

Mô hình phân tích kết hợp chuyển đổi bước sóng và FDL tại nút lõi mạng OBS với lưu lượng tổng quát GI

Analyzing the Model of SPL & Feed-Forward Architecture at-OBS Core Node with GI Traffic

Đặng Thanh Chương

Abstract: Optical Burst Switching networks are considered as an important candidate for the future transport networks. Many analysis models of OBS node with wavelength conversion and FDLs have been proposed recently. In this paper, we propose an approximate analytic model at OBS core node architecture SPL – FF (Share-Per-Link - Feed-Forward) for generally distributed arrivals (GI), including Poisson flow, specifically treating IPP distributed interarrival times. Blocking probability will be calculated based on Markov multi-dimensional models and approximation model. Numerical solution values from the proposed analysis method are compared with simulation, as well as between these models.

Keywords: OBS, Blocking probability, Complete Wavelength Conversion (CWC), Share-Per-Link (SPL), FDL, Interrupted Poisson Process.

I. GIỚI THIỆU

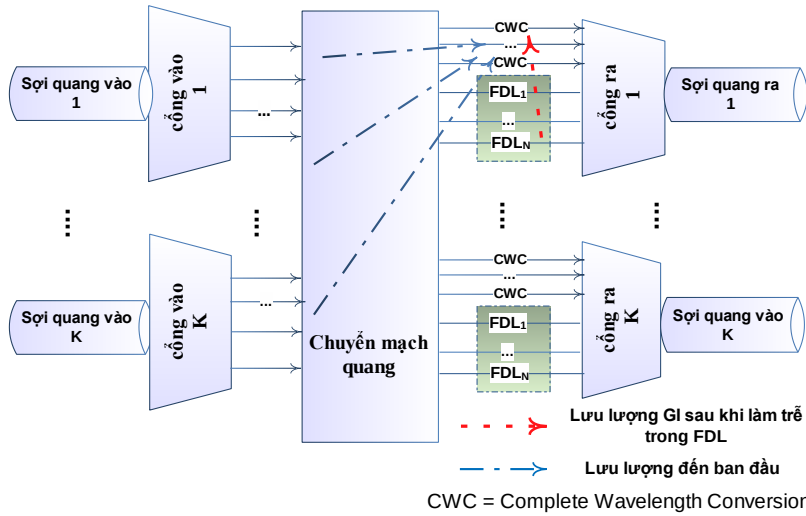
Chuyển mạch chùm quang OBS (Optical Burst Switching) trên mạng WDM (Wavelength Division Multiplexing) đã được xem như là một công nghệ đầy triển vọng đối với mạng Internet thế hệ tiếp theo, bởi vì nó có nhiều lợi thế hấp dẫn như tốc độ nhanh và hiệu suất khai thác băng thông cao hơn nhiều so với những mô hình chuyển mạch kênh quang khác [1].

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 gởi 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.

Do sự bùng nổ tự nhiên của mạng truyền dữ liệu, tắc nghẽn chùm có thể xuất hiện khi hai hoặc nhiều gói điều khiển cố gắng dành trước cùng một kênh bước sóng ra tại cùng một thời điểm. Vì vậy, vấn đề giải quyết tắc nghẽn chùm là rất quan trọng trong việc giảm bớt xác suất mất chùm trong mạng OBS [1]. Tắc nghẽn chùm có thể được giải quyết bằng cách chuyển đổi bước sóng, sử dụng đường trễ quang FDL (Fiber Delay Link) hoặc định tuyến lệch hướng.

Nhiều nghiên cứu liên quan đến các giải pháp giải quyết tắc nghẽn đã được đề xuất, bao gồm cả việc xét riêng lẻ từng giải pháp cũng như kết hợp giữa chúng [4, 5, 9]. Cụ thể, trong [4, 9], các tác giả đã nghiên cứu giải pháp kết hợp chuyển đổi bước sóng (đầy đủ) và đường trễ quang FDL, theo đó, các chùm khi gặp tắc nghẽn tại cổng ra do thiếu tài nguyên (bước sóng cũng như bộ chuyển đổi) sẽ được làm trễ trong các FDL, sau đó các chùm nếu được làm trễ thành công sẽ lại được đưa trở lại cổng ra và gộp chung với các luồng lưu lượng được định tuyến ban đầu đến chính cổng ra đó (xem lưu lượng có dạng tổng quát GI, mô hình trong [4] vì vậy có dạng $GI/M/\omega/\omega$).



Hình 1. Nút lõi kiến trúc SPL (share-per-link) với CWC và FDL truyền thẳng

Trong bài báo này, chúng tôi cũng nghiên cứu với kiến trúc nút lõi chuyển đổi bước sóng đầy đủ kết hợp FDL trong mô hình nút lõi OBS kiến trúc SPL - feed-forward (Hình 1) nhằm phân tích xác suất tắc nghẽn, tuy nhiên theo các hướng tiếp cận khác nhau là sử dụng mô hình Markov và non-Markov. Ngoài ra, khác với trong [4,9], chúng tôi phân tích với 2 luồng lưu lượng tách biệt là lưu lượng tổn thất (loss) và lưu lượng trễ (delay), ứng với các mô hình $M/M/\omega/\omega + v$ và $GI + M/M/\omega/\omega + v$. Chi tiết các mô hình 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 mà 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 III. Cuối cùng là phần kết luận.

II. MÔ HÌNH PHÂN TÍCH

II.1. Các giả thiết

Tương tự [5, 7], chúng tôi sử dụng mô hình Markov 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 [5].

