Mô hình phân tích xác suất tắc nghẽn tại nút lõi OBS dựa trên lý thuyết tràn

A Model of Analysing the Blocking Probability at OBS Core Nodes basing on Overflow Theory

Đặng Thanh Chương, Vũ Duy Lợi, Võ Viết Minh Nhật

Abstract. *Optical Burst Switching networks are considered as an important candidate for the future transport networks. As the size of network increases conventional methods used in teletraffic theory to model these networks become computationally difficult to handle as the state space grows exponentially. In this paper, we have applied overflow theory analysis to model these networks. We proposed a method on how to calculate the blocking probability at core node OBS using equivalent random theory.*

Keywords– OBS, Blocking probability, Equivalent Random Theory, Interrupted Poisson Process.

I. GIỚI THIỆU

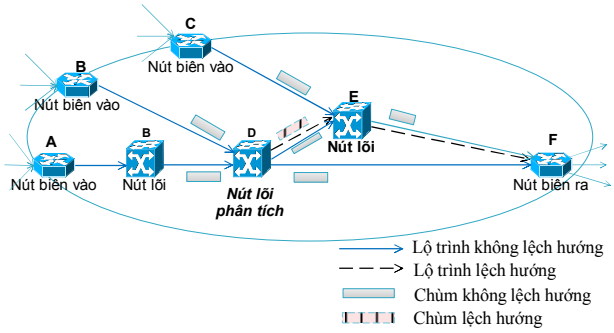
Chuyển mạch chùm quang OBS (*Optical Burst Switching*) trên mạng WDM (*Wavelenght Division Multiplexing*) đã được xem như là một công nghệ đầy triển vọng đối với mạng Internet thế hệ mới, bởi vì nó có nhiều lợi thế hấp dẫn như tốc độ nhanh và hiệu suất khai thác băng thông cao hơn nhiều so với những mô hình chuyển mạch kênh quang khác [1]. Tuy nhiên, như các kỹ thuật chuyển mạch gói khác, tắc nghẽn cũng sẽ xuất hiện tại một nút chuyển mạch chùm quang (ví dụ, nút lõi OBS) nếu hai chùm đến từ hai cổng vào khác nhau muốn đi ra cùng một cổng ra, trên cùng kênh bước sóng và tại cùng thời điểm.

Có nhiều phương pháp xử lý tranh chấp khác nhau đã được đề xuất, như chuyển đổi bước sóng, sử dụng đường trễ quang, định tuyến lệch hướng hay kết hợp của các phương pháp này. Nhiều mô hình phân tích tắc nghẽn đối với các phương pháp này cũng đã được đề xuất mà đa số các tác giả đã giả thiết rằng quá trình đến ở cổng ra là Poisson và mô hình phân tích được sử dụng là chuỗi Markov. Như mô tả trong [2], một mô hình Markov 2 chiều được sử dụng để phân tích trường hợp một nút lõi OBS với 2 cổng ra và có xét đến sự lệch hướng. Bởi vì các tác giả trong [2] xem xét sự phân bố luồng dữ liệu hướng đến mỗi cổng ra là độc lập nhau nên quá trình của các chùm tại mỗi cổng ra là Poisson. Tuy nhiên trong thực tế, sự lệch hướng chỉ xảy ra khi cổng ra dự kiến ban đầu bận và luồng dữ liệu lệch hướng đến cổng ra thay thế (cổng ra thứ 2) không còn là quá trình Poison. Luồng các chùm lệch hướng đến cổng ra thay thế lúc này được xem là luồng tràn (*overflow traffic*) và do đó lý thuyết tràn (*overflow theory*) sẽ được sử dụng để phân tích sự tắc nghẽn tại một nút lõi OBS trong bài báo này.

Nội dung tiếp theo bao gồm: phần II giới thiệu mô hình phân tích xác suất tắc nghẽn dựa trên lý thuyết tràn, trong đó quá trình đến ứng với lưu lượng tràn là quá trình đến mới (*renewal*) theo phân phối Gamma và xét trong trường hợp đặc biệt là quá trình Poisson ngắt *IPP* (*Interrupted Poisson Process*). Phương pháp lý thuyết ngẫu nhiên tương đương ERT (*Equivalent Random Theory*) sẽ được áp dụng để phân tích xác suất tắc nghẽn. Các đồ thị thể hiện 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

Xét một mô hình truyền thông trên mạng OBS như được mô tả ở Hình 1.



Hình 1. Mạng OBS với ví dụ tắc nghẽn xảy ra tại nút D

Giả thiết rằng lưu lượng truyền (*offered traffic*) xuất phát từ nút A, B và C, qua D, E và đến F. Khi tắc nghẽn xảy ra tại nút D (chẳng hạn do tất cả các bước sóng ở cổng ra dự kiến đến F, cổng 1, đều bận), phần lưu lượng bị nghẽn do đó sẽ thay đổi lộ trình ra cổng ra thay thế, cổng 2, lệch hướng qua E rồi đến F. Luồng lệch hướng này được xem xét là luồng tràn và không còn đặc tính Poisson nữa (*non-Poisson*). Do đó, chúng ta không thể sử dụng mô hình như trong [2] để tính toán sự tắc nghẽn của lưu lượng tràn. Bài viết này đề xuất áp dụng lý thuyết tràn, cụ thể là phương pháp ERT, để đánh giá hiệu năng thông qua việc tính toán xác suất tắc nghẽn [3]-[6].

