháp cũng như so sánh với trường hợp lưu lượng Poisson (đã nghiên cứu trước đây) cho thấy tính đúng của mô hình phân tích.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Y. Chen, C. Qiao, and X. Yu, Optical Burst switching: a new area in optical networking research, *IEEE Network* **18** (3) (May-June 2004) 16–23.
- [2] Đặng Thanh Chương, Vũ Duy Lợi, Võ Viết Minh Nhật, Một mô hình kết hợp đường trễ FDL hỗ trợ định tuyến lệch hướng trên mạng chuyển mạch chùm quang, *Chuyên san CNTT&TT* **V-1** (25) (2011) 22–31.
- [3] Yang Chen, Hongyi Wu, Dahai Xu, and Chunming Qiao, Performance analysis of optical burst switched node with deflection routing, *Proceedings of IEEE*, 2003.
- [4] Ching-Fang Hsu and Te-Lung Liu, On deflection routing in optical burst-switched networks, *Journal of High Speed Networks*, 2005.
- [5] H. Akimaru, K. Kawashima, *Teletraffic: Theory and Applications*, 2nd Edition – Berlin: Springer-Verlag, Germany Pb, 1999.
- [6] Conor McArdle, Daniele Tafani, and Liam P. Barry, Analysis of a buffered optical switch with general interarrival times, *Journal of Networks* **6** (4) (2011).

- [7] Anatol Kuczura, The interrupted Poisson process as an overflow process, *The Bell System Technical Journal* **52** (3) (1973) 437–448.
- [8] M. A. Schneps-Schneppe and J. J. Sedols, Application of erlang's formula for non-poisson flows, *Automatic Control and Computer Sciences* **45** (2) (2011) (ISSN 0146-4116), 86–93.
- [9] Conor McArdle, Daniele Tafani, Liam P. Barry, A. Holohan, T. Curran, Simplified overow analysis of an optical burst switch with fibre delay lines, *Proc. Sixth International Conference on Broadband Communications Networks and Systems (Broadnets 2009)*, Madrid, Spain, September 2009.
- [10] Andreas Brandt, Manfred Brandt, On the Moments of the Overflow and Freed Carried Traffic for the GI/M/C/0 System, *Meth. and Comp. in Appl. Prob.* 4 (2002) 69-82. <http://www.zib.de/PaperWebabstractsZR-009>.

*Ngày nhận bài 30 - 8 - 2012*  
*Nhận lại sau sửa ngày 13 - 12 - 2012*