- Một nút lõi OBS kiến trúc SPL có K cổng vào và K cổng ra, một sợi quang WDM trong mỗi cổng, 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).

- Mỗi cổng ra được trang bị riêng N đường trễ quang FDL, với R ($1 \leq R \leq \omega$) kênh bước sóng trên mỗi sợi quang của FDL. Độ trễ cơ bản của mỗi đường trễ quang FDL là b và tăng tuyến tính theo chỉ số các FDL, tức là, FDL_i sẽ có độ trễ là $i * b$, với $i = 1, \dots, N$. Số chùm có thể được mang đồng thời trong một đường trễ quang FDL được xác định bởi số bộ chuyển đổi bước sóng R trong số ω bộ chuyển đổi CWC trên cổng ra. Do đó, tổng số kênh bước sóng được cung cấp bởi dãy các FDL là $L = N * R$. Các chùm bị tắc nghẽn sẽ được lập lịch vào đường trễ quang FDL có độ trễ phù hợp (bắt đầu từ FDL_1) [4].

- Mỗi chùm đến sẽ được gửi ra cổng ra, có hoặc không có chuyển đổi bước sóng, phụ thuộc vào tính khả dụng của bước sóng ra tại thời điểm đến của chùm.

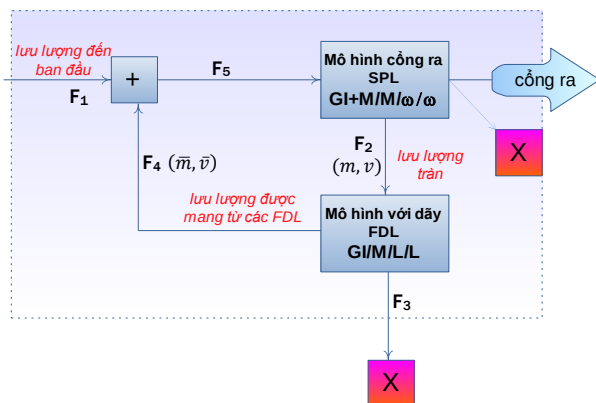
II.2. Mô hình phân tích cơ bản

Mô hình phân tích cơ bản được chỉ ra ở Hình 2.

Không mất tính tổng quát, nếu ta xét tại một cổng ra (trên Hình 1), 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 chùng *loss*, hoặc (ii) chùng sẽ được đưa vào làm trễ trong các FDL một khoảng thời gian nhất định và tiếp tục chia sẻ tài nguyên bước sóng sau khi ra khỏi FDL (chùng chỉ bị rơi khi tất cả các FDL đều bận), gọi là chùng *delay*. Trong bài báo này, chúng tôi phân tích với các dạng lưu lượng khác nhau, đó là:

- Trong mô hình đầu tiên (*mô hình (i)*) chúng tôi xem các lưu lượng đến đều là Poisson, kể cả lưu lượng đến trên các FDL. Mô hình phân tích khi đó có thể được mô hình hóa tương ứng với mô hình lưu lượng đa chiều có dạng *tổn thất – trễ* (*loss-delay*) $M/M/\omega/\omega + v$ [6] với tốc độ trung bình các chùm *loss* và *delay* đến lần lượt là γ_l và γ_d như ở Hình 3 ($v = N * \omega$).
- Mô hình thứ hai (*mô hình (ii)*) tương tự như mô hình (i) nhưng xét trường hợp lưu lượng tràn từ cổng ra với các bộ CWC đến các FDL là lưu lượng non-Poisson (lưu lượng *GI*). Và do đó lưu lượng đến cổng từ FDL cũng là lưu lượng *GI*.



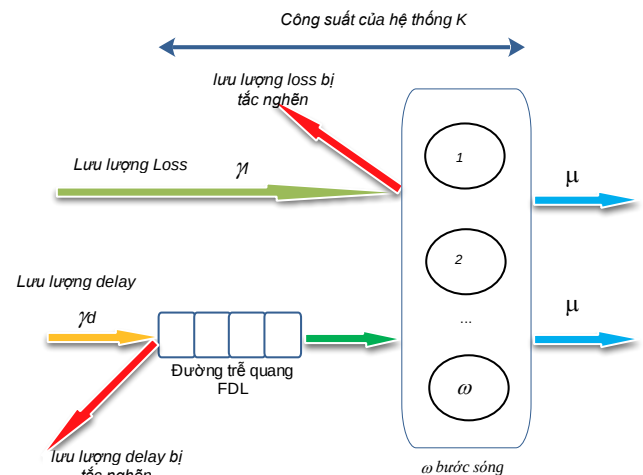
Hình 2. Mô hình phân tích tổng quát

Như phân tích ở trên, ***điểm khác biệt của các mô hình đề xuất của chúng tôi so với mô hình trong [4]*** (các tác giả trong [4] xem tất cả các lưu lượng tràn sau khi ra khỏi FDL đến cổng ra nếu tiếp tục gặp tắc nghẽn lại được quay trở lại FDL) đó là: ngoài việc xem lưu lượng tràn là lưu lượng Poisson như ở mô hình (i) thì trong mô hình (ii), chúng tôi ***quy ước lưu lượng tràn sau khi làm trễ từ FDL khi quay lại cổng ra sẽ không được đưa trở lại FDL nếu hết tài nguyên*** (bước sóng và CWC). Tức là, chúng tôi quy ước các chùm *loss* là những chùm đã được làm trễ trong các FDL thành công, trong khi các chùm *delay* là những chùm ban đầu đến trên cổng ra. Mô hình (ii) khi đó được xét với

2 luồng lưu lượng tách biệt là lưu lượng Poisson đối với các chùm ban đầu được định tuyến đến cổng ra và lưu lượng non-Poisson đi ra từ các FDL.