1. *Các giả thuyết*

- Một nút lõi OBS có nhiều cổng vào và ra; một sợi quang WDM tương ứng với mỗi cổng mang ω bước sóng. Kiến trúc nút lõi có dạng SPL (*share-per-link*) đối với phân bố các bộ chuyển đổi bước sóng, tức là các bộ chuyển đổi bước sóng được phân bố tại mỗi cổng ra và chỉ được sử dụng bởi các lưu lượng hướng đến cổng ra đó. Khả năng chuyển đổi bước sóng được giả thiết là hoàn toàn (*complete*) [2].

- Không có đường trễ quang FDL (*Fiber Delay Link*) tại nút lõi.

- Cổng ra 1 (tương ứng với liên kết D-F trên hình 1) là độc lập với cổng ra 2 (tương ứng với liên kết D-E) và chỉ cổng 2 phụ thuộc lưu lượng tràn từ cổng 1. Giả sử lưu lượng đến tại liên kết E-F không bị tắc nghẽn.

- Các chùm đến trên cổng ra 1 có phân phối Poisson 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 $\rho = \gamma/\mu$.

- Lưu lượng lệch hướng (tràn) từ cổng 1 đến cổng 2 là không Poisson, với cường độ trung bình σ và xác suất lệch hướng p.

- Nếu tất cả kênh bước sóng trên cổng ra 2 đều bận, chùm lệch hướng đến sẽ bị loại bỏ.

- Mô hình có thể được mở rộng đối với nút lõi OBS có nhiều hơn 2 cổng ra, nhưng chỉ xem xét các lưu lượng lệch hướng từ nhiều cổng ra khác tràn đến (một) cổng ra, vẫn gọi là cổng ra 2.

Lược đồ trạng thái tương ứng với mô hình hệ thống nút lõi OBS với 2 cổng ra mô tả như trên có dạng tương tự như ở Hình 4 trong [2]. Tuy nhiên, lược đồ trạng thái ở đây sẽ không có các phép chuyển trạng thái từ (i, j) sang $(k, j+1)$ với $0 \le i, k \le \omega - 1$ [3], cụ thể, trong ma trận tốc độ chuyển trạng thái của lược đồ xem xét chỉ xuất hiện các bước chuyển trạng thái từ (ω, j) sang $(\omega, j+1)$ với $0 \le j \le \omega - 1$.

Ngoài ra, lưu lượng tràn từ cổng 1 đến cổng 2 (khi $i = \omega$) với cường độ lưu lượng là σ được tính như sau [3,p118]:

$$\sigma = \rho \cdot E(\omega, \rho) \tag{1}$$

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

Việc tính xác suất tắc nghẽn theo phương pháp chuỗi Markov sẽ phức tạp và khó khăn hơn khi giá trị ω tăng cao (32, 64, …), cũng như khi mở rộng với nhiều hơn 2 cổng ra do không gian trạng thái khi đó sẽ rất lớn [3]. Một phương pháp khác có thể được sử dụng trong hợp này là sử dụng phương pháp xấp xỉ ERT được trình bày ngay sau đây.

2. *Phương pháp xấp xỉ ERT*

Trong phương pháp xấp xỉ ERT, lưu lượng tràn không phân bố theo hàm mũ 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 [4, p.131]:

$$m = \rho \cdot E(\omega, \rho) \tag{2}$$

$$v = m\left(1 - m + \frac{\rho}{\omega + 1 + m - \rho}\right) \quad (3)$$

Đối với luồng tràn từ cổng 1 sang cổng 2, giá trị v/m được gọi là *peakedness* và được ký hiệu là z. Khác với trường hợp lưu lượng là Poisson ($z = 1$), với lưu lượng tràn thì $z > 1$ vì lưu lượng tràn thường là *bursty*. Việc tính toán xác suất tắc nghẽn trong trường hợp này có thể được giải bằng cách sử dụng lý thuyết tràn [4] cho phép sử dụng công thức Erlang-B đối với các luồng lưu lượng không Poisson nếu chúng được chuẩn hóa đến giá trị *Peakedness z* như trên.