II.3. Mô hình (i)

Mô hình này ứng với trường hợp phân tích với các lưu lượng đều là lưu lượng Poisson, kể cả lưu lượng tràn từ các bộ CWC (mô hình Markov). Mô hình vì vậy có dạng $M/M/\omega/\omega + v$ [6] được mô tả như ở Hình 3. Theo đó, các chùm *loss* và chùm *delay* 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 *loss* và $\rho_2 = \gamma_d/\mu$ là lưu lượng tải vào trung bình của chùm *delay*.



Hình 3. Mô hình phân tích tổn thất – trễ (loss-delay)
 $M/M/\omega/\omega + v$

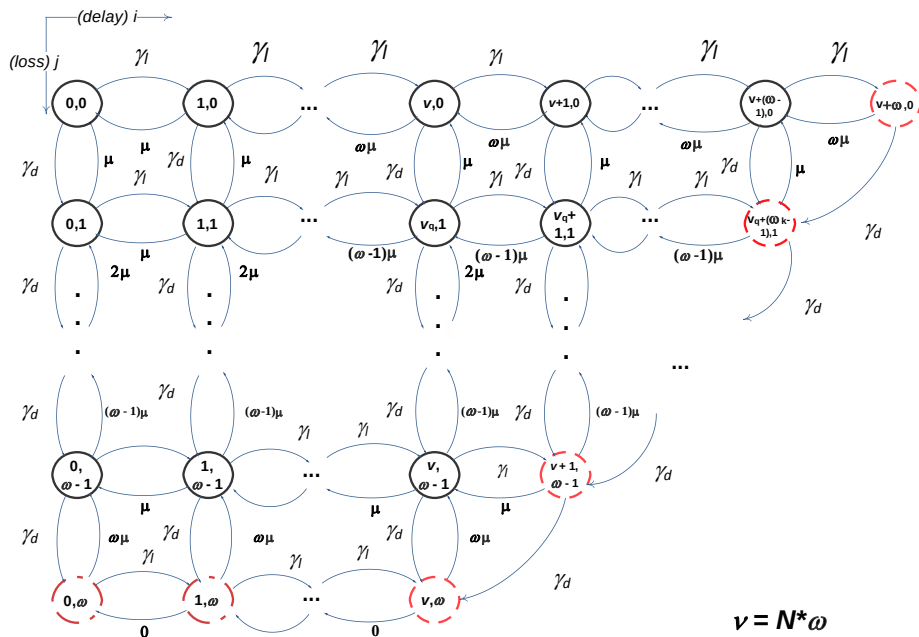
Lược đồ chuyển trạng thái khi đó được chỉ ra trong Hình 4. Mỗi trạng thái trong mô hình ứng với cặp (i, j) ; với $0 \leq i \leq \omega + N \cdot \omega$, và $0 \leq j \leq \omega$ tương ứng là số chũm *delay* và *loss*; π_{ij} chỉ ra xác suất trạng thái ổn định mà hệ thống đạt được trong trạng thái (i, j) .

Số trạng thái trong chuỗi Markov ở Hình 4 được tính như sau:

$$n_{S_{-1}} = \frac{(2 * N * \omega + \omega + 2)(\omega + 1)}{2} \quad (1)$$

Theo lược đồ chuyển trạng thái, ta có hệ các hàm ở trạng thái ổn định:

$(\gamma_d + \gamma_l) \cdot \pi_{00} = \mu \cdot (\pi_{10} + \pi_{01})$	với trạng thái ban đầu (0,0)	(2)
$\omega\mu \cdot \pi_{v,\omega} = \gamma_d \cdot \pi_{v,\omega-1} + \gamma_d \cdot \pi_{v+1,\omega-1} + \gamma_l \cdot \pi_{v-1,\omega}$	với trạng thái (v, ω)	
$(\gamma_l + \omega\mu) \cdot \pi_{0,\omega} = \gamma_d \cdot \pi_{0,\omega-1}$	với trạng thái (0, ω)	
$(\gamma_d + \omega\mu) \cdot \pi_{v+\omega,0} = \gamma_l \cdot \pi_{v+(\omega-1),0}$	với trạng thái (v + ω, 0)	
$(\gamma_d + \gamma_l + j\mu) \cdot \pi_{0,j} = \gamma_d \cdot \pi_{0,j-1} + (j+1)\mu \cdot \pi_{0,j+1} + \mu \cdot \pi_{1,j}$	với các trạng thái (0, j) sao cho $1 \leq j \leq \omega - 1$	
$(\gamma_l + \omega\mu) \cdot \pi_{i,\omega} = \gamma_d \cdot \pi_{i,\omega-1} + \gamma_f \cdot \pi_{i-1,\omega}$	với các trạng thái (i, ω) sao cho $1 \leq i \leq v - 1$	
$(\gamma_d + \gamma_l + \min(i, \omega)\mu) \cdot \pi_{i,0}$ $= \gamma_l \cdot \pi_{i-1,0} + \mu \cdot \pi_{i,1} + \min(i+1, \omega)\mu \cdot \pi_{i+1,0}$	với các trạng thái (i, 0) sao cho $1 \leq i \leq v + (\omega - 1)$	
$(\gamma_d + j\mu + (\omega - j)\mu) \cdot \pi_{v+\omega-j,j}$ $= \gamma_d \cdot \pi_{v+\omega-j,j-1} + \gamma_f \cdot \pi_{v+\omega-j-1,j} + \gamma_d \cdot \pi_{v+\omega-j+1,j-1}$	với các trạng thái (v + ω - j, j) sao cho $1 \leq j \leq \omega - 1$;	
$(\gamma_d + \gamma_l + j\mu + \min(i, \omega - j)\mu) \cdot \pi_{i,j}$ $= \gamma_d \cdot \pi_{i,j-1} + \gamma_l \cdot \pi_{i-1,j} + (j+1)\mu \cdot \pi_{i,j+1}$ $+ \min(i+1, \omega - j) \cdot \pi_{i+1,j}$	với các trạng thái (i, j) sao cho $1 \leq i \leq \omega + v - 2, 1 \leq j \leq \omega - 1, 2 \leq i + j \leq \omega + v - 1$	
$\sum_{i,j} \pi_{i,j} = 1$	$0 \leq i \leq v + \omega, 0 \leq j \leq \omega, 0 \leq i + j \leq \omega + v$	



Hình 4. Lược đồ chuyển trạng thái của mô hình (i)

Ứng với lược đồ trạng thái ở Hình 4, xác suất tắc nghẽn PB_I của mô hình (i) được tính dựa trên hai trường hợp [5][6]:

- Trường hợp đầu tiên: các chùm *loss* bị tắc nghẽn khi tất cả ω bước sóng đều bận vào thời điểm chúng đến hệ thống (ứng với các trạng thái từ $(0, \omega)$ đến (v, ω) trên Hình 4); và

- Trường hợp thứ hai: Các chùm *delay* bị tắc nghẽn nếu tất cả các ω bước sóng đều bận và tất cả các vị trí trong FDL đều bị chiếm giữ tại thời điểm chúng đến hệ thống (ứng với các trạng thái từ $(v + \omega, 0)$ đến (v, ω) trên Hình 4).

Do đó, xác suất tắc nghẽn của các chùm trong mô hình phân tích tính được như sau [5]:

$$PB_I = \frac{\gamma_d}{\gamma_d + \gamma_l} \sum_{i=0}^v \pi_{i,\omega} + \frac{\gamma_l}{\gamma_d + \gamma_l} \left(\sum_{j=0}^{\omega} \pi_{\omega+v-i,j} \right) \quad (3)$$

Ngoài ra, có thể tính xác suất tắc nghẽn của từng luồng lưu lượng *loss* và *delay*, như sau [6]:

$$PB_{I_loss} = \frac{\sum_{j=0}^{\omega} \sum_{i=\omega-j}^{\omega-j+v} \gamma_l \cdot \pi_{i,j}}{\sum_{j=0}^{\omega} \sum_{i=0}^{\omega-j+v} \gamma_l \cdot \pi_{i,j}} \quad (3a)$$

và

$$PB_{I_delay} = \frac{\sum_{j=0}^{\omega} \gamma_d \cdot \pi_{(\omega-j)+v,j}}{\sum_{j=0}^{\omega} \sum_{i=0}^{\omega-j+v} \gamma_d \cdot \pi_{i,j}} \quad (3b)$$

Với hệ phương trình tuyến tính (2) tìm được ở trên, ta có thể giải để tìm các xác suất trạng thái cân bằng π_{ij} (sử dụng phương pháp tính ma trận Q trong [7, 10]), từ đó tính được các xác suất trạng tắc nghẽn theo (3) và (3a), (3b).

II.4. Mô hình (ii)

Khác với mô hình (i) ở trên, mô hình (ii) ở đây xét trường hợp lưu lượng tràn từ cổng ra với các bộ CWC đến các FDL là lưu lượng non-Poisson (lưu lượng *GI*). Mô hình phân tích vì vậy có thể được tổng quát hóa ở Hình 2. Cụ thể, các luồng lưu lượng được mô tả như sau:

- Luồng lưu lượng ban đầu F_1 : gồm các chùm ban đầu được định tuyến trên cổng ra phân tích. Lưu

lượng F_1 vì vậy được giả thiết là lưu lượng Poisson (ký hiệu P) với tốc độ trung bình γ và thời gian phục vụ theo phân bố mũ với giá trị trung bình $1/\mu$ (μ là chiều dài trung bình của các chùm); khi đó tải lưu lượng là $\rho = \gamma/\mu$.

- Luồng lưu lượng F_2 : gồm các chùm tràn từ cổng ra do có sự tranh chấp và sẽ được đưa đến để làm trễ trong các FDL. Lưu lượng này vì vậy đến theo quá trình non-Poisson (ký hiệu *GI*) và được đặc trưng bởi các giá trị phương sai (*variance*), ký hiệu là v , và giá trị trung bình (*mean*), ký hiệu là m , được xác định theo công thức như sau [2][7]:

$$m = \rho \cdot E(\omega, \rho) \quad (4)$$

$$v = m \cdot \left(1 - m + \frac{\rho}{\omega + 1 + m - \rho} \right)$$

ở đây $E(\omega, \rho)$ là công thức Erlang.

- Luồng lưu lượng F_3 : lưu lượng bị mất (tắc nghẽn) do các FDL gây ra. Đây cũng là một phần lưu lượng tắc nghẽn của hệ thống, và là cơ sở để tính toán xác suất tắc nghẽn của lưu lượng *delay* trong mô hình phân tích (ii).

- Luồng lưu lượng F_4 (lưu lượng *GI*): là lưu lượng các chùm đi ra từ các FDL (sau khi đã được làm trễ thành công).