Với mô hình nút lõi OBS đang xem xét, hệ thống có thể được xem là hệ thống tổn thất Erlang có dạng $M/M/c/c$ [4] với quá trình đến là không Poisson, ở đây $c = 2\omega$, trong đó chỉ có lưu lượng qua cổng 1 có dạng $M/M/\omega/\omega$. Lưu lượng tắc nghẽn ở 2 hệ thống là bằng nhau [4]:

$$\rho_l = \rho \cdot E(2\omega, \rho) \quad (4)$$

Xác suất nghẽn của lưu lượng tràn từ cổng 1 sang cổng 2 có thể tính đơn giản là:

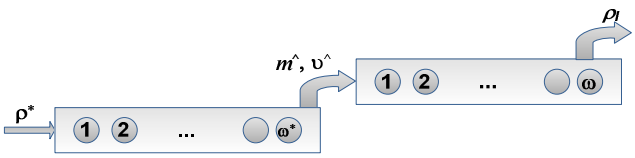
$$PB_W = \frac{\rho \cdot E(\omega + \omega, \rho)}{\rho \cdot E(\omega, \rho)} = \frac{E(2\omega, \rho)}{E(\omega, \rho)} \quad (5)$$

Tuy nhiên, khó khăn lớn hơn đối với bài toán này là tính xác suất nghẽn hệ thống, với lưu lượng đến là không Poisson được xác định bởi các giá trị phương sai chung $\hat{v}$ và trung bình chung $\hat{m}$ [3]. Lúc này, lưu lượng đến hệ thống có thể được tràn từ nhiều nguồn khác nhau (tức là bài toán mở rộng với nhiều hơn 2 cổng ra và có nhiều lưu lượng lệch hướng từ các cổng ra khác ngoài cổng 1 đi đến cổng 2). Do đó, khác với bài toán ở trên, chúng ta không biết được các đặc tính của các luồng lưu lượng ban đầu (chỉ biết trước giá trị$\hat{m} = \sum_{i=1}^{N-1} m_i$ và $\hat{v} = \sum_{i=1}^{N-1} v_i$, với m_i và v_i tương ứng là các giá trị trung bình và phương sai của lưu lượng tràn từ cổng i và N là số cổng ra của nút lõi OBS). Bài toán này không có lời giải chính xác nhưng có thể giải được qua các phương pháp xấp xỉ, như phương pháp ERT của Wilkinson-Bretschneider hay phương pháp xấp xỉ Hayward [3][4][6].

Đối với phương pháp ERT, lưu lượng $(\hat{m}, \hat{v})$ được xem là lưu lượng tràn từ nhóm "ảo" (*virtual*) và là lưu lượng Poisson "ảo" đến cổng 2, với tổng tải lưu lượng "ảo" và tổng số kênh "ảo" lần lượt là ρ^* và ω^*. Khi đó, lưu lượng tràn của hệ thống "ảo" này chính là lưu lượng đến của hệ thống thực có ω kênh bước sóng và hệ thống thay thế tương đương với lưu lượng Poisson đến trên $(\omega^* + \omega)$ kênh và tổng tải lưu lượng đến là ρ^*. Lưu lượng tràn của hệ thống này tìm bằng cách sử dụng các hàm của Kosten [3] như sau:

$$\hat{m} = \rho^* \cdot E(\omega^*, \rho^*) \quad (6)$$

$$\hat{v} = \hat{m} \cdot \left(1 - \hat{m} + \frac{\rho^*}{\omega^* + 1 + \hat{m} - \rho^*}\right) \quad (7)$$



Hình 2. Mô hình lưu lượng tràn sử dụng phương pháp ERT

Từ (7), ta có:

$$\omega^* = \rho^* \frac{\hat{m} + \hat{v}/\hat{m}}{\hat{m} + \hat{v}/\hat{m} - 1} - \hat{m} - 1 \quad (8)$$

Từ (6) và (8), để tính ρ^*, sử dụng phương pháp lặp của Newton-Raphson [4] để giải:

$$f(\rho^*) = \hat{m} - \rho^* E(\omega^*, \rho^*) = 0 \quad (9)$$

Phương trình (9) có thể giải được bằng cách áp dụng phương pháp xấp xỉ của Rapp [4], cho kết quả như sau:

$$\rho^* \approx \hat{v} + 3\frac{\hat{v}}{\hat{m}}\left(\frac{\hat{v}}{\hat{m}} - 1\right) \quad (10)$$

Khi đó, xác suất tắc nghẽn tại cổng ra 2 (với trường hợp nút lõi OBS có nhiều hơn 2 cổng ra) được tính như sau [3]:

$$PB_{ERT_W} = \frac{E(\omega^* + \omega, \rho^*)}{E(\omega^*, \rho^*)} \quad (11)$$

Một phương pháp tương đương khác đã được đề xuất bởi Fredericks và Hayward, được xem là đơn giản hơn phương pháp ERT ở trên. Đối với cặp giá trị $(\hat{m}, \hat{v})$ biết trước của luồng lưu lượng không Poisson, phương pháp Hayward–Fredericks áp dụng trực tiếp

công thức Erlang-B nhưng với tham số thay đổi như sau:

$$PB_{ERT_F} = E\left(\frac{\omega}{\hat{z}}, \frac{\hat{m}}{\hat{z}}\right) \quad (12)$$

ở đây $\hat{z}$ là giá trị peakedness và $\hat{z} = \hat{v}/\hat{m}$.

3. Mô hình GI/M/ω/ω

Khi lưu lượng tràn từ cổng ra 1 (hoặc từ nhiều cổng ra khác) đến cổng ra 2 là quá trình đến mới, với thời gian giữa các lần đến liên tiếp (*interarrival time*) của các chùm được xem tuân theo phân bố Gamma. Mô hình phân tích tại cổng ra lúc này có dạng $GI/M/\omega/\omega$, được đặc trưng bởi 2 tham số moment, giá trị *mean* $\hat{m} = \hat{m}_{(1)}$và giá trị *peakedness* $\hat{z} = 1 - \hat{m}_{(1)} + \hat{m}_{(2)}/\hat{m}_{(1)}$, trong đó $\hat{m}_{(k)}, k \in \mathbb{N} := \{1,2,\dots\}$ là các moment giai thừa (*factorial*) của lưu lượng có quá trình đến mới với hàm phân phối xác suất *F(t)*, được biểu diễn như sau [8][9]:

$$\hat{m}_{(k)} = \frac{1}{\mu E[\tau]} \cdot \prod_{j=1}^{k-1} \frac{jF^*(j\mu)}{1 - F^*(j\mu)}, k \in \mathbb{N} \quad (13)$$

ở đây $F^*(j\mu)$ biểu thị phép biến đổi Laplace-Stieltjes của hàm $F(t)$, μ là tham số thời gian phục vụ theo phân phối mũ, và $E[\tau]$ là thời đoạn giữa các lần đến trung bình, $E[\tau] = -F^{*\prime}(0)$ [9].

Đặt X là biến ngẫu nhiên biểu thị thời gian giữa hai lần đến của chùm thì X có phân phối Gamma, khi đó, hàm mật độ xác suất của nó có dạng như sau [9]:

$$f(x, \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (14)$$

trong đó α ($\alpha > 0$) là tham số định hướng (*shape*), β ($\beta > 0$) là tham số tỷ lệ và $\Gamma(\alpha)$ là hàm Gamma. Khi đó, giá trị của phép biến đổi Laplace của hàm phân phối Gamma như sau [8]:

$$F^*(x) = (1 + \beta x)^{-\alpha} \quad (15)$$

và do đó $E[\tau] = \alpha\beta$ (đây chính là giá trị trung bình của phân phối Gamma).

Từ các giá trị tính được ở trên, thay vào (13), ta có thể tính được các giá trị $\hat{m}_{(1)}$ và $\hat{m}_{(2)}$ như sau [8]:

$$\hat{m}_{(1)} = \frac{1}{\mu E[\tau]} = \frac{1}{\mu\alpha\beta} \quad (16)$$

$$\hat{m}_{(2)} = \frac{\hat{m}}{(1 + \frac{1}{\hat{m}\alpha})^\alpha - 1} \quad (17)$$

Các công thức từ (13) đến (17) cho thấy mối quan hệ giữa các tham số (α, β) của phân phối Gamma và các moment của lưu lượng. Theo [9], mô hình chúng tôi đang xét có thể xem là có dạng $GI/M/\omega/\omega$ hay $GI/M/\omega/0$, 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 luồng đến cổng ra 2 cũng được đặc trưng bởi các tham số là *mean* $\hat{m}_L$ và *peakedness* $\hat{z}_L$, tính được dựa trên các moment giai thừa, ký hiệu là $\hat{m}_{L,(k)}, k \in \mathbb{N}$, như sau [9]:

$$\frac{1}{\hat{m}_{L,(k)}} = \sum_{l=0}^{\omega} \binom{\omega}{l} \frac{(k + l - 1)!}{(k - 1)!\, \hat{m}_{(l+k)}}, k \in \mathbb{N} \quad (18)$$

trong đó, các moment giai thừa $\hat{m}_{(k)}$, $k \in \mathbb{N}$, của lưu lượng mất (từ lưu lượng GI) được tính bởi công thức (13). Từ công thức (18), ta có thể tính được các giá trị $\hat{m}_L$ và $\hat{z}_L$.

Xác suất tắc nghẽn của mô hình khi đó có thể được tính như sau [8]:

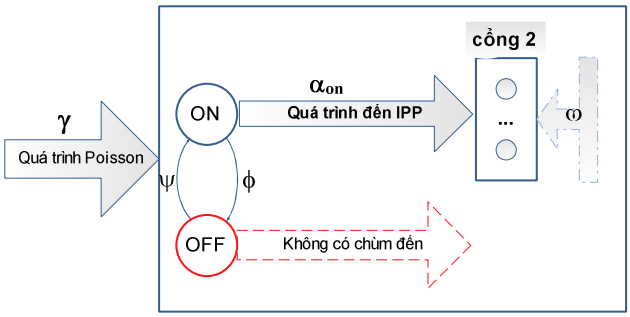
$$PB_{GI} = \hat{m}_{L,(1)}/\hat{m}_{(1)} \quad (19)$$