- Luồng lưu lượng (F_5): kết hợp 2 luồng lưu lượng F_1 (Poisson - P) và F_4 (*GI*).

⇒ Ý tưởng của mô hình ở đây là phân tích với 2 lớp lưu lượng khác nhau (P và *GI*) cùng đến trên cổng ra (cùng chia sẻ chung tài nguyên bước sóng, bao gồm các bộ CWC) và mô hình lưu lượng khi đó cũng có thể được mô hình hóa tương ứng với mô hình lưu lượng đa chiều (*multi-dimensional*) có dạng *tổn thất – trễ* (*loss-delay*) $GI + M/M/\omega/\omega + v$ và được phân tích như sau:

- Lưu lượng P (lưu lượng các chùm đến ban đầu): sẽ được chuyển tiếp đến các FDL để làm trễ nếu gặp tắc nghẽn.

- Lưu lượng *GI* (lưu lượng các chùm đã được làm trễ trong các FDL trước đó): sẽ bị đánh rơi nếu gặp tắc nghẽn hoặc do hết tài nguyên.

Ngoài ra, khác với mô hình (i) xem các FDL như là các bộ đệm truyền thống, mô hình (ii) này sẽ phân tích

các chùm trong FDL với lưu lượng đến là lưu lượng non-Poisson với kiến trúc của các đường trễ quang FDL như trong [4].

Như phân tích ở trên, xác suất tắc nghẽn sẽ được tính toán dựa trên 2 trường hợp với 2 luồng lưu lượng:

- Lưu lượng của các chùm P ban đầu bị tràn từ mô hình $M/M/\omega/\omega$ và đến ứng với mô hình $GI/M/L/L$, tức là chỉ bị mất chùm gây ra bởi các FDL (được xem là lưu lượng delay như mô hình (i)).

- Lưu lượng của các chùm GI ứng với mô hình $GI/M/\omega/\omega$, tức là mất chùm do thiếu hụt tài nguyên bước sóng, cũng như các bộ CWC (được xem là lưu lượng loss như mô hình (i)).

Khác với mô hình phân tích trong [4], trong mô hình phân tích của chúng tôi, 2 luồng lưu lượng trên được xem là độc lập, vì vậy việc tính toán xác suất tắc nghẽn cũng sẽ được tính độc lập theo từng luồng. Vì vậy, đầu tiên ta phải tính các giá trị moment đặc trưng ứng với các luồng lưu lượng phân tích ở trên.

II.4.1. Tính toán các giá trị moment đặc trưng của các luồng lưu lượng

Khi lưu lượng Poisson bị tắc nghẽn tại cổng ra do thiếu tài nguyên, các chùm sẽ được chuyển tiếp đến các FDL để làm trễ, lưu lượng tràn khi đó được xem tuân theo phân bố tổng quát GI . Mô hình phân tích tại cổng ra trong trường hợp này có dạng $GI/M/L/L$, được đặc trưng bởi 2 tham số moment, giá trị trung bình $m = m_{(1)}$ (hoặc theo công thức (4)) và giá trị peakedness $z = 1 - m_{(1)} + m_{(2)}/m_{(1)}$, trong đó $m_{(k)}, k \in \mathbb{N} := \{1, 2, \dots\}$ là các moment giai thừa (factorial) của lưu lượng GI với hàm phân phối xác suất $A(t)$, được biểu diễn như sau [3]:

$$m_{(k)} = \frac{1}{\mu E[\tau]} \cdot \prod_{j=1}^{k-1} \frac{jA^*(j\mu)}{1 - A^*(j\mu)}, k \in \mathbb{N} \quad (5)$$

ở đây $A^*(j\mu)$ biểu thị phép biến đổi Laplace-Stieltjes của hàm $A(t)$, μ là tham số thời gian phục vụ theo phân phối mũ, và $E[\tau]$ là thời gian giữa các lần đến trung bình (mean interarrival time) [3].

Tiếp theo, ta tính các giá trị moment của lưu lượng được mang và lưu lượng tràn (tắc nghẽn) sau khi ra khỏi FDL. Theo [3], mô hình chúng tôi đang xét có thể xem là có dạng $GI/M/L/L$ hay $GI/M/L/0$, khi đó lưu lượng tràn của luồng vào GI cũng sẽ là lưu lượng GI . Vì vậy, chúng tôi cũng xem xét lưu lượng mất từ các FDL cũng được đặc trưng bởi các tham số là mean $\hat{m}_B$ và peakedness $\hat{z}_B$, tính được dựa trên các moment giai thừa, ký hiệu là $\hat{m}_{B,(k)}, k \in \mathbb{N}$, như sau [3]:

$$\frac{1}{\hat{m}_{B,(k)}} = \sum_{l=0}^L \binom{L}{l} \frac{(k+l-1)!}{(k-1)! m_{(l+k)}}, k \in \mathbb{N} \quad (6)$$

trong đó, với $L = N * R$ và các moment giai thừa $m_{(k)}, k \in \mathbb{N}$, của lưu lượng tồn thất (từ lưu lượng GI) được tính bởi công thức (5). Từ công thức (6), ta có thể tính được các giá trị $\hat{m}_B = \hat{m}_{B,(1)}$ và $\hat{z}_B = 1 - \hat{m}_{B,(1)} + \hat{m}_{B,(2)}/\hat{m}_{B,(1)}$.