4. Trường hợp dòng đến là quá trình Poisson ngắt

a) Quá trình đến IPP

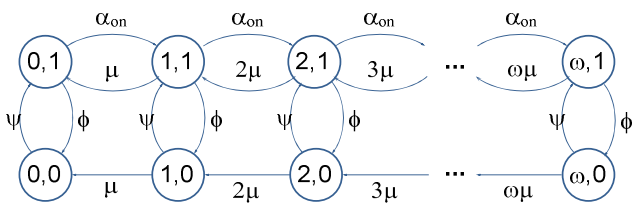
Lưu lượng lệch hướng đến cổng 2 cũng có thể được mô tả như là quá trình Poisson ngắt IPP (*Interrupted Poisson Process*). Quá trình IPP đề xuất bởi Kuczura [7] được sử dụng rộng rãi trong việc phân tích mô hình với lưu lượng tràn, đặc trưng bởi 3 tham số (ψ, ϕ, α_{on}) như ở Hình 3, trong đó, ψ và ϕ 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 α_{on} (ứng với trường hợp tất cả các bước sóng trên cổng ra 1 đã được sử dụng), trong khi tại trạng thái OFF, không có chùm lệch hướng đến trên cổng ra 2 (ứng với trường hợp có ít

nhất 1 bước sóng rỗi tại cổng ra 1). Điều này có nghĩa là, lưu lượng đến trên cổng ra 1 chỉ lệch hướng đến cổng 2 khi tất cả các bước sóng trên cổng 1 đều bận.



Hình 3. Mô tả quá trình tràn lưu lượng từ cổng 1 sang cổng 2 bằng quá trình IPP

Quá trình đến IPP thường được mô tả bởi mô hình Markov Modulated Poisson Process (MMPP) 2 trạng thái [4][5] với lược đồ trạng thái trong trường hợp này được chỉ ra như ở Hình 4. Trong Hình 4, trạng thái (i,j) biểu thị có i $(0 \le i \le \omega)$ bước sóng bận trên cổng 2 (nhóm tràn) và quá trình đến IPP là ở trạng thái j ($j = 1$: quá trình đến là ON, $j = 0$: quá trình đến là OFF). Khi đó, $\pi_{i,j}$ xác định xác suất trạng thái cân bằng tại trạng thái (i,j) và không gian trạng thái sẽ có tổng cộng là $2(\omega+1) * 2(\omega+1)$ trạng thái.



Hình 4. Lược đồ chuyển trạng thái tại cổng ra 2 (ứng với quá trình đến IPP)

Hệ phương trình trạng thái cân bằng lúc này là:

$$(i\mu + \psi)\pi_{i,0} = \phi\pi_{i,1} + (i+1)\mu\pi_{i+1,0}, \quad 0 \le i \le \omega$$

$$(i\mu + \phi + \propto_{on})\pi_{i,1} = \psi\pi_{i,0} + (i+1)\mu\pi_{i+1,1} + \propto_{on} \pi_{i-1,1}, \quad 1 \le i \le \omega - 1 \tag{20}$$

$$(\phi + \propto_{on})\pi_{0,1} = \psi\pi_{0,0} + \mu\pi_{1,1}$$

$$(\phi + \omega\mu)\pi_{\omega,1} = \psi\pi_{\omega,0} + \propto_{on} \pi_{\omega-1,1}$$

ở đây, giả thiết: $\pi_{\omega+1,j} = 0$.

Tắc nghẽn lưu lượng tràn tại cổng 2 khi đó có thể được tính như sau [3]:

$$PB_{IPP} = \frac{\pi_{\omega,1}}{\sum_{i=0}^{\omega} \pi_{i,1}} \tag{21}$$

Các giá trị xác suất trạng thái cân bằng $\pi_{i,j}$ $(0 \le i \le \omega;\ j = 0,1)$ có thể được tính bằng cách giải phương trình $\pi \cdot Q = 0$, với π là mảng 1 chiều chứa các xác suất trạng thái cân bằng và Q là ma trận tốc độ chuyển trạng thái, đó là ma trận vuông cấp $2(\omega+1)$ mà dưới dạng ma trận khối thì

$$Q = \begin{pmatrix} A_0 & B_0 \\ C_0 & A_1 \end{pmatrix}$$

Các ma trận con $A_j(i,j)$ $(0 \le i \le \omega; j = 0,1)$, $B_0(i,0)$, $C_0(i,0)$ là các ma trận chuyển trạng thái cỡ $((\omega+1) \times (\omega+1))$ được xác định như sau:

- A_0 xác định tốc độ chuyển trạng thái từ $(i,0)$ sang $(i-1,0)$ $(1 \le i \le \omega)$ với các giá trị khác 0 là: $A_0(i,i-1) = i \cdot \mu$
- A_1 xác định tốc độ chuyển trạng thái từ $(i,1)$ sang $(k,1)$ $(0 \le i,k \le \omega)$; các phần tử có giá trị khác 0 của A_1 là:
  + $A_1(i,i+1) = \alpha_{on}$ ứng với các trạng thái từ $(i,1)$ sang $(i+1,1)$, $0 \le i \le \omega - 1$
  + $A_1(i,i-1) = i \cdot \mu$ ứng với các trạng thái từ $(i,1)$ sang $(i-1,1)$, $1 \le i \le \omega$
- B_0 xác định tốc độ chuyển trạng thái từ $(i,1)$ sang $(i,0)$ $(0 \le i \le \omega)$ với các giá trị khác 0 là: $B_0(i,i) = \phi$
- C_0 xác định tốc độ chuyển trạng thái từ $(i,0)$ sang $(i,1)$ $(0 \le i \le \omega)$ với các giá trị khác 0 là: $C_0(i,i) = \psi$

Ngoài ra, các giá trị $(\propto_{on}, \psi, \phi)$ có thể được tính theo phương pháp phân tích theo không gian trạng thái ở Hình 4 (tức là theo các xác suất trạng thái cân bằng) như sau [5][7]:

$$\propto_{on} = \rho^* \tag{22}$$

$$\psi = \frac{\widehat{m}}{\propto_{on}}\left(\frac{\propto_{on} - \widehat{m}}{\frac{\widehat{v}}{\widehat{m}} - 1} - 1\right) \quad (23)$$

$$\phi = \left(\frac{\propto_{on}}{\widehat{m}} - 1\right)\psi \quad (24)$$

Như vậy, theo các giá trị $\propto_{on}$, ψ và ϕ ở các phương trình (22), (23) và (24), ta tính được $\pi_{i,j}$ trong hệ phương trình (20). Từ đó, tính được xác suất tắc nghẽn ở phương trình (21).

b) Mô hình $IPP/M/\omega/\omega$

Trong mô hình này, chúng tôi phân tích với trường hợp lưu lượng đến IPP được xem là quá trình đến mới (có thể xem là trường hợp đặc biệt của lưu lượng *GI*). Khi đó, mô hình có thể được phân tích như là một dạng của tiến trình Markov phân khúc (*Piecewise Markov Process*) [10], 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 [7][10]:

$$A(t) = k(1 - e^{-r_1 t}) + (1 - k)(1 - e^{-r_2 t}) \quad (25)$$

ở đây

$$r_1 = \frac{1}{2}\left\{\propto_{on} + \psi + \phi + \sqrt{(\propto_{on} + \psi + \phi)^2 - 4\alpha_{on}\psi}\right\}$$

$$r_2 = \frac{1}{2}\left\{\propto_{on} + \psi + \phi - \sqrt{(\propto_{on} + \psi + \phi)^2 - 4\alpha_{on}\psi}\right\}$$

$$k = \frac{\alpha_{on} - r_2}{r_1 - r_2}$$

Trong đó các tham số ($\propto_{on}, \psi, \phi$) được tính theo các phương trình (22), (23) và (24).

Từ (25), gọi $A^*(x)$ là phép biến đổi Laplace-Stieltjes của hàm phân phối $A(t)$ thì [10]:

$$A^*(x) = \frac{kr_1}{x + r_1} + \frac{(1 - k)r_2}{x + r_2} \quad (26)$$

Xác suất tắc nghẽn trong trường hợp mô hình phân tích (cũng ứng với mô hình tổn thất $IPP/M/\omega/\omega$) được tính như sau [10]:

$$PB_\omega = \left[\sum_{j=0}^{\omega} \frac{\omega!}{j!\,(\omega - j)!}\frac{1}{C_j}\right]^{-1} \quad (27)$$

trong đó C_j được tính như sau:

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

III. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

Trên cơ sở xác suất tắc nghẽn đã xác định được theo các phương trình ở trên, chúng tôi tiến hành phân tích kết quả lý thuyết (sử dụng chương trình Mathematica) sự biến thiên của xác suất tắc nghẽn phụ thuộc vào lưu lượng tải mạng (ρ) và số bước sóng ω. Kết quả phân tích cũng được so sánh với kết quả mô phỏng ứng với mô hình MMPP (bằng Matlab).

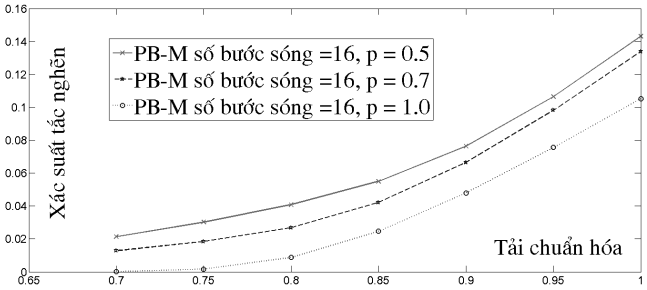
Chúng tôi giả thiết nút lõi OBS có khả năng chuyển đổi bước là hoàn toàn. Gọi β = ρ/ω là hệ số lưu lượng tải so với số bước sóng sử dụng tại mỗi cổng ra, các tham số được lựa chọn trong phân tích và mô phỏng bao gồm: β = 0.2, …, 0.9 (Erl); giá trị ω và *p* thay đổi;

Đầu tiên chúng tôi phân tích với trường hợp đơn giản với nút lõi OBS chỉ có 2 cổng ra, ω = 16 và so sánh các giá trị thu được từ các phương trình (5) và (11) (xem Bảng 1).