Với lưu lượng được mang từ các FDL (được làm trễ thành công), lưu lượng F_4 cũng được đặc trưng bởi các giá trị $\bar{m}$ và $\bar{z}$ với các giá trị moment (factorial) $\bar{m}_{(1)}$ và $\bar{m}_{(2)}$ như sau [3]:

$$\begin{aligned} \bar{m}_{(1)} &= m_{(1)} - \hat{m}_{B,(1)} \\ \bar{m}_{(2)} &= \bar{m}_{(1)} \frac{m_{(2)}}{m_{(1)}} \\ &\quad - \hat{m}_{B,(1)} \hat{m}_{B,(2)} \sum_{l=1}^L \binom{L}{l} \frac{l!}{m_{(l+1)}} \sum_{k=1}^l \left(\frac{k \cdot m_{(k)}}{m_{(k+1)}} + 1 \right) \end{aligned} \quad (7)$$

Từ (7), 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 $O(L)$ [3].

Các lưu lượng GI sau khi đi ra khỏi FDL (làm trễ thành công) sẽ tiếp tục được gọi trở lại cổng ra để chuyển tiếp đến nút lỗi. Tại đây, các chùm trong luồng lưu lượng này sẽ cạnh tranh với các chùm trong luồng lưu lượng Poisson (P) ban đầu được định tuyến đến cổng ra này (mô hình $GI + M/M/\omega/\omega + v$). **Tuy nhiên, khác với các chùm Poisson sẽ được chuyển tiếp đến FDL để làm trễ nếu gặp tắc nghẽn, các chùm GI sẽ bị rơi nếu hết tài nguyên.** Vì vậy, xác suất tắc nghẽn của lưu lượng GI (với các giá trị $\bar{m}$ và $\bar{z}$

với các giá trị moment (factorial) $\bar{m}_{(1)}$ và $\bar{m}_{(2)}$ cũng có thể được tính như là xác suất tắc nghẽn ứng với mô hình $GI/M/\omega/\omega$ [3]. Trong mô hình này, chúng tôi cũng xét với trường hợp đặc biệt khi xem lưu lượng GI là quá trình đến IPP và xác suất tắc nghẽn sẽ được tính bằng phương pháp xấp xỉ GI [3].

II.4.2. Tính toán xác suất tắc nghẽn ứng với trường hợp lưu lượng GI là quá trình đến Poisson ngắt (IPP) bằng phương pháp xấp xỉ GI

Quá trình IPP đề xuất bởi Kuczura [8] được sử dụng rộng rãi trong việc phân tích mô hình với lưu lượng tràn, đặc trưng bởi 3 tham số $(\psi, \phi, \varphi_{on})$, trong đó, ψ và ϕ 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 φ_{on} , trong khi tại trạng thái OFF, không có chùm đến trên cổng ra 2 [8].

Với mô hình (ii), khi phân tích các lưu lượng loss và delay, chúng tôi xem xét với trường hợp đặc biệt (của lưu lượng GI) là lưu lượng tràn từ cổng ra (lưu lượng F_2) đến FDL (cũng như được mang từ FDL - lưu lượng F_4) đều có quá trình đến dạng IPP . Theo đó, quá trình IPP được đặc trưng qua hàm phân bố thời gian giữa các lần đến $A(t)$ được xác định như sau [8]:

$$A(t) = r(1 - e^{-\alpha_1 t}) + (1 - r)(1 - e^{-\alpha_2 t}) \quad (8)$$

ở đây:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{1}{2} \left\{ \varphi_{on} + \psi + \phi + \sqrt{(\varphi_{on} + \psi + \phi)^2 - 4\varphi_{on}\psi} \right\} \\ \alpha_2 &= \frac{1}{2} \left\{ \varphi_{on} + \psi + \phi - \sqrt{(\varphi_{on} + \psi + \phi)^2 - 4\varphi_{on}\psi} \right\} \\ r &= \frac{\varphi_{on} - \alpha_2}{\alpha_1 - \alpha_2} \end{aligned} \quad (9)$$

Khi đó, giá trị $m_{(k)}$ trong công thức (5) được tính toán cụ thể như sau [3]:

$$m_{(k)} = \prod_{j=0}^{k-1} \frac{\alpha_1 \alpha_2 + (r\alpha_1 + (1-r)\alpha_2)j}{r\alpha_2 + (1-r)\alpha_1 + j}, k \in \mathbb{N} \quad (10)$$

trong đó các giá trị r , α_1 và α_2 được tính theo công thức (9) với các tham số vào $(\varphi_{on}, \psi, \phi)$ với lưu lượng

đến GI có thể được tính một cách tổng quát theo các giá trị moment đặc trưng (M, V) như sau [8]:

$$\begin{aligned} \varphi_{on} &= V + 3 \frac{V}{M} \left(\frac{V}{M} - 1 \right) \\ \psi &= \frac{M}{\varphi_{on}} \left(\frac{\varphi_{on} - M}{\frac{V}{M} - 1} - 1 \right) \\ \phi &= \left(\frac{\varphi_{on}}{M} - 1 \right) \psi \end{aligned} \quad (11)$$

Từ (8), gọi $A^*(x)$ là phép biến đổi Laplace-Stieltjes của hàm phân phối $A(t)$ thì [3]:

$$A^*(x) = \frac{r\alpha_1}{x + \alpha_1} + \frac{(1-r)\alpha_2}{x + \alpha_2} \quad (12)$$

Xác suất tắc nghẽn của lưu lượng GI ứng với mô hình tồn thất $IPP/M/\omega/\omega$ được tính như sau [2, 3]:

$$PB_{GI-2} = \left[\sum_{j=0}^{\omega} \frac{\omega!}{j! (\omega-j)!} \frac{1}{C_j} \right]^{-1} \quad (13)$$