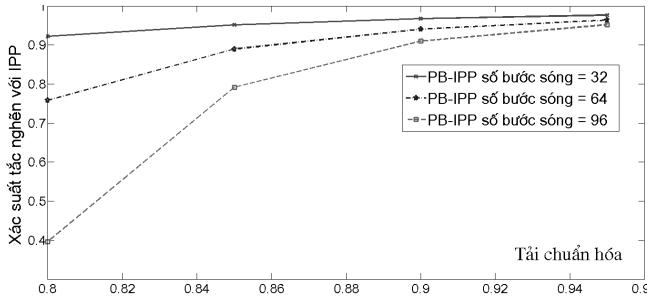
Bảng 1. Xác suất tắc nghẽn của lưu lượng tràn tính theo phương pháp ERT

β	PB_W	PB_{ERT_W}
0.7	4.56E-06	2.87E-06
0.75	0.000013212	1.07853E-05
0.8	3.50743E-05	3.18421E-05
0.85	8.59852E-05	0.000089756
0.9	0.000195798	0.000204966
0.95	0.000416285	0.000423353

Hình 5 mô tả xác suất tắc nghẽn của lưu lượng lệch hướng trên cổng ra 2 (tính theo các hàm trạng thái cân bằng) với số bước sóng $\omega = 16$ và thay đổi giá trị xác suất lệch hướng $p = (0.5, 0.7, 1.0)$. Rõ ràng, khi p giảm (khả năng lệch hướng ít đi) xác suất tắc nghẽn của luồng lệch hướng tăng.



Hình 5. Xác suất tắc nghẽn lưu lượng lệch hướng tại cổng ra 2 nút lõi OBS với ω cố định, p thay đổi

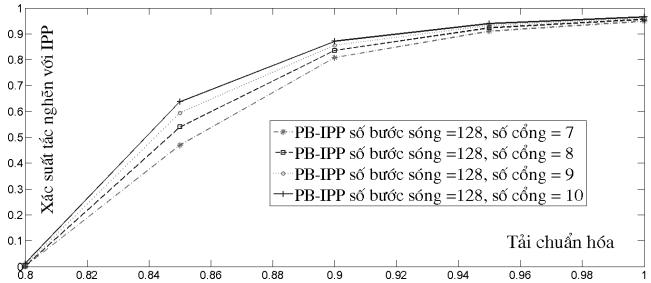


Hình 6. Xác suất tắc nghẽn lưu lượng lệch hướng tại cổng ra 2 nút lõi OBS với ω thay đổi, N = 10

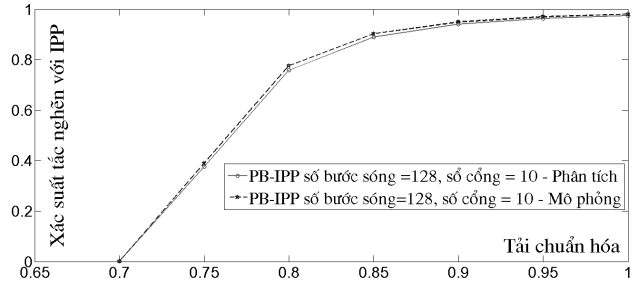
Hình 6 chỉ ra xác suất tắc nghẽn của lưu lượng lệch hướng trên cổng ra 2 tại nút lõi OBS với số bước sóng thay đổi, xác suất lệch hướng $p = 1$ tính theo phương pháp xấp xỉ ERT với quá trình đến là IPP (phương trình (21)).

Theo phương pháp này, có thể mô phỏng với số bước sóng và số cổng ra khá lớn, điều này là khó thực hiện với phương pháp Markov do không gian trạng thái khi đó là rất lớn. Kết quả trong trường hợp này cũng cho thấy sự khác biệt lớn giữa giá trị tải lưu lượng thấp và cao, đặc biệt khi số bước sóng rất lớn. Điều này cũng có thể thấy trong Hình 7, trong đó chúng tôi xét với trường hợp $\omega = 128$, xác suất lệch hướng $p = 1$, số cổng ra thay đổi ($N = 7, 8, 9, 10$) và với trường hợp tải cao (từ $0.8 \div 1.0\ Erl$), kết quả cho thấy có sự biến đổi tương đối lớn về xác suất tắc nghẽn.

Ứng với trường hợp số cổng ra tăng, tức là khả năng lưu lượng tràn đến cổng ra 2 (cổng đang xét) tăng, xác suất tắc nghẽn của lưu lượng lệch hướng trên cổng ra 2 tại nút lõi cũng sẽ tăng và kết quả trong Hình 7 phản ảnh rõ điều này.



Hình 7. Xác suất tắc nghẽn lưu lượng lệch hướng tại cổng ra 2 nút lõi OBS với N thay đổi, ω = 128



Hình 8. Xác suất tắc nghẽn nghẽn lưu lượng lệch hướng tại cổng ra 2 nút lõi OBS – so sánh giữa phân tích và mô phỏng

Hình 8 chỉ ra sự so sánh xác suất tắc nghẽn của lưu lượng lệch hướng trên cổng ra 2 tại nút lõi OBS giữa kết quả phân tích (tính theo phương trình 21) và kết quả mô phỏng (sử dụng mô hình mô phỏng MMPP với trường hợp đặc biệt là IPP trong Matlab) với số cổng ra và số bước sóng không thay đổi ($N = 10$; $\omega = 128$), xác suất tắc nghẽn $p = 1$ tải lưu lượng thay đổi ($\beta = 0.7 \div 0.95\ Erl$).