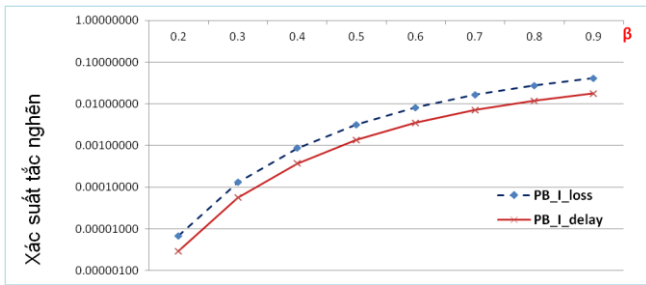
trong đó C_j được tính như sau:

$$C_0 = 1, C_j = \prod_{n=1}^j \frac{A^*(n\mu)}{1 - A^*(n\mu)}, j = 1, 2, \dots, \omega \quad (13a)$$

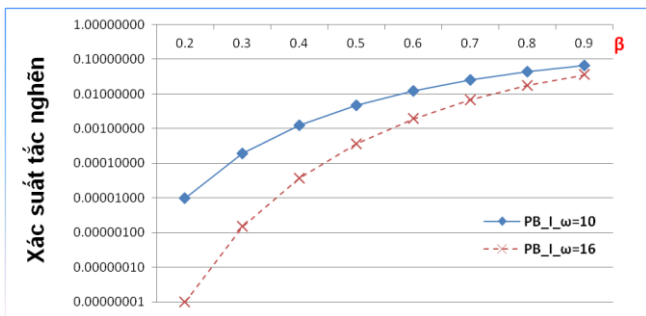
Dựa vào công thức tổng quát (13) ở trên, ta có thể tính xác suất tắc nghẽn tương ứng với từng loại lưu lượng, đó là lưu lượng F_2 (được đặc trưng bởi cặp giá trị (m, v) tính theo (4)) theo mô hình $GI/M/L/L$ và lưu lượng F_4 (được đặc trưng bởi cặp giá trị $(\bar{m}, \bar{z})$ tính theo (7)) theo mô hình $GI/M/\omega/\omega$.

III. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

Trên cơ sở xác suất tắc nghẽn đã xác định được ở phương trình (3), (8), (13), chúng tôi tiến hành mô tả về mặt đồ thị (được viết bằng ngôn ngữ Mathematica) sự biến thiên của xác suất tắc nghẽn phụ thuộc vào lưu lượng tải mạng (ρ), số bước sóng ra (ω), độ dài FDL. 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 [4][5], gọi $\beta = \rho/\omega$ là hệ số lưu lượng tải mạng so với số bước sóng sử dụng tại mỗi cổng ra, β được xét trong khoảng 0.2 đến 0.9 (Erl).



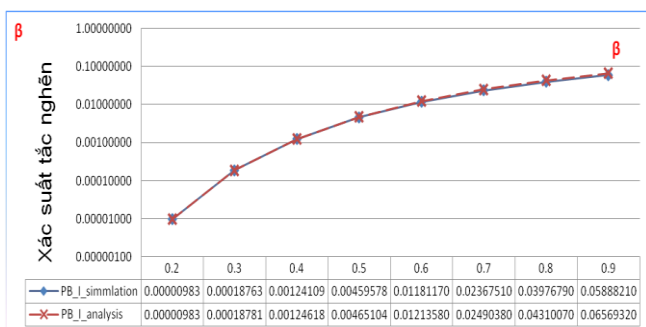
Hình 5. Xác suất tắc nghẽn PB_{I_loss} và PB_{I_delay} vs β



Hình 6. Xác suất tắc nghẽn PB_I vs β

Hình 5 cho thấy kết quả xác suất tắc nghẽn ứng với lưu lượng *loss* và *delay* ($\omega = 10, N = 2$) trong mô hình (i), rõ ràng lưu lượng *delay* có xác suất tắc nghẽn nhỏ hơn do được làm trễ trong các FDL.

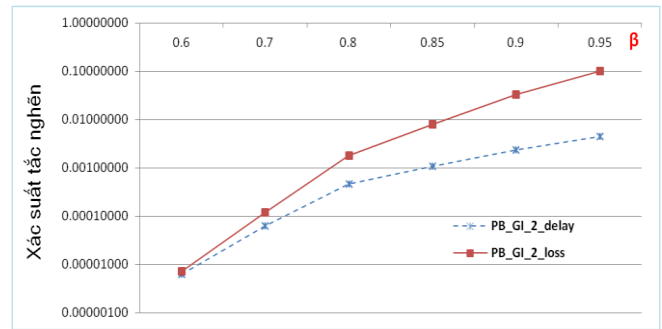
Hình 6 biểu thị xác suất tắc nghẽn PB_I của mô hình Markov ứng với $\omega = 10, 16$; $n = 1$, số bước sóng trong mỗi FDL là 5; $\rho_1 = 0.7\rho$; $\rho_2 = 0.3\rho$. Rõ ràng, với số bước sóng lớn hơn, xác suất tắc nghẽn sẽ được cải thiện đáng kể, đặc biệt với tải lưu lượng thấp.



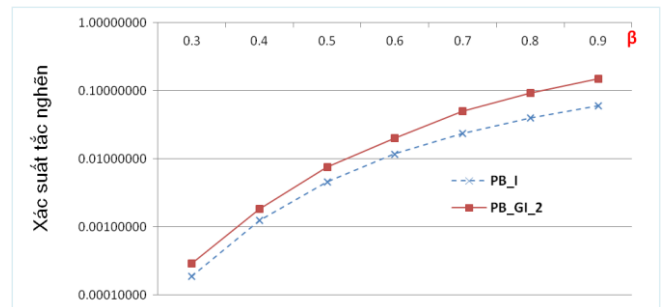
Hình 7. Xác suất tắc nghẽn PB_I vs β – so sánh giữa phân tích và mô phỏng

Kết quả trong Hình 7 cho thấy có sự phù hợp đáng kể giữa mô phỏng (bằng OBS-ns, là phần mềm mô phỏng dựa trên gói ns-2.28 với gói mở rộng obs-0.9a) và phân tích ($\omega = 10, N = 2$). Việc mô phỏng cũng

theo kịch bản tương tự như phân tích: lưu lượng Poisson được sử dụng trong mô phỏng và phân tích; độ dài chùm theo phân bố mũ với kích thước trung bình 100Kbyte. Giả thiết nút lỗi có khả năng chuyển đổi bước sóng đầy đủ. Giải thuật lập lịch và giao thức báo hiệu được lựa chọn lần lượt là LAUC-VF và JET.



Hình 8. Xác suất tắc nghẽn tại mô hình (ii) PB_{GI_2} ứng với lưu lượng *loss* và *delay* vs β



Hình 9. Xác suất tắc nghẽn PB_I và PB_{GI_2} ứng với ($\omega = 32$; $n = 1$; $v = 10$) vs β

Tương tự như với mô hình (i), kết quả phân tích trong Hình 8 cũng chỉ ra xác suất tắc nghẽn của mô hình (ii) ứng với lưu lượng *loss* và lưu lượng *delay*, ứng với $\omega = 32$; $n = 1$; $v = 10$ (số bước sóng trong mỗi FDL là 10). Rõ ràng, lưu lượng *delay* trong cả 2 mô hình đều có xác suất tắc nghẽn nhỏ hơn lưu lượng *loss* do được làm trễ trong các FDL khi gặp tắc nghẽn tại cổng ra.

Hình 9 so sánh xác suất tắc nghẽn của 2 mô hình (i) và (ii), ứng với $\omega = 10$; $n = 1$; $v = 10$ (số bước sóng trong mỗi FDL là 10). Kết quả cho thấy sự phù hợp về mặt lý thuyết (xác suất tắc nghẽn của lưu lượng *GI* ($Z > 1$) cao hơn so với lưu lượng Poisson ($Z = 1$) [3]).

IV. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất mô hình phân tích và đánh giá hiệu năng tại nút lỗi OBS kiến trúc SPL - feed-forward với 2 mô hình ứng với các luồng lưu lượng khác nhau. Khác với các nghiên cứu trước thường chỉ xét với từng loại lưu lượng (*Poisson* hoặc *GI*), mô hình của chúng tôi xét với việc kết hợp cả 2 trường hợp này. Kết quả phân tích lý thuyết, cũng như mô phỏng, và so sánh giữa các mô hình cho thấy tính đúng đắn của các 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, vol. 18, no. 3, pp. 16–23, May-June 2004.
- [2] AKIMARU H., Kawashima K. *Teletraffic: Theory and Applications*. – Berlin: Springer-Verlag, Germany Pb, 1993.– P. 71–104.
- [3] A. BRANDT, M. BRANDT, *On the Moments of Overflow and Freed Carried Traffic for the GI/M/C/0 System*, Methodology and Computing in Applied Probability, vol.4, pp. 69-82, March 2002
- [4] 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, APRIL 2011.
- [5] VENKATESH, C. SIVA RAM MURTHY, *An Analytical Approach to Optical Burst Switched Networks*, Springer ISBN 978-1-4419-1509-2, Chennai, India, August 2009.
- [6] YOSHINORI OZAKI and HIDEAKI TAKAGI (2010), *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..
- [7] ĐẶNG THANH CHUÔNG, “Một phương pháp tính ma trận tốc độ chuyển trạng thái với mô hình chuyển đổi bước sóng từng phần trong mạng chuyển mạch chùm quang OBS”, *Kỷ yếu Hội nghị khoa học quốc gia lần thứ V - Nghiên cứu cơ bản và ứng dụng công nghệ thông tin (FAIR)*, Đồng Nai, tr. 121-131, 2011.
- [8] ANATOL KUCZURA, *The Interrupted Poisson Process as an overflow process*, The Bell System Technical Journal, 52(3): 437-448, 1973.
- [9] DANIELE TAFANI, (2012), “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.
- [10] 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, (2010) 638-643.
- [11] L. BATTESTILLI, H. PERROS, S. CHUKOVA, “Performance evaluation of an OBS network as a IPP/M/W/W network”, Applied Mathematical Modelling, vol 39, issues3-4, p 965-981, Feb 2015.

Nhận bài ngày: 01/03/2016

SƠ LƯỢC VỀ TÁC GIẢ

ĐẶNG THANH CHUÔNG



Sinh năm 1975 tại TP.Vinh.

Tốt nghiệp ĐH ngành Vật lý tại trường ĐH Khoa học Huế, năm 1997; Nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành Tin học năm 2004 tại Trường ĐH Khoa học Huế, bằng

Tiến sĩ tại Viện CNTT, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam năm 2014.

Hiện công tác tại Khoa CNTT, Trường ĐH Khoa học, ĐH Huế.

Hướng nghiên cứu: Mạng OBS, Đánh giá hiệu năng mạng.

Email: dtchuong@gmail.com