So sánh kết quả tính xác suất tắc nghẽn theo phương trình (27) và phương trình (21) được chỉ ra ở Bảng 2. Kết quả cho thấy có sự trùng khớp hoàn toàn. Điều này chứng minh sự đúng đắn của mô hình khi sử dụng với 2 phương pháp tính: phân tích theo các xác suất trạng thái (phương trình (21)) và phân tích theo phân bố thời gian giữa các lần đến (phương trình (27)).

IV. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một phương pháp khác so với các phương pháp truyền thống, phương pháp xấp xỉ

ERT và quá trình đến IPP, trong việc phân tích xác suất tắc nghẽn tại nút lõi OBS, với giả thiết các chùm lệch hướng đến các cổng ra khác là không Poisson. Thông qua kết quả phân tích và mô phỏng, bài báo đã chứng minh tính sự đúng đắn của phương pháp đã đề xuất trong việc đánh giá hiệu năng của một nút chuyển mạch có tính đến lưu lượng tràn.

Bảng 2. Xác suất tắc nghẽn của lưu lượng tràn tính theo các phương trình (21) và (27)

β	PB_{IPP}	PB_{ω}
0.7	0.00108911	0.00108911
0.75	0.375633	0.375633
0.8	0.758497	0.758497
0.85	0.889837	0.889837
0.9	0.940619	0.940619
0.95	0.963514	0.963514

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, 2004.

[2] YANG CHEN, HONGYI WU, DAHAI XU and CHUNMING QIAO, *Performance Analysis of Optical Burst Switched Node with Deflection Routing,* Proceedings of IEEE, 2003.

[3] MOSHE ZUKERMAN, *Introduction to Queueing Theory and Stochastic Teletraffc Models*. Copyright M. Zukerman © 2000-2011.

[4] E. BROCKMEYER, *The simple overflow problem in the theory of telephone traffic*, Teleteknik, vol.5, pp.361–374, 1954.

[5] TZVETELINA BATTESTILLI, *Performance Analysis of Optical Burst Switching Networks with Dynamic Simultaneous Link Possession*, Doctor of Philosophy, North Carolina State University, 2005.

[6] M.A.SCHNEPS-SCHNEPPE, J.J.SEDOLS, *Application of Erlang's Formula for Non-Poisson Flows,* ISSN 0146-4116, Automatic Control and Computer Sciences, 2011, Vol.45, No.2, pp.86–93, 2011.

[7] ANATOL KUCZURA, *The Interrupted Poisson Process as an overflow process,* The Bell System Technical Journal, 52(3): 437-448, 1973.

[8] 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.

[9] 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.

ANATOL KUCZURA, *Piecewise Markov Processes*, Siam J. Appl. Math, Vol. 24, No. 2, 1973.

Nhận bài ngày: 04/05/2012

SƠ LƯỢC VỀ CÁC TÁC GIẢ

ĐẶNG THANH CHƯƠNG

Sinh năm 1975 tại TP.Vinh

Tốt nghiệp đại học ngành Vật lý tại trường Đại học Khoa học Huế, năm 1997. Nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành Tin học năm 2004 tại Trường ĐHKH Huế. Đang là NCS tại Viện CNTT-Viện KHCN VN.

Hiện công tác tại Khoa CNTT, Trường ĐHKH, trực thuộc Đại Học Huế.

Hướng nghiên cứu: Mạng OBS, mạng máy tính.

Email: dtchuong@gmail.com

VŨ DUY LỢI

Sinh ngày: 03/11/1955

Tiến sĩ chuyên ngành Tin học, Đại học kỹ thuật Karlsruhe, CHLB Đức.

Hiện công tác tại Trung tâm Công nghệ thông tin, Văn phòng Ban Chấp hành Trung ương Đảng Cộng sản Việt Nam.

Hướng nghiên cứu: Mạng truyền dẫn quang, mạng Internet thế hệ sau, P2P Networks.

Email: vdloi@netnam.vn

TS. VÕ VIẾT MINH NHẬT

Sinh năm 1974 tại TP. Huế

Tốt nghiệp đại học ngành Vật lý – Tin học tại trường Đại học Sư phạm Huế năm 1996. Nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành CNTT năm 2000 tại Viện tin học Pháp ngữ (IFI) – Hà Nội.

Nhận bằng Tiến sĩ ngành CNTT, chuyên ngành Mạng truyền dẫn quang, năm 2007 tại Đại học Quebec ở Montreal (UQAM) – Canada.

Hiện công tác tại Bộ môn CNTT & TT của Khoa Du Lịch, trực thuộc Đại Học Huế.

Hướng nghiên cứu: Mạng truyền dẫn quang, mạng máy tính, mạng nơ-ron và giải thuật di truyền.

Email: vominhnhat@yahoo.com